



# ESPACE FONTVAL

## Impasse Fontval – 42300 Roanne

---

### ANALYSE DES RISQUES SANITAIRES / PLAN DE GESTION

### MISSION CODIFIEE A320 ET PG SELON LA NORME NF X31-620

|                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Ville de Roanne</p> <p>Place de l'hôtel de Ville</p> <p>42 328 Roanne CEDEX</p> | <p><b>SOCOTEC ENVIRONNEMENT</b></p> <p><i>Votre interlocuteur :</i><br/><b>Arnaud GUILLAUMOND</b><br/>Chef de projet sites et sols pollués</p> <p>Agence Saint-Etienne<br/>1 Rue de la logistique<br/>Technopôle – CS 40775<br/>42 951 Saint-Etienne CEDEX<br/>Tél. : 04 77 91 12 20 - 06 17 99 69 34<br/>Email : <a href="mailto:arnaud.guillaumond@socotec.com">arnaud.guillaumond@socotec.com</a></p> |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Site : Espace Fontval – Impasse Fontval – 42300 Roanne

N° D'AFFAIRE : 1905EL7PA000030

N° RAPPORT : EL7PA/20/030

Date d'édition du rapport : 19/03/2020

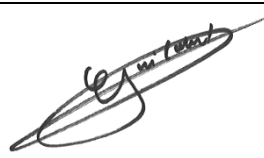
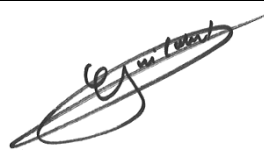
Version du rapport : Rapport Initial

SOCOTEC Environnement - S.A.S au capital de 3.600.100 euros 834 096 497 RCS Versailles - APE 7120 B –  
n° TVA intracommunautaire : FR00 834096497 - Siège social : 5, place des Frères Montgolfier - CS 20732  
Guyancourt - 78182 St-Quentin-en-Yvelines Cedex

## EQUIPE DU PROJET

|                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| <b>Chef de projet</b> | Arnaud GUILLAUMOND |
| <b>Superviseur</b>    | Delphine AUDRAS    |

## REDACTION ET VALIDATION DU RAPPORT

|                                      |                                       |                                                                                      |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rédacteur du rapport</b>          | GUILLAUMOND Arnaud<br>MORLOT Baptiste |    |
| <b>Vérificateur (chef de projet)</b> | GUILLAUMOND Arnaud                    |   |
| <b>Approbateur (superviseur)</b>     | AUDRAS Delphine                       |  |

## HISTORIQUE DES VERSIONS

| Version N° | Date d'édition | Commentaire(s)  |
|------------|----------------|-----------------|
| 1          | 19/03/2020     | Rapport initial |

Ce rapport a été édité à partir de la trame de rapport solspollues\_rapport\_type\_pg\_e5jeea61.doc – version c – 190517

## SOMMAIRE

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. PRESENTATION DE LA MISSION .....</b>                                            | <b>6</b>  |
| 1.1. DEMANDEUR .....                                                                  | 6         |
| 1.2. SITE D'INTERVENTION .....                                                        | 6         |
| 1.3. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE LA MISSION.....                                         | 7         |
| 1.4. CONTENU DE LA MISSION .....                                                      | 8         |
| 1.5. DOCUMENTS DE REFERENCE – ETUDES ANTERIEURES .....                                | 9         |
| 1.6. REFERENTIEL METHODOLOGIQUE .....                                                 | 9         |
| <b>2. SYNTHSE DES DONNEES DISPONIBLES .....</b>                                       | <b>10</b> |
| 2.1. CONTEXTE HISTORIQUE .....                                                        | 10        |
| 2.2. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL .....                                                   | 11        |
| 2.3. ETAT DES MILIEUX (SOL, EAUX SOUTERRAINES ET GAZ DU SOL) .....                    | 11        |
| <b>4. SCHEMA CONCEPTUEL .....</b>                                                     | <b>14</b> |
| 4.1. PROJET D'AMENAGEMENT .....                                                       | 14        |
| 4.2. HYPOTHESES PRISES EN CONSIDERATION.....                                          | 14        |
| 4.3. IDENTIFICATION DES SOURCES .....                                                 | 14        |
| 4.4. IDENTIFICATION DES CIBLES HUMAINES .....                                         | 14        |
| 4.5. IDENTIFICATION DES MILIEUX D'EXPOSITION ET DE LEURS USAGES.....                  | 14        |
| 4.6. IDENTIFICATION DES VOIES DE TRANSFERT.....                                       | 15        |
| 4.7. IDENTIFICATION DES VOIES D'EXPOSITION .....                                      | 16        |
| <b>5. ANALYSE DES ENJEUX SANITAIRES .....</b>                                         | <b>18</b> |
| 5.1. EVALUATION DES DANGERS DES SUBSTANCES .....                                      | 18        |
| 5.1.1. <i>Identification des substances présentes</i> .....                           | 18        |
| 5.1.2. <i>Dangers toxicologiques et effets sur la santé</i> .....                     | 18        |
| 5.1.3. <i>Sélection des substances</i> .....                                          | 19        |
| 5.2. EVALUATION DES RELATIONS DOSES ET EFFETS ET REPONSE DES SUBSTANCES CHOISIES..... | 20        |
| 5.2.1. <i>Relations dose-effets et valeurs toxicologiques de référence</i> .....      | 20        |
| 5.2.2. <i>Choix des valeurs toxicologiques de référence</i> .....                     | 21        |
| 5.3. EVALUATION DE L'EXPOSITION AUX SUBSTANCES CHOISIES .....                         | 22        |
| 5.3.1. <i>Modes d'exposition retenus</i> .....                                        | 22        |
| 5.3.2. <i>Milieux d'exposition pris en compte</i> .....                               | 22        |
| 5.3.3. <i>Concentrations prises en considération</i> .....                            | 22        |
| 5.3.4. <i>Paramètres d'exposition</i> .....                                           | 24        |
| 5.3.1. <i>Paramètres retenus pour le sol et les bâtiments</i> .....                   | 26        |
| 5.3.2. <i>Détermination des concentrations dans les milieux d'exposition</i> .....    | 27        |
| 5.3.2.1. <i>Détermination des concentrations dans l'air ambiant intérieur</i> .....   | 27        |
| 5.3.2.1. <i>Détermination des concentrations dans l'air ambiant extérieur</i> .....   | 27        |
| 5.3.3. <i>Détermination des doses d'exposition</i> .....                              | 28        |
| 5.4. CALCULS DES RISQUES LIES AUX SUBSTANCES CHOISIES POUR LE SITE .....              | 28        |
| 5.4.1. <i>Modalité de calcul des risques</i> .....                                    | 28        |

|            |                                                           |           |
|------------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 5.4.1.1.   | <i>Risques liés aux effets à seuil (non cancérigènes)</i> | 28        |
| 5.4.1.2.   | <i>Risques liés aux effets sans seuil (cancérigènes)</i>  | 29        |
| 5.4.1.3.   | <i>Somation des niveaux de risque</i>                     | 29        |
| 5.4.2.     | <i>Résultats des calculs de risques</i>                   | 30        |
| 5.5.       | ETUDE DE SENSIBILITE                                      | 30        |
| <b>6.</b>  | <b>EVALUATION DES INCERTITUDES</b>                        | <b>37</b> |
| <b>7.</b>  | <b>PLAN DE GESTION</b>                                    | <b>38</b> |
| <b>8.</b>  | <b>PERENNISATION DES MESURES DE GESTION</b>               | <b>49</b> |
| <b>9.</b>  | <b>CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS</b>                      | <b>50</b> |
| <b>10.</b> | <b>ANNEXES</b>                                            | <b>52</b> |

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plan de localisation du site (source : OpenStreetMaps - QGIS).....6

Figure 2 : Extrait du plan cadastral de la commune de Roanne (source : www.cadastre.gouv.fr) .....7

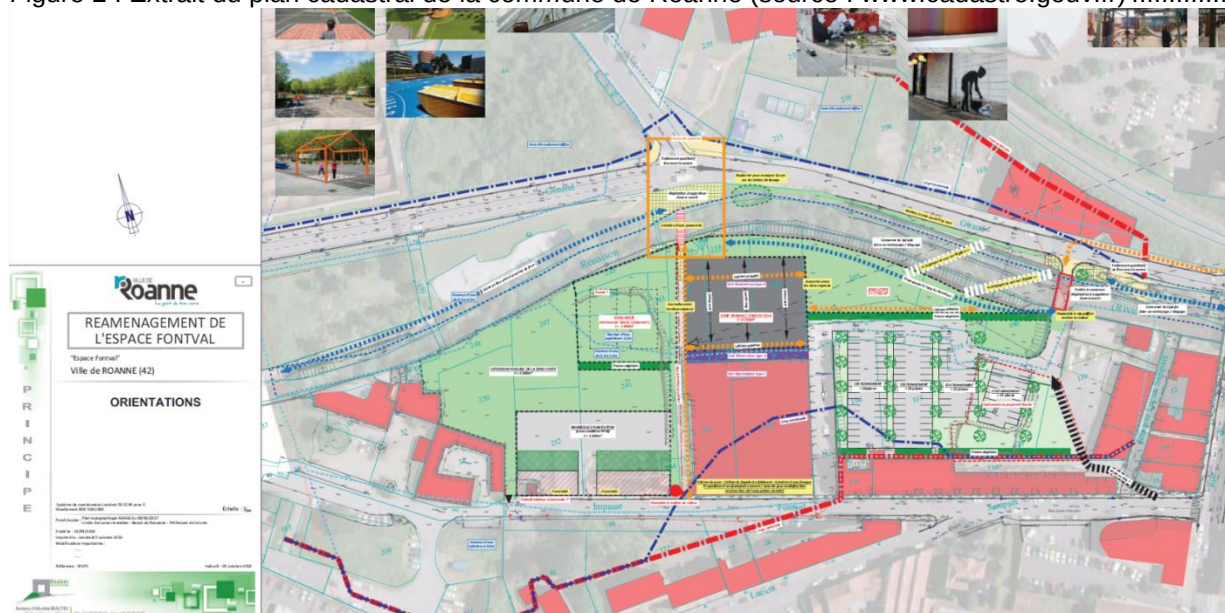


Figure 3 : Plan d'orientation du projet d'aménagement (Source : Mairie de Roanne) .....8

Figure 4 : Schéma conceptuel .....17

Figure 5 Schéma de principe du venting .....40

Figure 6 Schéma de principe du sparging .....41

Figure 7 : Schéma de principe du pompage et traitement (BRGM) .....42

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Présentation du site .....6

Tableau 2 : Valeurs toxicologiques de référence inhalation prises en compte dans l'EQRS .....22

Tableau 3 : Concentrations retenues pour l'EQRS– inhalation de composés volatils – scénario d'habitation .....23

Tableau 4 : Concentrations retenues pour l'EQRS– inhalation de composés volatils – scénario d'espace public .....24

Tableau 5 : Paramètres d'exposition – scénario habitations potentielles .....25

Tableau 6 : Paramètres d'exposition – scénario espace public .....25

Tableau 7 : Paramètres retenus pour le sol et les bâtiments .....26

Tableau 8 : Concentrations modélisées dans l'air intérieur des potentielles habitation et dans l'air extérieur de l'espace public .....27

**Tableau 9 : Risques sanitaires pour le scénario habitation potentielles.....30**

**Tableau 10 : Risques sanitaires pour le scénario espace public .....30**

Tableau 11 : Etude des incertitudes, des causes éventuelles et des moyens mis en œuvre pour limiter les incertitudes .....37

## 1. PRESENTATION DE LA MISSION

### 1.1. Demandeur

Ville de Roanne  
Place de l'hôtel de Ville  
42328 ROANNE CEDEX

### 1.2. Site d'intervention

Tableau 1 : Présentation du site

| Nom du Site                          | Espace Fontval                                                                                                                                   |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adresse                              | Impasse Fontval – 42300 Roanne                                                                                                                   |
| Parcelle(s) cadastrale(s)            | AC 248,250, 252, 247, 245, 243, 242, 241, 244, 246, 157, 158, 159, 106, 105, 104, 103, 138, 118, 100, 101                                        |
| Surface                              | 17900 m <sup>2</sup>                                                                                                                             |
| Description du site et des activités | Le site est actuellement en friche et sans usage. Toutefois il a un passif industriel avec de nombreuses installations de textile et de tissage. |

Le plan de localisation du site et un extrait de plan cadastral sont présentés ci-après en **Erreur ! Référence non valide pour un signet.** et Figure 2.



Figure 1 : Plan de localisation du site (source : OpenStreetMaps - QGIS)



Figure 2 : Extrait du plan cadastral de la commune de Roanne (source : [www.cadastre.gouv.fr](http://www.cadastre.gouv.fr))

### 1.3. Contexte et objectifs de la mission

Dans le cadre d'un projet de réhabilitation de terrain pour accueillir un programme immobilier mixte comprenant, un espace d'aménagement public et d'éventuelles habitations collectives en front de rue, sur un terrain ayant fait l'objet de diagnostics de pollution des sols, la Ville de Roanne a mandaté SOCOTEC ENVIRONNEMENT pour la réalisation d'une analyse des risques sanitaires et d'un plan de gestion afin de déterminer la compatibilité des terrains sous-jacents avec le projet futur et trouver des solutions de traitement si nécessaire.

Cette étude s'appuie sur les résultats des études menées en 2011 et 2012 par ARCADIS, mais également des études menées par SOCOTEC en 2019.

Suite à la transmission de ces études, la ville de Roanne a souhaité la réalisation d'un Plan de gestion afin de déterminer les contraintes liées à la présence de terres non inertes et leurs incidences sur le projet.

