



ALDI Immobilier

Rapport

Aménagement d'un magasin ALDI sur l'ancien site Bourrat – Le Coteau (42)

Evaluation Quantitatives des Risques Sanitaires



Rapport n°A131641/version A – 27 Septembre 2024

Projet suivi par Ludovic KUNTZ – 06.07.64.96.52 – ludovic.kuntz@anteagroup.fr




Fiche signalétique

Aménagement d'un magasin ALDI sur l'ancien site Bourrat – Le Coteau (42)

Evaluation Quantitatives des Risques Sanitaires

CLIENT	SITE
ALDI Immobilier	Ancien site Bourrat
Zac du Bois Guillaume Les Routes 38870 Oytier-Saint-Oblas	Route de Commelle-Vernay 42120 Le Coteau
Mme Gildred FLORES-RAMIREZ Responsable Développement Tél : 07 86 67 62 66 Mail : g.flores-ramirez@aldi.fr	

RAPPORT D'ANTEA GROUP	
Responsable du projet	Ludovic KUNTZ
Interlocuteur commercial	Pierre CANNAVO
Implantation chargée du suivi du projet	Implantation de Lyon 04.37.85.19.60 secretariat.lyon@anteagroup.fr Le Parc du Lyonnais 109 rue des Mercières - 69140 Rillieux la Pape
Rapport n°	A131641
Version n°	A
Votre commande et date	Bon pour accord de l'offre d'Antea n°RHAA240359/A du 04/07/2024
Projet n°	RHAP240359
Codes prestation selon NF X31-620	A320

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	Florence HERVE	Ingénieur d'étude	Septembre 2024	
Vérification	Ludovic KUNTZ	Chef de projet	Septembre 2024	
Approbation	Martin JUNQUET	Référent Sanitaire	Septembre 2024	

Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
A	27 septembre 2024	42	7	Etablissement du rapport

Sommaire

Résumé non technique	7
1. Abréviations9	
2. Contexte et objectif de l'étude.....	10
3. Méthodologie générale	11
3.1. Textes de références	11
3.2. Description de la mission	11
4. Présentation de la zone d'étude	13
4.1. Localisation.....	13
4.2. Rapports environnementaux à disposition	14
4.3. Contexte historique.....	14
4.4. Contexte environnemental	14
4.4.1. Contexte géologique	14
4.4.2. Contexte hydrologique et hydrogéologique	15
4.5. Projet d'aménagement envisagé et usage envisagé.....	15
5. Caractérisation de l'exposition	17
5.1. Caractérisation des sources de pollution identifiées sur le site.....	17
5.2. Identification des voies d'exposition.....	19
5.2.1. Contact direct avec les sols en place.....	19
5.2.2. Contact direct et/ou indirect avec les eaux souterraines	19
5.2.3. Contact direct et/ou indirect avec les eaux superficielles	19
5.2.4. Inhalation de substances volatiles présentes dans les sols et/ou les eaux souterraines.....	19
5.2.5. Ingestion de végétaux autoproduits	20
5.2.6. Ingestion d'eau potable issue des réseaux souterrains	20
5.2.7. Résumé.....	20
5.3. Cibles retenues	21
5.4. Sélection des substances et concentrations associées	21
5.5. Schéma conceptuel	26
5.6. Quantification de l'exposition	27
5.6.1. Choix du modèle d'exposition.....	27
5.6.2. Calcul de la dose journalière ou concentration d'exposition.....	29
5.6.3. Paramètres d'exposition	30
6. Evaluation de la relation dose réponse	31
6.1. Synthèse des données toxicologiques.....	31

6.2. Valeurs toxicologiques de référence retenues.....	31
6.3. Valeurs réglementaires pour l'air intérieur.....	31
7. Quantification des risques sanitaires	33
8. Interprétation des résultats.....	35
8.1. Hiérarchisation des risques	35
8.2. Comparaison aux valeurs de gestion.....	35
8.3. Détermination des mesures compensatoires	35
8.4. Evaluation des incertitudes	36
8.4.1. Analyse qualitative	36
8.4.2. Analyse quantitative	39
9. Conclusions et recommandations	41
9.1. Conclusion	41
9.2. Recommandations.....	41
9.3. Synthèse des dispositions d'aménagement	42

Table des figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (source : Géoportail).....	13
Figure 2 : Plan de masse du projet (source : Maître d'Œuvre Groupe IDEC).....	15
Figure 3 : Vue 3D du projet (source : Maître d'Œuvre Groupe IDEC)	16
Figure 4 : Localisation des investigations	18
Figure 5 : Schéma conceptuel	26
Figure 6 : Modélisation du transfert des substances volatiles.....	29

Table des tableaux

Tableau 1 : Dispositions d'aménagement	8
Tableau 2 : Codification des prestations selon la norme NFX31-620-2	11
Tableau 3 : Sondages, piézomètres et piézairs	19
Tableau 4 : Résumé des voies d'exposition.....	20
Tableau 5 : Milieux d'échantillonnage retenus selon les substances	22
Tableau 6 : Substances et concentrations retenues dans les sols	25
Tableau 7 : Substances et concentrations retenues dans les gaz du sol.....	25
Tableau 9 : Paramètres d'exposition retenus dans l'étude	30
Tableau 9 : Risques sanitaires pour les employés du site	34
Tableau 10 : Comparaison des concentrations modélisées avec les valeurs de gestion	35
Tableau 11 : Résultats de l'analyse des incertitudes sur la hauteur du bâtiment	39
Tableau 12 : Résultats de l'analyse des incertitudes sur la ventilation.....	40
Tableau 13 : Dispositions d'aménagement	42

Table des annexes

Annexe I :	Méthodologie Générale
Annexe II :	Textes réglementaires et bibliographiques
Annexe III :	Intrusion de substances organiques dans les réseaux souterrains d'eau potable
Annexe IV :	Synthèse des données physico-chimiques
Annexe V :	Présentation et paramétrage du logiciel Modul'ERS
Annexe VI :	Synthèse des données toxicologiques et des VTR
Annexe VII :	Calculs de Risques Sanitaires

Résumé non technique

Dans le cadre du réaménagement de l'ancien site Bourrat, actuellement en friche et situé Route de Commelle Vernay sur la commune du Coteau (42). La société ALDI Immobilier a mandaté Antea Group pour la réalisation d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS), dans l'objectif d'étudier la compatibilité de l'aménagement envisagé (supermarché) avec la qualité des milieux observée au droit du site.

Cette étude fait suite aux différentes campagnes d'investigations réalisées par Antea Group depuis 2008.

Les investigations ont mis en évidence des sources potentielles de pollution telles que la présence :

- d'hydrocarbures (HCT, HAP, CAV-BTEX), de solvants chlorés (COHV), de métaux, de polychlorobiphényle (PCB), de cyanures et des dioxines et furanes dans les sols ;
- d'hydrocarbures (HCT, HAP, CAV-BTEX) et de solvants chlorés (COHV) dans les gaz du sol.

La voie d'exposition étudiée est l'inhalation de substances volatiles présentes dans les sols et gaz des sol au droit des espaces intérieurs et extérieurs.

Au regard de l'aménagement envisagé, les cibles étudiées sont les futurs employés.

Cette Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires indique que les niveaux de risque sont inférieurs aux seuils de risque recommandés dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués (rédigée par le Ministère chargé de l'Environnement, avril 2017).

L'état environnemental du site est donc compatible avec son usage envisagé.

Cette conclusion est établie en tenant compte des dispositions d'aménagement décrites dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Dispositions d'aménagement

ZONES CONCERNEES	DISPOSITIONS D'AMENAGEMENT
Bâtiment	Respect des hypothèses retenues pour les paramètres constructifs. Pour tout nouvel aménagement ou tout nouvel usage, il sera nécessaire de s'assurer que les modifications apportées ne remettent pas en cause les conclusions de cette étude.
Espaces extérieurs	<p>Absence de contact direct avec les terres en place : les superficies non bâties sont recouvertes de remblais sains en surface¹ ou minéralisées (asphalte ou autre type de revêtement). Dans le cas contraire, le contact direct avec les terres à nu devra faire l'objet d'investigations complémentaires adaptées à cette voie et d'un nouveau calcul de risque conforme à la méthodologie décrite dans les outils de gestion des sites (potentiellement) pollués, rédigée par le Ministère en charge de l'Environnement en avril 2017.</p> <p>Absence de jardins potagers et d'arbres fruitiers. Dans le cas contraire, l'ingestion de fruits et légumes autoproduits au droit du site devra faire l'objet d'investigations complémentaires adaptées à cette voie et d'un nouveau calcul de risque conforme à la méthodologie décrite dans les outils de gestion des sites (potentiellement) pollués, rédigée par le Ministère en charge de l'Environnement en avril 2017. A défaut, toute culture végétale à visée alimentaire devra être réalisée dans des terres d'apport saines².</p> <p>Absence de puits permettant l'utilisation des eaux souterraines de la nappe superficielle. Dans le cas contraire, les usages de l'eau issue de la nappe superficielle devront faire l'objet d'un nouveau calcul de risque conforme à la méthodologie décrite dans les outils de gestion des sites (potentiellement) pollués, rédigée par le Ministère en charge de l'Environnement en avril 2017.</p> <p>Passage de canalisations souterraines d'eau potable, notamment celles en polyéthylène, hors des zones d'impact résiduel. Dans le cas contraire, les canalisations souterraines situées au droit des zones d'impact résiduel devront être mises en place dans des remblais d'apport sains et/ou devront être de nature imperméable aux substances organiques (acier, fonte, matériau multicouches adapté). Si ces dispositions ne sont pas effectives, il conviendrait de s'assurer de l'absence d'impact sur l'eau de consommation du site.</p>

Il faut noter que tout changement concernant les caractéristiques environnementales du site (découverte d'une nouvelle source), le projet d'aménagement ou les scénarios d'exposition pris en considération est susceptible de modifier les conclusions de la présente étude.

¹ Pour les espaces paysagers : a minima 30 cm (après compactage) de terre saine afin de garantir la pérennité du recouvrement.

² Pour les potagers : a minima 50 cm (après compactage) et jusqu'à 1 m (selon une approche sécuritaire) de terre végétale saine avec un grillage avertisseur et un système de séparation physique placés entre les terres d'apport et les terres en place. Pour les arbres fruitiers, une fosse de terres propres, dont le volume sera adapté en fonction du système racinaire de chaque espèce, devra être réalisée. Un géotextile limitant le développement racinaire des arbres peut être envisagé.

1. Abréviations

AEI : Alimentation en Eau Industrielle	JE : Johnson & Ettinger
AEP : Alimentation en Eau Potable	LOAEL : Lowest-Observed-Adverse-Effect-Level
ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail	LQ : Limite de quantification
AP Arrêté Préfectoral	M.E.D.A.D : Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables
ARR Analyse des Risques Résiduels	MRL Minimal Risk Level
ARS Agence Régionale de Santé	MS : Matière Sèche
As : Arsenic	NAF : Facteur d'Atténuation Naturelle
ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry	NOAEL : No-Observed-Adverse-Effect-Level
B(a)P : Benzo(a)pyrène	Ni : Nickel
BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières	OEHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment
BTEX : Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes	OMS : Organisation Mondiale de la Santé
CAV : Composés Aromatiques Volatils	P : Poids corporel
Cd : Cadmium	Pb : Plomb
cDCE : cis-1,2-dichloroéthylène	PCB : Polychlorobiphényles
Ci Concentration au point d'exposition	PCE : Tétrachloroéthylène
CE : Concentration d'Exposition	QD : Quotient de Danger
CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer	Qij Quantité de milieu i administrée par la voie j
CMA : Concentration Maximale Admissible	RAIS : Risk Assessment Information System
CN : Cyanures	RBCA : Risk-Based Corrective Action
COHV : Composés Organiques Halogénés volatils	RDC : Rez-de-chaussée
COT : Carbone Organique Total	RDJ : Rez-de-jardin
Cr : Chrome	RfC : Reference Concentration
CV : Chlorure de Vinyle	RfD Reference Dose
Cu : Cuivre	RIVM : Institut National de Santé Publique et de l'Environnement, Hollande
DJA : Dose Journalière Admissible	TCE : Trichloroéthylène
DJE : Dose Journalière d'Exposition	Tm temps moyen de prise en compte de l'apparition possible d'un effet néfaste pour la santé
EC : Equivalent Carbone	TPH : Total Petroleum Hydrocarbons
EFSA : Autorité Européenne de Sécurité des Aliments	TPHCWG : Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group
EQRS : Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires	UE : Union Européenne
ERI : Excès de Risque Individuel	US-EPA : United States - Environmental Protection Agency
ERP : Etablissement Recevant du Public	VGAI : Valeurs Guides de qualité de l'Air Intérieur
ERU : Excès de Risque Unitaire	VTR : Valeurs Toxicologiques de Référence
ETM : Eléments Traces Métalliques	Zn: Zinc
ETBE : Ethyl TertioButyl Ether	
FE : Fréquence d'Exposition annuelle	
FET : Facteur d'équivalence toxique	
Foc : Fraction de carbone organique	
HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	
HAS Haute Autorité de Santé	
HCSP : Haut Conseil de la Santé Publique	
HCT : Hydrocarbures Totaux	
Hg : Mercure	
IEM : Interprétation de l'Etat des Milieux	
INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques	

2. Contexte et objectif de l'étude

Dans le cadre du réaménagement de l'ancien site Bourrat, actuellement en friche et situé Route de Commelle Vernay sur la commune du Coteau (42). La société ALDI Immobilier a mandaté Antea Group pour la réalisation d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS), dans l'objectif d'étudier la compatibilité de l'aménagement envisagé (supermarché) avec la qualité des milieux observée au droit du site.

Cette étude fait suite aux différentes campagnes d'investigations réalisées depuis 2008.

L'objet d'une étude de risque est de produire une analyse quantitative des risques pour la santé humaine associés aux expositions à certaines substances chimiques, expositions définies selon l'usage, actuel ou prévisible, du site considéré.

Le risque est le résultat de l'existence concomitante de trois facteurs :

- **une source** de pollution constituée d'une ou plusieurs substances toxiques,
- **un vecteur** de transport et de dispersion des polluants, c'est à dire un milieu par lequel transite le polluant (eau de surface, eau souterraine, sol, air), et
- **une cible**, le récepteur du polluant (ici l'homme, en tant qu'utilisateur du site).

Les objectifs spécifiques de l'étude de risque sont :

- de quantifier les risques associés aux effets à seuil non cancérogènes et cancérogènes non génotoxiques (Quotient de Danger ou QD), et ceux associés aux effets cancérogènes génotoxiques (Excès de Risque Individuel ou ERI),
- de recommander, si nécessaire, des mesures compensatoires (dépollution, restrictions d'usage, mesures constructives, surveillance) qui pourront, le cas échéant, être intégrées à la mise en œuvre d'un plan de gestion.

3. Méthodologie générale

3.1. Textes de références

La méthodologie appliquée pour la réalisation de la mission répond :

- à la note du 19 avril 2017 et la mise à jour de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 éditée par le Ministère en charge de l'Environnement,
- aux exigences et préconisations des normes NF X31-620, révision de décembre 2021, « Qualité du sol – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués »,
- aux exigences du référentiel de certification de service, révision 7 de février 2022, des prestataires dans le domaine des sites et sols pollués.

3.2. Description de la mission

La présente étude entre dans le champ d'application de la norme NF X 31-620-2 applicable aux « Prestations de service relatives aux sites et sols pollués - Partie 2 : Exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle » et codifiée (cf. Tableau 2) :

Notre prestation, conformément à la méthodologie et aux normes précitées, s'applique à la gestion des pollutions chimiques. Elle ne s'applique pas à la gestion des pollutions par des substances radioactives, par des agents pathogènes ou infectieux, par l'amiante ou par des engins pyrotechniques.

Tableau 2 : Codification des prestations selon la norme NFX31-620-2

Codification	Prestations
A320	Analyse des enjeux sanitaires

Le calcul de risque sanitaire a pour but de présenter de manière explicite, aux différentes parties, les éléments d'analyse sur lesquels la prise de décision pourra s'appuyer. A ce titre, cette étude est un outil d'analyse au service de la politique de gestion des sites et sols pollués, elle doit respecter les principes suivants :

- le principe de prudence scientifique,
- le principe de proportionnalité,
- le principe de spécificité,
- le principe de transparence.

La démarche d'évaluation des risques a été développée par l'Académie américaine des Sciences au début des années 1980 ; elle a ensuite été reprise par l'Union Européenne. Selon cette démarche, l'évaluation des risques liés aux substances chimiques se décompose en quatre étapes :

- **l'identification des dangers** (sur la base du schéma conceptuel : sources potentielles de contamination, vecteurs de transfert, récepteurs) ;
- **l'évaluation de la toxicité** englobe l'identification du potentiel dangereux (ou détermination des effets indésirables que les substances chimiques sont intrinsèquement capables de provoquer chez l'homme) et **l'évaluation des relations dose-effet** (ou estimation du rapport entre le niveau d'exposition, ou la dose, et l'incidence et la gravité des effets) ;

- **l'estimation de l'exposition** consiste à quantifier l'exposition des populations (les concentrations ou les doses) sur la base du schéma conceptuel d'exposition établi, récapitulant l'ensemble des voies de transfert et d'exposition pour les populations cibles ;
- **la caractérisation du risque** est la synthèse de l'évaluation des risques, et quantifie le risque lié aux substances chimiques, en présentant les résultats sous une forme exploitable, accompagnée d'une évaluation des incertitudes relevées tout au long de l'étude.

Un descriptif technique des différentes étapes mises en œuvre dans l'étude est présenté en **Annexe I**.

Les niveaux de risque acceptables sont ceux usuellement retenus au niveau international par les organismes en charge de la protection de la santé. Ils sont indiqués dans la méthodologie nationale de 2017 ainsi que dans le guide « La démarche d'Analyse des Risques Résiduels » (MEDDE, 2007).

Une revue des textes réglementaire et bibliographiques utilisés dans le cadre de l'EQRS est également présentée en **Annexe II**.

4. Présentation de la zone d'étude

4.1. Localisation

La zone d'étude est localisée Route de Commelle Vernay à Le Coteau (42). Elle s'étend sur une superficie de 7 072 m² globalement plane avec une altitude comprise entre 278 m et 279 m NGF, et située sur les parcelles cadastrales n°217 et n°547 de la section AP.

La zone d'étude est actuellement close et inoccupée, et correspond à une friche tout comme l'intégralité de la surface des parcelles AP 217 et AP 547.



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (source : Géoportail)

4.2. Rapports environnementaux à disposition

Le terrain étudié a fait l'objet des études environnementales suivantes :

- Le diagnostic environnemental, Ancien site BOURRAT, Le Coteau (Loire), rapport n°49786/A de mai 2008 ;
- les rapports d'étude historique et documentaire n°116848/A du 22/04/2022 et de diagnostic environnemental n°118746/A du 05/08/2022 rédigés par Antea Group, et ciblés sur l'ensemble des parcelles AP 217 et AP 547.

4.3. Contexte historique

Les parcelles sur lesquelles est située la zone d'étude comprenaient autrefois les activités et installations suivantes :

- AP 217 : la scierie Bourrat au début du XX^{ème} siècle, puis divers locataires dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle (matériel de plomberie, entreprise de transport, négoce de produits textiles, etc.). Une chaufferie, une cuve à fioul aérienne et une cuve enterrée à hydrocarbures étaient également présentes sur cette parcelle. Les bâtiments ont tous été démolis au début des années 2010 ;
- Parcelle AP 547 : propriété de la SNCF, cette parcelle n'a jamais accueilli de bâtiments. Présence de voies ferrées dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle, démantelées dans les années 1990 à 2000. Une activité de ferrailage se développe principalement au centre et dans la partie sud-est de la parcelle entre 1965 et 1985 environ, et a fait l'objet d'un récépissé de déclaration en 1969 (site BASIAS RHA4202883 ; Société Produits Métallurgiques Roannais). Une ou plusieurs cuves enterrées d'huiles usagées seraient présentes en partie ouest de la parcelle, et des zones de stockage et de brûlage ont été identifiées vers le centre et en partie sud-est de la parcelle.

4.4. Contexte environnemental

4.4.1. Contexte géologique

La zone d'étude est située au sein des *formations alluviales anciennes indifférenciées (sables et graviers)* qui sont principalement constituées de limons sableux et de graves sableuses sur environ 10 mètres de profondeur.

La lithologie rencontrée au droit de la zone d'étude, en s'appuyant sur le diagnostic environnemental mené en 2022 par Antea Group, est la suivante :

- 0 – 0,1 à 0,2 m : terre végétale ;
- 0,1/0,2 – 0,4 à 0,6 m : remblais constitués de sable à graviers et galets. L'épaisseur des remblais s'étend jusqu'à 2 m dans la partie sud de la zone d'étude, au droit de la parcelle AN 217 ;
- au-delà de 0,6 / 2,5 m : terrain naturel composé de sable et de sable limoneux à graviers et galets).

4.4.2. Contexte hydrologique et hydrogéologique

Cours d'eau à proximité – Hydrologie

Le cours d'eau le plus proche est le fleuve Loire localisé à environ 340 m à l'ouest du site, en aval hydraulique du site. La Loire s'écoule en direction du nord.

Un autre cours d'eau (rivière Le Rhins) est présent à environ 700 m au nord-est du site, en amont hydraulique. Le Rhins s'écoule en direction du nord-ouest et se jette dans la Loire un peu au nord de Roanne.

Hydrogéologie

Le site est concerné par la nappe des Calcaires et sables du bassin tertiaire roannais (FRGG046), qui se développe dans les alluvions sablo-graveleuses. La profondeur de la nappe a été mesurée lors du diagnostic environnemental entre 1,5 et 2 m par rapport à la surface. Le sens d'écoulement des eaux souterraines est évalué vers le nord/ nord-ouest.

4.5. Projet d'aménagement envisagé et usage envisagé

Les caractéristiques principales qui ont été communiquées sont les suivantes :

- construction d'un bâtiment de 1 480 m² d'emprise au sol environ, calé à la cote altimétrique de 278,65 m NGF ;
- réalisation de places de stationnement VL et d'un quai de chargement / déchargement PL dont le niveau-bas sera supposé situé 1,2 m sous le niveau de la plateforme générale du bâtiment, soit environ à la cote 277,45 m NGF. Compte tenu de la topographie du site, les terrassements induits seront en déblai/remblai sur une hauteur variable de 0 à 0,5 m environ.