Ainsi, les objectifs de la présente prestation sont :

- choisir une stratégie de gestion appropriée, évaluer et justifier le(s) choix retenu(s) par la réalisation d'un Bilan Coûts/ Avantages,
- concevoir et dimensionner, au niveau avant-projet, les travaux de dépollution, de confinement ou de protection pour supprimer ou à défaut maîtriser les sources de pollution et leurs impacts,
- définir les précautions/ restrictions d'usage à instituer après les travaux,
- définir le programme de surveillance après les travaux,
- prouver que les mesures prévues préservent la santé publique par l'Analyse des Risques Résiduels.

Le projet prévoit l'aménagement d'immeuble d'habitation de plain-pied au Sud-Ouest, des espaces de loisirs sur la partie Nord et un parking en partie Est. Un plan du projet d'orientation est donné ci après.



Figure 3 : Plan d'orientation du projet d'aménagement (Source : Mairie de Roanne)

## 1.4. Contenu de la mission

Cette mission de Plan de gestion (code PG) selon les normes NFX31-620 est composée des prestations suivantes :

- **Une analyse des enjeux sanitaires (code A320) :**
  - Elaboration du schéma conceptuel, qui vise à mettre en évidence, en fonction de l'usage futur du site, les sources de pollution, les milieux d'exposition, les voies de transfert et d'exposition des usagers, les cibles humaines potentiellement exposées ;
  - Evaluation des dangers et des relations dose-effets des substances, qui consiste à collecter et analyser des données afin de recenser de manière exhaustive les substances présentes sur le site, les voies de transfert potentielles de ces substances vers les cibles, et les dangers liés à ces substances ; à partir de ces données, une sélection des substances prises en compte dans l'évaluation est effectuée ;
  - Evaluation des expositions des cibles humaines exposées, qui consiste à déterminer les voies de passage du polluant de la source vers la cible, ainsi qu'à estimer la fréquence, la durée et l'importance de l'exposition ;
  - Evaluation des risques : étape finale de l'ARR au cours de laquelle les informations issues des étapes précédentes sont synthétisées et intégrées sous la forme d'une expression qualitative et quantitative du risque ; l'acceptabilité des niveaux de risque obtenus est ensuite évaluée par comparaison aux seuils définis dans les textes et guides du MEDAD en date du 08 février 2007 ;
  - Evaluation des incertitudes : les expressions quantitatives du risque obtenues sont discutées, qualitativement ou quantitativement, en fonction des incertitudes, liées d'une part à l'évaluation de l'exposition et des transferts, et d'autre part à l'évaluation de la toxicité des substances.
- **Le plan de gestion comportant :**
  - le bilan coûts/avantages, les solutions de dépollution retenues et les mesures de gestion associées (A330) ;
  - la description des travaux de dépollution et l'ordre de grandeur de leur coût ;
  - les éventuelles restrictions d'usage ou plan de surveillance des milieux à préconiser ;
  - le schéma conceptuel tenant compte des mesures du plan de gestion ;
  - les conclusions et recommandations éventuelles.

## 1.5. Documents de référence – Etudes antérieures

Cette étude prend en compte les documents de référence ou les études antérieures suivantes :

- Rapport ARCADIS « Diagnostic environnemental » n°AFR-DIA-01-RPT-A01 du 24/11/2010
- Rapport ARCADIS « Etude historique et documentaire » n°AFR-PHA-00002-RPT-A01 du 23/05/2011
- Rapport ARCADIS « Investigations environnementales complémentaires » n°AFR-DIA-0002-RPT-A01 du 01/06/2011
- Rapport ARCADIS « Investigations complémentaires sur les eaux souterraines » n°AFR-PHA-00003-RPT-A01 du 16/03/2012
- Rapport ARCADIS « Investigations sur les eaux souterraines – Campagne d'Août 2012 » n°AFR-PHA-00004-RPT-A01 du 07/12/2012
- Rapport SOCOTEC « Sondage et Investigations sur les sols et gaz du sol, analyses et interprétations des résultats » n°EL7PA/19/108 en date du 15/05/2019
- Rapport SOCOTEC « Sondage et Investigations sur les sols, eaux souterraines et gaz du sol, analyses et interprétations des résultats » n°EL7P3/20/054 en date du 30/09/2019

## 1.6. Référentiel méthodologique

- Note ministérielle du 8 février 2007 relative aux sites et sols pollués, révisée par la note ministérielle du 19 avril 2017 ;
- Guide « Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués », MEEM DGPR/BSSS, avril 2017 ;
- Guide méthodologique « Visite de site » et son questionnaire de visite associé, MEDAD, version 0 de février 2007 ;
- Guide méthodologique « Diagnostics de site », MEDAD, version 0 de février 2007 ;
- Guide méthodologique « Schéma conceptuel et modèle de fonctionnement », MEDAD, version 0 de février 2007 ;
- Normes de la série NFX 31-620 de décembre 2018 : « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués ».

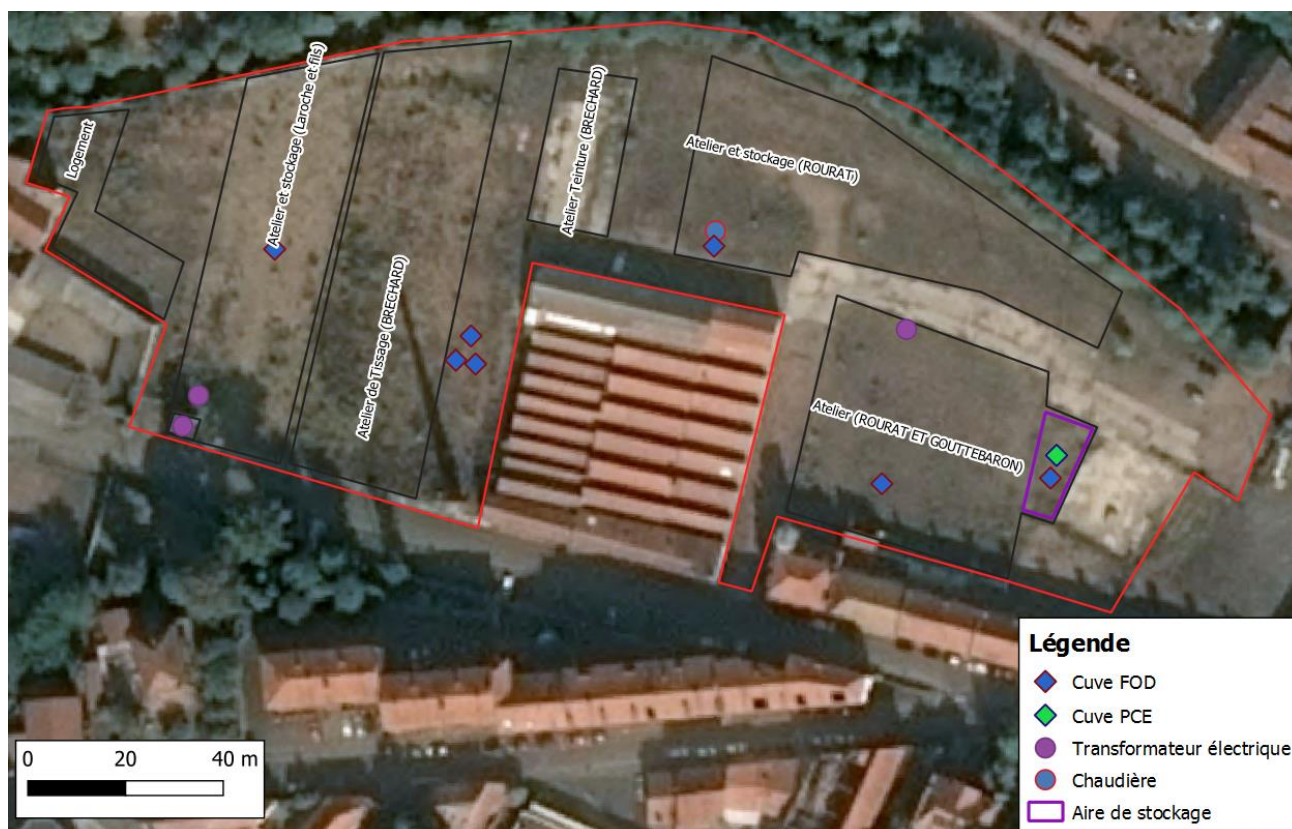
## 2. SYNTHÈSE DES DONNÉES DISPONIBLES

### 2.1. Contexte historique

Les recherches historiques ont mis en évidence :

| Activités ou installations potentiellement polluantes, ou pratiques pouvant être à l'origine d'une pollution potentielle des milieux | Actuelles / passées      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| S.A. Tissage BRECHARD (Atelier de tissage, teinture, stockage...)                                                                    | Passée (de 1927 à ?)     |
| S.A. Laroche et Fils (Construction mécanique, Chaudronnerie, tonnellerie, ...)                                                       | Passées (de 1964 à 1984) |
| SNC ROURAT (Atelier de bonneterie, tricotage)                                                                                        | Passées (de 1972 à ?)    |
| Etablissement de Mme GOUTTEBARON (Activité textile, dégraissage au perchloroéthylène)                                                | Passées (de 1974 à 1984) |

- Plusieurs zones à risques de pollution ont été identifiées :
  - Cuve de FOD (Laroche et Fils) ;
  - Atelier mécanique (Laroche et Fils) ;
  - Atelier de Tissage, et teinture (BRECHARD) ;
  - Cuves enterrées (BRECHARD) ;
  - Cuve enterrée (M. ROURAT) ;
  - Atelier et stockage divers (M.ROURAT) ;
  - Cuves enterrées (M.ROURAT et GOUTTEBARON) ;



## 2.2. Contexte environnemental

Le site est localisé sur des formations alluvionnaires (anciens alluvions de la Loire - Quaternaire). Au regard des sondages réalisés au droit du site, il s'agit d'alluvion sablo-graveleux. Ces formations sont surmontées par des remblais d'une épaisseur variable (1 à 2 m).

Concernant le contexte hydrogéologique, les anciens alluvions de la Loire sont le siège d'une nappe superficielle qui circule entre 2 et 3 m de profondeur. Toutefois, le site ne rentre pas dans un périmètre de protection de captage pour l'alimentation en eau potable.

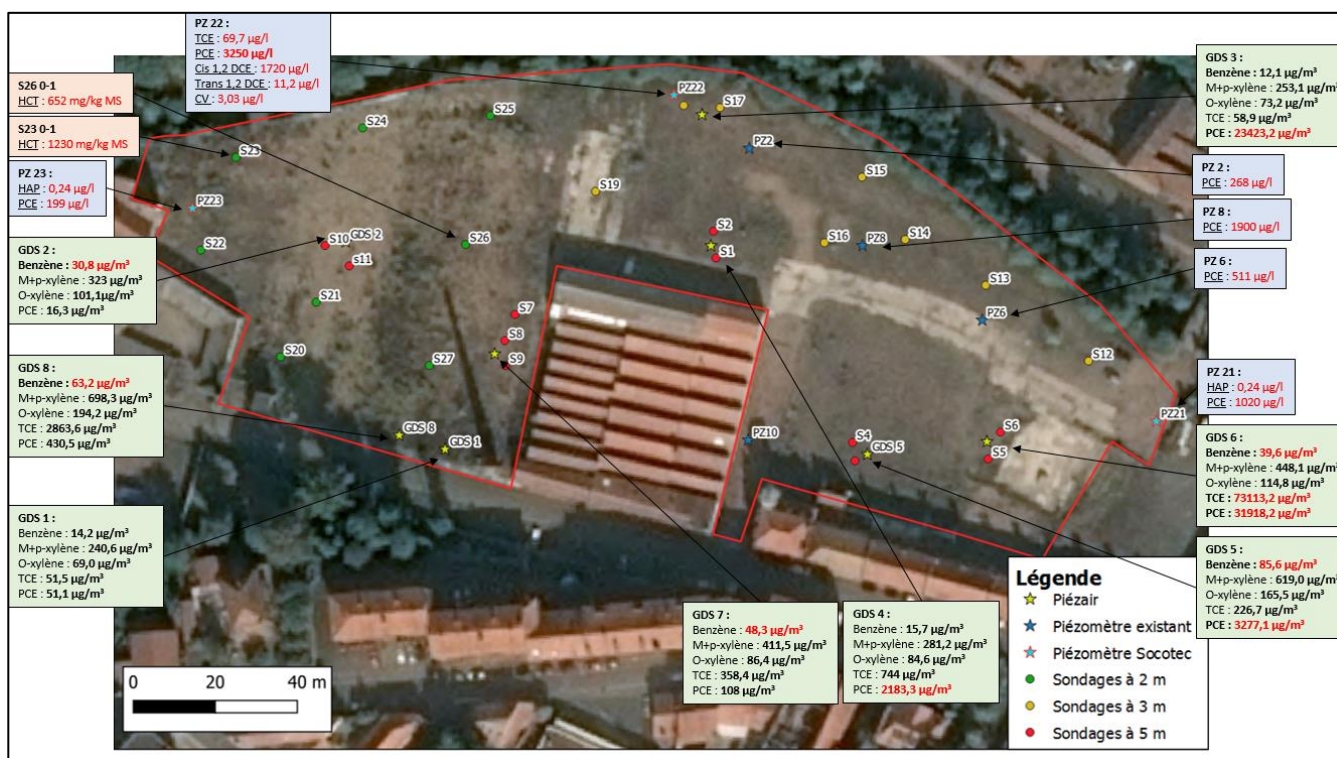
## 2.3. Etat des milieux (sol, eaux souterraines et gaz du sol)

Au regard des investigations réalisées par SOCOTEC lors de la dernière campagne de 2019, il ressort les éléments suivants :