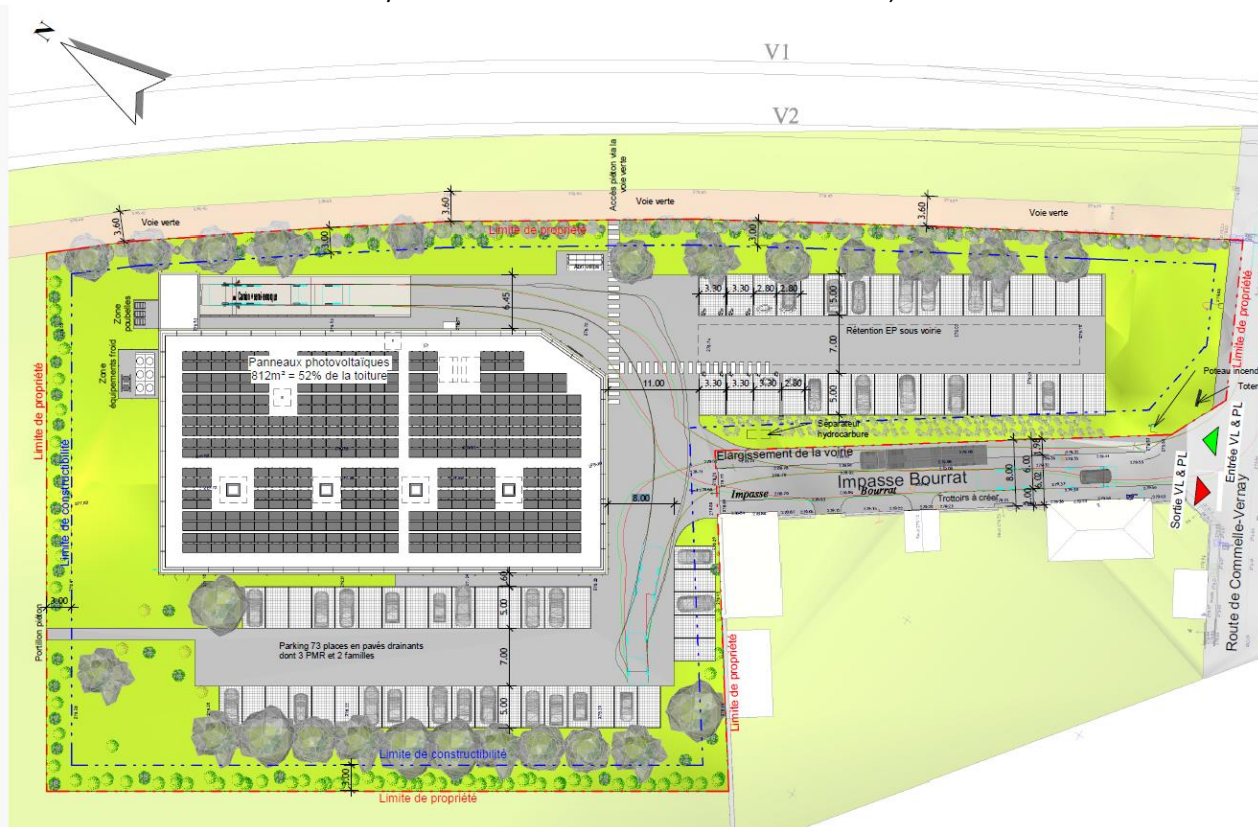


Figure 2 : Plan de masse du projet (source : Maître d'Œuvre Groupe IDEC)



Figure 3 : Vue 3D du projet (source : Maître d'Œuvre Groupe IDEC)

5. Caractérisation de l'exposition

Les résultats de cette étude sont élaborés en l'état actuel des connaissances scientifiques tant du point de vue chimique, géologique que toxicologique (Juillet 2024).

La caractérisation de l'exposition s'établit en fonction des trois composantes d'un risque :

- une source de pollution,
- un transfert, c'est-à-dire un milieu par lequel transite le polluant
- une cible.

Ces trois composantes sont détaillées dans les chapitres suivants.

Enfin, un schéma conceptuel a été établi en vue de synthétiser les 3 composantes retenues dans cette étude.

5.1. Caractérisation des sources de pollution identifiées sur le site

Synthèse des données disponibles sur les sols³ :

2 sondages en 2008, 2 sondages en 2010 et 10 sondages en 2022 ont été réalisés jusqu'à 2,2 m de profondeur.

Les résultats d'analyses mettent en évidence les teneurs maximales suivantes :

- Hydrocarbures Volatils C₅-C₁₀ : seule la fraction à 10 atomes de carbone C₁₀ a été quantifiée : 3,4 mg/kg au droit de S28/0,3-1,5 ;
- Indice Hydrocarbures C₁₀-C₄₀ : 1 900 mg/kg au droit de S21/0-0,4 dont 55 mg/kg en fractions volatiles C₁₀-C₁₆ ;
- CAV : 0,43 mg/kg au droit de S18/0,1-0,5 ;
- COHV : 0,11 mg/kg en tétrachloroéthylène au droit de S18/0,1-0,5. Il est à noter que cette teneur est proche de la limite de quantification du laboratoire ;
- HAP : 27,8 mg/kg au droit de S18/0,1-0,5 ;
- Métaux dont 0,9 mg/kg en mercure au droit de S20/0,1-0,5 ;
- PCB : 0,4 mg/kg au droit de S19/0,1-0,6 ;
- Dioxines et furanes : 9,9 ng/kg au droit de S23/0-0,2 (PCDD/F-TEQ (OMS 2005) incl. ½ LOQ) ;
- Cyanures totaux : 2,1 mg/kg au droit de S22/0,1-0,6 (les cyanures libres (volatils) n'ont pas été analysés). Aussi, la teneur en cyanures totaux sera donc prise en compte dans la modélisation pour l'inhalation d'air (donnée pénalisante).

Synthèse des données disponibles sur les eaux souterraines :

1 piézomètre PZA (crépiné entre 1,5 et 7 m) a été réalisé et prélevé en 2022.

Les résultats d'analyses mettent en évidence des concentrations en COHV, HCT, HAP et CAV inférieures aux limites de quantification du laboratoire.

³ Les concentrations observées dans les sols sont exprimées en « mg/kg MS ». Néanmoins, pour faciliter la lecture, l'unité sera indiquée sous la forme « mg/kg » dans la suite du document.

Synthèse des données disponibles sur les gaz du sol :

3 piézairs ont été réalisés en prélevés en juillet 2022. Seul le Piézair PZA7 a pu être prélevé. En effet, les autres ouvrages étaient en eau (profondeur de la nappe de l'ordre d'1 m à l'été 2022).

Les résultats d'analyses mettent en évidence les concentrations maximales suivantes :

- Indice Hydrocarbures Aromatiques C₆-C₁₆ : 334 µg/m³ ;
- Indice Hydrocarbures Aliphatiques C₅-C₁₆ : 786 µg/m³ ;
- CAV : 334 µg/m³ dont 3,6 µg/m³ en benzène ;
- COHV : 34, 3 µg/m³ en tétrachloroéthylène.

Le mercure présente des concentrations inférieures au seuil de quantification du laboratoire.

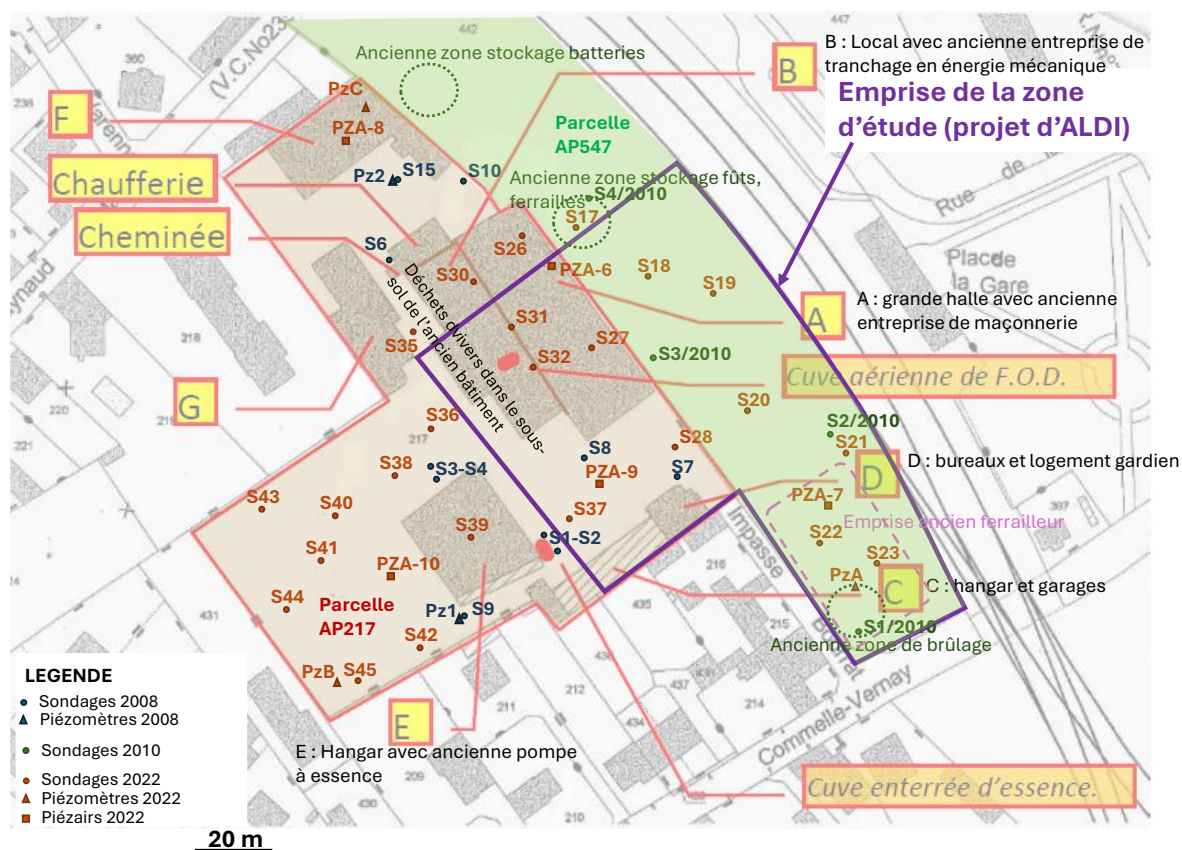


Figure 4 : Localisation des investigations

Au regard des investigations réalisées dans le cadre du projet d'aménagement, les principales problématiques sanitaires sont liées aux présences :

- des Hydrocarbures (Hydrocarbures totaux (HCT), Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et Composés Aromatiques Volatils (CAV-BTEX)), solvants chlorés (COHV), métaux, polychlorobiphényles (PCB) et dioxines et furanes dans les sols ;
- des Hydrocarbures (HCT, HAP, CAV-BTEX) et solvants chlorés (COHV) dans les gaz du sol.

Les sondages, piézomètres et piézairs considérés selon la zone étudiée sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Sondages, piézomètres et piézairs

Sondages sol	Piézomètres « eau »	Piézairs/Subslabs
2008 : S7 et S8 2010 : S2 et S3 2022 : S18 à S23, S27, S28, S31, S32 et S37	PZA	PZA7 et PZA8

5.2. Identification des voies d'exposition

5.2.1. Contact direct avec les sols en place

D'après le projet d'aménagement, les espaces extérieurs sont revêtus de matériaux artificiels tels que de l'asphalte ou recouverts avec des terres d'apport saines (terre végétale pour les espaces verts). Ainsi, aucun contact direct avec les sols n'est envisagé.

5.2.2. Contact direct et/ou indirect avec les eaux souterraines

Considérant que les usagers du site n'auront aucun contact direct avec les eaux souterraines (absence de puits privatif sur le site), l'ingestion d'eau souterraine n'est pas retenue en tant que voie d'exposition.

5.2.3. Contact direct et/ou indirect avec les eaux superficielles

Considérant l'absence d'eau superficielle (ruisseau, étang, etc.) au droit du site, le contact direct et/ou indirect avec les eaux superficielles n'est pas retenu en tant que voie d'exposition.

5.2.4. Inhalation de substances volatiles présentes dans les sols et/ou les eaux souterraines

Considérant la possibilité de volatilisation de substances chimiques présentes dans les sols et des eaux souterraines vers l'air intérieur du bâtiment et vers l'air extérieur, l'exposition des futurs usagers du site par inhalation de ces substances volatiles est retenue.

Des mesures de gaz du sol ont donc été réalisées afin de caractériser, de façon plus représentative, le dégazage des substances présentes dans les sols et les eaux souterraines.

5.2.5. Ingestion de végétaux autoproduits

Considérant la nature paysagère des espaces extérieurs, et donc l'absence de jardins potagers et d'arbres fruitiers au droit des futurs espaces verts communs, l'ingestion de végétaux autoproduits n'est pas une voie d'exposition retenue sur cette zone.

5.2.6. Ingestion d'eau potable issue des réseaux souterrains

Sous l'hypothèse de l'implantation des réseaux souterrains d'eau potable dans des zones non impactées, la voie d'exposition liée à l'éventuelle perméation de substances chimiques présentes dans les sols à travers les parois des canalisations souterraines n'a pas été prise en compte.

A titre informatif, les valeurs limites au-dessus desquelles il est recommandé d'apporter une attention particulière à la sélection du matériau constituant la canalisation sont présentées en **Annexe III**⁴.

5.2.7. Résumé

Le tableau suivant synthétise les voies d'exposition évaluées dans cette étude de risque sanitaire.

Tableau 4 : Résumé des voies d'exposition

Voies d'exposition potentielles	Pris en compte, ou non, dans l'étude	Commentaires
Ingestion de particules de sol	non	Les espaces extérieurs sont revêtus de matériaux artificiels tels que de l'asphalte, ou recouverts avec des terres d'apport saines (terre végétale).
Inhalation de poussières sur site	non	
Contact cutané avec les sols	non	
Inhalation de substances volatiles à partir des sols, des gaz du sol	oui	Les mesures réalisées dans les gaz du sol permettent d'estimer de façon plus réaliste, d'une part, le dégazage des substances volatiles à partir des sols, et potentiellement des eaux souterraines, et d'autre part, l'exposition des usagers.
Ingestion d'eau souterraine contaminée par infiltration à travers les sols	non	Absence de puits au droit du site.
Contact direct ou indirect avec les eaux superficielles	non	Absence d'eaux superficielles.
Ingestion de végétaux autoproduits sur site	non	Absence de jardin potager ou arbre fruitier au droit du site.
Ingestion d'eau potable issue des réseaux souterrains	non	Implantation des réseaux souterrains dans des zones non impactées. Dans le cas contraire, les canalisations souterraines situées au droit des zones polluées devront être mises en place dans des remblais d'apport sains et/ou devront être de nature imperméable aux substances organiques (acier, fonte, matériau multicouches adapté).

⁴ Recommandations issues du guide BRGM/RP-63675-FR d'août 2014, « Guide relatif aux mesures constructives utilisables dans le domaine des sites et sols pollués ».

5.3. Cibles retenues

L'aménagement projeté sur le site est la construction d'un supermarché.

Au regard du futur aménagement, les cibles étudiées sont les futurs employés.

Ces cibles sont les plus sensibles en termes d'exposition et donc de risque sanitaire. L'étude couvre ainsi les autres cibles qui pourraient être présentes sur le site mais qui sont moins exposées, du fait d'une durée d'exposition plus faible (usagers adultes et enfants du supermarché).

5.4. Sélection des substances et concentrations associées

Les limites de quantification analytiques ont été choisies de manière pertinente au regard des objectifs de l'étude, ainsi, l'ensemble des substances quantifiées par le laboratoire d'analyse a été sélectionné.

D'une façon générale, les substances retenues pour l'évaluation quantitative des risques répondent à certains critères⁵:

- toute substance dont les données disponibles (notamment physico-chimiques et toxicologiques) sont d'une qualité suffisante pour être exploitées en analyse des risques (critères définis par la circulaire DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014) ;
- toute substance dont la concentration est supérieure à la limite de quantification dans les sols, les eaux souterraines et/ou les gaz du sol, selon les voies d'exposition étudiées ;
- **pour l'inhalation de vapeurs de substances volatiles**, dans une démarche sécuritaire, la plupart des substances présentant des données physico-chimiques relatives à sa volatilité (pression de vapeur, constante de Henry). Ainsi, l'ensemble des substances organiques est retenu, incluant les HAP possédant jusqu'à 4 cycles aromatiques (hors PCB selon justification ci-après). En revanche, parmi les ETM, seul le mercure est considéré comme volatil.

Pour chaque substance considérée, les mesures réalisées dans les gaz du sol ont été privilégiées car elles sont un reflet plus réaliste du dégazage des substances volatiles présentes dans les sols et les eaux souterraines. Pour les substances quantifiées dans les sols, mais non quantifiées dans les gaz du sol, il a été considéré, dans une hypothèse sécuritaire, une concentration dans les gaz du sol égale à la limite de quantification du laboratoire.

Toutefois, une estimation des concentrations dans les gaz du sol a été réalisée à partir des concentrations mesurées dans les sols dans les cas suivants :

- pour les substances observées au droit du site mais n'ayant pas bénéficié de mesures dans les gaz du sol (Dioxines et furannes, cyanures et HAP (hors naphthalène) : la concentration dans les sols est donc prise en compte dans cette étude ;
- lorsqu'il n'y a pas de piézair au droit des concentrations maximales observées dans les sols (cas du naphthalène, du mercure, des hydrocarbures C₅-C₁₀, du toluène et des m,p Xylènes). Dans une démarche sécuritaire, une estimation des concentrations dans les gaz du sol a donc été réalisée pour ces substances à partir des résultats obtenus au droit du piézair PZA7 (réalisé à

⁵ Cf. Annexe « Méthodologie Générale » du présent rapport, 3-Sélection des substances.

proximité des sondages S21 et S22). En effet, les teneurs en composés volatiles mesurées dans les sols sont toutes du même ordre de grandeur et/ou proches des limites de quantification du laboratoire :

- pour le toluène, la concentration maximale dans les sols est de 0,22 mg/kg en S18. Cette concentration est proche de la limite de quantification du laboratoire (0,1 mg/kg). Le toluène n'a pas été détecté dans les sols au droit de S21 et S22. Afin d'être sécuritaire, la concentration obtenue en toluène au droit de Pzair7 a été majorée selon le principe de proportionnalité pour obtenir une valeur maximale de 0,22 µg/m³, concentration jugée représentative du dégazage potentiel de S18 ;
- Pour les m,p xylènes, la démarche est identique : la teneur maximale mesurée est de 0,22 mg/kg au droit de S18. Afin d'être sécuritaire, la concentration obtenue en xylènes au droit de Pzair7 a été majorée selon le principe de proportionnalité pour obtenir une valeur maximale de 0,26 µg/m³, concentration jugée représentative du dégazage potentiel de S18 ;
- Pour les hydrocarbures C₅-C₁₀, la démarche est identique. La teneur maximale mesurée est de 3,4 mg/kg au droit de S18 (teneur proche de la limite de quantification du laboratoire). Les C₅-C₁₀ n'ont pas été détectés au droit de S22. Les concentrations obtenues en C₅-C₁₀ (aliphatiques et aromatiques) au droit de Pzair 7 ont été donc majorées selon le principe de proportionnalité et sont présentées dans le tableau 7 ;
- pour le mercure, la démarche est identique. La teneur maximale dans les sols est de 0,9 mg/kg en S20 (et de 0,3 mg/kg au droit de S22). La concentration obtenue en mercure au droit de Pzair7 a donc été majorée (1,3x10⁻⁴ µg/m³) et présentée dans le tableau 7.
- pour le naphtalène, la teneur maximale mesurée est de 0,12 mg/kg au droit de S18. Le naphtalène n'est pas détecté au droit de S21 et S22 (<0,05 mg/kg). La concentration obtenue en naphtalène a été également majorée selon le principe de proportionnalité (4,0x10⁻³ µg/m³) et présentée dans le tableau 7. Il est à noter que le naphtalène n'a jamais été détecté dans les gaz du sol pour les piézaires implantés au droit du site mais hors périmètre de l'étude. Les concentrations dans les sols sont comprises entre la LQ et 0,57 mg/kg. La concentration majorée dans les gaz du sol prise en compte dans cette étude est donc jugée comme représentative.

Dans chaque milieu retenu et pour chaque composé, Antea Group a retenu la concentration maximale observée ou majoré parmi les données disponibles sur les sols restant en place.

Tableau 5 : Milieux d'échantillonnage retenus selon les substances

Famille de substances	Résultats des analyses			Milieu retenu
	SOLS	EAUX SOUTERRAINES	GAZ DU SOL	
HAP	>LQ	<LQ	<LQ	Gaz du sols (LQ)
HCT	>LQ	>LQ	>LQ	Gaz du sols
BTEX	>LQ	>LQ	>LQ	Gaz du sols
COHV	<LQ	>LQ	>LQ	Gaz du sols
Mercure	<LQ	<LQ	na	Non retenu
Dioxines et furanes	>LQ	na	na	Sols
Cyanures	>LQ	na	na	Sols

en gras : milieu retenu

na : substance non analysée

< LQ : substance non quantifiée

> LQ : substance quantifiée

Les éléments suivants ont, par ailleurs, été pris en compte :

Pour les hydrocarbures totaux :

Un élément important pour la réalisation de calculs de risque dans le cas d'une pollution par des hydrocarbures (HCT) est l'identification du type de produit pétrolier en présence, et la détermination de la répartition des fractions hydrocarbonées aromatiques et aliphatiques qui le composent. En effet, il n'existe pas, dans les bases de données spécialisées (US-EPA, ATSDR, OEHHA, etc.) de Valeur Toxicologique de Référence (VTR) correspondant aux hydrocarbures totaux (Indice HCT).

Le groupe de travail TPHCWG⁶ a défini, pour chaque fraction hydrocarbonée (fractions aliphatiques et aromatiques >EC₆-EC₈, >EC₈-EC₁₀, >EC₁₀-EC₁₂, >EC₁₂-EC₁₆...)⁷, une VTR et des paramètres physico-chimiques spécifiques. Pour une exposition par inhalation, seuls les hydrocarbures présentant un nombre d'équivalents-carbone inférieur à 16 ont été pris en compte, car ce sont les seuls considérés volatils et bénéficiant d'une VTR pour la voie respiratoire.

Dans les échantillons de gaz du sol, les concentrations en hydrocarbures totaux ont été analysées selon le découpage suivant : >EC₆-EC₈, >EC₈-EC₁₀, >EC₁₀-EC₁₂, >EC₁₂-EC₁₆ avec distinction entre les hydrocarbures aromatiques et aliphatiques. Les paramètres physico-chimiques et VTR proposés par le TPHWG sont donc appliquées aux fractions correspondantes.

Pour les BTEX :

Le benzène et le toluène correspondant respectivement aux hydrocarbures aromatiques EC₆-EC₇ et EC₇-EC₈, les résultats de l'analyse TPH n'ont pas été retenus sur ces deux fractions afin d'éviter toute redondance dans les calculs de risque.

L'analyse des xylènes ne faisant pas la différenciation entre les méta- et para-xylènes, la concentration retenue pour les m,p xylènes a été appliquée aux 2 substances. L'isomère présentant l'indice de risque le plus élevé a donc été retenu pour le calcul de risque.

Pour les HAP :

Les propriétés physiques des HAP dépendent de leur masse moléculaire, de leur pression de vapeur saturante, de leur structure chimique et des conditions environnementales et climatiques (température, pression, humidité) du milieu dans lequel ils se trouvent. La répartition des HAP entre la phase gazeuse et la phase particulaire dans l'atmosphère est déterminée par la pression de vapeur saturante des composés et la température ambiante. En effet, les HAP les plus légers et dont les tensions de vapeur sont élevées, seront présents en majorité dans la phase gazeuse alors que les HAP les plus lourds, dont les pressions de vapeur saturante sont plus faibles, seront plutôt majoritairement présents dans la phase particulaire⁸.

⁶ Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group, Human Health Risk-Based Evaluation of Petroleum Release Sites: Implementing the Working Group Approach, Volume 5, June 1999.

⁷ EC : équivalent-carbone. Comme recommandé par le TPHCWG, les fractions sont définies par un « équivalent-carbone (EC) » et non pas par le nombre de carbones contenus dans le composé. Cet « équivalent-carbone » est calculé sur la base du point d'ébullition et du temps de rétention sur chromatographie gazeuse de chaque composé. Par exemple, l'EC du benzène (6 carbones) est 6,5 car son point d'ébullition et son temps de rétention sont approximativement situés entre ceux du n-hexane (6 carbones) et du n-heptane (7 carbones).

⁸ INERIS - Complément au guide sur la surveillance dans l'air autour des installations classées - DRC - 16 - 158882 - 10272A

Ainsi, on considère généralement que les HAP possédant moins de 3 cycles aromatiques sont majoritairement présent sous forme gazeuse et que les HAP présentant plus de 4 cycles aromatiques sont principalement présents sous formes particulaires. Entre les deux, pour les HAP possédant 3 à 4 cycles aromatiques, la répartition de ces composés peut se faire à la fois en phase gazeuse et particulaire.

Il en découle, que les HAP pris en compte pour la voie d'inhalation de vapeurs seront uniquement ceux possédant jusqu'à 4 cycles aromatiques avec un équivalent carbone inférieur à 16, c'est-à-dire : naphthalène, acénaphthylène, acénaphène, fluorène, phénanthrène, anthracène, fluoranthène et pyrène.

Cas de l'Ethyltoluène :

N'ayant ni données physico chimique disponibles, ni VTR spécifique, l'Ethyltoluène a été associé à la fraction hydrocarbonée aromatique >EC₈-EC₁₀ des TPH.

Pour les dioxines et furanes :

Parmi les dioxines et furanes, les congénères chlorés de type (2,3,7,8) sont les plus toxiques. Aussi, des facteurs d'équivalence toxique (FET) ont été établis pour évaluer la toxicité d'un mélange de dioxines et furanes par rapport au congénère de référence 2,3,7,8-TCDD, les VTR de la 2,3,7,8-TCDD étant ensuite appliqué à la somme des composés exprimée en équivalent toxique. Plusieurs séries de facteurs d'équivalence existent, nous avons considéré ici ceux établis par l'OMS en 2005.

De plus, lorsqu'un congénère n'a pas été quantifié, la limite de quantification du laboratoire a été retenue dans une démarche sécuritaire.

Ainsi, les concentrations présentées ci-après correspondent donc à la somme des dioxines et furanes exprimée en équivalent toxique « OMS 2005 PCDD/F- TEQ avec LQ » (ou « WHO-PCDD/F-TEQ Upper Bound ») fourni par le laboratoire.

Les substances et concentrations retenues dans les calculs de risque sont présentées dans les tableaux suivants :

Tableau 6 : Substances et concentrations retenues dans les sols

Substances	Concentrations mesurées ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Echantillon de référence
Acénaphthylène	5,00E-01	S18/0,1-0,5
Acénaphène	1,40E-01	S18/0,1-0,5
Anthracène	9,80E-01	S18/0,1-0,5
Cyanure (sel de cyanure et cyanure d'hydrogène)	2,10E+00	S22/0,1-0,6
Dioxine (2.3.7.8-tcdd)	9,90E-06	S23/0-0,2
Fluoranthène	4,80E+00	S18/0,1-0,5
Fluorène	1,80E-01	S18/0,1-0,5
Phénanthrène	2,50E+00	S18/0,1-0,5
Pyrène	3,70E+00	S18/0,1-0,5

Tableau 7 : Substances et concentrations retenues dans les gaz du sol

Substances	Concentrations mesurées/recalculées ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Aliphatique C>05 C06	9,5E-02*
Aliphatique C>06 C08	1,9E-01
Aliphatique C>08 C10	1,9E-01*
Aliphatique C>10 C12	6,4E-01
Aliphatique C>12 C16	3,1E-01
Aromatique C>08 C10	5,5E-01*
Aromatique C>10 C12	1,7E-02*
Aromatique C>12 C16	3,3E-02*
Benzène	3,6E-03
Cumène (Isopropylbenzène)	1,7E-03
Ethylbenzène	2,1E-02
Mercuré	1,3E-04*
Mésitylène (135 triméthylbenzène)	6,4E-03
Naphtalène	4,0E-03*
Pseudocumène (124 triméthylbenzène)	3,0E-02
Toluène	2,2E-01*
Tétrachloroéthylène	3,4E-02
Xylène. m-	2,6E-01*
Xylène. o-	2,7E-02
Xylène. p-	2,6E-01*

*Concentrations recalculées

Les caractéristiques physico-chimiques des substances retenues pour l'évaluation des risques ont été recherchées et sont présentées en **Annexe IV**.

5.5. Schéma conceptuel

Un schéma conceptuel résumant les scénarios d'exposition retenus est présenté dans la figure ci-dessous.

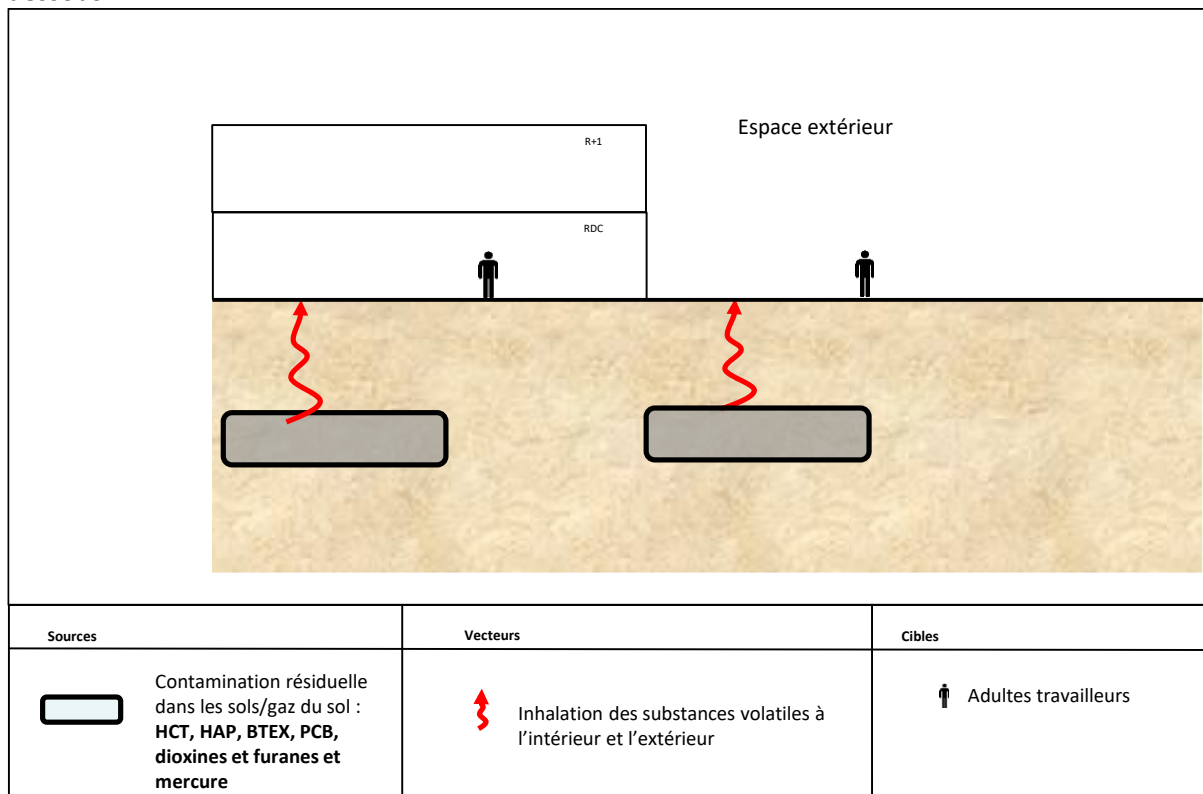


Figure 5 : Schéma conceptuel

5.6. Quantification de l'exposition

Cette section décrit les modèles d'exposition ainsi que les paramètres retenus pour évaluer les doses d'exposition pour les cibles considérées.

5.6.1. Choix du modèle d'exposition

Les calculs de risques sont réalisés à l'aide du logiciel MODUL'ERS conçu par l'INERIS. Ce logiciel, qui permet d'estimer les niveaux d'exposition des cibles étudiées et les niveaux de risque sanitaire associés, est basé sur l'ensemble des équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle fourni par l'INERIS et le guide de l'utilisateur Modul'ERS⁹.

Dans le cadre de cette étude, le logiciel a fait appel aux modules suivants :

- module « conc gaz air intérieur Volasoil » qui est basé sur une approche dérivée du modèle Volasoil du RIVM (institut néerlandais de santé publique et de l'environnement), permettant le calcul des concentrations attendues dans l'endroit où a lieu l'émission (sous-sol ou pièces à vivre selon les cas) et dans le lieu de vie, si le bâtiment comporte un sous-sol, à partir d'une source nappe ou sol ;
- module « conc gaz air extérieur » qui permet le calcul du flux d'émission à partir d'une source nappe ou sol et l'estimation des concentrations attendues dans l'air extérieur (voir équation du document INERIS-DRC-08-94882-16675B) ;
- module « Niveaux_Exposition_Risque » qui permet de calculer, d'une part les niveaux d'exposition chroniques pour les différentes classes d'âge définies par l'utilisateur et d'autre part, les niveaux de risques chroniques pour des effets cancérogènes et non cancérogènes.

Le logiciel Modul'ERS utilisé est présenté en **Annexe V**.

5.6.1.1. Caractéristiques de la modélisation

Dans les modèles de transfert, il faut souligner que les mesures dans les gaz du sol permettent de s'affranchir d'une étape dans le calcul de risque, consistant à estimer les concentrations des gaz du sol à partir des concentrations mesurées dans les sols et dans les eaux souterraines et nécessitant certains paramètres d'entrée comportant des incertitudes. Cette approche permet d'évaluer de façon plus réaliste l'exposition des futurs usagers du site.

5.6.1.2. Paramètres d'entrée du modèle

Les équations de modélisation nécessitent l'utilisation de différents paramètres propres aux bâtiments, aux caractéristiques des sols et des matériaux sous-jacents et aux différentes substances présentes dans les sols et/ou les gaz du sol.

⁹ INERIS, Rapport d'étude n°DRC-08-94882-16675C, 01/08/2010, « Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle »

INERIS, Rapport d'étude n° 14-141968-00696A, Mars 2014, Guide de l'utilisateur Modul'ERS

L'ensemble des paramètres d'entrée du modèle est présenté en **Annexe V**.

- Air intérieur

Les transferts des substances volatiles ont été modélisés selon les principes suivants :

- la pollution a été positionnée au contact de la dalle de fond du bâtiment ;
- au vu des observations de terrain réalisées, le type de sol retenu au droit du futur bâtiment est un sol sableux ;
- en l'absence de valeurs propres au site, un taux de renouvellement d'air est usuellement fixé à 0,8 vol/h pour des bâtiments à usage tertiaire (bureaux) ;
- le taux de transfert considéré entre le RDC et les étages du bâtiment est de 100%.

- Air extérieur

Les transferts des substances volatiles ont été modélisés selon les principes suivants :

- au vu des observations de terrain réalisées, le type de sol retenu au droit des espaces extérieurs est un sol sableux ;
- modélisation d'un dégazage vers l'air extérieur, en tenant compte d'une vitesse de vents de 3 m/s¹⁰ ;
- du fait d'un recouvrement des sols, une épaisseur de terres d'apport saines de 30 cm ou de 10 cm d'enrobé a été retenue au droit des espaces extérieurs .

Il est précisé, en ce qui concerne la configuration du supermarché, que les paramètres suivants ont notamment été retenus pour les calculs de risques :

- surface du bâtiment de 1424 m² ;
- épaisseur de la dalle du bâtiment de 10 cm ;
- hauteur sous-plafond de 2,3 m.

La figure suivante schématise la modélisation du transfert des substances volatiles.

¹⁰ Valeur pénalisante.

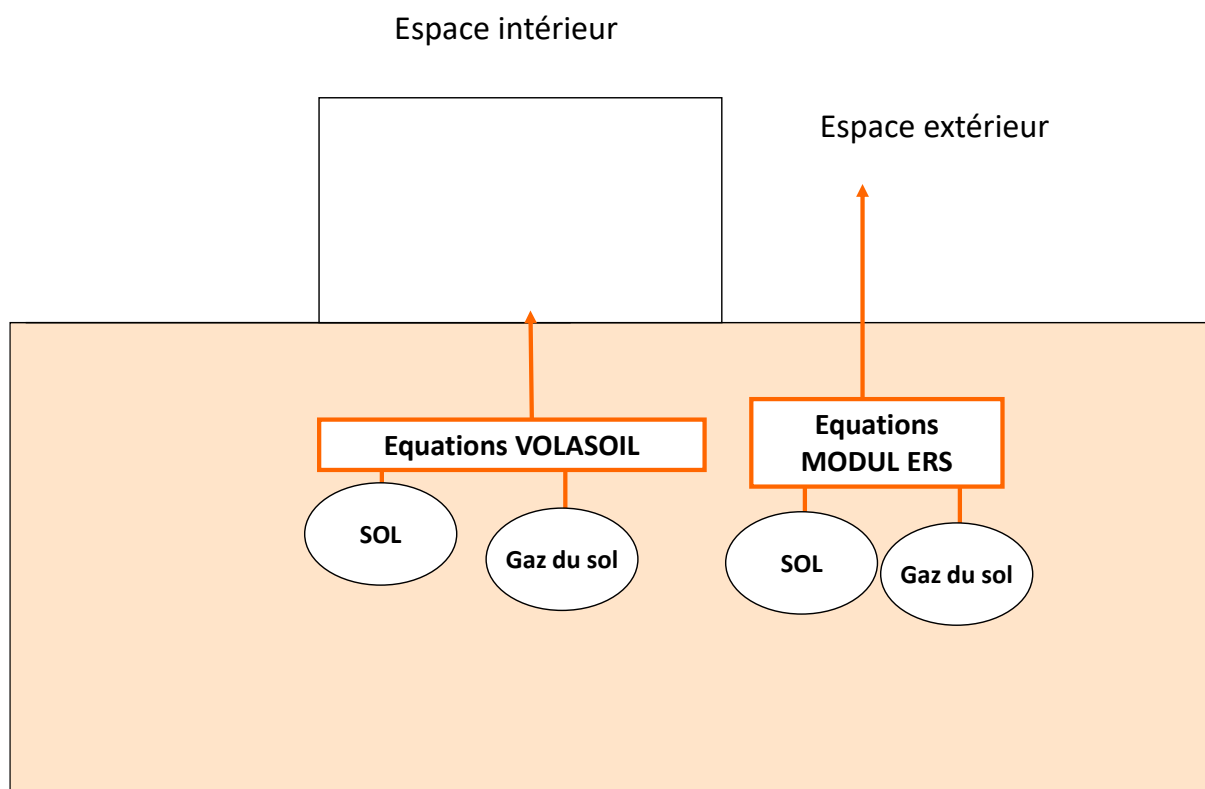


Figure 6 : Modélisation du transfert des substances volatiles

5.6.2. Calcul de la dose journalière ou concentration d'exposition

L'équation mathématique permettant de calculer la DJE_{ij} (exprimée en mg/(kg.j) ou la CI (exprimée en mg/m³) est la suivante :

$$DJE_{ij} = \frac{DE \cdot Q_{ij} \cdot FE}{P \cdot T_m} \cdot C_i \cdot ou \cdot CI = \frac{C_i \cdot DE \cdot FE}{T_m}$$

où : Q_{ij} est la quantité de milieu i administrée par la voie j par jour (en mg/j),

C_i est la concentration au point d'exposition (en mg/m³),

FE est la fréquence d'exposition annuelle (sans unité),

DE est la durée d'exposition (en an),

P est le poids de l'individu (en kg),

T_m est le temps moyen de prise en compte de l'apparition possible d'un effet néfaste sur la santé (en années).

$T_m = DE \cdot 365$ j pour les effets à seuil et $T_m = 70$ (vie entière) $\cdot 365$ pour les effets sans seuils.

Pour chaque substance chimique retenue dans le cadre de cette étude, la dose journalière ou concentration d'exposition est présentée, avec les calculs de risque sanitaire, en **Annexe VII**.

5.6.3. Paramètres d'exposition

Les paramètres généraux caractérisant l'exposition des différentes cibles ou récepteurs sont renseignés ci-après, selon les indications fournies par l'INERIS¹¹.

Tableau 8 : Paramètres d'exposition retenus dans l'étude

Paramètres	Cibles	Valeurs retenues	Justifications et références
Durée d'exposition	Employés	43 ans	US-EPA (2011) + INERIS (2017) + Durée légale du travail en France
Temps moyenné	Employés	<i>Effets non cancérigènes (Tm_{nc}) :</i> 43 ans * 365 jours/an = 15 695 jours	US EPA (2011) + INERIS (2017)
	Toutes	<i>Effets cancérigènes (Tm_c) :</i> Tm_c = vie entière (70 ans) * 365 jours/an = 25 550 jours	
Fréquence d'exposition annuelle à l'intérieur (RDC et étages)	Employés	0,2 (8 h/j, 220 j/an)	INERIS (2017)
Fréquence d'exposition annuelle à l'extérieur	Employés	0,025 (1 h/j, 220 j/an)	Jugement d'expert INERIS (2017)
Hauteur de respiration	Employés	1,55 m	INERIS (2017)

¹¹ INERIS, Rapport d'étude n°DRC-14-141968-11173C, 23/06/2017, « Paramètres d'exposition de l'homme du logiciel Modul'ERS »

6. Evaluation de la relation dose réponse

6.1. Synthèse des données toxicologiques

Les principaux effets toxiques engendrés par les substances retenues pour l'évaluation des risques sont présentés en **Annexe VI**.

6.2. Valeurs toxicologiques de référence retenues

L'ensemble des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) retenues dans le cadre de la présente étude est présenté dans l'**Annexe VI**. Pour chaque VTR retenue, la source bibliographique est indiquée.

La sélection des VTR a été établie selon les recommandations de la note d'information n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.

Les VTR ont fait l'objet d'une mise à jour par Antea Group en Aout 2024.

6.3. Valeurs réglementaires pour l'air intérieur

Conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, au-delà de la simple compatibilité sanitaire, les valeurs de gestion doivent être respectées pour les milieux qui en disposent. Concernant l'air intérieur, ces valeurs de gestion correspondent aux valeurs réglementaires (cas du benzène et du formaldéhyde), aux valeurs repères établies par le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) ou à défaut aux valeurs de gestion de l'air intérieur (VGAI) établies par l'ANSES.

Cas du benzène, trichloroéthylène, du tétrachloroéthylène et du naphtalène :

Il existe pour ces substances une valeur repère de qualité d'air intérieur (non réglementaire) établie par le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP)¹² pour les espaces clos (immeubles d'habitation ou locaux ouverts au public). Le HCSP recommande une valeur de 2 µg/m³ pour le benzène, 250 µg/m³ pour les effets à seuil du tétrachloroéthylène et 10 µg/m³ pour le naphtalène et le trichloroéthylène (TCE) pour l'air intérieur des espaces clos.

¹² Haut Conseil de la santé publique « Avis relatif aux valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air pour le trichloroéthylène », juillet 2020, « Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le tétrachloroéthylène dans l'air des espaces clos », juin 2010, « Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le benzène dans l'air des espaces clos », juin 2010, « Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le naphtalène dans l'air des espaces clos », janvier 2012.

Cas de l'éthylbenzène et du toluène :

Pour ces substances, l'ANSES a proposé une VGI de 1 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'éthylbenzène¹³ et de 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le toluène¹⁴ dans l'air intérieur des espaces clos.

Les concentrations modélisées dans l'air intérieur du bâtiment seront donc comparées aux valeurs de gestion précitées (cf. chapitre 8.2).

¹³ ANSES « proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur – L'éthylbenzène », Octobre 2016.

¹⁴ ANSES « proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur – Le toluène », Juillet 2018.

7. Quantification des risques sanitaires

L'ensemble des résultats est établi en l'état actuel des connaissances (Juillet 2024).

Les calculs ont été réalisés avec des paramètres propres au site quand ceux-ci étaient disponibles. En l'absence de valeurs spécifiques, des valeurs disponibles dans la littérature ou des choix d'expert ont été retenus¹⁵.

Les feuilles de calculs sont présentées en **Annexe VII**.

Il est rappelé que l'acceptabilité des risques est définie sur la base de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017. Un niveau de risque est considéré comme acceptable pour les usagers du site dans les cas suivants :

- Quotient de Danger (QD) inférieur à 1,0 (risques pour les effets à seuil : effets non cancérogènes d'une part, et effets cancérogènes non génotoxiques d'autre part),
- Excès de Risque Individuel (ERI) inférieur à $1,0 \cdot 10^{-5}$ (risques pour les effets sans seuil de dose : effets cancérogènes génotoxiques).
- Et, valeurs de gestion respectées (par ordre de priorité valeurs réglementaires, valeurs cibles ou repères du HCSP, valeurs guides pour l'air intérieur de l'ANSES, ...).