- 27 sondages de sols jusqu'à 5 m de profondeur au maximum au moyen d'un marteau électrique qui ont mis en évidence :
  - La présence d'anomalies ponctuelles en métaux de type chrome, cuivre, plombs et zinc dans les sols de surface (entre 0 et 1 m) au niveau de l'ancien atelier de M.Rourat (sondages S12, S13, S16) et également au niveau des terrains remblayés qui correspondaient aux installations BRECHARD et Laroche et Fils (sondage S19, S21 et S27). Les dépassements observés restent toutefois faibles et sans incidence.
  - Des impacts ponctuels en hydrocarbures totaux dans les sols au droit des sondages S23 et S26 entre 0 et 1m, avec des valeurs mesurées respectivement de 1230 mg/kg MS et 652 mg/kg MS. Les chromatogrammes de ces deux zones laissent entendre une contamination par des huiles.
- 3 piézomètres et 7 prélèvements sur les eaux souterraines (nappe superficielle) qui ont révélés :
  - Des anomalies en hydrocarbure aromatique polycyclique au niveau des piézomètres PZ21 et PZ23, avec une valeur retenue de 0.24 µg/l. Deux anomalies qui restent toutefois peu significative.
  - Un impact significatif en Trichloroéthylène au niveau de PZ22 avec une valeur de 69.7 µg/l. Lors de la campagne d'Arcadis en Aout 2012, le piézomètre PZ17, anciennement localisé à proximité de PZ22, avait mis en évidence un impact en Trichloroéthylène avec une valeur de 170 µg/l. Bien que cette campagne ce soit déroulée il y a 7 ans, il semble que les concentrations mesurées en Trichloroéthylène soit en diminution.
  - Des impacts en Tétrachloroéthylène sur l'ensemble des piézomètres, à l'exception du PZ10. Ces impacts sont d'autant plus significatifs pour les piézomètres PZ 22, PZ8, PZ6 et PZ21 avec des teneurs respectives de 3250 µg/l, 1900µg/l, 511µg/l et 1020 µg/l. L'absence d'impact au niveau du PZ10 et les fortes concentrations mesurées sur les piézomètres PZ 22, PZ8, PZ6 et PZ21 révèlent une forte contamination des eaux souterraines majoritairement dues aux installations anciennement au droit du site. L'impact révélé au niveau du piézomètre PZ21, semble aussi induire la présence probable d'anomalie ou d'impacts hors site qui serait due aux anciennes activités/installations du site. Pour rappel, ARCADIS avait déjà mis en évidence un impact hors site en 2012 au niveau du PZ16, qui était positionné en latérale du PZ21. A l'ouest du site, le PZ23 relève aussi une légère anomalie en Tétrachloroéthylène, avec une valeur mesurée de 199 µg/l. Aucune installation n'est mise en évidence à proximité immédiate de ces piézomètres.

Toutefois la grande instabilité des écoulements de nappe a pu engendrer une migration des zones fortement impactées vers le PZ 23.

- 8 piézaires à 1 m de profondeur et 8 prélèvements des gaz du sol qui ont mis en évidence :
  - Des dépassements en hydrocarbures aromatiques pour la fraction C8-C10 sur l'ensemble des piézaires.
  - Des dépassements en benzène et xylènes totaux sur l'ensemble des piézaires, avec les teneurs mesurées allant de 12.1 à 85.6 µg/m<sup>3</sup> pour le benzène, de 309.58 à 862.58 µg/m<sup>3</sup> pour les xylènes totaux.
  - Une forte anomalie mesurée en Trichloroéthylène sur l'ensemble des piézaires, excepté GDS 2, avec un dépassement maximal sur GDS 6 avec une teneur mesurée de 73113.2 µg/m<sup>3</sup>.
  - Une forte anomalie mesurée en Tétrachloroéthylène sur l'ensemble des piézaires, avec des teneurs maximales de 23423.2 µg/m<sup>3</sup> (GDS 3) et 31918.2 µg/m<sup>3</sup> (GDS 6).



### 3. EVALUATION DES ENJEUX SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTAUX

Au regard de la synthèse des impacts réalisée dans le chapitre précédent et du projet d'aménagement, les principaux enjeux sanitaires et environnementaux sont liés à l'exposition des futurs usagers par inhalation de composés volatils (PCE et TCE principalement) qui se volatilisent depuis les sols jusque dans l'air intérieur des bâtiments et l'air extérieur et, par l'inhalation de vapeurs avec les eaux souterraines.

En regard de ces enjeux, les mesures de gestion devant être mises en œuvre visent donc les objectifs suivants :

- limiter l'inhalation de composés qui se volatilisent depuis les sols et la nappe ;
- empêcher le contact entre les polluants et les usagers ;

En ce sens, la stratégie développée par le plan de gestion est la suivante :

- adopter des mesures constructives pour couper les voies de transferts des polluants vers les milieux d'exposition :
  - recouvrir les sols en place au moyen d'enrobé, de dalles béton ou de terres saines (sur 15 cm)
  - mettre en place des conduites AEP de nature métallique dans des tranchées remplies de sablons sains,
  - pas de plantation de fruitiers et de potager en pleine terre,
  - pas d'usage des eaux souterraines.

## 4. SCHEMA CONCEPTUEL

Le schéma conceptuel du site ci-après permet d'évaluer les impacts potentiels du site vis à vis des futurs usagers en considérant son aménagement futur.

### 4.1. Projet d'aménagement

La ville de Roanne envisage la réalisation d'un espace public extérieur avec différentes structures sportives ou récréatives ainsi que la mise en place potentielle d'un immeuble d'habitation en front de rue.

### 4.2. Hypothèses prises en considération

Compte tenu de la présence de produits contaminants dans sols superficiels du site, un recouvrement de type enrobé ou béton ou terre saine sur la totalité de la surface du site est pris en considération.

Il est également considéré que les canalisations AEP en contact avec les sols contaminés seront en fonte ou placées dans des tranchées remblayées à l'aide de terre saine.

L'hypothèse d'une interdiction de jardins potagers ou arbres fruitiers est prise en considération.

De même, l'hypothèse d'une interdiction de puits et captages d'eau souterraine au droit du site est également effectuée.

### 4.3. Identification des sources

Les sources de contamination identifiées au droit du site sont :

- Sols contaminés par des métaux (Cu, Cr, Pb, Zn) et hydrocarbures (contaminations ponctuel et superficielles) ;
- Eaux souterraines contaminées par des COHV (PCE) ;
- Gaz du sol contaminés par des BTEX et COHV (PCE, TCE).

### 4.4. Identification des cibles humaines

L'usage considéré est l'usage futur de type loisir et résidentiel dans un secteur défini (front du rue).

Dans le cadre du futur usage du site, les cibles susceptibles d'être exposées sont constituées par les futurs usagers de l'espace public (adultes et enfants) et les potentiels futurs résidents (adultes et enfants).

### 4.5. Identification des milieux d'exposition et de leurs usages

L'hypothèse d'un recouvrement de l'ensemble des sols étant prise, le milieu sol n'est pas considéré comme des milieux d'exposition directe pour l'homme.

Le milieu air est susceptible d'être impacté par les substances polluantes volatiles présentes dans les sols. Ce milieu est donc considéré comme milieu d'exposition.

L'hypothèse d'une interdiction de jardins potagers ou arbres fruitiers étant prise en considération, l'exposition liée à l'ingestion de végétaux cultivés sur sols pollués n'est également pas prise en compte.

L'interdiction d'usage des eaux souterraines au droit site étant considérée, les expositions liées à l'utilisation de ces eaux au droit du site ne sont pas prises en compte. En revanche, l'utilisation des eaux souterraines par des particuliers pour l'arrosage, l'irrigation et le remplissage de piscine, en aval du site, étant potentiellement effectuée, ce milieu est pris en compte.

Dans ce cadre, les milieux d'exposition **sur site** sont limités à :

- l'air ambiant extérieur de l'espace public,
- l'air ambiant intérieur des potentiels futurs bâtiments d'habitation en front de rue.

## 4.6. Identification des voies de transfert

### (1) Sur site

Les contaminants présents dans les sols sont susceptibles de se transférer vers :

- l'air ambiant intérieur ou extérieur, par volatilisation depuis la source de pollution et transfert sous forme gazeuse,
- les eaux souterraines par infiltration.

Les contaminants potentiellement présents dans les eaux souterraines sont susceptibles de se transférer vers :

- l'air ambiant intérieur ou extérieur, par volatilisation depuis les eaux et transfert sous forme gazeuse,
- les eaux superficielles du fait des relations existantes entre rivière et nappe.

En revanche, les voies de transfert suivantes ne sont pas prises en compte :

- l'envol de poussières à partir des sols superficiels du fait de la mise en place d'un recouvrement des sols au droit du site, et de la présence au droit de la parcelle rétrocédée d'enrobé ou de béton.
- le ruissellement depuis les sols superficiels vers les eaux superficielles du fait du recouvrement de la totalité de la parcelle.
- la diffusion à travers les canalisations en contact avec les sols contaminés, compte tenu de l'hypothèse de la mise en place de canalisation AEP en fonte ou du remblaiement des tranchées à l'aide de terre saine.
- le transfert depuis les sols superficiels contaminés vers d'éventuels végétaux comestibles cultivés sur le sol du fait de l'hypothèse de l'interdiction des potagers et arbres fruitiers sur site.

Les voies de transfert sur site sont donc constituées par :

- la volatilisation des polluants et leur transfert sous forme gazeuse,
- l'infiltration de polluants vers les eaux souterraines,
- le transfert des eaux souterraines vers les eaux superficielles.

### (2) Hors site

Les voies de transfert hors site sont susceptibles d'être constituées par :

- la volatilisation des contaminants et leur transfert sous forme gazeuse depuis les eaux souterraines vers l'air ambiant,
- le transfert des eaux souterraines vers les eaux superficielles par la relation nappe rivière,
- le transfert depuis les eaux superficielles vers les poissons,
- les échanges entre l'air du site et les alentours (négligeables).

## 4.7. Identification des voies d'exposition

Les voies d'exposition susceptibles d'être prises en considération pour les futurs usagers du site sur site sont limitées à :

- l'inhalation de composés volatils gazeux, à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, provenant de la diffusion et de la convection de la phase gazeuse des sols,

Les voies d'exposition prises en considération pour les usagers des différents milieux hors site sont les suivantes :

- l'ingestion, l'inhalation de vapeur et le contact cutané avec les eaux souterraines potentiellement captées par des particuliers pour l'arrosage de jardins, l'irrigation, et le remplissage de piscine,

Le schéma conceptuel est présenté ci-après :

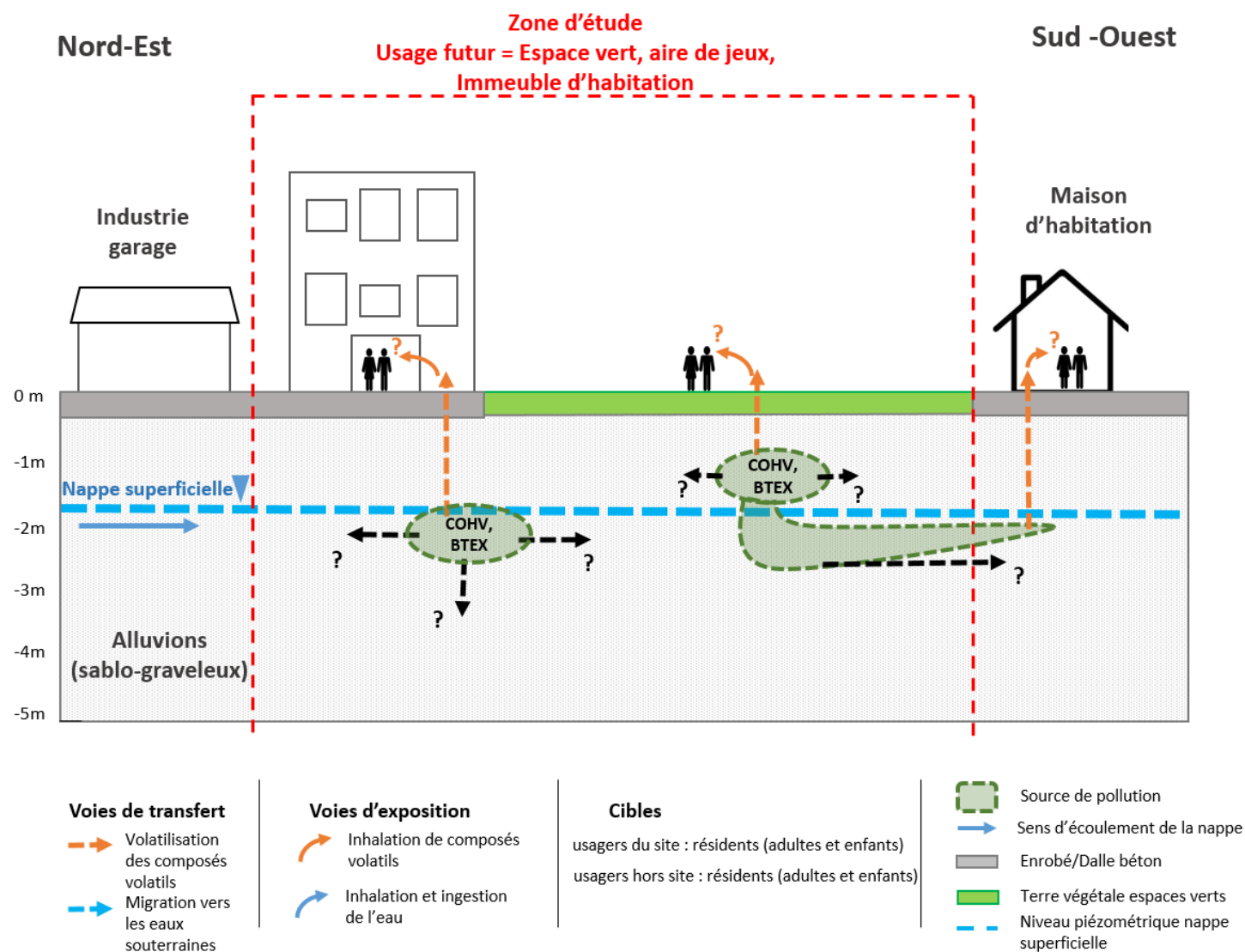


Figure 4 : Schéma conceptuel

## 5. ANALYSE DES ENJEUX SANITAIRES

Conformément aux textes ministériels relatifs à la gestion des sites et sols pollués d'avril 2017, la compatibilité entre l'état attendu des terrains après mise en œuvre des mesures de gestion proposées et l'usage futur du site doit être vérifiée sur le plan sanitaire.