Selon la méthodologie nationale, l'additivité des risques liés aux différents polluants et/ou aux différentes voies d'exposition doit être réalisée selon les recommandations des instances sanitaires au niveau national. En l'état actuel, ces recommandations conduisent :

- Pour les effets à seuils, à l'addition des quotients de danger (QD) uniquement pour les substances ayant le même mécanisme d'action toxique sur le même organe cible,
- Pour les effets sans seuils, l'addition de tous les excès de risques de cancer.

Toutefois, des incertitudes demeurent sur les organes cibles et les possibilités d'effets croisés ou de synergie lorsque plusieurs substances sont présentes. Aussi, dans une démarche sécuritaire, la somme des QD, toutes voies et toutes substances confondues, est présentée ci-après.

Les niveaux de risque sanitaire, calculés sur la base des concentrations maximales observées sur le site dans les sols et gaz du sol, sont présentés dans le tableau suivant.

¹⁵ User's guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings, USEPA, February 22, 2004.

Tableau 9 : Risques sanitaires pour les employés du site

	QD	ERI
Employés du site – Niveau de risque global	3,6E-02	1,9E-06
Inhalation intérieure	3,6E-02	1,9E-06
Inhalation extérieure	3,6E-05	1,3E-09
<i>Seuils de référence</i>	1,0	1,00E-05

Les résultats des calculs de risque, pour la voie d'exposition par inhalation de substances volatiles, indiquent des niveaux de risque sanitaires inférieurs aux seuils de référence, pour les futurs usagers du site.

Il est précisé, en ce qui concerne les calculs de l'ERI, que ce sont principalement les teneurs en HAP qui portent le risque. Or en l'absence de données dans les gaz de sol pour cette famille de composés, les calculs ont été réalisés par extrapolation à partir des données de la matrice sol. Les calculs de risques sont donc probablement très majorés, conformément à l'approche sécuritaire d'Antea (cf. paragraphe 5.4).

8. Interprétation des résultats

8.1. Hiérarchisation des risques

Les risques sanitaires les plus élevés sont les risques associés à une exposition aux substances présentes dans les sols ou les gaz du sol, au sein du futur bâtiment.

Les substances quantifiées contribuant majoritairement :

- au niveau de risque à seuil (QD), sont les hydrocarbures volatils (30% du risque), les xylènes (20% du risque), dans les gaz du sol
- au niveau de risque sans seuil (ERI), sont les HAP (hors naphtalène) (85% du risque) dans les sols.

8.2. Comparaison aux valeurs de gestion

Au-delà, des niveaux de risque sanitaires établis, les concentrations modélisées sont ici comparées aux valeurs réglementaires et valeurs guides disponibles en termes de qualité d'air intérieur.

A noter que les concentrations présentées dans ce chapitre ne sont pas issues de mesures réelles dans le milieu mais d'une modélisation. Cette modélisation est par conséquent sujette à certaines incertitudes du fait des paramètres de modélisation retenus (taux de ventilation, dimensions des bâtiments, type de sol au droit du bâti, taux de fissuration de la dalle, etc.), l'influence de certains de ces paramètres sur la concentration modélisée sera présentée en analysé des incertitudes (cf. chapitre 8.4.2).

Compte-tenu d'un impact en benzène, éthylbenzène, toluène, PCE et naphtalène au droit du site, les concentrations modélisées dans le futur bâtiment ont été comparées, à titre informatif, à la valeur repère de qualité d'air intérieur (VR) des espaces clos du Haut Conseil de Santé Public (HCSP) ou à la VGAI proposée par l'ANSES (pour le cas de l'éthylbenzène et du toluène).

Tableau 10 : Comparaison des concentrations modélisées avec les valeurs de gestion

Substance	Concentrations modélisées dans l'air intérieur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeurs de gestion du HCSP ou de l'ANSES
Benzène	0,04	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ethylbenzène	0,3	1 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Toluène	2,7	20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Trichloroéthylène	0,05	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Naphtalène	0,4	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Les concentrations modélisées dans l'air intérieur du futur bâtiment sont inférieures aux valeurs de gestion retenues.

8.3. Détermination des mesures compensatoires

L'évaluation des risques sanitaires ne démontrant aucun risque supérieur aux seuils de référence énoncés à la note du 19 avril 2017 et la mise à jour de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 éditée par le Ministère en charge de l'Environnement, l'établissement de mesures compensatoires n'est pas nécessaire d'un point de vue sanitaire.

8.4. Évaluation des incertitudes

L'évaluation des risques sanitaires se décompose en cinq grandes étapes, dont chacune fait l'objet d'incertitudes :

- la caractérisation physique du site,
- la sélection des substances,
- l'évaluation de l'exposition,
- l'évaluation de la toxicité,
- la caractérisation des risques.

8.4.1. Analyse qualitative

8.4.1.1. Incertitudes sur les caractéristiques physiques du site

Les incertitudes concernent ici les reconnaissances effectuées sur le site. Des observations de terrain sur les sols ont été réalisées lors des sondages afin de déterminer précisément les différents paramètres spécifiques du site, et réduire ainsi l'incertitude associée à ces paramètres.

Au droit du site, les sols sont constitués de remblais sableux.

8.4.1.2. Incertitudes sur l'évaluation de l'exposition

Les cibles choisies sont les usagers du site les plus sensibles, c'est-à-dire ceux qui sont les plus exposés aux substances volatiles présentes dans les sols, eaux souterraines et gaz du sol. Dans une démarche sécuritaire, les risques associés à chacun des milieux étudiés sont cumulés.

Dans cette étude, **les modèles d'exposition** du logiciel Modul'ERS développé par l'INERIS ont été utilisés pour estimer les concentrations de polluants dans l'air intérieur et extérieur, à partir des concentrations mesurées dans les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol. L'estimation de l'exposition d'un individu, à l'aide de modèles d'exposition, n'est qu'une représentation mathématique approximative, et généralement sécuritaire, de la réalité. L'incertitude associée aux modèles est toutefois difficile à évaluer.

De nombreux paramètres, spécifiques au site ou aux récepteurs, influencent les résultats des modélisations. Les propriétés physico-chimiques et géologiques font partie des paramètres influençant la détermination des flux de remontées des substances volatiles. Les paramètres géologiques proviennent de mesures ou d'observations réalisées sur site. Les propriétés physico-chimiques des substances (provenant de bases de données fiables telles que l'INERIS, l'US-EPA, ou la littérature scientifique), et les concentrations retenues ne sont pas des sources majeures d'incertitudes. Les hauteurs de plafond, et les dimensions des bâtiments ne font pas l'objet d'incertitudes majeures du fait de l'utilisation des plans d'aménagement fournis par ALDI.

Une part de l'incertitude, liée à l'utilisation du modèle, provient donc de l'utilisation de paramètres par défaut du fait de l'absence de données spécifiques. En effet, pour certains paramètres, seules les valeurs standards proposées par le modèle sont connues. Dans ce cas, il est difficile d'envisager d'autres valeurs (taux de renouvellement d'air dans un bâtiment, taux de fissuration, température du sol...).

Lors d'une exposition par inhalation de substances volatiles provenant des sols et des eaux souterraines, il apparaît que trois facteurs ont une influence non négligeable sur le résultat final. Il s'agit du taux de fissuration de la dalle, de la hauteur de l'espace clos modélisé et du taux de renouvellement d'air.

Concernant la fraction surfacique occupée par les ouvertures de la dalle, en l'absence de valeurs propres au site, il a été considéré une valeur standard de $1,0E-05$ (RIVM 1996, 2008), avec une épaisseur de dalle de 10 cm.

Concernant la hauteur de l'espace clos, en l'absence d'informations, il a été considéré une valeur standard de 2,3 m, une valeur de 4 m a été étudiée en analyse des incertitudes (cf. chapitre 8.4.2).

Concernant le taux de ventilation du bâtiment, en l'absence de valeurs propres au site, le taux de renouvellement d'air standard (pour un usage tertiaire) du logiciel RBCA (ATSM) a été retenu, soit 0,8 vol/h. A titre informatif, le taux de renouvellement d'air de 0,1 vol/h est étudié en analyse des incertitudes (chapitre 8.4.2), en maintenant les autres critères (dalle de 10 cm et hauteur sous plafond de 2,3 m)

8.4.1.3. Incertitudes sur la sélection des substances et les concentrations

Les concentrations des différentes substances mesurées sur site sont soumises à des incertitudes inhérentes aux méthodes de prélèvements et d'analyses :

- Sur le terrain, des biais de prélèvements existent, liés soit à la technique de prélèvement (tarière manuelle, carottage, géoprobe, pelle mécanique ...), soit à la constitution de l'échantillon (choix de la lithologie à échantillonner, échantillon simple ou composite ...). Les protocoles de terrain font en sorte de limiter ses biais, mais il n'est pas possible de les éviter totalement.
- Au laboratoire, des incertitudes liées aux méthodes d'analyse sont également identifiées. Là encore, les protocoles permettent de limiter ces incertitudes.
- La réalisation d'un nombre d'échantillon important permet également de limiter les incertitudes.

La sélection des substances chimiques retenues pour l'étude est une source d'incertitudes. D'une part, les substances considérées sont limitées aux substances polluantes identifiées lors des investigations puis sélectionnées dans l'étude. D'autre part, les limites de quantification des laboratoires ne permettent pas d'établir une concentration pour chaque polluant analysé.

Une revue historique, un diagnostic initial, et une étude complémentaire sur les sols et les gaz du sol ont été réalisés sur le site depuis 2008. Les analyses sur les sols ont été centrées sur les hydrocarbures : HCT, BTEX, HAP, ainsi que sur les COHV, les PCB, les cyanures, les dioxines et furannes et les métaux. Les mesures de gaz du sol ont également permis d'estimer de façon plus réaliste le dégazage des substances observées au niveau des sols.

Il est à noter qu'une seule campagne de prélèvement des gaz du sol a été réalisée. 1 seul piézair a pu être prélevé sur les 3 en place dans la zone d'étude, notamment en raison de la faible profondeur de la nappe, de l'ordre d'un mètre. Les ouvrages en eau n'ont pas pu faire l'objet d'échantillons de gaz de sol (limite technique). Or le seul ouvrage qui a pu être prélevé n'est pas localisé au droit de toutes les teneurs maximales dans les sols.

Par précaution, les concentrations maximales mesurées sur le site ont été retenues pour le calcul des risques dans l'air ambiant (intérieur et extérieur). Ce choix est sécuritaire en termes de risque sanitaire.

En outre, lorsque la substance n'a pas été détectée dans les gaz du sol, il a été retenu, dans une hypothèse sécuritaire, une concentration égale à la limite de quantification des laboratoires pour les lorsque la substance considérée a été quantifiée dans les sols lors de campagnes d'investigations précédentes.

Toutefois, une estimation des concentrations dans les gaz du sol a été réalisée à partir des concentrations mesurées dans les sols dans les cas suivants :

- pour les substances observées au droit du site mais n'ayant pas bénéficié de mesures dans les gaz du sol (Dioxines et furannes, cyanures et HAP(hors naphtalène)) ;
- lorsqu'il n'y a pas de piézair au droit des concentrations maximales observées dans les sols (cas du naphtalène, du mercure, des hydrocarbures C₅-C₁₀, du toluène et des m,p Xylènes). Dans une démarche sécuritaire, une estimation des concentrations dans les gaz du sol a donc été réalisée pour ces substances à partir des résultats obtenus au droit du piézair PZA7 (réalisé à proximité des sondages S21 et S22). En effet, les teneurs en composés volatiles mesurées dans les sols sont toutes du même ordre de grandeur et proches des limites de quantification du la laboratoire (chapitre 5.4).

8.4.1.4. Incertitudes sur l'évaluation de la toxicité

Selon l'US EPA, il existe de nombreuses sources d'incertitudes associées à la détermination des valeurs de toxicité, notamment du fait :

- de l'extrapolation de la réponse dose-effet pour de faibles doses à partir de hautes doses,
- de l'extrapolation de réponse pour des expositions de courtes durées à de longues durées,
- de l'extrapolation des résultats d'expérimentations chez l'animal pour prédire des effets chez l'homme,
- de l'extrapolation de réponses à partir d'études provenant de populations animales homogènes pour prédire les effets sur une population composée d'individus avec un large spectre de sensibilité.

Les bases de données toxicologiques retenues pour l'étude sont en priorité celles de l'ANSES, l'US-EPA (base de données de l'IRIS¹⁶), de l'ATSDR, et de l'OMS, puis celles du RIVM¹⁷, de Health Canada, de l'OEHA et de l'EFSA¹⁸.

La sélection des VTR a été établie selon les recommandations de la note d'information n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 (cf. **Annexe I**).

8.4.1.5. Incertitudes sur la caractérisation du risque

Les incertitudes inhérentes à la caractérisation du risque sont directement fonction des incertitudes précisées dans les chapitres précédents.

¹⁶ Integrated Risk Information System.

¹⁷ Institut Royal pour la Santé Publique et l'Environnement (Pays-Bas).

¹⁸ Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (European Food Safety Authority).

Il convient de rappeler que cette analyse ne peut tenir compte de toutes les incertitudes liées à l'utilisation des modèles. Néanmoins, il faut souligner que, de façon générale, **les paramètres retenus pour calculer les risques ont tendance à surestimer les risques sanitaires ; cela répond au principe de prudence scientifique qui régit l'évaluation quantitative des risques sanitaires.**

8.4.2. Analyse quantitative

2 paramètres sont étudiés ici :

- Les dimensions du bâtiment (hauteur) ;
- La ventilation.

8.4.2.1. Hauteur des bâtiments

Concernant la hauteur de l'espace clos, en l'absence d'informations, il a été considéré une valeur standard de 2,3 m, une valeur de 4 m a été étudiée en analyse des incertitudes.

Tableau 11 : Résultats de l'analyse des incertitudes sur la hauteur du bâtiment

	QD	ERI
<i>Hauteur du bâtiment : 230 cm</i>	<i>3,6E-02</i>	<i>1,9E-06</i>
Hauteur du bâtiment : 400 cm	2,1E-02	1,1E-06
Ecart (%)	-41%	-43%
<i>Seuils de référence</i>	<i>1,0E+00</i>	<i>1,0E-05</i>

La hauteur sous plafond d'un bâtiment est également un paramètre sensible dont l'augmentation peut engendrer une diminution de près de 40% des niveaux de risque.

8.4.2.2. Ventilation

Concernant le taux de ventilation du bâtiment, en l'absence de valeurs propres au site, le taux de renouvellement d'air standard (pour un usage tertiaire) du logiciel RBCA (ATSM) a été retenu, soit 0,8 vol/h. A titre informatif, un taux de renouvellement d'air de 0,1 vol/h est étudié en analyse des incertitudes.

Tableau 12 : Résultats de l'analyse des incertitudes sur la ventilation

	QD	ERI
Ventilation de 0,8 vol/h	3,6E-02	1,9E-06
Ventilation de 0,1 vol/h	1,5E-01	8,4E-06
Ecart	X4	X4
Seuils de référence	1,0E+00	1,0E-05

En considérant un taux de renouvellement d'air de 0,1 vol/h, restent toutefois inférieurs aux seuils de référence.

8.4.2.3. Bilan de l'analyse des incertitudes

Cette analyse des incertitudes (qualitative et quantitative) met l'accent sur les éléments suivants :

- une diminution significative des niveaux de risque :
 - en tenant compte d'une hauteur sous bâtiment de 4 m ;
- une augmentation des niveaux de risque sans dépassement des seuils de référence :
 - en tenant compte d'un taux de ventilation de 0,1 vol/h.

Les incertitudes ne remettent pas en cause les conclusions.

Il est à noter que la principale incertitude repose sur le faible nombre de données disponibles issues des gaz de sol. La configuration du site avec la présence d'une nappe quasi-affleurante limite fortement la réalisation de piézairs « exploitables » (qui ne sont pas en eau au moment d'une campagne de prélèvement). Il s'agit d'une limite technique, pour disposer de résultats représentatifs de la qualité des gaz de sol.

Les calculs de risques sanitaires se sont donc appuyés sur les teneurs en polluants dans les gaz de sol au droit de l'ouvrage PZA7 et sur celles mesurées dans les sols.

Il est également précisé que la tentative d'installation de nouveaux piézairs n'a pas été jugée pertinente en 2024, dans la mesure où les niveaux des eaux souterraines sont globalement plus hauts qu'en 2022, avec une plus forte pluviométrie.

9. Conclusions et recommandations

9.1. Conclusion

Dans le cadre du réaménagement de l'ancien site Bourrat, actuellement en friche et situé Route de Commelle Vernay sur la commune du Coteau (42). La société ALDI Immobilier a mandaté Antea Group pour la réalisation d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS), dans l'objectif d'étudier la compatibilité de l'aménagement envisagé (supermarché) avec la pollution observée au droit du site.

La voie d'exposition étudiée est l'inhalation de substances volatiles présentes dans les sols et/ou gaz des sols au droit des espaces intérieurs et extérieurs.

Cette Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires indique que les niveaux de risque sont inférieurs aux seuils de risque recommandés dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués (rédigée par le Ministère chargé de l'Environnement, avril 2017) ainsi qu'aux valeurs de gestion considérées.

L'état environnemental du site est donc compatible avec l'usage tertiaire envisagé.

Cette conclusion est établie sur la base des hypothèses suivantes :

- selon l'aménagement actuellement envisagé (en excluant tout contact direct avec les terres en place) ;
- sur la base d'un taux de ventilation standard de 0,8 vol/h dans le bâtiment ;
- en considérant les concentrations résiduelles maximales en substances chimiques observées dans les sols et les gaz du sol au droit des futurs bâtiments ;
- selon les hypothèses sécuritaires retenues ;
- selon la méthodologie décrite dans la note du 19 avril 2017 et la mise à jour de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 éditée par le Ministère en charge de l'Environnement ;
- en l'état actuel des connaissances scientifiques sur les plans chimique, géologique et toxicologique (Juillet 2024).

Il faut noter que tout changement concernant les caractéristiques environnementales du site (découverte d'une nouvelle source), le projet d'aménagement et les scénarios d'exposition pris en considération est susceptible de modifier les résultats et donc les conclusions de la présente étude.

9.2. Recommandations

Il est à noter que la principale incertitude repose sur le faible nombre de données disponibles issues des gaz de sol. La configuration du site avec la présence d'une nappe quasi-affleurante limite fortement la réalisation de piézairs « exploitables » (qui ne sont pas en eau au moment d'une campagne de prélèvement). Il s'agit d'une limite technique, pour disposer de résultats représentatifs de la qualité des gaz de sol.

Les calculs de risques sanitaires se sont donc appuyés sur les teneurs en polluants dans les gaz de sol au droit de l'ouvrage PZA7 et sur celles mesurées dans les sols.

Il est également précisé que la tentative d'installation de nouveaux piézaires n'a pas été jugée pertinente en 2024, dans la mesure où les niveaux des eaux souterraines sont globalement plus hauts qu'en 2022, avec une plus forte pluviométrie.

Dans ce cadre et compte tenu des limites techniques pour un approfondissement de la connaissance de la qualité des gaz du sol, Antea Group recommande réaliser des mesures d'air ambiant dans les nouveaux bâtiments construits.

9.3. Synthèse des dispositions d'aménagement

Au regard des conclusions de cette EQRS, il est recommandé au propriétaire du site de veiller à la mise en œuvre pérenne des dispositions d'aménagement suivantes.

Tableau 13 : Dispositions d'aménagement

ZONES CONCERNEES	DISPOSITIONS D'AMENAGEMENT
Bâtiment	Respect des hypothèses retenues pour les paramètres constructifs. Pour tout nouvel aménagement ou tout nouvel usage, il sera nécessaire de s'assurer que les modifications apportées ne remettent pas en cause les conclusions de cette étude.
Espaces extérieurs	<p>Absence de contact direct avec les terres en place : les superficies non bâties sont recouvertes de remblais sains en surface¹⁹ ou minéralisées (asphalte ou autre type de revêtement). Dans le cas contraire, le contact direct avec les terres à nu devra faire l'objet d'investigations complémentaires adaptées à cette voie et d'un nouveau calcul de risque conforme à la méthodologie décrite dans les outils de gestion des sites (potentiellement) pollués, rédigée par le Ministère en charge de l'Environnement en avril 2017.</p> <p>Absence de jardins potagers et d'arbres fruitiers. Dans le cas contraire, l'ingestion de fruits et légumes autoproduits au droit du site devra faire l'objet d'investigations complémentaires adaptées à cette voie et d'un nouveau calcul de risque conforme à la méthodologie décrite dans les outils de gestion des sites (potentiellement) pollués, rédigée par le Ministère en charge de l'Environnement en avril 2017. A défaut, toute culture végétale à visée alimentaire devra être réalisée dans des terres d'apport saines²⁰.</p> <p>Absence de puits permettant l'utilisation des eaux souterraines de la nappe superficielle. Dans le cas contraire, les usages de l'eau issue de la nappe superficielle devront faire l'objet d'un nouveau calcul de risque conforme à la méthodologie décrite dans les outils de gestion des sites (potentiellement) pollués, rédigée par le Ministère en charge de l'Environnement en avril 2017.</p> <p>Passage de canalisations souterraines d'eau potable, notamment celles en polyéthylène, hors des zones d'impact résiduel. Dans le cas contraire, les canalisations souterraines situées au droit des zones d'impact résiduel devront être mises en place dans des remblais d'apport sains et/ou devront être de nature imperméable aux substances organiques (acier, fonte, matériau multicouches adapté). Si ces dispositions ne sont pas effectives, il conviendrait de s'assurer de l'absence d'impact sur l'eau de consommation du site.</p>

¹⁹ Pour les espaces paysagers : a minima 30 cm (après compactage) de terre saine afin de garantir la pérennité du recouvrement.

²⁰ Pour les potagers : a minima 50 cm (après compactage) et jusqu'à 1 m (selon une approche sécuritaire) de terre végétale saine avec un grillage avertisseur et un système de séparation physique placés entre les terres d'apport et les terres en place. Pour les arbres fruitiers, une fosse de terres propres, dont le volume sera adapté en fonction du système racinaire de chaque espèce, devra être réalisée. Un géotextile limitant le développement racinaire des arbres peut être envisagé.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

Le Client autorise Antea Group à le nommer pour une référence scientifique ou commerciale. A défaut, Antea Group s'entendra avec le Client pour définir les modalités de l'usage commercial ou scientifique de la référence.

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <https://www.anteagroup.fr/fr/annexes>



ANNEXES

Annexe I :	Méthodologie Générale
Annexe II :	Textes réglementaires et bibliographiques
Annexe III :	Intrusion de substances organiques dans les réseaux souterrains d'eau potable
Annexe IV :	Synthèse des données physico-chimiques
Annexe V :	Présentation et paramétrage du logiciel Modul'ERS
Annexe VI :	Synthèse des données toxicologiques et des VTR
Annexe VII :	Calculs de Risques Sanitaires

Annexe I : **Méthodologie Générale**

DESCRIPTIF TECHNIQUE DE LA METHODOLOGIE

L'évaluation des risques sanitaires se décompose en plusieurs étapes :

1. **Analyse des données** (compilation et synthèse des données issues des différentes études réalisées au droit du site),
2. **Evaluation des expositions** (définition des scénarii d'exposition, quantification des doses journalières d'exposition),
3. **Sélection des substances** (détermination des substances retenues pour l'étude et leurs concentrations associées dans les sols et/ou la nappe et/ou gaz du sol),
4. **Evaluation de la relation dose-réponse** : recueil des valeurs toxicologiques de référence disponibles au moment de la réalisation de l'étude, et choix argumenté d'une valeur toxicologique pour chaque substance retenue,
5. **Caractérisation des risques** (effets avec seuil et sans seuil),
6. **Interprétation des résultats** : hiérarchisation des risques, détermination des objectifs de réhabilitation (ou de dépollution) et/ou de servitudes à mettre en place -si nécessité-, évaluation des incertitudes,
7. Conclusion et recommandations.

① ANALYSE DES DONNEES

L'ensemble des données issues des investigations réalisées au droit du site est compilé et analysé.

② EVALUATION DES EXPOSITIONS

Cette étape se décompose en plusieurs phases :

- une identification des voies d'exposition ;
- une identification des récepteurs d'exposition (typologie de la population) ;
- une définition des scénarii d'exposition (typologie des modes d'exposition en fonction des activités) ;
- une quantification de l'exposition (doses journalières d'exposition : DJE ou, pour un gaz, concentration d'exposition : CE).

Il faut souligner ici que l'exposition des travailleurs lors de la phase chantier (travaux de terrassement/construction des bâtiments) ne fait pas l'objet de la présente étude ; leur sécurité devra néanmoins être assurée et toutes les précautions nécessaires devront être prises lors du maniement et de l'évacuation des sols. A ce titre, les mesures relatives à l'hygiène, la sécurité et la qualité sont traitées dans le Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPS ou PPSPS) qui ont été remis lors de la phase d'investigations.

L'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires porte sur la santé humaine des cibles présentes sur le site. L'appréciation des risques touchant aux écosystèmes, aux végétaux d'ornement qui pourront être implantés au droit de la zone d'étude, à la ressource en eau ou aux biens matériels ne fait pas l'objet de la présente étude. De même, l'appréciation des risques liés à l'explosivité et aux nuisances olfactives ne fait pas l'objet de cette étude.

Caractérisation du lieu d'exposition

Le lieu d'exposition est ici décrit afin d'établir les voies de transfert et les voies d'exposition potentielles, en fonction de l'aménagement envisagé au droit du site.

Définition des scénarii d'exposition

Dans une étude de risque, **les voies d'exposition potentielles** sont les voies de contact direct (ingestion et inhalation de poussières telluriques) et indirectes (inhalation de substances chimiques volatiles, ingestion de végétaux, etc.). Le choix des voies retenues est fonction de l'aménagement prévu sur le site. Les cibles sont les futurs usagers du site.

Les scénarios d'exposition potentiels des populations comprennent les éléments suivants :

- une source ou un milieu contaminé par des polluants à risque ;
- un cheminement dans le milieu environnemental vers un point d'exposition ;
- un récepteur ;
- un mode d'exposition.

Le schéma conceptuel récapitule l'ensemble des voies de transfert et d'exposition pour les populations cibles.

Calcul de la dose d'exposition

La **quantification des expositions** vise à calculer la dose journalière (ou concentration) d'exposition des cibles aux substances identifiées. Il est donc essentiel de déterminer :

- les paramètres d'exposition, à savoir la fréquence, la durée et l'intensité des contacts entre les polluants et les différents groupes de population susceptibles d'être exposés ;
- la concentration dans l'air ambiant intérieur et/ou extérieur à laquelle est exposé le futur usager du site à partir des milieux sources sols, eaux souterraines et/ou gaz du sol.

Les **paramètres d'exposition** reposent sur des facteurs définis dans la littérature, telle que l'*Exposure Factors Handbook* de l'US EPA (United States Environmental Protection Agency)²¹, et CIBLEX²², ainsi que sur l'étude des caractéristiques spécifiques du site (jugement d'expert).

Dans le cadre de l'EQRS, le transfert des polluants volatils présents dans la nappe, les sols et les gaz du sol vers l'air ambiant sera étudié à l'aide de logiciels de modélisation. **Les modèles d'exposition** utilisés permettent ainsi d'établir les concentrations en polluants dans l'air ambiant intérieur d'un bâtiment et/ou extérieur au droit du site.

La dose d'exposition permet la quantification de l'exposition journalière à un polluant, qui est présent dans le milieu d'exposition. La dose journalière d'exposition (DJE) est définie comme un taux par unité

²¹ US EPA, Exposure Factors Handbook. Office of Research and Development. EPA/600/R-09/052F, September 2011.

²² IRSN, ADEME, CIBLEX : banque de donnée de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué, version 0, Juin 2003

de poids (mg/kg.j) ou comme une concentration par unité volumique (concentration d'exposition en mg/m³).

③ SELECTION DES SUBSTANCES

Les substances sélectionnées pour l'étude sont celles connues pour être toxiques pour l'homme et pour lesquelles il existe des valeurs toxicologiques de référence accessibles et fiables. Les calculs de risque porteront sur ces substances, et éventuellement sur leurs produits de dégradation.

Les substances retenues pour l'évaluation quantitative des risques sanitaires répondent aux critères suivants :

- toute substance dont les données disponibles (notamment physico-chimiques et toxicologiques²³) sont d'une qualité suffisante pour être exploitées en analyse des risques. Concernant les données physico-chimiques, les sources bibliographiques retenues sont les suivantes, par ordre de priorité :

Hiérarchisation	Références bibliographiques
1	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
2	United States Environmental Protection Agency (US-EPA) : US EPA Soil Screening Guidance, June 1996; US-EPA Screening level ecological assesement protocol ; Appendix C : Media-to-receptors BCF values, 1999. US-EPA Screening level ecological assesement protocol ; Appendix C : Media-to-receptors BCF values, 1999.
3	Hazardous Substances Data Bank (HSDB)
4	Handbook <i>Soil Vapor Extraction Technology</i> de T., A. Pedresen et J., T. Curtis (1991). (<i>constante de Henry à 10°C</i>) <i>Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals. Third Edition, Verschuere</i> (1996);
5	Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR);
6	Human Health Risk Assessment Protocol (HHRAP), September 2005.
7	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
8	Base de données du logiciel Csoil
9	Base de données CALTOX
10	Base de données du logiciel BP Risc
11	Base de données du logiciel RBCA (fichier)
12	Base de données du logiciel HESP
13	Superfund for Dermal Risk Assessment, 2001
14	US-EPA (United States Environmental Protection Agency) dans le document Risk Assessment, Technical Guidance Manual
15	Base de données RAIS (Risk Assessment Information System) (uniquement pour les données manquantes)

- toute substance dont la concentration est supérieure à la limite de quantification dans les sols, les eaux souterraines et/ou les gaz du sol ;
- pour l'inhalation de substances volatiles, dans une démarche sécuritaire, toute substance présentant des données physico-chimiques relatives à sa volatilité (pression de vapeur,

²³ Sources des paramètres toxicologiques retenus (selon la hiérarchisation de la circulaire n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 Octobre 2014) : ANSES, INERIS ; US EPA , ATSDR, OMS ; RIVM, Health Canada, OEHA, EFSA.

constante de Henry). Ainsi, l'ensemble des substances organiques est retenu, incluant les HAP possédant jusqu'à 4 cycles aromatiques (hors PCB). En revanche, parmi les ETM, seul le mercure est considéré comme volatil ;

- pour l'ingestion et l'inhalation de poussières, tout ETM dont la concentration est supérieure au bruit de fond pédogéochimique local, régional et/ou national²⁴.

④ EVALUATION DE LA RELATION DOSE-REPONSE

Objectifs

L'objectif de l'évaluation de la relation dose-réponse est d'identifier les effets indésirables qu'une substance est capable de provoquer chez l'homme (identification du potentiel dangereux des substances) et de définir, quand cela est possible, une relation quantitative entre la dose et l'augmentation de la probabilité d'occurrence et/ou de la gravité des effets néfastes.

Les valeurs toxicologiques de référence, utilisées pour estimer l'incidence ou le potentiel des effets néfastes sur l'homme, sont dérivées de cette relation dose-réponse.

Il existe deux grandes catégories de toxiques, les substances à effet sans seuil (telles que les substances cancérogènes) et les substances à effet à seuil.

Caractérisation des substances à effets sans seuil

Les composés cancérogènes génotoxiques sont des substances considérées sans valeur seuil. Ainsi, si le risque zéro est associé à une dose d'exposition égale à zéro, tous les autres niveaux d'exposition présentent un risque ; les substances cancérogènes génotoxiques sont aussi appelées substances à effet sans seuil. La réponse théorique à une dose d'exposition nécessite l'usage de modèle mathématique.

L'ERU (ou Excès de Risque Unitaire) et le CR (Cancer Risk) correspond à la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu contracte un cancer s'il est exposé pendant sa vie entière à une unité de dose de la substance cancérogène. Il s'agit généralement de la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95% de la pente de la droite («slope factor») qui relie la probabilité de réponse à la dose toxique. Cet indice est l'inverse d'une dose et s'exprime en $(\text{mg/kg/j})^{-1}$.

Les différentes VTR rencontrées sont :

- pour la voie orale, l'Excès de Risque Unitaire (ERU) ou Sfo (oral Slope Factor) exprimé en $(\text{mg/kg/j})^{-1}$ et le Drinking Water Unit Risk élaborés par l'US-EPA (exprimé en $(\text{mg/kg/j})^{-1}$) ;
- pour la voie respiratoire : l'Inhalation Unit Risk (IUR) élaboré par l'US-EPA, exprimé en $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$;
- quelle que soit la voie d'exposition : l'excess lifetime Cancer Risk ou CR élaboré par le RIVM et la dose ou concentration tumorigène (TD05 ou TC05) élaborée par Health Canada.

²⁴ Sources des données sur le fonds pédogéochimique régional et/ou national : INRA/BRGM (Fond géochimique naturel, Etat des connaissances à l'échelle nationale, juin 2000), Atlas Géochimique Européen (FOREGS).

La classification de l'US-EPA définit les classes suivantes :

Classification US EPA :

- Groupe A : Substance cancérigène pour l'homme.
- Groupe B1 : Substance probablement cancérigène pour l'homme avec des données disponibles limitées chez l'homme.
- Groupe B2 : Substance probablement cancérigène chez l'homme mais il existe des preuves suffisantes chez l'animal et des preuves non adéquates ou pas de preuves chez l'homme.
- Groupe C : Cancérigène possible pour l'homme.
- Groupe D : Substance non classifiable quant à la cancérogénicité pour l'homme.
- Groupe E : Substance pour laquelle il existe des preuves de non-cancérogénicité pour l'homme.

D'autres classifications existent, notamment celle du Centre International de Recherche sur le Cancer de l'Organisation Mondiale de la Santé (CIRC/IARC) décrite ci-dessous :

Classification du CIRC / IARC :

- Groupe 1 : L'agent (le mélange) est cancérigène pour l'homme.
- Groupe 2A : L'agent (le mélange) est probablement cancérigène pour l'homme.
- Groupe 2B : L'agent (le mélange) est peut-être cancérigène pour l'homme.
- Groupe 3 : L'agent (le mélange) est inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme.
- Groupe 4 : L'agent (le mélange) n'est probablement pas cancérigène pour l'homme.

L'Union Européenne a également émis une classification réglementaire (applicable en France) quant aux effets cancérigènes, mutagènes, ou toxiques pour la reproduction des produits chimiques²⁵. La classification des substances cancérigènes est définie ci-dessous :

- Catégorie 1 : Substances que l'on sait être cancérigènes pour l'homme.
- Catégorie 2 : Substances devant être assimilées à des substances cancérigènes pour l'homme.
- Catégorie 3 : Substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possible mais pour lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation satisfaisante (preuves insuffisantes).
- Aucune classification.

²⁵ INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) (2002). Produits chimiques cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction - classification réglementaire. Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail. N° 187, 2^{ème} trimestre 2002. ND 2168-187-02.

Caractérisation des substances à effets à seuil

Il est reconnu que les effets biologiques des substances chimiques non cancérogènes ou de certaines substances cancérogènes non génotoxiques apparaissent à partir d'un certain seuil, d'où leur appellation, substances à effet à seuil. En fait, des mécanismes physiologiques réduisent les effets néfastes par des moyens pharmacocinétiques tels que l'absorption, la distribution, l'excrétion, et le métabolisme. Ainsi, certains niveaux d'exposition engendrent des effets qui peuvent être tolérés par un récepteur sans développer d'effets néfastes. La dose seuil pour un composé est estimée habituellement à partir d'une dose n'engendrant pas d'effet néfaste (NOAEL ou No-Observed-Adverse-Effect-Level) ou de la dose la plus basse engendrant un effet néfaste (LOAEL ou Lowest-Observed-Adverse-Effect-Level). Ces valeurs sont déterminées à partir d'études sur les animaux, ou à partir de données humaines lorsqu'elles sont disponibles.

Différentes valeurs de référence sont disponibles et varient suivant la voie d'exposition (orale ou inhalation), l'effet critique observé et la durée d'exposition (exposition chronique, subchronique ou aiguë). Dans l'évaluation des risques sanitaires, les expositions sont essentiellement des expositions de type chronique.

Une dose chronique de référence ou *Reference dose* (RfD) est définie comme étant l'estimation de la quantité de produit à laquelle un individu peut théoriquement être exposé sans constat d'effet nuisible, sur une durée déterminée. Pour une exposition par voie orale, la RfD est exprimée en masse de substance par kilogrammes de poids corporel et par jour (mg/kg/j). Pour l'inhalation, la RfD est généralement exprimée en masse de substance par mètre cube d'air ambiant (en mg/m³) et est appelée RfC ou *Reference Concentration*.

Parmi les doses de références publiées par les divers organismes nationaux et internationaux, les plus utilisées sont les *Reference Doses* (RfD) et les *Reference Concentrations* (RfC) élaborées par l'US EPA [United States Environmental Protection Agency], les *Minimal Risk Levels* (MRL) élaborées par l'ATSDR [Agency for Toxic Substances and Disease Registry, USA], et les *Acceptable Daily Intake* (ADI) ou *Dose Journalière Admissible* (DJA) et les *Acceptable Concentrations in Air* (ACI) ou *Concentration Admissible dans l'Air* (CAA), élaborées par l'OMS [Organisation Mondiale pour la Santé].

Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

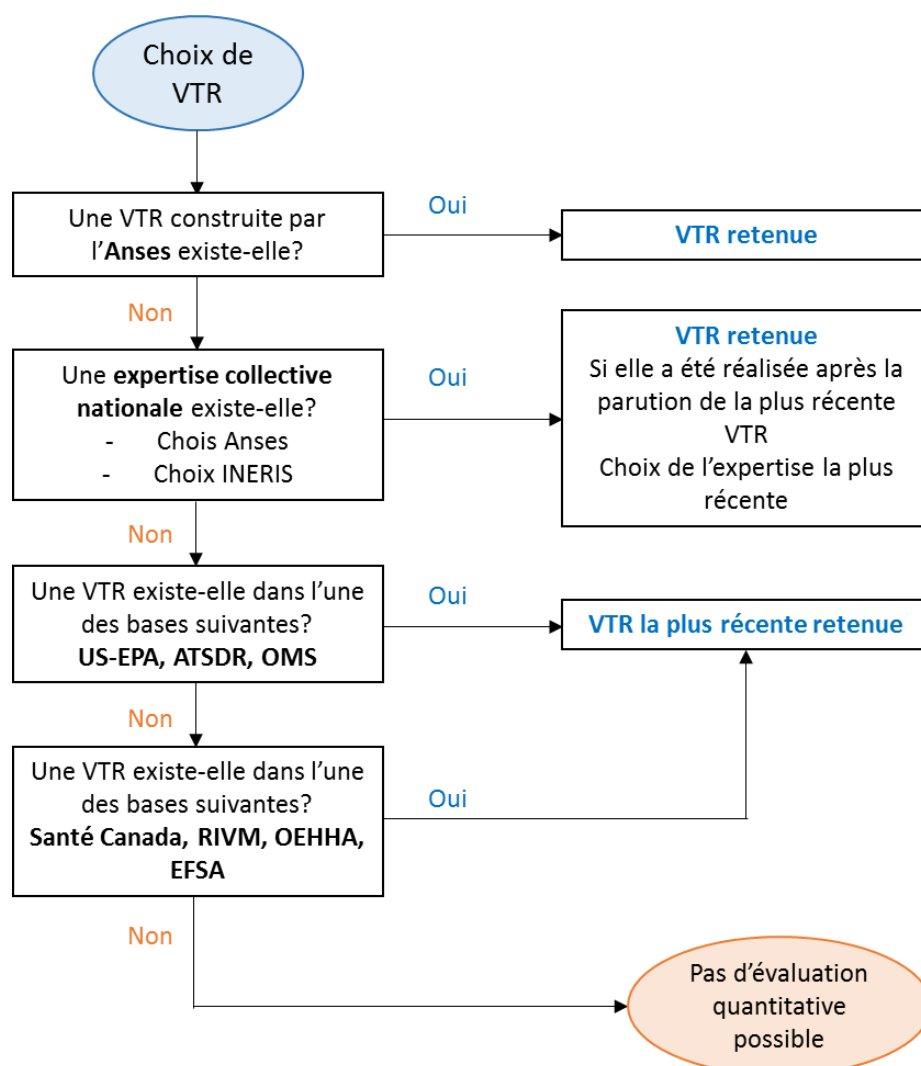
La sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) est effectuée conformément aux prescriptions établies par la Circulaire n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 en date du 31 octobre 2014, cosignée par la DGS et la DGPR, relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des VTR pour mener les évaluations de risque sanitaire dans le cadre des études d'impact et de la gestion de sites et sols pollués.

Ainsi, la sélection de la VTR est effectuée en respectant :

- la hiérarchisation suivante :
 - prise en compte en premier lieu des VTR construites par l'ANSES,
 - à défaut, si une expertise collective nationale a été menée (sélection ANSES et/ou INERIS) *a posteriori* des dates d'élaboration de l'ensemble des VTR disponibles, la VTR sélectionnée lors de cette expertise est retenue ;
 - à défaut, la VTR la plus récente dans les bases de données de l'US EPA, l'ATSDR et l'OMS est sélectionnée dans un premier temps,
 - en l'absence de VTR dans les bases précitées, c'est la VTR la plus récente dans les bases de données de Santé Canada, RIVM, OEHA ou EFSA qui est prise en compte.
- et les critères suivants :

- les VTR provisoires ne doivent pas être retenues,
- les VTR sélectionnées doivent correspondre à la durée et à la voie d'exposition auxquelles la population est confrontée ;
- aucune dérivation de voie à voie n'est réalisée par Antea Group ;
- si des VTR ont été élaborées *a posteriori* d'une expertise collective nationale (ANSES, INERIS), les recommandations de cette expertise sont suivies et mises en perspective des nouvelles VTR disponibles.

La méthodologie adoptée est schématisée ci-dessous.



⑤ RESULTATS : CARACTERISATION DES RISQUES

La caractérisation du risque est l'étape finale du calcul des risques sanitaires. Les informations issues de l'évaluation de l'exposition des cibles et de l'évaluation de la toxicité des substances sont synthétisées et intégrées sous la forme d'une expression qualitative et quantitative du risque. Ainsi, la caractérisation du risque consiste à mettre en relation les valeurs toxicologiques de référence retenues avec les doses d'exposition.

Il faut souligner ici que le cas le cas d'un individu adulte qui aurait séjourné sur le site pendant son enfance est systématiquement étudié, lorsque la présence d'enfants au droit du site est envisageable.

Calcul de risque pour les effets à seuil

Les effets potentiels des substances non cancérigènes ou cancérigènes non génotoxiques sont estimés en comparant la dose calculée aux critères de toxicité. Pour ce faire, le quotient de danger de la substance i (QD_i) est calculé comme suit :

$$QD_i = DJE_i \text{ (ou } CE_i) / RfD_i \text{ (ou } RfC_i)$$

Avec :

DJE : dose journalière d'exposition (ou CE concentration d'exposition)

RfD : dose de référence (en français il s'agit d'une dose journalière tolérable)

RfC : concentration de référence

A noter que le quotient de danger pour le scénario « enfant grandissant » correspond au quotient de danger maximal entre les phases d'exposition « enfant » et « adulte ».

Le Ministère en charge de l'Environnement recommande de considérer comme acceptable un indice de risque cumulé inférieur à 1. Un quotient de danger de 0,01 n'implique pas qu'il existe une chance sur cent de développer un effet néfaste, mais indique que la dose d'exposition estimée est cent fois plus faible que la dose de référence.

Calcul de risque pour les effets sans seuil

L'excès de risque individuel théorique de développer un cancer du fait d'une exposition à la substance i est estimé par le produit de l'excès de risque unitaire de la substance i et la dose journalière d'exposition estimée pour cette substance et cette voie d'exposition, soit :

$$ERI_i = DJE_i \text{ (ou } CE_i) \times ERU_i$$

Avec :

ERI_i = Excès de Risque Individuel de cancer (pour la substance i)

DJE_i = Dose journalière d'exposition moyennée sur une vie entière (pour la substance i)

ERU_i = Excès de Risque Unitaire de la substance i

A noter que l'excès de risque pour le scénario « enfant grandissant » correspond à l'excès de risque moyen (pondéré) calculé sur la durée totale d'exposition, incluant une phase « enfant » et une phase « adulte ».