L'analyse des enjeux sanitaires consiste donc à vérifier que l'état des milieux à l'issue des travaux est compatible avec les usages futurs (au droit du site).

### 5.1. Evaluation des dangers des substances

#### 5.1.1. IDENTIFICATION DES SUBSTANCES PRESENTES

Les substances polluantes identifiées dans les sols et les gaz du sol sont les suivantes :

- des hydrocarbures totaux (Aliphatiques et Aromatiques) ;
- les BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et les Xylènes)
- les COHV (PCE, TCE, Chloroforme, Trichloroéthane et Naphtalène).

#### 5.1.2. DANGERS TOXICOLOGIQUES ET EFFETS SUR LA SANTE

L'évaluation du potentiel danger des substances consiste à identifier les effets néfastes qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme.

Pour évaluer ces dangers, il est nécessaire de connaître, pour chaque substance :

- ses caractéristiques physico-chimiques, qui permettent de déterminer son comportement dans l'environnement (mobilité, volatilité, solubilité...) ;
- ses effets sur la santé (dangers associés, relations dose/effets, organes-cibles, voies d'exposition...) : effets systémiques, cancérigènes, tératogènes, mutagènes, effets sur la reproduction et le développement ;
- ses produits de dégradation, leur potentiel de formation et leurs caractéristiques.

Les effets des substances sont quantifiés selon deux approches :

- l'approche déterministe ou toxicologique, qui considère des effets à seuil : effets pour lesquels on peut définir une dose journalière tolérable ou admissible (DJT ou DJA), ou une concentration maximale tolérable ou admissible (CMT ou CMA), correspondant aux niveaux maximum d'exposition sans risque appréciable d'effets néfastes pour l'homme. Cette approche est appliquée pour les effets systémiques des substances.
- l'approche stochastique, qui considère des effets sans seuil : effets susceptibles de survenir quel que soit le niveau d'exposition (aucun niveau d'exposition sans risque). On définit alors des excès de risques unitaire correspondant à la probabilité d'occurrence supplémentaire de l'effet pour un individu exposé par rapport à un individu non exposé. Les méthodes utilisées pour déterminer ces excès de risques unitaires visent à protéger les populations, y compris les plus sensibles. Les effets cancérigènes doivent être traités dans l'évaluation des risques sanitaires comme des effets sans seuil.

Les dangers associés à ces polluants ont été recherchés et intégrés dans le cadre de la présente étude. Cette recherche a été essentiellement basée sur les classements des substances dangereuses du règlement n°1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 (CLP), les classements du Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC), les « Risk Assessment Guidelines » de l'Agence de Protection de l'Environnement des Etats-Unis (US EPA) et les fiches toxicologiques de l'INERIS et de l'INRS.

Les données collectées sur les substances (identification des dangers, organes cibles) sont synthétisées en **Annexe 3**.

### 5.1.3. SELECTION DES SUBSTANCES

Sur la base du schéma conceptuel défini précédemment, les substances susceptibles d'être retenues pour l'évaluation quantitative des risques sanitaires liés à l'inhalation, correspondent uniquement aux substances volatiles (tension de vapeur > 0,01 kPa et/ou sur la base du tableau d'aide à la sélection des substances issu du modèle de Johnson et Ettinger) présentes dans les sols/gaz du sol en teneurs supérieures aux valeurs de référence, et susceptibles d'induire des risques pour la santé (effets toxiques, cancérigènes, reprotoxiques et/ou mutagènes).

Au regard du schéma conceptuel, seuls les composés volatils sont pris en compte pour l'évaluation des risques sanitaires au droit du site.

Des mesures de gaz du sol ont été réalisées au droit des futurs bâtiments (sur 2 piézais) entre 0 et 1 m de profondeur afin de vérifier le potentiel de volatilisation des composés et leur transfert possible vers l'air intérieur et extérieur. Ces prélèvements ont donc été réalisés en dessous de la dalle des futurs bâtiments (de plain-pied).

Dans le cadre de la présente étude, **les substances mesurées dans les gaz du sol** ont été retenues pour la suite de l'étude, dès qu'elles ont été quantifiées dans les gaz du sol même si les valeurs sont inférieures aux valeurs de référence retenues. Cette approche est très majorante car un abattement d'à minima un facteur 10 est attendu entre les concentrations mesurées dans les gaz et celles dans l'air ambiant.

Si les composés ont été mesurés à la fois dans les gaz du sol et les sols; les mesures gaz du sol ont été privilégiées car ils constituent un milieu intégrateur par rapport à ce qui les entoure, cependant, la représentativité de cette mesure est limitée aux terrains dans lesquels ils sont implantés.

Ainsi, les polluants pris en compte pour les calculs de risque sanitaire par inhalation de vapeurs dans l'air intérieur et extérieur sont les suivants :

- Le tétrachloroéthylène et le trichloréthylène car détectés dans les gaz du sol ;
- Les BTEX (benzène, xylènes) car détectés dans les gaz du sol,
- La fraction aromatique C8-C10 car détectée dans les gaz du sol

N'ont pas été retenus :

- les fractions aliphatiques C5-C6, C6-C8, C8-C10, C10-C12 et C12-C16 car non détectés dans les gaz du sol,
- les fractions aromatiques C6-C7, C7-C8, C8-C10, C10-C12 et C12-C16 car non détectés dans les gaz du sol,
- le naphtalène car non détecté dans les gaz du sol.

On notera que les prélèvements de gaz du sol ont été effectués dans un contexte climatique potentiellement peu favorable au dégazage de composés volatils (période de haute pression atmosphérique). Compte tenu de la forte variabilité temporelle des résultats sur les gaz du sol qui dépend des conditions climatiques, nous avons fait varier les concentrations dans les gaz du sol dans le cadre d'une étude de sensibilité qui sera donnée plus loin.

## 5.2. Evaluation des relations doses et effets et réponse des substances choisies

### 5.2.1. RELATIONS DOSE-EFFETS ET VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE

Les risques liés aux polluants présents s'apprécient en comparant les concentrations moyennes inhalées aux doses de référence définies dans la littérature.

Conformément aux recommandations de la note 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, les bases de données suivantes ont été consultées :

- ANSES
- Portail substances chimiques de l'INERIS (expertise nationale collective)
- IRIS (US EPA)
- MRL de l'Agence des Substances Toxiques et d'Enregistrement des Maladies (ATSDR)
- OMS/IPCS
- Santé Canada
- RIVM (Agence environnementale des Pays-Bas)
- OEHHA (Agence environnementale de la Californie)
- EFSA

Deux types de substances sont pris en compte :

- les substances à seuil, non cancérigènes
- les substances sans seuil, cancérigènes

Les concentrations de référence sont :

- pour les composés non cancérigènes :
  - les concentrations maximales tolérables (RfC), exprimées en mg/m<sup>3</sup> pour la voie par inhalation,
  - les doses journalières admissibles (RfD), exprimées en mg/kg/j, pour la voie orale
- pour les composés cancérigènes :
  - les excès de risques unitaires par inhalation (ERUi), exprimés en (mg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>
  - les excès de risques unitaires par voie orale (ERUo), exprimés en (mg/kg/j)<sup>-1</sup>

## 5.2.2.CHOIX DES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE

### Recommandations de la note DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 :

La note 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 (VTR) pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués, définit des règles concernant l'utilisation des valeurs toxicologiques de référence.

Cette note préconise la méthodologie de choix des valeurs toxicologiques de référence suivante :

(1) Si aucune valeur toxicologique de référence n'est recensée pour une substance chimique dans l'une des 8 bases de données (ANSES, US EPA, OMS/IPCS, ATSDR, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA), une quantification des risques pour cette substance n'est pas envisageable.

Dans ce cadre, la valeur mesurée de l'exposition est à comparer à des valeurs guides (OMS) et à des valeurs réglementaires, en tenant compte des valeurs de bruit de fond, et il convient de proposer des mesures de surveillance ainsi que des mesures techniques de réduction des émissions.

(2) Dans le cas où une seule valeur existe parmi ces 8 bases de données, elle doit correspondre aux conditions d'exposition (durée, voies...) auxquelles la population est confrontée. En tout état de cause, il ne pourra pas :

- être utilisé une valeur toxicologique aiguë pour une exposition chronique et vice versa ;
- en l'absence de procédures établies pour la construction de VTR pour la voie cutanée, être transposé à cette voie de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire ;
- être procéder à une transposition de la VTR par voie orale en une VTR par voie respiratoire (ou vice versa).

De façon exceptionnelle, une transposition voie à voie ou une transposition d'une durée d'exposition à une autre pourra être proposée. Cette démarche de transposition devra nécessairement être transmise à la DGS qui jugera si une saisine de l'Anses doit être faite.

(3) Si plusieurs VTR existent dans les bases de données pour une même voie et une même durée d'exposition, il est recommandé d'effectuer le choix selon la hiérarchisation suivante :

- en premier lieu la VTR de l'ANSES ;
- à défaut, si une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, la VTR correspondante, si cette expertise a été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente ;
- à défaut, la VTR la plus récente parmi les 3 bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf si l'organisme de référence indique que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée ;
- et enfin, la VTR la plus récente parmi les 4 bases de données : Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA.

### VTR considérées dans cette étude :

Les valeurs prises en considération dans l'étude sont répertoriées dans le tableau ci-après, en tenant compte des recommandations de la note du 31 octobre 2014.

**Tableau 2 : Valeurs toxicologiques de référence inhalation prises en compte dans l'EQRS**

|                         |           | Sans seuil               |             | à seuil             |             |
|-------------------------|-----------|--------------------------|-------------|---------------------|-------------|
| Paramètre               | Cas N°R   | VTR sans seuil (µg/m3)-1 | Source      | VTR à seuil (mg/m3) | Source      |
| BTEX                    |           |                          |             |                     |             |
| Benzène                 | 71-43-2   | 2,60E-05                 | Anses 2013  | 9,60E-03            | ATSDR 2007  |
| Toluène                 | 108-88-3  | -                        | -           | 1,90E+01            | Anses 2017  |
| Ethylbenzène            | 100-41-4  | 2,50E-06                 | OEHHA 2011  | 1,50E+00            | Anses 2016  |
| mp-Xylène               | 1330-20-7 | -                        | -           | 2,20E-01            | ATSDR 2007  |
| COHV                    |           |                          |             |                     |             |
| Trichloroéthylène       | 79-01-6   | 1,00E-06                 | Anses 2021  | 3,20E+00            | Anses 2020  |
| Tetrachloroéthylène     | 127-18-4  | 2,60E-07                 | Anses 2013  | 4,10E-02            | US-EPA 2012 |
| Chloroforme             | 67-66-3   | 2,30E-05                 | US-EPA 2001 | 6,30E-02            | Anses 2008  |
| 1,1,1-Trichloroéthane   | 71-55-6   | -                        | -           | 5,00E+00            | US-EPA 2007 |
| HCT                     |           |                          |             |                     |             |
| Aliphatiques >MeC5 - C6 | -         | -                        | -           | 1,84E+01            | RIVM 2001   |
| Aliphatiques >C6 - C8   | -         | -                        | -           | 1,84E+01            | RIVM 2001   |
| Aliphatiques >C8 - C10  | -         | -                        | -           | 1,00E+00            | RIVM 2001   |
| Aliphatiques >C10 - C12 | -         | -                        | -           | 1,00E+00            | RIVM 2001   |
| Aliphatiques >C12 - C16 | -         | -                        | -           | 1,00E+00            | RIVM 2001   |
| Aromatiques >C8 - C10   | -         | -                        | -           | 2,00E-01            | RIVM 2001   |
| Aromatiques >C10 - C12  | -         | -                        | -           | 2,00E-01            | RIVM 2001   |
| Aromatiques >C12-C16    | -         | -                        | -           | 2,00E-01            | RIVM 2001   |
| HAP                     |           |                          |             |                     |             |
| Naphtalène              | 91-20-3   | 5,60E-06                 | Anses 2013  | 3,70E-02            | Anses 2013  |

## 5.3. Evaluation de l'exposition aux substances choisies

### 5.3.1. MODES D'EXPOSITION RETENUS

Au regard du schéma conceptuel, l'inhalation d'air ambiant constitue le seul mode d'exposition au droit du site.

### 5.3.2. MILIEUX D'EXPOSITION PRIS EN COMPTE

Les milieux d'exposition correspondent à l'air ambiant du futur espace public ainsi que des potentielles futures habitations en front de rue.

### 5.3.3. CONCENTRATIONS PRISES EN CONSIDERATION

Les calculs sont effectués à partir de la concentration maximale mesurée dans les gaz du sol en dans chaque zone définie pour les deux scénarios étudiés (espace public et habitations), en considérant les données disponibles. Ce choix est conservatoire, il tient compte de l'hypothèse pessimiste de l'implantation des futurs bâtiments ou des espaces extérieurs au droit d'une source de pollution qui regrouperait l'ensemble des composés mesurés sur les différentes zones du site en un seul point et à des concentrations maximales.

Ainsi, il a été pris en considération les teneurs présentes dans les piézair GSD1 et GDS8 pour le scénario habitation et de l'ensemble des autres piézairs pour le scénario d'espace public.

Les concentrations maximales retenues pour les calculs de risque sont présentés dans le tableau ci-après.

**Tableau 3 : Concentrations retenues pour l'EQRs– inhalation de composés volatils – scénario d'habitation**

| Paramètre               | Cas N°R   | Concentration en gaz du sol µg/m3 | Concentration dans les sols mg/kg MS | Localisation |
|-------------------------|-----------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------|
| BTEX                    |           |                                   |                                      |              |
| Benzène                 | 71-43-2   | 63,18                             | -                                    | GDS 8        |
| Toluène                 | 108-88-3  | 775,94                            | -                                    | GDS 8        |
| Ethylbenzène            | 100-41-4  | 168,49                            | -                                    | GDS 8        |
| mp-Xylène               | 1330-20-7 | 698,34                            | -                                    | GDS 8        |
| o-Xylène                |           | 164,24                            | -                                    | GDS 8        |
| COHV                    |           |                                   |                                      |              |
| Trichloroéthylène       | 79-01-6   | 2863,6                            | -                                    | GDS 8        |
| Tetrachloroéthylène     | 127-18-4  | 430,5                             | -                                    | GDS 8        |
| Chloroforme             | 67-66-3   | 14,1                              | -                                    | GDS 1        |
| 1,1,1-Trichloroéthane   | 71-55-6   | 190,3                             | -                                    | GDS 8        |
| HCT                     |           |                                   |                                      |              |
| Aliphatiques >MeC5 - C6 | -         | 155,19                            | -                                    | GDS 8        |
| Aliphatiques >C6 - C8   | -         | 759,31                            | -                                    | GDS 8        |
| Aliphatiques >C8 - C10  | -         | 482,73                            | -                                    | GDS 1        |
| Aliphatiques >C10 - C12 | -         | 270,09                            | -                                    | GDS 1        |
| Aliphatiques >C12 - C16 | -         | 96,15                             | -                                    | GDS 1        |
| Aromatiques >C8 - C10   | -         | 1657,18                           | -                                    | GDS 8        |
| Aromatiques >C10 - C12  | -         | 194,29                            | -                                    | GDS 1        |
| Aromatiques >C12-C16    | -         | 47,47                             | -                                    | GDS 1        |
| HAP                     |           |                                   |                                      |              |
| Naphtalène              | 91-20-3   | 2,1                               | -                                    | GDS 1        |

**Tableau 4 : Concentrations retenues pour l'EQRS– inhalation de composés volatils – scénario d'espace public**

| Paramètre               | Cas N°R   | Concentration en gaz<br>du sol µg/m3 | Concentration dans<br>les sols mg/kg MS | Localisation |
|-------------------------|-----------|--------------------------------------|-----------------------------------------|--------------|
| BTEX                    |           |                                      |                                         |              |
| Benzène                 | 71-43-2   | 85,6                                 | 9,60E-03                                | GDS 5        |
| Toluène                 | 108-88-3  | 796,1                                | 1,90E+01                                | GDS 5        |
| Ethylbenzène            | 100-41-4  | 201,9                                | 1,50E+00                                | GDS 5        |
| mp-Xylène               | 1330-20-7 | 619,0                                | 1,00E-01                                | GDS 5        |
| o-Xylène                |           | 165,5                                | 1,00E-01                                | GDS 5        |
| COHV                    |           |                                      |                                         |              |
| Trichloroéthylène       | 79-01-6   | 73 113,2                             | 3,20E+00                                | GDS 6        |
| Tetrachloroéthylène     | 127-18-4  | 31 918,2                             | 4,10E-02                                | GDS 6        |
| Chloroforme             | 67-66-3   | 78,8                                 | 6,30E-02                                | GDS 7        |
| 1,1,1-Trichloroéthane   | 71-55-6   | 12,6                                 | 5,00E+00                                | GDS 4        |
| HCT                     |           |                                      |                                         |              |
| Aliphatiques >MeC5 - C6 | -         | 126,3                                | 1,84E+01                                | GDS 5        |
| Aliphatiques >C6 - C8   | -         | 2 681,2                              | 1,84E+01                                | GDS 5        |
| Aliphatiques >C8 - C10  | -         | 345,1                                | 1,00E+00                                | GDS 7        |
| Aliphatiques >C10 - C12 | -         | 226,8                                | 1,00E+00                                | GDS 5        |
| Aliphatiques >C12 - C16 | -         | 54,4                                 | 1,00E+00                                | GDS 5        |
| Aromatiques >C8 - C10   | -         | 1 770,9                              | 2,00E-01                                | GDS 5        |
| Aromatiques >C10 - C12  | -         | 193,6                                | 2,00E-01                                | GDS 5        |
| Aromatiques >C12-C16    | -         | 47,5                                 | 2,00E-01                                | GDS 1*       |
| HAP                     |           |                                      |                                         |              |
| Naphtalène              | 91-20-3   | 2,1                                  | 3,70E-02                                | GDS 1*       |

\* les teneurs prises en considération pour ce composé sont issues d'un prélèvement situé sur la partie potentiellement à vocation d'habitation au de conserver une approche majorante sur l'ensemble des paramètres.

#### 5.3.4. PARAMETRES D'EXPOSITION

Les futures cibles considérées dans le cadre de l'étude qui évolueront sur site sont :

- les résidents du site (adultes et enfants) évoluant sur le site (exposition en intérieur en RDC et en extérieur afin de disposer de l'hypothèse la plus sécuritaire possible),

Les paramètres d'exposition pris en compte sont détaillés dans le tableau ci-après.

**Tableau 5 : Paramètres d'exposition – scénario habitations potentielles**

| Paramètres d'exposition                                              | Unité      | Résidents adultes | Résidents enfants |
|----------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|-------------------|
| Hauteur moyenne des voies respiratoires                              | m          | 1,5               | 1                 |
| Poids corporel                                                       | kg         | 60                | 30                |
| Durée d'exposition (T) (ans)                                         | années     | 70                | 15                |
| Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (sans seuil) | années     | 30                | 6                 |
| Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (à seuil)    | années     | 30                | 6                 |
| Nombre annuel de jours d'exposition (F) en intérieur                 | jours/an   | 365               | 365               |
| Nombre annuel de jours d'exposition (F) en extérieur                 | jours/an   | 365               | 365               |
| Fréquence d'exposition en extérieur                                  | heure/jour | 2                 | 2                 |
| Fréquence d'exposition en intérieur                                  | heure/jour | 19.77 en RDC      | 19.77 en RDC      |

**Tableau 6 : Paramètres d'exposition – scénario espace public**

| Paramètres d'exposition                                              | Unité      | Utilisateurs adultes | Utilisateurs enfants |
|----------------------------------------------------------------------|------------|----------------------|----------------------|
| Hauteur moyenne des voies respiratoires                              | m          | 1,5                  | 1                    |
| Poids corporel                                                       | kg         | 60                   | 30                   |
| Durée d'exposition (T) (ans)                                         | années     | 70                   | 15                   |
| Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (sans seuil) | années     | 30                   | 6                    |
| Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (à seuil)    | années     | 30                   | 6                    |
| Nombre annuel de jours d'exposition (F) en extérieur                 | jours/an   | 365                  | 365                  |
| Fréquence d'exposition en extérieur                                  | heure/jour | 6                    | 6                    |

Les données utilisées sont issues de la synthèse des travaux du département santé environnement de l'institut de veille sanitaire sur les variables humaines d'exposition d'une part, de l'Exposure Factor Handbook (US-EPA, EFH, 1997 et 2001) d'autre part, et enfin de la réglementation du travail en France.

### 5.3.1. PARAMETRES RETENUS POUR LE SOL ET LES BATIMENTS

Les paramètres retenus sont présentés dans le tableau suivant pour chaque scénario (scénario travailleur et scénario résidents).

**Tableau 7 : Paramètres retenus pour le sol et les bâtiments**

|                    | Paramètre                                                        | Valeur pris en compte                        | unités                      | Source                                                                                                                                    |
|--------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sol sous bâtiment  | Densité du sol                                                   | 1,8                                          | g/cm <sup>3</sup>           | Valeur par défaut                                                                                                                         |
|                    | Type de sol sous le bâtiment                                     | Sable                                        | -                           | Hypothèses d'apport d'une couche de forme sous les futurs bâtiment                                                                        |
|                    | Fraction de carbone organique dans le sol sous le dallage        | 0,002                                        | Kg(CO <sub>2</sub> )/kg(MS) | Valeur par défaut pour ce type de sols                                                                                                    |
|                    | Teneur en eau dans le sol sous le dallage                        | 12                                           | %                           | Valeur par défaut pour ce type de sols                                                                                                    |
|                    | Teneur en air dans le sol sous le dallage                        | 18                                           | %                           | Valeur par défaut pour ce type de sols                                                                                                    |
|                    | Porosité totale                                                  | 30                                           | %                           | Valeur par défaut pour ce type de sols                                                                                                    |
|                    | Distance de la source au dallage                                 | 0,3                                          | m                           | Hypothèses d'apport d'une couche de forme saine de 30 cm sous les futurs bâtiment                                                         |
|                    | Perméabilité intrinsèque des sols sous dallage                   | 1,00E-07                                     | cm <sup>2</sup>             | Valeur bibliographique pour ce type de sols                                                                                               |
| Paramètre bâtiment | Epaisseur de la dalle du RDC                                     | 0,1                                          | m                           | Hypothèses projet                                                                                                                         |
|                    | Surface des fissures du béton                                    | 2,00E-04                                     | -                           | Valeur par défaut proposée par l'US-EPA et le RIBM                                                                                        |
|                    | Différence de pression entre l'air des bâtiments et l'air du sol | 40                                           | g/cm/s <sup>2</sup>         | Valeur par défaut proposée par l'US-EPA et le RIBM                                                                                        |
|                    | Surface retenue                                                  | 273                                          | m <sup>2</sup>              | Selon plan projet                                                                                                                         |
|                    | Périmètre associé à l'espace retenue en surface                  | 67                                           | m                           | Selon plan projet                                                                                                                         |
|                    | Hauteur sous plafond des pièces                                  | 2,6                                          | m                           | Hypothèse retenue                                                                                                                         |
|                    | Taux de ventilation                                              | 24 (1h <sup>-1</sup> )                       | fois/jour                   | Valeur réglementaire issue du code du travail : l'article R232-5-3 du décret n°84-1093 qui correspond à un renouvellement d'air par heure |
| Sol en extérieur   | Hauteur de la zone de mélange pour l'exposition en extérieur     | 1,5m pour les adultes<br>1m pour les enfants |                             | Hauteur de respiration de la cible                                                                                                        |
|                    | Longueur de la zone polluée en extérieur                         | 243                                          | m                           | longueur maximale du site                                                                                                                 |
|                    | vitesse du vent                                                  | 1                                            | m/s                         | Valeur par défaut                                                                                                                         |
|                    | Type de revêtement                                               | Terre végétale saine                         | -                           | Hypothèse                                                                                                                                 |
|                    | Epaisseur du revêtement en extérieur                             | 0,3                                          | m                           | Hypothèse d'apport de 30 cm de terre végétale (épaisseur standard)                                                                        |
|                    | Porosité efficace de la TV                                       | 30                                           | %                           | Données de la littérature pour de la terre végétale                                                                                       |
|                    | Teneur en eau de la TV                                           | 15                                           | %                           |                                                                                                                                           |
|                    | Teneur en air de la TV                                           | 15                                           | %                           |                                                                                                                                           |

### 5.3.2.DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX D'EXPOSITION

#### 5.3.2.1. DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS L'AIR AMBIANT INTERIEUR

Compte tenu du projet étudié et des hypothèses considérées (bâtiment de plain-pied), la modélisation des transferts de vapeurs dans l'air intérieur est conduite sur la base des équations du modèle Johnson et Ettinger avec une source de pollution infinie (pas de diminution au cours du temps). Les concentrations en polluants gazeux à l'intérieur du bâtiment sont déterminées par l'intermédiaire du modèle de Johnson et Ettinger proposé par l'US EPA, sur la base des équations de Johnson et Ettinger (1991) (cf. présentation en Annexe 4).

Cet outil permet de modéliser le transfert de polluants volatils à partir d'un milieu pollué vers l'air ambiant intérieur des bâtiments par l'intermédiaire des fissures des dalles béton de sol.

#### 5.3.2.1. DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS L'AIR AMBIANT EXTERIEUR

Dans l'air extérieur, la modélisation des expositions est conduite sur la base des équations de Millington and Quirk et de l'équation de Fick. La dilution par le vent est ensuite calculée dans une boîte de taille fixée. Comme pour l'air intérieur, la zone de pollution est considérée comme infinie.

Les concentrations dans l'air ainsi calculées sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 8 : Concentrations modélisées dans l'air intérieur des potentielles habitation et dans l'air extérieur de l'espace public**

| Paramètre                                                     | unité             | Valeur de comparaison | Concentration en extérieur - avec recouvrement (valable pour les deux scénarios) |          | Concentration en intérieur en RDC |
|---------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------|
|                                                               |                   |                       | Adultes                                                                          | Enfants  |                                   |
| Hydrocarbures par TPH                                         |                   |                       |                                                                                  |          |                                   |
| Aliphatic nC>8-nC10 (4)                                       | µg/m <sup>3</sup> | 53 <sup>(3)</sup>     | 2,69E-01                                                                         | 1,26E-01 | 2,17E-01                          |
| Aliphatic nC>10-nC12 (4)                                      | µg/m <sup>3</sup> | 72,4 <sup>(3)</sup>   | 8,40E-02                                                                         | 2,24E-01 | 1,22E-01                          |
| HAP                                                           |                   |                       |                                                                                  |          |                                   |
| Naphtalène                                                    | µg/m <sup>3</sup> | 10 <sup>(1)</sup>     | 6,73E-03                                                                         | 1,01E-02 | 9,26E-04                          |
| BTEX                                                          |                   |                       |                                                                                  |          |                                   |
| Benzene                                                       | µg/m <sup>3</sup> | 2 <sup>(1)</sup>      | 1,40E-02                                                                         | 2,10E-02 | 2,83E-02                          |
| Toluene                                                       | µg/m <sup>3</sup> | 82,9 <sup>(3)</sup>   | 2,15E-01                                                                         | 3,22E-01 | 3,48E-01                          |
| Ethylbenzene                                                  | µg/m <sup>3</sup> | 15 <sup>(3)</sup>     | 6,83E-02                                                                         | 1,02E-01 | 7,51E-02                          |
| m+p - Xylene                                                  | µg/m <sup>3</sup> | 39,7 <sup>(3)</sup>   | 2,23E-01                                                                         | 3,35E-01 | 3,12E-01                          |
| o - Xylene                                                    | µg/m <sup>3</sup> | 14,6 <sup>(3)</sup>   | 7,51E-02                                                                         | 1,13E-01 | 7,36E-02                          |
| COHV                                                          |                   |                       |                                                                                  |          |                                   |
| Tétrachloroéthylène (PCE) (3)                                 | µg/m <sup>3</sup> | 250 <sup>(1)</sup>    | 4,45E+00                                                                         | 6,68E+00 | 1,92E-01                          |
| Trichloroéthylène (TCE)                                       | µg/m <sup>3</sup> | 2 <sup>(1)</sup>      | 1,41E+01                                                                         | 2,11E+01 | 1,28E+00                          |
| (1) Valeurs repère du HCSP, valeurs guide de l'ANSES ou INDEX |                   |                       |                                                                                  |          |                                   |
| (2) Valeurs guide OMS                                         |                   |                       |                                                                                  |          |                                   |
| (3) Bruit de fond logements OQAI (centile 95)                 |                   |                       |                                                                                  |          |                                   |

Les concentrations modélisées dans l'air intérieur et extérieur sont inférieures aux valeurs de référence air ambiant.