Le Ministère en charge de l'Environnement recommande de considérer comme acceptable un excès de risque cumulé inférieur à 10^{-5} . Les sites pour lesquels le niveau de risque est supérieur à 10^{-5} devront faire l'objet de travaux de réhabilitation.

Règles de cumul des effets entre voies d'exposition et substances

Les risques sont d'abord calculés pour chaque substance. L'exposition à plusieurs substances peut induire l'additivité, la synergie (amplification des effets) ou l'antagonisme (annulation des effets). En l'absence de connaissances sur la synergie entre les substances, il a été considéré, en première approche, l'additivité des risques liés à l'exposition à plusieurs substances :

- pour les effets à seuil (effets non cancérigènes et cancérigènes non génotoxiques), l'additivité des indices de risque entre voies d'exposition et substances est retenue comme hypothèse de départ, quel que soit les effets sanitaires associés à chacune des substances considérées ;
- pour les effets sans seuil (cancérigènes génotoxiques), le cumul des ERI correspond à l'hypothèse d'une indépendance des effets cancérigènes des différentes substances.

En seconde approche, tout dépassement du seuil de référence de 1 par la somme des indices de risque, qui serait imputable à la sommation elle-même, peut conduire à un approfondissement de l'étape de quantification sur la base des règles de cumul énoncées ci-avant. La sommation est alors conditionnée par la présence, entre les différentes voies d'exposition et les différentes substances prises en compte, d'effets sanitaires communs (principaux et secondaires) parmi ceux établis dans la bibliographie spécialisée et à partir desquels les VTR ont été élaborées.

A noter que les niveaux de risque sont calculés par milieu source. Puis, les niveaux de risque associés aux substances présentes dans les sols et les eaux souterraines sont cumulés en vue d'établir un niveau de risque global. Néanmoins, pour une substance donnée, lorsque des mesures dans les gaz du sol ont été réalisées, ce milieu est privilégié si celui-ci est jugé représentatif des concentrations maximales observées dans les sols et/ou les eaux souterraines.

⑥ INTERPRETATION DES RESULTATS

Hiérarchisation des risques

Il s'agit d'établir le scénario d'exposition générant les risques sanitaires les plus élevés, en termes de milieu et de substances (source), de voie d'exposition (transfert), et de cible.

Evaluation des incertitudes

De nombreuses incertitudes sont inhérentes à une étude quantitative des risques. L'utilisation de données propres au site réduit mais n'élimine pas toutes ces incertitudes. Une analyse attentive des incertitudes constitue une phase essentielle de la démarche d'évaluation des risques. Elle doit être prise en compte dans l'évaluation des conclusions de l'étude car elle permet de donner les éléments pour valider les conclusions, en identifiant les incertitudes les plus significatives pouvant interférer dans les résultats de l'étude.

Ainsi, les incertitudes liées aux différentes étapes de la démarche, et qui auront été intégrées dans les mesures de gestion proposées, sont signalées. Les thématiques sur lesquelles portent ces incertitudes sont rappelées (toxicologie, paramètres d'exposition, transfert...).

Dans un second temps, une analyse des incertitudes est menée. Cette analyse des incertitudes consiste à faire varier la valeur initialement établie sur certains paramètres du modèle d'exposition, en vue d'évaluer le degré de sensibilité de ce paramètre dans le calcul de risque.

Détermination des mesures compensatoires

Si les niveaux de risques sanitaires modélisés sont supérieurs aux niveaux de référence établis, les mesures compensatoires envisageables seraient alors présentées, en tenant compte des différentes cibles et des différents scénarii étudiés. Le rapport d'étude fera alors clairement apparaître les éventuelles mesures constructives, servitudes, restrictions d'usage, voire mesures de surveillance qui en résultent.

⑦ CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Si l'étude met en évidence un risque sanitaire (détermination de niveaux de risque non acceptables), le ou les points à l'origine du risque seraient mentionnés. Selon la localisation des zones à risque, des recommandations pourraient alors être proposées au vu des différents projets d'aménagement.

Pour ce faire, la restitution des résultats doit comporter toutes les hypothèses qui conditionneraient l'acceptabilité du projet. Le rapport doit notamment identifier les éléments suivants :

- les concentrations des substances étudiées dans les milieux d'exposition résiduelle (ou les milieux sources résiduels en l'absence d'accès direct aux milieux d'exposition) ;
- les contraintes constructives passives ou actives comme le taux de ventilation, le type de fondation (radier, vide sanitaire,...) d'un bâtiment, le type d'aménagement (type de remblais en cas d'excavation, type de recouvrement des zones non bâties,...) ;
- les usages (présence/absence de puits privés,...).

Annexe II : **Textes réglementaires et bibliographiques**

TEXTES REGLEMENTAIRES ET BIBLIOGRAPHIQUES

Les principaux textes réglementaires et bibliographiques qui fondent les évaluations de risques sanitaires sont les suivants :

- ADEME, IRSN, CIBLEX Banque de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué, Version 0, Juin 2003.
- ADEME, Contamination des sols - Transfert des sols vers les animaux, Décembre 2008.
- ADEME, Contamination des sols - Transfert des sols vers les plantes, Décembre 2008.
- ADEME, Base de données des teneurs en éléments traces métalliques de plantes potagères (BAPPET) : présentation et notice d'utilisation, novembre 2012 – Base de données BAPPET, mise à jour en 2014.
- ADEME, Base de données sur la contamination des plantes potagères par les molécules organiques polluantes, septembre 2015.
- ANSES, <https://www.anses.fr/>
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Etats-Unis), Minimal Risks Levels (MRLs) for Hazardous Substances : <http://www.atsdr.cdc.gov/mrls/mrllist.asp>.
- BRGM, Guide sur le comportement des polluants dans le sol et les nappes ; Éditions BRGM - Réf. N°DOC 300 - 2008.
- BRGM, Fond géochimique naturel, Etat des connaissances à l'échelle nationale, BRGM/RP-50158-FR - Juin 2000.
- Circulaire du 08/02/2007 relative aux Installations Classées. Prévention de la pollution des sols. Gestion des sols pollués.
- Circulaire du 08/02/2007 relative à l'implantation sur des sols pollués d'établissements accueillant des populations sensibles.
- Code de l'Environnement, notamment ses articles L. 511-1, L. 512-6-1 et L. 512-39-1 à L. 512-39-4.
- Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène du 4 décembre 2011.
- Décret n° 2011-1728 du 2 décembre 2011 relatif à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public.
- Décret n° 2015-1926 du 30 décembre 2015 modifiant le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public.
- Décret n°77-1133 du 21/09/1977 pour application de la loi du 19/07/1976 relative aux ICPE, modifié par le décret n°2005-1170 du 13/09/2005 et le décret 2006-567 du 17/05/2006.
- Groundwater Services Inc., ASTM E2081-00 (reapproved in 2004) (American Society for Testing and Materials), RBCA 1.3a (Risk Based Corrective Action) Tool Kit for Chemical Releases, 2000.
- HCSP : Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos – Le benzène, rapport du 16/06/2010.
- HCSP : Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos – Le tétrachloroéthylène, rapport du 16/06/2010.
- HCSP : Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos – Le naphthalène, rapport du 05/01/2012.
- HCSP : Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos – Le trichloroéthylène, rapport du 09/07/2020.
- HCSP : Expositions au plomb : Détermination de nouveaux objectifs de gestion, juin 2014
- HSCP : COMMISSION SPÉCIALISÉE RISQUES LIÉS À L'ENVIRONNEMENT, Rapport du groupe de travail, Plomb dans l'environnement extérieur - Recommandations pour la maîtrise du risque, 1er février 2021.

- HCSP : Définition de valeurs repères pour des contaminants des sols pollués – l'arsenic, avril 2022.
- HCSP : Définition de valeurs repères pour des contaminants des sols pollués – le cadmium, août 2022.
- HCSP : Définition de valeurs repères pour des contaminants des sols pollués – le mercure, avril 2022.
- Health Canada, L'évaluation des risques pour les sites contaminés fédéraux au Canada, Partie II : Valeurs toxicologiques de référence (VTR) de Santé Canada et paramètres de substances chimiques sélectionnées, version 2.0, Septembre 2010.
- IARC (International Agency for Research on Cancer), Classification du CIRC/IARC. Disponible sur le site internet de l'IARC : <http://monographs.iarc.fr/htdig/search.html>.
- INERIS, Méthodologie d'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires relatifs aux substances chimiques, Evaluation des risques sanitaires des filières d'épandage des boues de stations d'épuration, convention 03 75 C 0093 et 06 75 C 0071 ADEME / SYPREA / SPDE / INERIS, version 1 du 15 octobre 2007, 40 pages.
- INERIS, Portail Substances Chimiques. Disponibles sur le site internet de l'INERIS : <https://substances.ineris.fr/>
- INERIS, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs), Evaluation de la relation dose-réponse pour des effets cancérogènes et non cancérogènes ; Rapport final, Décembre 2003.
- INERIS, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs), Choix de valeurs toxicologiques de référence, Rapport DRC-20-180728-00256A, Janvier 2020.
- INERIS, Inventaire des données de bruit de fond dans l'air ambiant, l'air intérieur, les eaux de surface, et les produits destinés à l'alimentation humaine en France, Rapport d'étude n°DRC-08-94882-15772A, 10 avril 2009.
- INERIS, Rapport d'étude n°DRC-08-94882-16675C, « Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle », 1er août 2010.
- INERIS, Rapport d'étude n°DRC-14-1419688-00696A, Guide de l'utilisateur Modul'ERS, Mars 2014.
- INERIS, Rapport d'étude n° DRC-14-141968-11173C, Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS, 23 juin 2017.
- INERIS, Rapport d'étude n° DRC-17-163615-01452A, Coefficients de transfert des éléments traces métalliques vers les plantes, utilisés pour l'évaluation de l'exposition - Application dans le logiciel MODUL'ERS, 26 juin 2017.
- INERIS, Rapport d'étude n° DRC-15-149181-04282A, Paramètres physico-chimiques des substances prédéfinies dans le logiciel MODUL'ERS, 25 juin 2015.
- INERIS, Rapport d'étude n° DRC-16-159776-09593A, Paramètres de transfert des polychlorodibenzodioxines, polychlorodibenzofurannes et des polychlorobiphényles, utilisés pour l'évaluation de l'exposition, Application dans le logiciel MODUL'ERS, 26 juin 2017
- INERIS, Synthèse des Valeurs Réglementaires pour les substances chimiques, en vigueur dans l'eau, l'air et les denrées alimentaires en France au 30 juin 2020, Rapport d'étude n° INERIS-20-200358-2190502-v 3.0, Mai 2021.
- INERIS, Etat de l'art pour l'évaluation des risques de substances à effets sans seuil pour les enfants, Rapport INERIS 203525-2704768-v2.0, 19 janvier 2023.
- INERIS, Guide sur les types d'usages définis dans le cadre des cessations d'activité des installations classées pour la protection de l'environnement et de projets d'aménagement, Rapport INERIS-213282-2759342-v3.0, 25 mai 2023.
- INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) (2020), Liste des substances chimiques classées CMR – Classification réglementaire des cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction - fichier excel disponible sur le site internet de l'INRS.

- Loi n° 76-663 du 19/07/1976 relative aux ICPE.
- Note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués.
- Note du Ministère de l'Environnement N° DEVP1708766N du 19 avril 2017 relative aux sites et sols pollués - Mise à jour des textes méthodologiques de gestion des sites et sols pollués de 2007 et Méthodologie Nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 associée.
- OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Air Toxics Hot Spots Program Risk Assessment Guidelines, Part II, Technical Support Document for Describing Available Cancer Potency Factors, July 2009, updated 2011.
- OEHHA, In utero and early life susceptibility to carcinogens : The derivation of Age-at-Exposure sensitivity measures, California Environmental Protection Agency Office of Environmental Health Hazard Assessment Reproductive and Cancer Hazard Assessment Branch - Appendix J, 2009.
- OMS (Organisation Mondiale pour la Santé), WHO Air Quality Guidelines; 2nd Edition Regional Office for Europe, 2000.
- OMS (Organisation Mondiale pour la Santé), WHO Drinking Water Quality Guidelines; 4th Edition, incorporating the 1st addendum, 2017.
- OQAI, Campagne Nationale Logements, Etat de la Qualité de l'air dans les logements français, Rapport final, Mai 2007.
- RIVM (Institut National de Santé Publique et d'Environnement, Pays-Bas), Risc-Human 3.1, Van Hall Instituut, 2000.
- RIVM (Institut National de Santé Publique et d'Environnement, Pays-Bas), Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels, March 2001, updated 2009.
- Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group, Human Health Risk-Based Evaluation of Petroleum Release Sites: Implementing the Working Group Approach, Volume 1 à 5, May 1998 - June 1999.
- US EPA, Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I - Human Health Evaluation Manual (Part A, Baseline Risk Assessment), Interim Final, December, 1989.
- US EPA, User's guide for evaluating subsurface vapour intrusion into buildings, Office of Emergency and Remedial Response, Washington, D.C., February 22, 2004.
- US EPA, Exposure Factors Handbook. Office of Research and Development. EPA/600/R-09/052F, September 2011.
- US-EPA, EPA/630/R-03/003F, 2005, Supplemental guidance for assessing susceptibility from Early-life Exposure to carcinogens.
- US-EPA, 2020, "Additional Information, Adjustments and Special Cases for Dose-Response Values in Tables 1 and 2." extrait de <https://www.epa.gov/fera/additional-information-adjustments-and-specialcases-dose-response-values-tables-1-and-2>.

Annexe III : **Intrusion de substances organiques dans les réseaux souterrains d'eau potable**

PERMEATION DES SUBSTANCES ORGANIQUES VOLATILES DANS LES RESEAUX D'EAU POTABLE²⁶

Les canalisations souterraines d'eau potable peuvent être sujettes à la perméation (phénomène qui consiste en un transfert des polluants volatils contenus dans les sols et les gaz de sol vers l'intérieur des canalisations). La perméation est généralement associée aux canalisations souterraines non métalliques (de type PE – Polyéthylène, ou PB – Polybutylène), et aux substances organiques.

En France, aucune valeur limite dans les sols n'est définie pour l'installation d'une canalisation souterraine d'eau potable. Cependant, des valeurs limites, au-dessus desquelles il est recommandé d'apporter une attention particulière à la sélection du matériau constituant la canalisation, existent au Royaume-Uni et aux Pays-Bas. Celles relatives aux polluants identifiés sur le site sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 1 : Valeurs limites dans les sols – Royaume Uni

Substance	Valeur limite dans les sols (mg/kg)
HCT	50
HAP	50
1,3,5 Triméthylbenzène	25
Benzène	0,5
Toluène	50
Xylènes	2,5

²⁶ Recommandations issues du guide BRGM/RP-63675-FR d'Août 2014, « Guide relatif aux mesures constructives utilisables dans le domaine des sites et sols pollués ».

Les valeurs limites existant aux Pays-Bas font une distinction entre les canalisations en PE et les canalisations en PVC. Ces dernières sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 2 : Valeurs limites dans les sols – Pays Bas

Substance	Valeur limite dans les sols Tuyau en PE (mg/kg)	Valeur limite dans les sols Tuyau en PVC (mg/kg)
Tétrachloroéthylène	0,1	400
1,3,5 Triméthylbenzène	0,1	3 000
Benzène	0,1	2 000
Toluène	0,25	2 000
Ethylbenzène	0,5	2 000
Xylènes	0,1	3 000

Nota : il existe également des valeurs dans les eaux environnant les canalisations souterraines.

Si le risque sanitaire, associé à une éventuelle perméation de substances chimiques présentes dans les sols à travers les parois des canalisations souterraines, ne peut être écarté, des recommandations seront émises afin de s'assurer de la maîtrise du risque associé à l'ingestion d'eau du robinet.

Annexe IV : **Synthèse des données physico-chimiques**

Materials	Nom	Value	Unité	Reference
Acénaphène	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00000421	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Acénaphène	Coefficient de diffusion dans l'eau	7,69E-10	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Acénaphène	Constante de Henry à température du sol	15,4686909	Pa.m ³ /mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Acénaphène	Coefficient de partage carbone organique-eau	4578	l/kg	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Acénaphène	Log du coefficient de partage octanol-eau	3,92	cm ³ /g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Acénaphène	Masse molaire	154,21	g/mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Acénaphène	Pression de vapeur à température du sol	0,356	Pa	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Acénaphène	Solubilité	3700	mg/m ³	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Acénaphène	Température de fusion	368,15	K	
Acénaphthylène	Coefficient de diffusion dans l'air	0,0000044	m ² /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Acénaphthylène	Coefficient de diffusion dans l'eau	7,53E-10	m ² /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Acénaphthylène	Constante de Henry à température du sol	9,667931813	Pa.m ³ /mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Acénaphthylène	Coefficient de partage carbone organique-eau	2770	l/kg	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Acénaphthylène	Log du coefficient de partage octanol-eau	4	cm ³ /g	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Acénaphthylène	Masse molaire	152,19	g/mol	Base de données HSDB
Acénaphthylène	Pression de vapeur à température du sol	0,12159	Pa	Base de données HSDB
Acénaphthylène	Solubilité	16100	mg/m ³	Base de données HSDB
Acénaphthylène	Température de fusion	362,55	K	Haynes, W.M. (ed.). CRC Handbook of Chemistry and Physics. 95th Edition. CRC Press LLC, Boca Raton: FL 2014-2015, p. 3-4 (HSDB)
Aliphatique C>05 C06	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00001	m ² /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>05 C06	Coefficient de diffusion dans l'eau	0,000000001	m ² /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>05 C06	Constante de Henry à température du sol	81805,57688	Pa.m ³ /mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>05 C06	Coefficient de partage carbone organique-eau	794,3282	l/kg	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>05 C06	Log du coefficient de partage octanol-eau	3,3	cm ³ /g	Base de données du logiciel BP Risc
Aliphatique C>05 C06	Masse molaire	81	g/mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>05 C06	Pression de vapeur à température du sol	35463,75	Pa	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>05 C06	Solubilité	36000	mg/m ³	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>05 C06	Température de fusion	143,15	K	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS, ECB (2003)
Aliphatique C>06 C08	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00001	m ² /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>06 C08	Coefficient de diffusion dans l'eau	0,000000001	m ² /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>06 C08	Constante de Henry à température du sol	123947,8438	Pa.m ³ /mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>06 C08	Coefficient de partage carbone organique-eau	3981,072	l/kg	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>06 C08	Log du coefficient de partage octanol-eau	4	cm ³ /g	Base de données du logiciel BP Risc
Aliphatique C>06 C08	Masse molaire	100	g/mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>06 C08	Pression de vapeur à température du sol	6383,475	Pa	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>06 C08	Solubilité	5400	mg/m ³	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.

Materials	Nom	Value	Unité	Reference
Aliphatique C>06 C08	Température de fusion	182,601	K	Haynes, W.M. (ed.). CRC Handbook of Chemistry and Physics. 94th Edition. CRC Press LLC, Boca Raton: FL 2013-2014, p. 3-290 (HSDB)
Aliphatique C>08 C10	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00001	m ² /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>08 C10	Coefficient de diffusion dans l'eau	0,000000001	m ² /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>08 C10	Constante de Henry à température du sol	198316,55	Pa.m ³ /mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>08 C10	Coefficient de partage carbone organique-eau	31622,78	l/kg	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>08 C10	Log du coefficient de partage octanol-eau	4,8	cm ³ /g	Base de données du logiciel BP Risc
Aliphatique C>08 C10	Masse molaire	130	g/mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>08 C10	Pression de vapeur à température du sol	638,3475	Pa	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>08 C10	Solubilité	430	mg/m ³	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>08 C10	Température de fusion	219,68	K	Haynes, W.M. (ed.). CRC Handbook of Chemistry and Physics. 94th Edition. CRC Press LLC, Boca Raton: FL 2013-2014, p. 3-290 (HSDB)
Aliphatique C>10 C12	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00001	m ² /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>10 C12	Coefficient de diffusion dans l'eau	0,000000001	m ² /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>10 C12	Constante de Henry à température du sol	297474,825	Pa.m ³ /mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>10 C12	Coefficient de partage carbone organique-eau	251188,6	l/kg	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>10 C12	Log du coefficient de partage octanol-eau	5,6	cm ³ /g	Base de données du logiciel BP Risc
Aliphatique C>10 C12	Masse molaire	160	g/mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>10 C12	Pression de vapeur à température du sol	63,83475	Pa	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>10 C12	Solubilité	34	mg/m ³	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>10 C12	Température de fusion	247,55	K	Lide, DR (ed.). CRC Handbook of Chemistry and Physics. 81st Edition. CRC Press LLC, Boca Raton: FL 2000, p. 3-326 (HSDB)
Aliphatique C>12 C16	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00001	m ² /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>12 C16	Coefficient de diffusion dans l'eau	0,000000001	m ² /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>12 C16	Constante de Henry à température du sol	1289057,575	Pa.m ³ /mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>12 C16	Coefficient de partage carbone organique-eau	5011873	l/kg	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>12 C16	Log du coefficient de partage octanol-eau	6,8	cm ³ /g	Base de données du logiciel BP Risc
Aliphatique C>12 C16	Masse molaire	200	g/mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>12 C16	Pression de vapeur à température du sol	4,8636	Pa	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>12 C16	Solubilité	0,7	mg/m ³	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aliphatique C>12 C16	Température de fusion	267,85	K	Lide, D.R. (ed.). CRC Handbook of Chemistry and Physics. 76th ed. Boca Raton, FL: CRC Press Inc., 1995-1996., p. 3-324 (HSDB)
Anthracène	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00000428	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Anthracène	Coefficient de diffusion dans l'eau	6,72E-10	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Anthracène	Constante de Henry à température du sol	5,304967713	Pa.m ³ /mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS

Materials	Nom	Value	Unité	Reference
Anthracène	Coefficient de partage carbone organique-eau	25700	l/kg	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Anthracène	Log du coefficient de partage octanol-eau	4,45	cm3/g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Anthracène	Masse molaire	178,2292	g/mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Anthracène	Pression de vapeur à température du sol	0,11	Pa	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Anthracène	Solubilité	1290	mg/m3	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Anthracène	Température de fusion	491,15	K	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS, ECB
Aromatique C>08 C10	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00001	m2 /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>08 C10	Coefficient de diffusion dans l'eau	0,000000001	m2 /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>08 C10	Constante de Henry à température du sol	1189,8993	Pa.m3/mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>08 C10	Coefficient de partage carbone organique-eau	1585	l/kg	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>08 C10	Log du coefficient de partage octanol-eau	3,1	cm3/g	Base de données du logiciel BP Risc
Aromatique C>08 C10	Masse molaire	120	g/mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>08 C10	Pression de vapeur à température du sol	638,3475	Pa	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>08 C10	Solubilité	650	mg/m3	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>08 C10	Température de fusion	178,2	K	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS, ECB (2007)
Aromatique C>10 C12	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00001	m2 /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>10 C12	Coefficient de diffusion dans l'eau	0,000000001	m2 /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>10 C12	Constante de Henry à température du sol	347,0539625	Pa.m3/mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>10 C12	Coefficient de partage carbone organique-eau	2511	l/kg	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>10 C12	Log du coefficient de partage octanol-eau	3,5	cm3/g	Base de données du logiciel BP Risc
Aromatique C>10 C12	Masse molaire	130	g/mol	Base de données du logiciel BP Risc
Aromatique C>10 C12	Pression de vapeur à température du sol	63,83475	Pa	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>10 C12	Solubilité	25000	mg/m3	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>10 C12	Température de fusion	353,15	K	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS, ECB (2003)
Aromatique C>12 C16	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00001	m2 /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>12 C16	Coefficient de diffusion dans l'eau	0,000000001	m2 /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>12 C16	Constante de Henry à température du sol	131,3847144	Pa.m3/mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>12 C16	Coefficient de partage carbone organique-eau	5012	l/kg	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>12 C16	Log du coefficient de partage octanol-eau	3,9	cm3/g	Base de données du logiciel BP Risc
Aromatique C>12 C16	Masse molaire	150	g/mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>12 C16	Pression de vapeur à température du sol	4,8636	Pa	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>12 C16	Solubilité	5800	mg/m3	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Aromatique C>12 C16	Température de fusion	362,55	K	Haynes, W.M. (ed.). CRC Handbook of Chemistry and Physics. 95th Edition. CRC Press LLC, Boca Raton: FL 2014-2015, p. 3-4 (HSDB)
Benzène	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00000895	m2 /s	Base de données RAIS (Risk Assessment Information System) (uniquement pour les données manquantes)

Materials	Nom	Value	Unité	Reference
Benzène	Coefficient de diffusion dans l'eau	1,03E-09	m ² /s	Base de données RAIS (Risk Assessment Information System) (uniquement pour les données manquantes)
Benzène	Constante de Henry à température du sol	562	Pa.m ³ /mol	EPISUITE, CHEMFATE
Benzène	Coefficient de partage carbone organique-eau	39,5	l/kg	CHEMFATE, EPISUITE
Benzène	Log du coefficient de partage octanol-eau	2,13	cm ³ /g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Benzène	Masse molaire	78,06	g/mol	CHEMFATE
Benzène	Pression de vapeur à température du sol	12637	Pa	EPISUITE, CHEMFATE
Benzène	Solubilité	1830000	mg/m ³	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Cumène (Isopropylbenzène)	Coefficient de diffusion dans l'air	0,0000065	m ² /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Cumène (Isopropylbenzène)	Coefficient de diffusion dans l'eau	7,1E-10	m ² /s	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Cumène (Isopropylbenzène)	Constante de Henry à température du sol	1467,54247	Pa.m ³ /mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Cumène (Isopropylbenzène)	Coefficient de partage carbone organique-eau	1380	l/kg	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Cumène (Isopropylbenzène)	Log du coefficient de partage octanol-eau	3,66	cm ³ /g	Base de données HSDB
Cumène (Isopropylbenzène)	Masse molaire	120,19	g/mol	Base de données HSDB
Cumène (Isopropylbenzène)	Pression de vapeur à température du sol	599,950656	Pa	Base de données HSDB
Cumène (Isopropylbenzène)	Solubilité	50000	mg/m ³	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Cumène (Isopropylbenzène)	Température de fusion	177,15	K	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS, ECB (2001)
Dioxine (2.3.7.8-tcdd)	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00036	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Dioxine (2.3.7.8-tcdd)	Coefficient de diffusion dans l'eau	0,000000044	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Dioxine (2.3.7.8-tcdd)	Constante de Henry à température du sol	5,329757281	Pa.m ³ /mol	Base de données HSDB
Dioxine (2.3.7.8-tcdd)	Coefficient de partage carbone organique-eau	24000000	l/kg	Base de données HSDB
Dioxine (2.3.7.8-tcdd)	Log du coefficient de partage octanol-eau	6,8	cm ³ /g	Base de données HSDB
Dioxine (2.3.7.8-tcdd)	Masse molaire	322	g/mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Dioxine (2.3.7.8-tcdd)	Pression de vapeur à température du sol	0,00000015	Pa	INERIS 2005
Dioxine (2.3.7.8-tcdd)	Solubilité	0,02	mg/m ³	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Dioxine (2.3.7.8-tcdd)	Température de fusion	575	K	Rapport INERIS DRC-15-149181-04282A
Ethylbenzène	Coefficient de diffusion dans l'air	0,0000075	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Ethylbenzène	Coefficient de diffusion dans l'eau	7,8E-10	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Ethylbenzène	Constante de Henry à température du sol	820	Pa.m ³ /mol	Soil Vapor Extraction Technology de T., A. Pedresen et J., T. Curtis (1991). (constante de Henry à 10°C)
Ethylbenzène	Coefficient de partage carbone organique-eau	241,9	l/kg	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Ethylbenzène	Log du coefficient de partage octanol-eau	3,15	cm ³ /g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Ethylbenzène	Masse molaire	106,16	g/mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Ethylbenzène	Pression de vapeur à température du sol	1273	Pa	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Ethylbenzène	Solubilité	155000	mg/m ³	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Ethylbenzène	Température de fusion	178,2	K	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS, ECB (2007)

Materials	Nom	Value	Unité	Reference
Fluoranthène	Coefficient de diffusion dans l'air	0,0000041	m ² /s	Base de données RAIS (Risk Assessment Information System) (uniquement pour les données manquantes)
Fluoranthène	Coefficient de diffusion dans l'eau	6,8E-10	m ² /s	Base de données RAIS (Risk Assessment Information System) (uniquement pour les données manquantes)
Fluoranthène	Constante de Henry à température du sol	0,9	Pa.m ³ /mol	EPISUITE
Fluoranthène	Coefficient de partage carbone organique-eau	52400	l/kg	CHEMFATE, EPISUITE, Portail substances chimiques
Fluoranthène	Log du coefficient de partage octanol-eau	5,1	cm ³ /g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Fluoranthène	Masse molaire	202,26	g/mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Fluoranthène	Pression de vapeur à température du sol	0,00123	Pa	EPISUITE
Fluoranthène	Solubilité	260	mg/m ³	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Fluorène	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00000456	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Fluorène	Coefficient de diffusion dans l'eau	6,79E-10	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Fluorène	Constante de Henry à température du sol	9,692721382	Pa.m ³ /mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Fluorène	Coefficient de partage carbone organique-eau	7707	l/kg	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Fluorène	Log du coefficient de partage octanol-eau	4,18	cm ³ /g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Fluorène	Masse molaire	166,21	g/mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Fluorène	Pression de vapeur à température du sol	0,09	Pa	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Fluorène	Solubilité	1980	mg/m ³	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Fluorène	Température de fusion	387,91	K	Haynes, W.M. (ed.). CRC Handbook of Chemistry and Physics. 95th Edition. CRC Press LLC, Boca Raton: FL 2014-2015, p. 3-272 (HSDB)
Mercure	Coefficient de diffusion dans l'air	0,0000045	m ² /s	Base de données RAIS (Risk Assessment Information System) (uniquement pour les données manquantes)
Mercure	Coefficient de diffusion dans l'eau	5,3E-10	m ² /s	Base de données RAIS (Risk Assessment Information System) (uniquement pour les données manquantes)
Mercure	Constante de Henry à température du sol	719,4075	Pa.m ³ /mol	Base de données HSDB
Mercure	Coefficient de partition particules du sol-eau du sol pour la couche de sol contenant la source sol	1000	l/kg	
Mercure	Coefficient de partition particules du sol-eau du sol pour la couche de sol contenant la source sol	1000	l/kg	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Mercure	Coefficient de partition particules du sol-eau du sol pour la couche de sol contenant la source sol	1000	l/kg	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Mercure	Coefficient de partage carbone organique-eau	-1	l/kg	Valeur par défaut MODUL'ERS
Mercure	Log du coefficient de partage octanol-eau	0,6232	cm ³ /g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Mercure	Masse molaire	200,59	g/mol	US-EPA (United States Environmental Protection Agency) dans le document Screening level ecological assesement protocol ; Appendix C : Media-to-receptors BCF values, 1999. (2005)
Mercure	Pression de vapeur à température du sol	0,266644	Pa	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS (2010), European commission (2001)
Mercure	Solubilité	56,7	mg/m ³	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Mercure	Température de fusion	550	K	Valeur par défaut de MODUL'ERS.
Mésitylène (135 triméthylbenzène)	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00000628	m ² /s	TPHCWGS (1999) Volume 3

Materials	Nom	Value	Unité	Reference
Mésitylène (135 triméthylbenzène)	Coefficient de diffusion dans l'eau	7,85E-10	m ² /s	TPHCWGS (1999) Volume 3
Mésitylène (135 triméthylbenzène)	Constante de Henry à température du sol	888,62	Pa.m ³ /mol	HSDB (Sanemasa I et al; Bull Chem Soc Jpn; 55: 1054-62 (1982))
Mésitylène (135 triméthylbenzène)	Coefficient de partage carbone organique-eau	602	l/kg	Fiche INERIS (US EPA 2011)
Mésitylène (135 triméthylbenzène)	Log du coefficient de partage octanol-eau	3,42	cm ³ /g	INERIS (US EPA 2011)
Mésitylène (135 triméthylbenzène)	Masse molaire	120,19	g/mol	HSDB (O'Neil, M.J. (ed.). The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. Whitehouse Station, NJ: Merck and Co., Inc., 2006., p. 1020)
Mésitylène (135 triméthylbenzène)	Pression de vapeur à température du sol	330,64	Pa	HSDB (Daubert, T.E., R.P. Danner. Physical and Thermodynamic Properties of Pure Chemicals Data Compilation. Washington, D.C.: Taylor and Francis, 1989.)
Mésitylène (135 triméthylbenzène)	Solubilité	48200	mg/m ³	HSDB (Yalkowsky, S.H., He, Yan., Handbook of Aqueous Solubility Data)
Mésitylène (135 triméthylbenzène)	Température de fusion	228,35	K	HSDB (O'Neil, M.J. (ed.). The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. Whitehouse Station, NJ: Merck and Co., Inc., 2006., p. 1020)
Naphtalène	Coefficient de diffusion dans l'air	0,0000067	m ² /s	Base de données RAIS (Risk Assessment Information System) (uniquement pour les données manquantes)
Naphtalène	Coefficient de diffusion dans l'eau	8,2E-10	m ² /s	Base de données RAIS (Risk Assessment Information System) (uniquement pour les données manquantes)
Naphtalène	Constante de Henry à température du sol	46,76	Pa.m ³ /mol	EPISUITE, CHEMFATE
Naphtalène	Coefficient de partage carbone organique-eau	1789	l/kg	CHEMFATE, EPISUITE, Portail substances chimiques
Naphtalène	Log du coefficient de partage octanol-eau	3,4	cm ³ /g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Naphtalène	Masse molaire	128,18	g/mol	CHEMFATE
Naphtalène	Pression de vapeur à température du sol	11,3	Pa	EPISUITE, CHEMFATE, Portail Substance chimique
Naphtalène	Solubilité	31800	mg/m ³	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Phénanthrène	Coefficient de diffusion dans l'air	0,0000054	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Phénanthrène	Coefficient de diffusion dans l'eau	5,7E-10	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Phénanthrène	Constante de Henry à température du sol	3,049116956	Pa.m ³ /mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Phénanthrène	Coefficient de partage carbone organique-eau	2291	l/kg	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Phénanthrène	Log du coefficient de partage octanol-eau	4,57	cm ³ /g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Phénanthrène	Masse molaire	178,23	g/mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Phénanthrène	Pression de vapeur à température du sol	0,091	Pa	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Phénanthrène	Solubilité	1200	mg/m ³	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Phénanthrène	Température de fusion	372,65	K	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Pseudocumène (124 triméthylbenzène)	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00000604	m ² /s	TPHCWGS (1999) Volume 3
Pseudocumène (124 triméthylbenzène)	Coefficient de diffusion dans l'eau	7,85E-10	m ² /s	TPHCWGS (1999) Volume 3
Pseudocumène (124 triméthylbenzène)	Constante de Henry à température du sol	614,162	Pa.m ³ /mol	HSDB (Sanemasa I et al; Bull Chem Soc Jpn 55: 1054-62 (1982))
Pseudocumène (124 triméthylbenzène)	Coefficient de partage carbone organique-eau	614	l/kg	INERIS (US EPA 2011)
Pseudocumène (124 triméthylbenzène)	Log du coefficient de partage octanol-eau	3,63	cm ³ /g	INERIS (US EPA 2011)
Pseudocumène (124 triméthylbenzène)	Masse molaire	120,191	g/mol	HSDB (Lide, D.R. CRC Handbook of Chemistry and Physics 86TH Edition 2005-2006. CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, FL 2005, p. 3-504)

Materials	Nom	Value	Unité	Reference
Pseudocumène (124 triméthylbenzène)	Pression de vapeur à température du sol	279,98	Pa	HSDB (Chao J et al; J Phys Chem Ref Data 12: 1033-63 (1983))
Pseudocumène (124 triméthylbenzène)	Solubilité	57000	mg/m3	HSDB (McAuliffe C; J Phys Chem 70: 1267-75 (1966))
Pseudocumène (124 triméthylbenzène)	Température de fusion	229,45	K	HSDB (Lide, D.R. CRC Handbook of Chemistry and Physics 86TH Edition 2005-2006. CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, FL 2005, p. 3-504)
Pyrène	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00000272	m2 /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Pyrène	Coefficient de diffusion dans l'eau	7,24E-10	m2 /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Pyrène	Constante de Henry à température du sol	0,919693001	Pa.m3/mol	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
Pyrène	Coefficient de partage carbone organique-eau	67992	l/kg	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Pyrène	Log du coefficient de partage octanol-eau	5,32	cm3/g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Pyrène	Masse molaire	202,26	g/mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Pyrène	Pression de vapeur à température du sol	6	Pa	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Pyrène	Solubilité	130	mg/m3	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Pyrène	Température de fusion	429,15	K	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Tétrachloroéthylène	Coefficient de diffusion dans l'air	0,0000072	m2 /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Tétrachloroéthylène	Coefficient de diffusion dans l'eau	8,2E-10	m2 /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Tétrachloroéthylène	Constante de Henry à température du sol	1860	Pa.m3/mol	Soil Vapor Extraction Technology de T., A. Pedresen et J., T. Curtis (1991). (constante de Henry à 10°C)
Tétrachloroéthylène	Coefficient de partage carbone organique-eau	247	l/kg	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Tétrachloroéthylène	Log du coefficient de partage octanol-eau	2,67	cm3/g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Tétrachloroéthylène	Masse molaire	165,82	g/mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Tétrachloroéthylène	Pression de vapeur à température du sol	2470	Pa	EPISUITE, CHEMFATE
Tétrachloroéthylène	Solubilité	150000	mg/m3	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Toluène	Coefficient de diffusion dans l'air	0,0000087	m2 /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Toluène	Coefficient de diffusion dans l'eau	8,6E-10	m2 /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Toluène	Constante de Henry à température du sol	406,4745588	Pa.m3/mol	Soil Vapor Extraction Technology de T., A. Pedresen et J., T. Curtis (1991). (constante de Henry à 10°C)
Toluène	Coefficient de partage carbone organique-eau	100	l/kg	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Toluène	Log du coefficient de partage octanol-eau	2,69	cm3/g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Toluène	Masse molaire	92,14	g/mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Toluène	Pression de vapeur à température du sol	3769	Pa	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Toluène	Solubilité	515000	mg/m3	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Toluène	Température de fusion	178,15	K	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS, ECB (2003)
Xylène. m-	Coefficient de diffusion dans l'air	0,00000695	m2 /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. m-	Coefficient de diffusion dans l'eau	7,8E-10	m2 /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. m-	Constante de Henry à température du sol	438,5026816	Pa.m3/mol	Soil Vapor Extraction Technology de T., A. Pedresen et J., T. Curtis (1991). (constante de Henry à 10°C)
Xylène. m-	Coefficient de partage carbone organique-eau	157	l/kg	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. m-	Log du coefficient de partage octanol-eau	3,21	cm3/g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. m-	Masse molaire	106,16	g/mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. m-	Pression de vapeur à température du sol	1100	Pa	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. m-	Solubilité	151000	mg/m3	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS

Materials	Nom	Value	Unité	Reference
Xylène. m-	Température de fusion	225,25	K	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS (2009)
Xylène. o-	Coefficient de diffusion dans l'air	0,0000084	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. o-	Coefficient de diffusion dans l'eau	0,000000001	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. o-	Constante de Henry à température du sol	304,0688503	Pa.m ³ /mol	Soil Vapor Extraction Technology de T., A. Pedresen et J., T. Curtis (1991). (constante de Henry à 10°C)
Xylène. o-	Coefficient de partage carbone organique-eau	234	l/kg	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. o-	Log du coefficient de partage octanol-eau	3,01	cm ³ /g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. o-	Masse molaire	106,16	g/mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. o-	Pression de vapeur à température du sol	880	Pa	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. o-	Solubilité	178000	mg/m ³	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. o-	Température de fusion	247,95	K	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS (2009)
Xylène. p-	Coefficient de diffusion dans l'air	0,0000072	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. p-	Coefficient de diffusion dans l'eau	8,44E-10	m ² /s	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. p-	Constante de Henry à température du sol	448,0962447	Pa.m ³ /mol	Soil Vapor Extraction Technology de T., A. Pedresen et J., T. Curtis (1991). (constante de Henry à 10°C)
Xylène. p-	Coefficient de partage carbone organique-eau	317	l/kg	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. p-	Log du coefficient de partage octanol-eau	3,15	cm ³ /g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. p-	Masse molaire	106,16	g/mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. p-	Pression de vapeur à température du sol	1172	Pa	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. p-	Solubilité	177000	mg/m ³	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Xylène. p-	Température de fusion	286,45	K	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS (2009)
Cyanure (sel de cyanure et cyanure d hydrogene)	Coefficient de diffusion dans l'air	0,0000211	m ² /s	Base de données RAIS (Risk Assessment Information System) (uniquement pour les données manquantes)
Cyanure (sel de cyanure et cyanure d hydrogene)	Coefficient de diffusion dans l'eau	2,46E-09	m ² /s	Base de données RAIS (Risk Assessment Information System) (uniquement pour les données manquantes)
Cyanure (sel de cyanure et cyanure d hydrogene)	Constante de Henry à température du sol	0,000133	Pa.m ³ /mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Cyanure (sel de cyanure et cyanure d hydrogene)	Coefficient de partage carbone organique-eau	1000	l/kg	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Cyanure (sel de cyanure et cyanure d hydrogene)	Log du coefficient de partage octanol-eau	-0,25	cm ³ /g	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Cyanure (sel de cyanure et cyanure d hydrogene)	Masse molaire	27,03	g/mol	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
Cyanure (sel de cyanure et cyanure d hydrogene)	Pression de vapeur à température du sol	83000	Pa	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS

Annexe V : **Présentation et paramétrage du logiciel Modul'ERS**

PRESENTATION DES MODULES DE CALCUL MODUL'ERS DE L'INERIS (Extrait guide de l'utilisateur)

Chaque module de calcul, à l'exception du module *Niveaux_Exposition_Risque*, correspond à un milieu et **permet de calculer la concentration de polluants dans ce milieu** (concentration attribuable à la source (ou aux) sources étudiée(s) et concentration totale, intégrant le bruit de fond) et **le niveau d'exposition correspondant pour les cibles humaines en fonction du temps. Les niveaux d'exposition sont calculés par classe d'âge en fonction du temps²⁷ et pour un profil d'individus dont l'utilisateur définit l'âge en début d'exposition et la date de début d'exposition²⁸.**

Les fonctions de chaque module sont décrites dans le logiciel. Pour savoir ce que chaque module permet de calculer, il est conseillé de lire sa description dans la fenêtre *Information*, en cliquant une fois sur sa représentation dans la matrice.

Comme indiqué précédemment toutes les équations sont accessibles et l'utilisateur peut également se reporter au document « Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle » (DRC-08—94882-16675C).

Les modalités de calcul des concentrations par chacun des modules sont résumées ci-dessous et les termes sources de pollution pouvant être utilisés sont listés.

- Le module **Sol** sert au calcul de la concentration dans une couche de sol en surface, en tenant compte ou non des apports atmosphériques, des apports par irrigation et des mécanismes de perte (dégradation, lixiviation, érosion, ruissellement).
➔ Expression possible du terme source de pollution : dépôts atmosphériques, concentration dans l'eau.
- Le module **Nouveau_végétal** permet de calculer les concentrations dans les végétaux liées aux dépôts atmosphériques directs, à l'absorption gazeuse (polluants organiques), aux dépôts de particules du sol remises en suspension à partir du sol de surface, à l'irrigation par aspersion, au prélèvement direct à partir du sol racinaire. Les concentrations sont recalculées chaque année et données au moment de la récolte et de récolte en récolte.
➔ Expression possible du terme source de pollution : dépôts atmosphériques, concentration dans l'eau, concentration dans l'air, concentration dans le sol.
- Le module **Eaux_superficielles** donne les concentrations dans les eaux superficielles et les sédiments à l'état stationnaire. La concentration dans les eaux peut être calculée au point x en aval d'un rejet ponctuel (approche applicable à un cours d'eau) ou comme une concentration homogène dans un volume d'eau Vol_e_sup (approche applicable notamment à une étendue

²⁷ Pour une simulation sur 30 années, les niveaux d'exposition calculés par classe d'âge correspondent au cours du temps à des individus différents. Ainsi, la classe d'âge des enfants de 1 à 3 ans correspond à des individus différents à la date t=0 et à t=30.

²⁸ Les niveaux d'exposition calculés pour un profil d'individus durant une simulation sur 30 ans se rapportent aux mêmes individus durant toute la simulation. Les valeurs des paramètres d'exposition de ces individus évoluent en fonction de leur âge, qui lui-même dépend de l'âge défini par l'utilisateur en début d'exposition et du temps t.

d'eau). Ce calcul peut être fait en tenant compte de rejets diffus (apports atmosphériques, par ruissellement sur les zones imperméables, par ruissellement sur les zones perméables, par érosion) et des pertes par dégradation, volatilisation et sédimentation.