### 5.3.3.DETERMINATION DES DOSES D'EXPOSITION

Les doses d'exposition par inhalation sont appréciées par le calcul de « concentrations moyennes inhalées » (CI).

D'après le guide méthodologique « La démarche d'Analyse des Risques Résiduels » (Version 0, approuvé le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et mis en application le 08 février 2007), les concentrations moyennes inhalées sont déterminées de la manière suivante :

$$CI = (\sum(C_i \times t_i)) \times F \times T/TM$$

Avec : CI : concentration moyenne inhalée ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$C_i$  : concentration de contaminant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps  $t_i$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$t_i$  : fraction du temps d'exposition à la concentration  $C_i$  pendant une journée

F : fréquence d'exposition : nombre annuel de jours d'exposition ramené au nombre total annuel de jour (sans unité)

T : durée d'exposition (années)

TM : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (années)

TM = T pour les effets à seuil

TM = durée de vie entière  $T_m$  pour les effets sans seuil, soit 70 ans pour les adultes et 15 ans pour les enfants

## 5.4. Calculs des risques liés aux substances choisies pour le site

### 5.4.1.MODALITE DE CALCUL DES RISQUES

#### 5.4.1.1. RISQUES LIES AUX EFFETS A SEUIL (NON CANCERIGENES)

Afin d'évaluer le risque lié à la toxicité non cancérigène d'une substance, on calcule un quotient de danger QD.

$$\text{Pour les risques liés à l'inhalation : } QD = CI \text{ (mg/m}^3\text{)} / RfC \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

Avec : CI : concentration moyenne inhalée

RfC : concentration maximale tolérable par inhalation

Conformément aux textes et guides du MEDAD en date du 08 février 2007, le risque est considéré comme acceptable si le quotient de danger est inférieur à 1.

Un QD inférieur ou égal à 1 signifie que l'exposition de la population n'atteint pas le seuil de dose à partir duquel peuvent apparaître des effets indésirables pour la santé humaine. A l'inverse, un ratio supérieur à 1 signifie que l'effet toxique peut se déclarer dans la population, sans qu'il soit possible d'estimer la probabilité de survenue de cet événement.

#### 5.4.1.2. RISQUES LIES AUX EFFETS SANS SEUIL (CANCERIGENES)

Afin d'évaluer le risque lié aux effets cancérigènes des substances, on calcule un excès de risques individuel ERI.

|                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pour les risques liés à l'inhalation : $ERI = CI (\mu g/m^3) \times ERUi (\mu g/m^3)^{-1}$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|

Avec : CI : concentration moyenne inhalée

ERUi : excès de risques unitaires par inhalation

L'ERI représente la probabilité d'occurrence que la cible a de développer l'effet associé à la substance pendant sa vie du fait de l'exposition considérée. Par exemple, un excès de risque de  $10^{-5}$  présente la probabilité supplémentaire, par rapport à une personne non exposée, de développer un cancer pour 100 000 personnes exposées durant la vie entière.

Conformément aux textes et guides du MEDAD en date du 08 février 2007, le risque est considéré comme acceptable si l'ERI est inférieur à  $10^{-5}$ .

#### 5.4.1.3. SOMMATION DES NIVEAUX DE RISQUE

Malgré la position récente de l'Environmental Protection Agency des Etats-Unis (US-EPA) qui recommande l'additivité des QD uniquement pour les substances ayant le même mécanisme d'action toxique et le même organe cible, en l'absence de doctrine unique sur l'additivité des risques et compte tenu de la méconnaissance à l'heure actuelle des mécanismes d'action pour la majorité des substances, nous procéderons à l'additivité des quotients de danger.

**En cas de QD sommé supérieur à 1, le calcul des QD sera effectué en fonction des organes cibles.**

#### 5.4.2. RESULTATS DES CALCULS DE RISQUES

Les niveaux de risques obtenus pour chaque substance pour la voie d'exposition inhalation sont cumulés.

Les résultats détaillés des calculs sont présentés ci-dessous et en annexe 6

Tableau 9 : Risques sanitaires pour le scénario habitation potentielles

| Scenario futurs habitations potentielles en RDC |                                     |          |                         |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------|----------|-------------------------|
| Cible                                           | Voies d'exposition                  | QD       | ERI                     |
| Adultes résidents                               | Modélisations depuis les gaz du sol |          |                         |
|                                                 | Inhalation d'air ambiant intérieur  | 1,21E-02 | 8,49E-07                |
|                                                 | Inhalation d'air ambiant extérieur  | 9,99E-03 | 1,05E-07                |
|                                                 | Somme des expositions               | 2,21E-02 | 9,54E-07                |
| Enfants résidents                               | Modélisations depuis les gaz du sol |          |                         |
|                                                 | Inhalation d'air ambiant intérieur  | 1,21E-02 | 7,92E-07                |
|                                                 | Inhalation d'air ambiant extérieur  | 1,50E-02 | 7,70E-10                |
|                                                 | Somme des expositions               | 2,71E-02 | 7,93E-07                |
| Evaluation du risque                            |                                     | QD < 1   | ERI < 10 <sup>-05</sup> |

Tableau 10 : Risques sanitaires pour le scénario espace public

| Scenario futurs espace public |                                     |          |                         |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------|-------------------------|
| Cible                         | Voies d'exposition                  | QD       | ERI                     |
| Adultes                       | Modélisations depuis les gaz du sol |          |                         |
|                               | Inhalation d'air ambiant extérieur  | 3,00E-02 | 3,15E-07                |
|                               | Somme des expositions               | 3,00E-02 | 3,15E-07                |
| Enfants                       | Modélisations depuis les gaz du sol |          |                         |
|                               | Inhalation d'air ambiant extérieur  | 4,50E-02 | 9,87E-07                |
|                               | Somme des expositions               | 4,50E-02 | 9,87E-07                |
| Evaluation du risque          |                                     | QD < 1   | ERI < 10 <sup>-05</sup> |

**En vert** : risques acceptables (quotients de danger cumulés inférieurs à 1 et excès de risques individuels inférieurs à 10<sup>-5</sup>)

**En rouge** : risques inacceptables (quotients de danger cumulés supérieurs à 1 et excès de risques individuels supérieurs à 10<sup>-5</sup>).

Avec les hypothèses retenues et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques résiduels estimés pour les deux scénarios sont inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués. Ainsi, l'état environnemental du site, est compatible avec l'usage prévu.

### 5.5. Etude de sensibilité

Au vu des nombreuses hypothèses nécessairement effectuées dans le cadre du calcul des risques sanitaires, des imprécisions et incertitudes existent. Celles-ci doivent également faire l'objet d'une évaluation qualitative ou quantitative afin de pouvoir conclure.

| Paramètres                                          | Justification                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Approche SOCOTEC            | Variation des paramètres                 |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|
| Choix des substances, des concentrations et des VTR |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                             |                                          |
| Substances et concentrations                        | <p>Les substances mesurées dans les gaz du sol ont été retenues pour la suite de l'étude, dès qu'elles ont été quantifiées dans les gaz même si les concentrations en polluants étaient inférieures ou du même ordre de grandeur que les valeurs de référence « air ambiant ». Cette approche est très majorante car un abattement d'à minima un facteur 10 est attendu entre les concentrations mesurées dans les gaz et celles dans l'air ambiant.</p> <p><b>La prise en compte des LQ pour toutes les substances non quantifiées dans les gaz du sol ne change pas les conclusions de l'étude.</b> Cette approche est majorante car les composés ainsi considérés ne sont probablement pas dans un contexte favorable à leur volatilisation puisqu'ils n'ont pas été détectés dans les gaz du sol.</p> <p>A noter que les prélèvements de gaz du sol ont été effectués dans un contexte climatique moyennement favorable (haute pression atmosphérique) et il existe une forte variabilité temporelle des résultats sur les gaz du sol, d'autant plus en fonction des saisons (pression atmosphérique, météo,...). <b>La prise en compte de concentrations 10 fois plus importantes dans les gaz du sol conduit à une augmentation des risques mais ne change pas la conclusion de l'étude.</b></p> | Réaliste, voire sécuritaire | Ne change pas les conclusions de l'étude |

| Paramètre                           | Justification                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Approche SOCOTEC            | Variation des paramètres                 |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|
| Choix des substances et des VTR     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                             |                                          |
| Valeurs Toxicologiques de référence | <p>Les VTR ont été retenues conformément à la 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.</p> <p>Ci-dessous, les VTR des composés qui « tirent » les risques ont été analysées. Il s'agit uniquement du benzène et du mercure.</p> <p><u>Benzène :</u><br/> <b>Effet cancérigène</b> : la VTR retenue pour les risques chroniques cancérigènes par inhalation est la valeur établie par l'Anses soit un ERUi de <math>2,6 \cdot 10^{-5}</math> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)<sup>-1</sup>. L'US EPA a établi une valeur toxicologique de référence pour les risques chroniques cancérigènes par inhalation de <math>7,8 \cdot 10^{-6}</math> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)<sup>-1</sup> pour les effets toxiques sans seuils (année 2000). Cette VTR est moins contraignante que celle retenue. <b>Notre approche est sécuritaire.</b></p> <p><b>Effet non cancérigène</b> : La VTR retenue pour les risques chroniques non cancérigènes par inhalation est de <math>9,6 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>, établie par l'ATSDR (2007), fondée sur des données sur l'homme récentes (2004). L'US EPA a également établi une valeur toxicologique de référence pour les risques chroniques non cancérigènes qui est de <math>30 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> (2003) qui est moins contraignante que celle retenue. <b>Notre approche est sécuritaire.</b></p> <p><u>Tétrachloroéthylène (PCE) :</u><br/> <b>Effet cancérigène</b> : la VTR retenue pour les risques chroniques cancérigènes par inhalation est la valeur établie par l'Anses soit un ERUi de <math>2,6 \cdot 10^{-7}</math> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)<sup>-1</sup>. Cette VTR a été sélectionnée par l'ANSES et elle est issue de l'US-EPA (2012). Cette valeur de VTR a été recommandée par l'INERIS (2014). <b>Notre approche est réaliste.</b></p> <p><b>Effet non cancérigène</b> la VTR retenue pour les risques chroniques non cancérigènes par inhalation est de <math>4,1 \cdot 10^{-2}</math>, établie par l'US-EPA (2012). L'OMS propose une VTR de <math>0,2 \text{ mg}/\text{m}^3</math> (2006). Cette VTR est moins contraignante que celle retenue. <b>Notre approche est sécuritaire.</b></p> | Réaliste, voire sécuritaire | Ne change pas les conclusions de l'étude |

|                                            | <p><u>Trichloroéthylène (TCE) :</u><br/> <b>Effet cancérigène</b> : la VTR retenue pour les risques chroniques cancérigènes par inhalation est la valeur établie par l'Anses soit un ERUi de <math>1.10^{-6}</math> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)<sup>-1</sup>. L'US EPA a établi une valeur toxicologique de référence pour les risques chroniques cancérigènes par inhalation de <math>4,10^{-6}</math> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)<sup>-1</sup> pour les effets toxiques sans seuils (année 2011). Cette VTR est moins contraignante que celle retenue. <b>Notre approche est sécuritaire.</b></p> <p><b>Effet non cancérigène</b> : La VTR retenue pour les risques chroniques non cancérigènes par inhalation est de <math>3,2 \text{ mg}/\text{m}^3</math>, établie par l'Anses (2020), L'US EPA a également établi une valeur toxicologique de référence pour les risques chroniques non cancérigènes qui est de <math>2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> (201) qui est plus contraignante que celle retenue. <b>Notre approche est réaliste.</b></p> |                  |                                          |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------|
| Paramètre                                  | Justification                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Approche SOCOTEC | Variation des paramètres                 |
| Sommation des niveaux de risque            | Malgré la position récente de l'Environmental Protection Agency des Etats-Unis (US-EPA) qui recommande l'additivité des QD uniquement pour les substances ayant le même mécanisme d'action toxique et le même organe cible, en l'absence de doctrine unique sur l'additivité des risques et compte tenu de la méconnaissance à l'heure actuelle des mécanismes d'action pour la majorité des substances, nous avons procédé à l'additivité des quotients de danger. Malgré l'additivité des QD, le niveau de risque est inférieur au seuil d'acceptabilité. <b>Notre approche est majorante</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Sécuritaire      | -                                        |
| Caractéristiques de la source de pollution |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                  |                                          |
| Source gaz du sol et sol                   | Si les composés ont été mesurés à la fois dans les gaz du sol, les sols et les eaux ; les mesures gaz du sol ont été privilégiées. Les gaz du sol constituent un milieu intégrateur par rapport à ce qui les entoure, cependant, la représentativité de cette mesure très est limitée aux terrains dans lesquels ils sont implantés. Privilégier la prise en compte des teneurs dans les gaz du sol permet de s'affranchir de la modélisation de la volatilisation des polluants à partir des teneurs en polluants volatils dans depuis les sols.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Réaliste         | Ne change pas les conclusions de l'étude |

| Profondeur de la source sous bâtiment                                        | <p><b>Intérieur</b> : nous avons considéré que dans le cadre du projet, une couche de forme saine sur 15 cm serait mise en place sous la dalle des futurs bâtiments. Nous avons donc considéré une profondeur de la source de pollution à 15 cm par rapport au futur dallage. Notre approche est majorante car les mesures de gaz du sol ont été réalisées entre 0,6 et 1 m de profondeur /TN.</p> <p><b>La prise en compte d'une profondeur de la source de 1 cm sous le futur dallage augmente les niveaux de risque d'un facteur 10 mais ne change pas les conclusions de l'étude.</b></p> | Réaliste, voire sécuritaire | Ne change pas les conclusions de l'étude |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|
| Paramètre                                                                    | Justification                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Approche SOCOTEC            | Variation des paramètres                 |
| Profondeur de la source en extérieur                                         | <p><b>Extérieur</b> : nous avons considéré dans le cadre du projet une source présente à une profondeur de 1 cm sous la couche de terre végétale saine d'apport. Notre approche est majorante car les mesures de gaz du sol ont été réalisées entre 0,6 et 1 m de profondeur /TN.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Sécuritaire                 | -                                        |
| Caractéristique du milieu souterrain                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                             |                                          |
| Sol retenu sous dallage                                                      | Les sols qui seront utilisés pour la future couche de forme sous dallage sont assimilés des sables. <b>Cette approche est réaliste.</b> La prise en compte d'un sol de type gravier sous le futur dallage augmente les niveaux de risque d'un facteur 10 mais ne change pas les conclusions de l'étude                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Réaliste                    | Ne change pas les conclusions de l'étude |
| Sol de la source                                                             | Les sols au droit de la source sont assimilés des sables. Cette approche est majorante car les coupes de sondages ont montré également la présence de limons qui sont moins perméables que des sables.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Sécuritaire                 | -                                        |
| Perméabilité, porosité, teneur en air et teneur en eau des sols sous dallage | En l'absence de mesures sur site, les valeurs retenues correspondent à celles définies par défaut par le modèle Johnson & Ettinger.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Réaliste                    |                                          |

|                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                  |                                          |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------|
| Fraction de carbone organique              | Le taux de matière organique permet au polluant se fixer et de se dégrader. La fraction de carbone organique dans les sols au niveau de la source de pollution prise en compte est de 0.2%, elle correspond au sable. Cette valeur est issue du modèle Johnson & Ettinger. Cette valeur est relativement faible et est donc sécuritaire.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Sécuritaire      | -                                        |
| Aménagement futur                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                  |                                          |
| Recouvrement des sols en extérieur         | Nous avons considéré un recouvrement des sols en extérieur par à minima 15 cm de terre végétale saine d'apport extérieur au niveau des espaces verts décoratifs.<br>La prise en compte d'une absence de revêtement de surface au droit des espaces verts décoratifs pourrait conduire pour certains métaux à générer des niveaux de risques qui seraient jugés inacceptables.<br><b>Ainsi l'absence d'une couverture au droit des futurs espaces verts décoratifs est susceptible de remettre en cause les conclusions de l'étude. Par conséquent, au vu de cette analyse des incertitudes, il est recommandé de garantir un recouvrement des sols par à minima 15 cm de terre végétale (accompagné par une interdiction de culture en pleine terre).</b> | Réaliste         | Peu changer les conclusions de l'étude   |
| Paramètre                                  | Justification                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Approche SOCOTEC | Variation des paramètres                 |
| Mode constructif retenu                    | Les calculs de transfert des pollutions du sol vers l'air intérieur (et les risques induits) ont été calculés en considérant le modèle de Johnson et Ettinger (1991) qui prend en compte un transfert des pollutions à travers les fissures périphériques associées à la rétractation <b>du dallage indépendant</b> lors de son séchage.<br><b>Il conviendra de mettre à jour l'analyse des enjeux sanitaires dans le cas où le mode constructif serait modifié.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Réaliste         | Peu changer les conclusions de l'étude   |
| Taille du bâtiment                         | La taille des bâtiments a été déterminée à partir des plans de masse communiqués par le client. Notre approche est réaliste. <b>La prise en compte d'un bâtiment d'une emprise bien plus faible (12 m² avec un périmètre de 14 m) augmente les niveaux de risque d'un facteur 10 mais ne change les conclusions de l'étude.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Réaliste         | Ne change pas les conclusions de l'étude |
| Taux de renouvellement d'air des bâtiments | <b>Bâtiments tertiaires</b> : la valeur retenue est de 1 renouvellement d'air par heure. Il s'agit d'une valeur réglementaire issue du code du travail : l'article R232-5-3 du décret n°84-1093 (débit minimum de 25 m³/h/personne).<br><b>La prise en compte d'un taux de renouvellement d'air deux fois plus faible augmente les niveaux de risque mais ne change pas les conclusions de l'étude.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Réaliste         | Ne change pas les conclusions de l'étude |

| Paramètre                     | Justification                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Approche SOCOTEC | Variation des paramètres                 |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------|
| <b>Exposition des cibles</b>  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                  |                                          |
| Durée d'exposition des cibles | <p>Les paramètres d'exposition retenus sont très sécuritaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Résidents adultes : exposition de 365 j/an, 19.77 heures par jour en RDC pendant 30 ans (durée moyenne de vie dans un logement) ;</li> <li>• Résidents enfants : exposition de 365 j/an, 19.77 heures par jour en RDC pendant 6 ans (durée moyenne de vie dans un logement) ;</li> <li>• Adultes en extérieur : exposition de 365 j/an, 6 heures par jour pendant 30 ans (durée moyenne de vie dans un logement) ;</li> <li>• Enfants en extérieur : exposition de 365 j/an, 6 heures par jour pendant 6 ans (durée moyenne de vie dans un logement) ;</li> </ul> <p>Ces hypothèses sont très sécuritaires, car elles correspondent au cas les plus défavorables pour les résidents qui vivent pendant 30 ans au même endroit (correspondant à la durée moyenne de vie dans un logement). En réalité, il est en effet très rare de passer 30 ans ou plus dans un même logement.</p> | Majorante        | Ne change pas les conclusions de l'étude |

## 5.6. Conclusion concernant l'évaluation des incertitudes

Notre approche est basée sur des hypothèses réalistes ou sécuritaires. La situation la plus pénalisante a été prise en considération chaque fois que c'était possible. L'analyse de sensibilité a ainsi mis en évidence qu'aucun paramètre (en dehors du recouvrement des sols) en l'état actuel des connaissances scientifiques n'est de nature à remettre en cause les conclusions de l'étude de risques sanitaires, c'est-à-dire la compatibilité de l'état du site avec le projet après mise en œuvre des mesures simple de gestion.

## 6. EVALUATION DES INCERTITUDES

Comme toute étude, ce diagnostic est susceptible de présenter des incertitudes inhérentes aux nombreux facteurs intervenants dans sa réalisation (informations collectées, investigations et mesures réalisées, hypothèses prises en compte ...).

Ces dernières font l'objet d'une évaluation qualitative dans le tableau ci-après, recensant pour les causes de ces incertitudes et les moyens mis en œuvre pour les limiter.

**Tableau 11 : Etude des incertitudes, des causes éventuelles et des moyens mis en œuvre pour limiter les incertitudes**

| Incertitudes                   | Causes éventuelles                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Moyens mis en œuvre pour les limiter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Schéma conceptuel              | Modification du projet d'aménagement ou de l'usage du site                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Toute modification du projet d'aménagement ou de l'usage du site est susceptible d'entraîner une modification du schéma conceptuel, et donc des recommandations formulées en conclusion.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Analyse des risques sanitaires | <p>Mode de détermination des dimensions de la source</p> <p>Modèles mathématiques permettant de déterminer les concentrations des milieux cibles.</p> <p>Paramètres pris en compte pour la modélisation : concentrations des gaz des sols, choix des polluants, paramètres des modèles utilisés, caractéristiques d'exposition des cibles humaines, valeurs toxicologiques de référence, valeurs écotoxicologiques de référence et valeurs limites pour les matériaux constituant les biens matériels</p> | <p>L'ensemble des composés présents en teneurs supérieures au bruit de fond géochimique ou aux valeurs de référence ont été considérés dans l'analyse des risques bruts sur la santé humaine.</p> <p>Les valeurs seuils définissant les risques inacceptables sont issues des textes et guides du MEDD en date du 8 février 2007.</p> <p>Le choix des VTR considérées pour cette étude a été effectué conformément à la note du 31 octobre 2014.</p> <p>Les scénarios d'exposition ont été définis sur la base d'hypothèses réalistes ou sécuritaires.</p> |

## 7. PLAN DE GESTION

Les mesures de gestion servent à passer d'un constat de pollution à un terrain réhabilité en fonction des usages envisagés.

La stratégie des mesures de gestion doit se concevoir comme suit :

- maîtrise de la source de pollution :
  - travaux de réhabilitation (enlèvement total ou partiel de la source),
  - confinement,
- limitation du transfert :
  - dans les sols, les gaz des sols, les eaux souterraines et superficielles,
  - au niveau des bâtiments,
- modification des aménagements :
  - changement des usages (sur et hors site),
  - changement de l'aménagement du site (couverture ...),
  - contrôle des activités (source d'allumage ...).

Pour se faire, les mesures de gestion se basent sur les éléments suivants :

- la performance intrinsèque des techniques de traitement (traitement in situ, on site, ex-situ),
- les mesures constructives passives ou actives,
- les mesures de confinement,
- la prise en compte des mécanismes naturels de biodégradation,
- la prise en compte des propriétés physico-chimiques des substances et de l'environnement,
- l'analyse des risques sanitaires,
- le plan de surveillance,
- le bilan coûts / avantages.

En première approche, la détermination des seuils à atteindre dans le cadre de la dépollution se base sur trois points principaux :

- la performance intrinsèque des techniques de dépollution,
- l'analyse des risques sanitaires,
- les potentialités d'action sur les usages des milieux.

### 7.1. Mesures simples de gestion

La maîtrise des risques et des impacts peut être assurée partiellement par des mesures simples de gestion :

- dans le cas où des canalisations d'amenée d'eau potable seraient mises en place au droit du site, utilisation de canalisations limitant la diffusion des polluants (par exemple en fonte ductile) ou utilisation de canalisations en PVC dans des tranchées remblayées par des matériaux sains, après décaissement préalable des terrains pollués en place, et avec évacuation de ces terres en centre adapté à leur état de contamination ;

- interdiction de la mise en place de jardins potagers et d'arbres fruitiers ou mise en place de terre saine sur un mètre d'épaisseur au droit de futurs jardins potager afin d'éviter l'accumulation de polluants dans la chaîne alimentaire.
- purge des points chauds.

Dans une démarche globale de réduction des émissions de substances, de l'exposition chronique des populations et d'amélioration continue des milieux, il est recommandé de rechercher en premier lieu la suppression des sources quelque soit le niveau de risques sanitaires. De ce fait, il est recommandé la purge des points chauds.

L'EQRS du site a montré que la qualité chimique des sols était compatible en l'état avec l'aménagement futur. En effet malgré des concentrations importantes présentes dans les eaux souterraines et dans les gaz du sol, un risque acceptable d'un point de vue sanitaire a été estimé.

De ce fait, il apparaît qu'une opération de dépollution est nécessaire d'un point de vue environnemental mais non primordial d'un point de vue sanitaire.

## 7.2. Mesures spécifiques de gestion avec seuil de dépollution

Du fait de l'absence de nécessité de mettre en place une dépollution des sols, aucune mesure spécifique n'est à mettre en place et aucun seuil de dépollution n'est nécessaire pour l'usage futur du site (compatibilité sanitaire).

Les diagnostics ayant toutefois montré la présence de contaminant dans les eaux souterraines et gaz du sol, il conviendra tout de même de s'assurer qu'aucun impact n'est présent **hors site**. Pour ce faire, SOCOTEC recommande la réalisation de mesures de la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments présents en aval du site afin de s'assurer que les teneurs en COHV dans l'air respiré par leurs occupants n'est pas impacté via la pollution des eaux souterraines.

**Il est toutefois à noter qu'à ce stade, la source exacte de la pollution n'est pas connue et qu'il n'est pas non plus exclus que celle-ci ai une origine hors site. Compte tenu de ce contexte, il n'est potentiellement pas pertinent de lancer des opérations de dépollution dans la nappe.**

Dans le cas où une purge des points chauds présents dans la nappe s'avèrerai nécessaire, celle-ci permettra de supprimer la majorité des sources de pollution présentes sur le site.

Du fait de la compatibilité sanitaire du site avec son usage futur, nous fixerons comme objectif de dépollution un abattement des concentrations en polluants de 90%.

Ainsi les objectifs de dépollution sur les eaux souterraines sont les suivants :

Tableau 9 : Seuils de dépollution sur les eaux souterraines

| Composé                    | Concentration<br>(µg/L) |
|----------------------------|-------------------------|
| Trichloroéthylène          | 6.97                    |
| Tétrachloroéthylène        | 325                     |
| Cis 1,2-dichloroéthylène   | 172                     |
| Trans-1,2-dichloroéthylène | 1.12                    |
| Chlorure de vinyle         | 0.303                   |

## 7.3. Techniques envisagées et coûts relatifs à leur mise en œuvre

### Recouvrement des sols (mesure simple de gestion)

Comme évoqué lors de l'EQRS, les sols devront être recouverts par des matériaux sains (15 cm de terres saines d'apport), de l'enrobé ou une dalle béton.

Le chiffrage de cette hypothèse n'a pas été réalisé en raison du fait que cet aménagement est déjà prévu dans le cadre du projet.

Il est à noter que ce recouvrement n'a pour objectif que d'empêcher le contact cutané et l'envol de poussières sur les terrains superficiels qui pourraient être impactés.