- ➔ Expression possible du terme source de pollution : dépôts atmosphériques, concentration dans le sol, concentration dans le cours d'eau au point $x=0$.
- Le module **Eaux_souterraines** donne la concentration de polluants en phase dissoute aux points de coordonnées x, y, z à l'instant t , pour une source surfacique de polluants dans la zone saturée, perpendiculaire à l'écoulement et de concentration constante (à partir de la solution de Domenico). Le module permet également de calculer cette concentration à partir d'une concentration constante dans le sol au bas de la zone non saturée.
 - ➔ Expression possible du terme source de pollution : concentration dans le sol en bas de la zone insaturée, concentration dans la nappe au point $x=0$.
- Le module **Animaux_aquatiques** permet de calculer les concentrations dans l'animal selon une approche stationnaire ou dynamique à partir de la concentration dans le milieu d'exposition. Dans le dernier cas, la concentration dans le tissu animal est estimée pour un animal en fin de vie.
 - ➔ Expression possible du terme source de pollution : concentration dans l'eau, concentration dans les sédiments.
- Le module **Nouvel_animal** donne les concentrations dans l'animal (tissu 1 : viande, matières grasses) et dans les produits excrétés par l'animal (tissu 2 : œufs, lait ou matières grasses de ces produits). Ces concentrations peuvent être calculées à l'état stationnaire ou avec une approche dynamique. Dans ce cas, les concentrations dans les tissus animaux sont estimées pour un animal en fin de vie. La dose d'exposition de l'animal est estimée à partir de son ingestion de sol, d'eau et/ou de végétaux contaminés. L'utilisateur peut tenir compte des concentrations de trois sols différents, de trois ressources en eau différentes et de cinq végétaux différents.
 - ➔ Expression possible du terme source de pollution : concentration dans l'eau, concentration dans le sol, concentration dans les végétaux.

Les cinq modules suivants permettent de calculer les concentrations dans l'air.

- Le module **Conc_gaz_air_exterieur** permet le calcul du flux d'émission à partir d'une source sol (source sol supposée infinie ou supposée finie à la surface du sol) ou d'une source nappe et l'estimation des concentrations dans l'air à hauteur de respiration des cibles et/ou à une hauteur H_b définie par l'utilisateur.
- Le module **Conc_gaz_air_interieur_Volasoil** donne le flux d'émission à partir d'une source sol ou d'une source nappe et l'estimation des concentrations dans un bâtiment (endroit où a lieu l'émission : vide sanitaire, sous-sol ou pièces à vivre selon les cas) et dans le lieu de vie, si le bâtiment comporte un vide-sanitaire ou un sous-sol. Les calculs sont réalisés selon une approche dérivée du modèle Volasoil du RIVM (institut néerlandais de santé publique et de l'environnement).
- Le module **Conc_gaz_air_interieur_JE**, basé sur les équations du modèle de Johnson et Ettinger (US EPA, 2004; Johnson et al., 1991), permet le calcul des concentrations gazeuses dans l'air d'un bâtiment à partir d'une source sol ou d'une source nappe. Ce module est conçu pour un bâtiment construit sur une dalle. Dans le cas d'une source sol, la concentration

attendue dans le bâtiment peut être estimée en utilisant la solution pour une source infinie ou la solution pour une source finie, proposée par l'US EPA. La solution en source finie implémentée suppose nécessairement que la dalle du bâtiment se situe au niveau du sol (pas de sous-sol enterré).

→ Pour ces trois modules, l'utilisateur peut définir les caractéristiques de deux couches de sol différentes au-dessus de la source, tenir compte du mélange de substances présentes dans le sol en appliquant la loi de Raoult et de la diffusion dans la nappe dans le cas d'une source nappe.

→ Expression possible du terme source de pollution pour ces trois modules : concentration dans l'eau de la nappe, concentration dans l'air du sol, concentration dans le sol.

- Le module **Conc_part_air_extérieur** donne les concentrations inhalables de polluant sous forme particulaire dans l'air extérieur, à partir de la concentration dans le sol et de la fraction de particules issues du sol, ou du modèle de Cowherd calculant le flux moyen annuel de particules inférieures ou égales à 10 µm, dues à l'érosion éolienne.

→ Expression possible du terme source de pollution : concentration dans le sol.

- Le module **Conc_part_air_intérieur** permet le calcul des concentrations inhalables à partir de la concentration particulaire inhalable dans l'air extérieur (*Cap_e_inh_attrib*).

→ Expression possible du terme source de pollution : concentration dans l'air extérieur sous forme particulaire.

Les modules dédiés à l'air extérieur *Conc_gaz_air_extérieur* et *Conc_part_air_extérieur* permettent, en plus de la source sol ou de la source nappe du site, de tenir compte de la concentration dans l'air liée à d'autres sources de polluants issues du site.

A la différence des autres modules dédiés aux calculs des concentrations dans les milieux, les cinq modules pour la concentration dans l'air calculent les niveaux d'exposition en moyenne annuelle et le niveau d'exposition moyen sur la durée d'exposition. Ces grandeurs servent au calcul des risques chroniques.

- Enfin, le module **Niveaux_Exposition_Risque** est dédié au calcul des niveaux d'exposition chronique et au calcul des niveaux de risque chronique. Les doses d'exposition orales sont calculées en moyenne annuelle pour les différentes classes d'âge, afin d'estimer les risques à effet de seuil. Elles sont aussi calculées en moyenne sur toute la durée d'exposition pour un profil d'individus, dont l'utilisateur a défini l'âge en début d'exposition et la date de début d'exposition, afin d'estimer les risques sans effet de seuil. Pour les expositions par inhalation, le calcul des niveaux d'exposition moyens est fait directement dans les modules relatifs au milieu (cf. paragraphe précédent). Les niveaux de risque sont définis par substance individuelle et pour toutes les substances et peuvent aussi être définis par organe cible pour les effets à seuil.

Paramètres d'entrée du Logiciel Modul'ERS

Modélisation vers l'air intérieur

- Caractéristiques des sols :

Paramètres	Unité	Valeurs	Commentaires
Température du sol	K	283	Valeur par défaut (10°C)
Volume de la source sol	m ³	0	Source considérée comme infinie (volume non connu)
Couche de sol 2 (située au contact du bâtiment)			
Epaisseur de la couche de sol entre le bâtiment et la source (couche 2)	m	0,1	Epaisseur minimale du modèle
Type de sol de la couche 2	-	Sable	Spécifique au site : basé sur observations de terrain
Densité du sol	g/cm ³	1,66	Valeur standard pour ce type de sol (US-EPA)
Porosité du sol	-	0,375	Porosité totale θ_s pour ce type de sol (US-EPA)
Perméabilité intrinsèque du sol	m ²	9,9E-12	Valeur calculée pour ce type de sol
Teneur en eau du sol	cm ³ /cm ³	0,054	Valeur standard $\theta_{w,unsat}$ pour ce type de sol (US-EPA)
Teneur en carbone organique du sol (COT)	-	0,002	Valeur par défaut (US EPA)

- Caractéristiques des bâtiments :

Dimensions :

Paramètres	Unité	Valeurs	Commentaires
Hauteur	m	2,30	Hauteur sous faux-plafond moyenne d'après les plans d'aménagement de janvier 2016
Taux de transfert entre les étages	cm	100%	Hypothèse sécuritaire

Paramètres de modélisation pour VOLASOIL :

Paramètres	Unité	Valeurs	Commentaires
Fraction surfacique occupée par les ouvertures de la dalle	-	1,0E-05	Valeur par défaut (dalle normale)
Nombre d'ouverture dans la dalle par unité de surface	m ⁻²	0,2	Valeur Modul'ERS
Epaisseur de la dalle du bâtiment	m	0,1	Valeur standard
Porosité de la dalle	-	0,02	Valeur par défaut de Modul'ERS (Hazebrouck 2005)
Teneur en eau de la dalle	-	0	Valeur par défaut de Modul'ERS (Hazebrouck 2005)
Différence de pression entre le sol et l'espace clos (DeltaP)	Pa (ou kg.m ⁻¹ .s ⁻²)	2	Valeur par défaut pour une configuration avec plain-pied (USEPA, 2004 + RIVM, 2008)
Taux de renouvellement d'air (ER)	vol/s	2,2E-4 (=0,8 vol/h)	Valeur standard pour un usage tertiaire

Modélisation vers l'air extérieur

- Caractéristiques des sols :

Paramètres	Unité	Valeurs	Commentaires
Température du sol	K	283	Valeur par défaut (10°C)
Volume de la surface sol	m ²	0	Source considérée comme infinie (volume non connu)
Couche de sol 2 (sol en surface)			
Epaisseur de la couche 2	m	0,3	Epaisseur minimal de recouvrement
Type de sol de la couche 2	-	Sable	Spécifique au site : basé sur observations de terrain et granulométries
Densité du sol	g/cm ³	1,66	Valeur standard pour ce type de sol (US-EPA)
Porosité du sol	-	0,375	Porosité totale θ_s pour ce type de sol (US-EPA)
Teneur en eau du sol	cm ³ /cm ³	0,054	Valeur standard $\theta_{w,unsat}$ pour ce type de sol ^(US EPA)
Teneur en carbone organique du sol (COT)	-	0,002	Valeur par défaut (US EPA)

- Caractéristiques des espaces extérieurs :

Paramètres	Unité	Valeurs	Commentaires
Vitesse de vent	m/s	3	Valeur pénalisante
Hauteur de mélange	m	1,55	Hauteur de respiration des cibles
Longueur de la source parallèle au vent W	m	130	Plus grande diagonale du site (hypothèse majorante)

Annexe VI : **Synthèse des données toxicologiques et des VTR**

Substances		Effets non cancérigènes et organes cibles	Effets cancérigènes			
Dénomination	N°CAS		Classification			Types de cancer
			USEPA	CIRC	UE	
CAV						
Benzène	71-43-2	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, système hématopoïétique/sang, foie, tractus gastro-intestinal, système nerveux central, système immunitaire, effets foetotoxiques,	CH	1	C1AM1B	Leucémies (myélocytiques, lymphoïdes, myéloïdes)
Toluène	108-88-3	Appareil respiratoire, système cardiovasculaire, système hématopoïétique/sang, système nerveux central, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, effets foetotoxiques, foie	InI	3	R2	-
Ethylbenzène	100-41-4	Système hématopoïétique/sang, reins, foie, effets foetotoxiques /développement, système endocrinien	D	2B	-	-
Xylènes	1330-20-7	Système nerveux central, sang, appareil respiratoire, peau, foie, reins, rate, effets foetotoxiques / développement	InI	3	-	-
Cumène	98-82-8	Reins	InI	2B	-	-
Pseudocumène	95-63-6	Système nerveux central, sang, appareil respiratoire	-	-	-	-
Mésitylène	108-67-8	Système nerveux central, sang, appareil respiratoire	-	-	-	-
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP)						
Naphtalène	91-20-3	Sang/système hématopoïétique, appareil cardiovasculaire, système nerveux central, yeux, foie, reins, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, rate, effets foetotoxiques /développement, système endocrinien, appareil respiratoire	C	2B	C2	Tumeurs bénignes pulmonaires (études chez l’animal)
Acénaphène	83-32-9	Foie, sang/système hématopoïétique, appareil cardiovasculaire, appareil respiratoire, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, appareil reproducteur, système endocrinien	D	3	-	-

Substances		Effets non cancérogènes et organes cibles	Effets cancérogènes			
Dénomination	N°CAS		Classification USEPA CIRC UE			Types de cancer
Acénaphthylène	206-96-8	Appareil cardiovasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien, appareil respiratoire	D	-	-	-
Phénanthrène	85-01-8	Appareil respiratoire, appareil cardiovasculaire, foie, sang/système hématopoïétique, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien	D	3	-	-
Fluoranthène	206-44-0	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien, reins	D	3	-	-
Fluorène	86-73-7	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien	D	3	-	-
Anthracène	120-12-7	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien	D	3	C2	-
Pyrène	129-00-0	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, reins, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien	D	3	-	-
COMPOSÉS ORGANOCHLORÉS VOLATILS						
Tétrachloroéthylène	127-18-4	Système nerveux central, foie, reins, effets foetotoxiques	LH	2A	C2	Chez l'homme : leucémies lymphoïdes. Chez l'animal : carcinomes hépatocellulaire
HYDROCARBURES TPH						
TPH C6-C8 aliphatiques	-	Foie, reins	-	-	-	-
TPH C8-C10 aliphatiques	-	Foie, sang	-	-	-	-
TPH C10-C12 aliphatiques	-	Foie, sang	-	-	-	-

Substances		Effets non cancérigènes et organes cibles	Effets cancérigènes			
Dénomination	N°CAS		Classification USEPA CIRC UE			Types de cancer
TPH C12-C16 aliphatiques	-	Foie, sang	-	-	-	-
TPH C8-C10 aromatiques	-	Perte de poids	-	-	-	-
TPH C10-C12 aromatiques	-	Perte de poids	-	-	-	-
TPH C12-C16 aromatiques	-	Perte de poids	-	-	-	-
METAUX						
Mercure	7439-97-6	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, système nerveux central, peau, reins, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, effets foetotoxiques/développement	D	3	R1B	-
AUTRES SUBSTANCES						
Dioxine (2.3.7.8-tcdd)	1746-01-6	Foie, rein, sang	-	-	-	/
Cyanure (sel de cyanure et cyanure d hydrogene)	57-12-5 (74-90-8)	-	-	-	-	-

Valeurs Toxicologiques de Référence retenues pour la voie inhalation (vapeurs ou particules)

N° CAS	Substances	Voie d'exposition : inhalation Durée d'exposition : chronique								
		Effets à seuil					Effets sans seuil			
		VTR (mg/m³)	Effet/organe cible	Organisme	Date de construction	Expertise (organisme, date)	VTR (mg/m³) ⁻¹	Organisme	Date de construction	Expertise (organisme, date)
Composés Aromatiques Volatils (CAV)										
71432	benzène	1,0E-02	Immunologique	ANSES	2008	-	2,6E-02	ANSES	2013	-
100414	éthylbenzène	1,5E+00	Ototoxique	ANSES	2016	-	-	ANSES	2016	-
108883	toluène	1.9E+01	Poids de la progéniture	ANSES	2017	-	-	-	-	-
108383	m-xylène	1,0E-01	Neurologique	US-EPA	2003	ANSES, 2020	-	-	-	-
95476	o-xylène									
106423	p-xylène									
98828	cumène	4,0E-01	Reins	US EPA	1997	-	-	-	-	-
95636	pseudocumène	6,0E-02	Neurologique	US EPA	2016	-	-	-	-	-
108678	mésitylène	6,0E-02	Neurologique	US EPA	2016	-	-	-	-	-
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)										
83329	acénaphène	-	-	-	-	-	6,0E-04	US EPA + FET	2017	INERIS 2018
208968	acénaphthylène	-	-	-	-	-	6,0E-04	US EPA + FET	2017	INERIS 2019
120127	anthracène	-	-	-	-	-	6,0E-03	US EPA + FET	2018	INERIS 2019
206440	fluoranthène	-	-	-	-	-	6,0E-04	US EPA + FET	2017	INERIS 2019

N° CAS	Substances	Voie d'exposition : inhalation Durée d'exposition : chronique								
		Effets à seuil					Effets sans seuil			
		VTR (mg/m³)	Effet/organe cible	Organisme	Date de construction	Expertise (organisme, date)	VTR (mg/m³) ⁻¹	Organisme	Date de construction	Expertise (organisme, date)
86737	fluorène	-	-	-	-	-	6,0E-04	US EPA + FET	2017	INERIS 2019
91203	naphtalène	3,7E-02	Respiratoire	ANSES	2013	INERIS 2019	5,6E-03	ANSES	2013	INERIS 2019
85018	phénanthrène	-	-	-	-	-	6,0E-04	US EPA + FET	2017	INERIS 2019
129000	pyrène	-	-	-	-	-	6,0E-04	US EPA + FET	2017	INERIS 2019
Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV)										
67663	chloroforme	6,3E-02	Effet cancérigène à seuil : Reins	ANSES	2008	-	-	ANSES	2012	-
75014	chlorure de vinyle	1,0E-01	Hépatique	US EPA	2010	-	3,8E-03	ANSES	2012	-
75092	dichlorométhane	6,0-E-01	Hépatique	US EPA	2011	-	1,0E-05	US EPA	2011	-
127184	tétrachloroéthylène	4,0E-01	Reins	ANSES	2017	-	2,6E-04	US EPA	2012	ANSES 2017
56235	tétrachlorure de carbone	1.1E-01	Effet cancérigène à seuil : Foie	ANSES	2017	-	-	ANSES	2008	-
79016	trichloroéthylène	3,2E+00	Reins	ANSES	2018	-	1,0E-03	US EPA	2006	ANSES 2018
Métaux										
7439976	mercure	3,0E-05	Neurologique	OEHHA	2008	INERIS, 2009	-	-	-	-
Hydrocarbures Totaux (HCT)										
HCTa1	HCT ALIPHATIQUES EC5-EC6	1,8E+01	Foie, reins	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-
HCTa2	HCT ALIPHATIQUES EC6-EC8	1,8E+01	Foie, reins	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-

N° CAS	Substances	Voie d'exposition : inhalation Durée d'exposition : chronique								
		Effets à seuil					Effets sans seuil			
		VTR (mg/m³)	Effet/organe cible	Organisme	Date de construction	Expertise (organisme, date)	VTR (mg/m³) ⁻¹	Organisme	Date de construction	Expertise (organisme, date)
HCTa13	HCT ALIPHATIQUES EC8-EC10	1,0E+00	Foie, sang	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-
HCTa14	HCT ALIPHATIQUES EC10-EC12	1,0E+00	Foie, sang	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-
HCTa15	HCT ALIPHATIQUES EC12-EC16	1,0E+00	Foie, sang	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-
HCTar3	HCT AROMATIQUES EC8-EC10	2,0E-01	Perte de poids	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-
HCTar4	HCT AROMATIQUES EC10-EC12	2,0E-01	Perte de poids	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-
HCTar5	HCT AROMATIQUES EC12-EC16	2,0E-01	Perte de poids	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-
Autres										
1746-01-6	Dioxine (2.3.7.8-tcdd)	4,0E-08	Foie, reins, sang	INERIS	2013	-	-	-	-	-
57-12-5 (74-90-8)	Cyanure (sel de cyanure et cyanure d'hydrogène)	0,025	-	INERIS	2011	-	-	-	-	-

Annexe VII : **Calculs de Risques Sanitaires**

	Inhalation intérieure			Inhalation extérieure	
	CINH en mg/m ³	ERI	QD_inh Classe 7	QD_inh Classe 7	ERI
Acénaphthylène	5,2E-03	3,8E-07	-	-	2,2E-10
Acénaphène	1,4E-03	1,0E-07	-	-	5,7E-11
Aliphatique C>05 C06	1,3E-03	-	1,5E-05	1,9E-08	-
Aliphatique C>06 C08	2,7E-03	-	2,9E-05	3,9E-08	-
Aliphatique C>08 C10	2,7E-03	-	5,4E-04	7,1E-07	-
Aliphatique C>10 C12	9,1E-03	-	1,8E-03	2,4E-06	-
Aliphatique C>12 C16	4,4E-03	-	8,7E-04	1,2E-06	-
Anthracène	6,0E-04	4,4E-07	-	-	2,5E-10
Aromatique C>08 C10	7,8E-03	-	7,8E-03	1,0E-05	-
Aromatique C>10 C12	2,4E-04	-	2,4E-04	3,1E-07	-
Aromatique C>12 C16	4,7E-04	-	4,7E-04	6,2E-07	-
Benzène	5,1E-05	1,6E-07	1,0E-03	1,2E-06	1,9E-10
Cumène (Isopropylbenzène)	2,4E-05	-	1,2E-05	1,0E-08	-
Cyanure (sel de cyanure et cyanure d hydrogene)	8,2E-07	-	6,5E-06	1,2E-07	-
Dioxine (2,3,7,8-tcdd)	2,0E-11	-	1,0E-04	1,6E-06	-
Ethylbenzène	2,9E-04	-	3,9E-05	3,9E-08	-
Fluoranthène	2,4E-04	1,8E-08	-	-	9,8E-12
Fluorène	6,7E-04	4,9E-08	-	-	3,0E-11
Mercure	1,9E-06	-	1,3E-02	7,5E-06	-
Mésitylène (135 triméthylbenzène)	9,0E-05	-	3,0E-04	2,5E-07	-
Naphtalène	5,7E-05	3,9E-08	3,1E-04	2,7E-07	3,4E-11
Phénanthrène	9,8E-03	7,2E-07	-	-	5,2E-10
Pseudocumène (124 triméthylbenzène)	4,2E-04	-	1,4E-03	1,1E-06	-
Pyrène	1,5E-04	1,1E-08	-	-	3,9E-12
Toluène	3,1E-03	-	3,3E-05	3,8E-08	-
Tétrachloroéthylène	4,8E-04	1,5E-08	2,4E-04	2,3E-07	1,5E-11
Xylène, m-	3,6E-03	-	7,2E-03	6,7E-06	-
Xylène, o-	3,8E-04	-	7,5E-04	8,4E-07	-
Xylène, p-	3,6E-03	-	7,2E-03	6,9E-06	-
Somme		1,9E-06	3,6E-02	3,6E-05	1,3E-09



EAU

Évaluation, exploitation, gestion et sécurisation de la ressource en eau, géothermie, eau potable et assainissement, traitement des eaux industrielles, aménagements hydrauliques et restauration écologique



ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL

Évaluation, gestion et valorisation des sites et sols pollués, dossiers réglementaires, risques industriels, audits et conseils, clés en main et maîtrise d'œuvre de travaux de dépollution, ingénierie de l'air



INFRASTRUCTURES

Géotechnique, fondations et terrassements, ouvrages et structures, déconstruction, désamiantage, déplombage, gestion et valorisation des matériaux et des déchets, aménagements urbains, risques naturels



MESURES ET GESTION DES DONNÉES

Mesures d'eau, de pollution atmosphérique, d'exposition professionnelle, d'air ambiant, d'air intérieur

Modélisation, simulation numérique et spatialisation, systèmes d'information et solutions pour la gestion des données environnementales

Références :



Portées
communiquées
sur demande