### Traitement par sparging couplé à un venting

Cette technique correspond à une technique in situ qui a pour but d'extraire les polluants des sols et des eaux souterraines.

Elle nécessite la mise en place de puits d'injection et d'aspiration ainsi que d'un réseau de drains reliés à une unité de traitement des eaux et des gaz des sols. La durée de traitement est estimée à 12 mois minimum.

Le venting est une technique de mise en dépression du sol au niveau des puits d'injection d'air afin de provoquer un renouvellement d'air. Ce renouvellement modifie les équilibres chimiques entre les différentes phases (air, sol, eau). L'air circulant ainsi se charge en polluant et est récupéré via des puits d'extraction puis traité grâce à une unité de traitement située en surface.

Le principe de venting est illustré ci-dessous (source : BRGM).

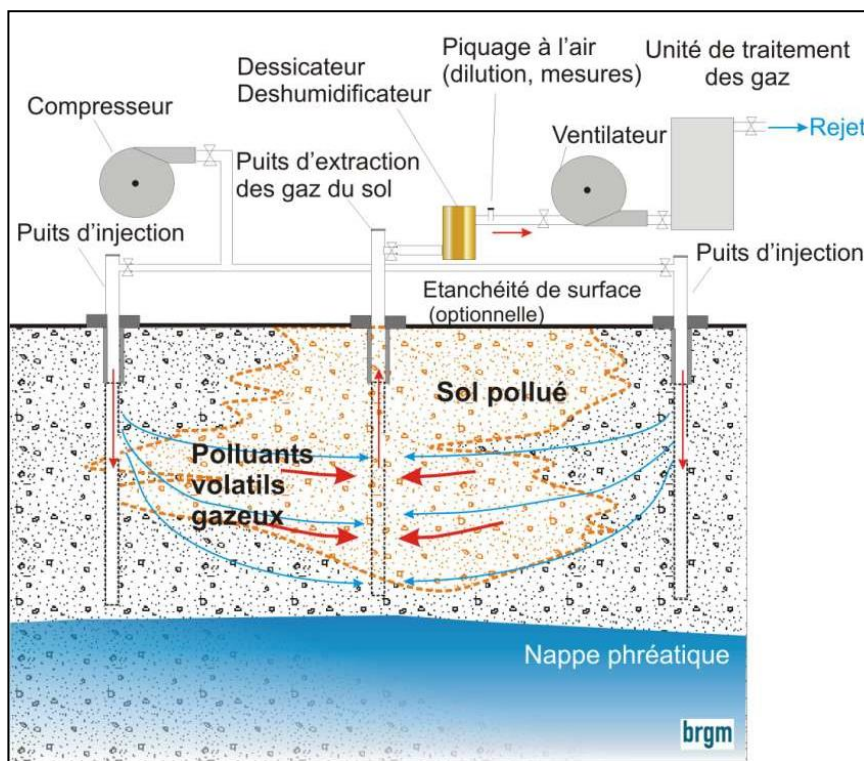


Figure 5 Schéma de principe du venting

Le venting est l'une des techniques les moins chères disponibles.

Les coûts de traitement par venting sur la base de l'étude ERNST & YOUNG, sont évalués à 5 à 35 € la tonne avec une moyenne pondérée de 15 € la tonne.

Cette technique ne nécessite ni excavation ni transport. Elle est cependant longue à réaliser.

Le sparging repose sur le même principe de fonctionnement mais permet un traitement des eaux souterraines. Son principe est illustré ci-dessous (source BRGM).

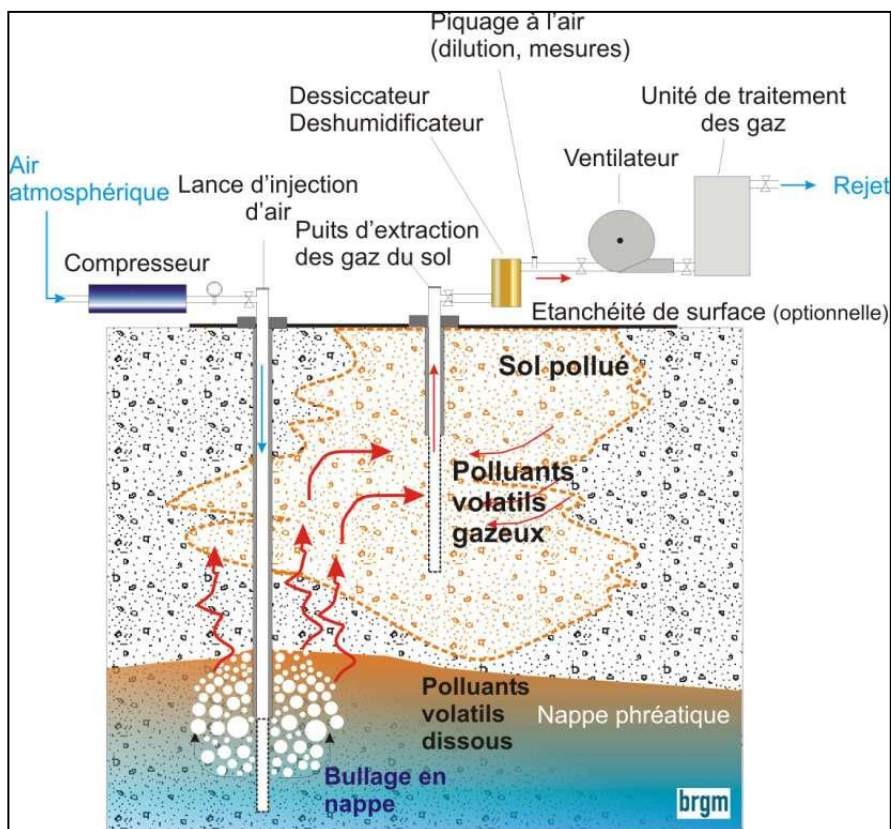


Figure 6 Schéma de principe du sparging

Cette technique consiste à augmenter les teneurs en oxygène dissous dans les eaux souterraines, en injectant la plupart du temps de l'air par le biais de puits d'injection. L'air ainsi injecté permet de favoriser la désorption des polluants. Des puits de récupération des vapeurs sont installés afin de contrôler la migration des vapeurs et de favoriser la circulation d'air.

La combinaison de ces deux techniques permettra donc de traiter à la fois la contamination des sols et celle des eaux souterraines.

### Mise en place d'une barrière/piège hydraulique couplé à un traitement des eaux pompée

Cette technique consiste à créer, via un réseau de puits de pompage, une barrière hydraulique en aval du site, dans le but de limiter, le transit des polluants de la nappe hors du site. Cette méthode n'a pas pour objectif de traiter les pollutions en présence mais d'empêcher leur migration hors site.

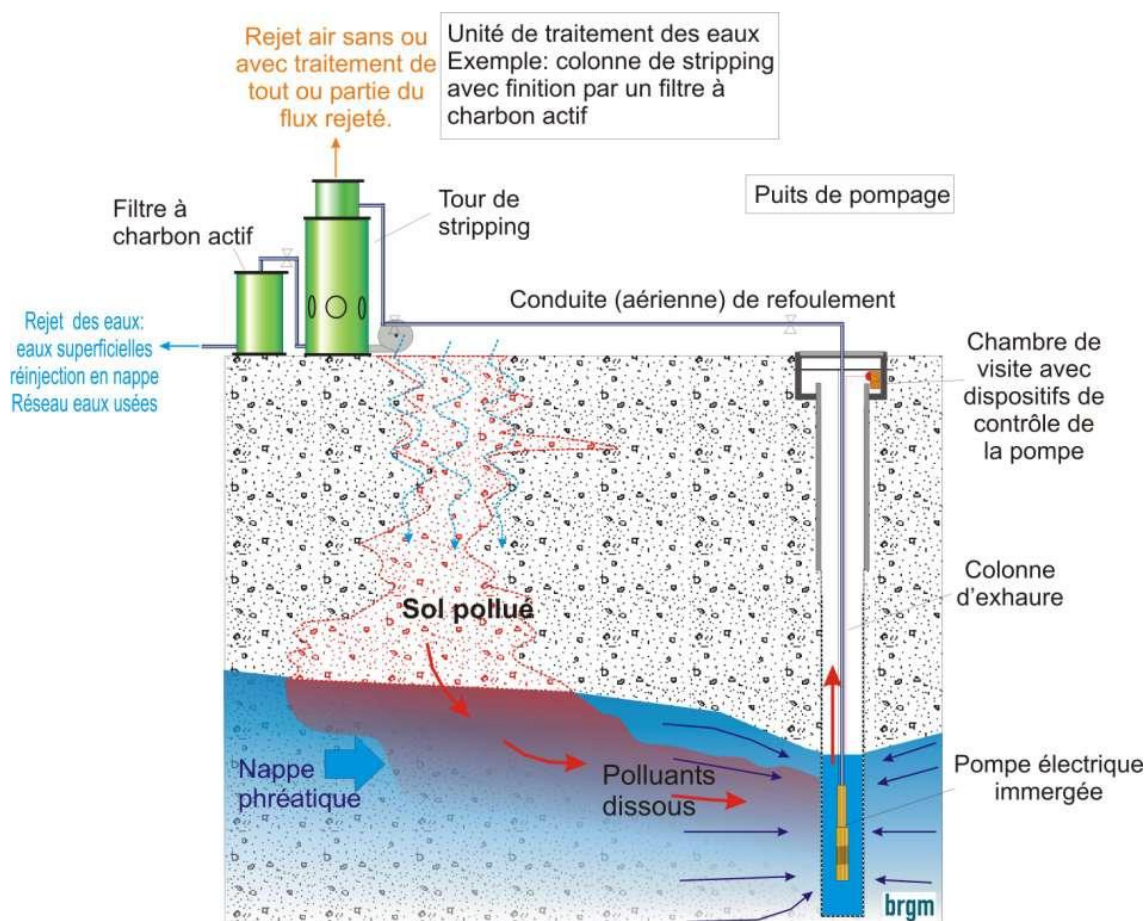


Figure 7 : Schéma de principe du pompage et traitement (BRGM)

### Surveillance

Etant donné que d'après l'EQRS, le risque sanitaire au droit du site est acceptable, la mise en place d'une surveillance est envisageable. Elle consiste à mesurer l'état environnemental de la nappe sur site et hors site tant que pollution seront présentes. En parallèles de cette surveillance des eaux souterraines, des mesures de la qualité de l'air intérieur chez les tiers proches du site devront être réalisées, afin de s'assurer qu'aucun risque sanitaire n'est présent hors-site.

Dans le cas où un risque sanitaire inacceptable serait avéré hors site, il sera alors nécessaire de mettre en place une barrière hydraulique afin d'empêcher la migration des polluants.

## 7.4. Scénarios envisagés

Les études effectuées ont mis en évidence la présence importante de tétrachloroéthylène dans les eaux souterraines et la présence de benzène, tétrachloroéthylène et trichloroéthylène dans les gaz du sol à des teneurs variées.

Ces teneurs retrouvées dans les eaux souterraines du site n'engendrent qu'un risque dit « acceptable » au droit du site. En revanche des concentrations modérées ont également été mesurées hors site et peuvent présenter un risque pour les usagers hors site.

De ce fait, les différents scénarios envisagés ne seront basés que sur traitement du milieu eaux souterraines.

Ces scénarios sont présentés ci-après.

### SCENARIO 1 : SPARGING COUPLE A UN VENTING

Ce scénario vise à extraire les polluants de la nappe par volatilisation et à les traiter sur site.

- Contraintes d'aménagement et d'usage prise en compte :
  - Mise en place de puits d'extraction ainsi qu'une cellule de traitement (algeco) pour une durée de 12 à 24 mois ;
  - Maintien des outils de surveillance (piézomètre sur site et hors site).
- Maîtrise des sources et Eliminations des pollutions concentrées :
  - Traitement direct des zones les plus concentrées cependant en raison de l'incertitude sur l'origine exacte de la pollution, il reste difficile de déterminer si la mise en place de ce traitement permettra de s'assurer de l'élimination définitive de la source sans effet rebond.
- Maîtrise du risque sur site et hors site :
  - Traitement en direct des zones les plus impactées sur site ;
  - Diminution de l'impact hors site.

### SCENARIO 2 : MISE EN PLACE D'UNE BARRIERE HYDRAULIQUE AVEC POMPAGE ET TRAITEMENT

Ce scénario vise à créer une barrière hydraulique en aval du site afin d'extraire puis de traiter la nappe sur site.

- Contraintes d'aménagement et d'usage prise en compte :
  - Mise en place d'une barrière hydraulique (puits) ainsi qu'une cellule de traitement pour une durée indéterminée (la barrière devra rester active tant que la pollution n'aura pas disparue ou aura été traitée) ;
  - Maintien des outils de surveillance (piézomètre sur site et hors site).
- Maîtrise des sources et Eliminations des pollutions concentrées :
  - Les impacts ne seront pas maîtrisés seulement confinés pour limiter les impacts et risques sanitaires hors site.

- Maitrise du risque sur site et hors site :

- Les impacts ne seront pas maîtrisés seulement confinés pour limiter les impacts et risques sanitaires hors site.

### ○ SCENARIO 3 : SURVEILLANCE

**Ce scénario vise à réaliser un suivi de la nappe sur site et hors site ainsi qu'un suivi de qualité d'air intérieur des habitations hors site.**

- Contraintes d'aménagement et d'usage prise en compte :

- Maintien des outils de surveillance (piézomètre sur site et hors site).

- Maîtrise des sources et Eliminations des pollutions concentrées :

- Les impacts ne seront pas traités.

- Maitrise du risque sur site et hors site :

- Les mesures périodiques dans les différents milieux (eaux souterraines, air ambiant) permettront de s'assurer de l'absence d'impact non acceptable sur les populations. Dans le cas où un impact serait avéré, un traitement deviendrait alors nécessaire.

## 7.5. Bilan coût-avantage et choix de la solution retenue

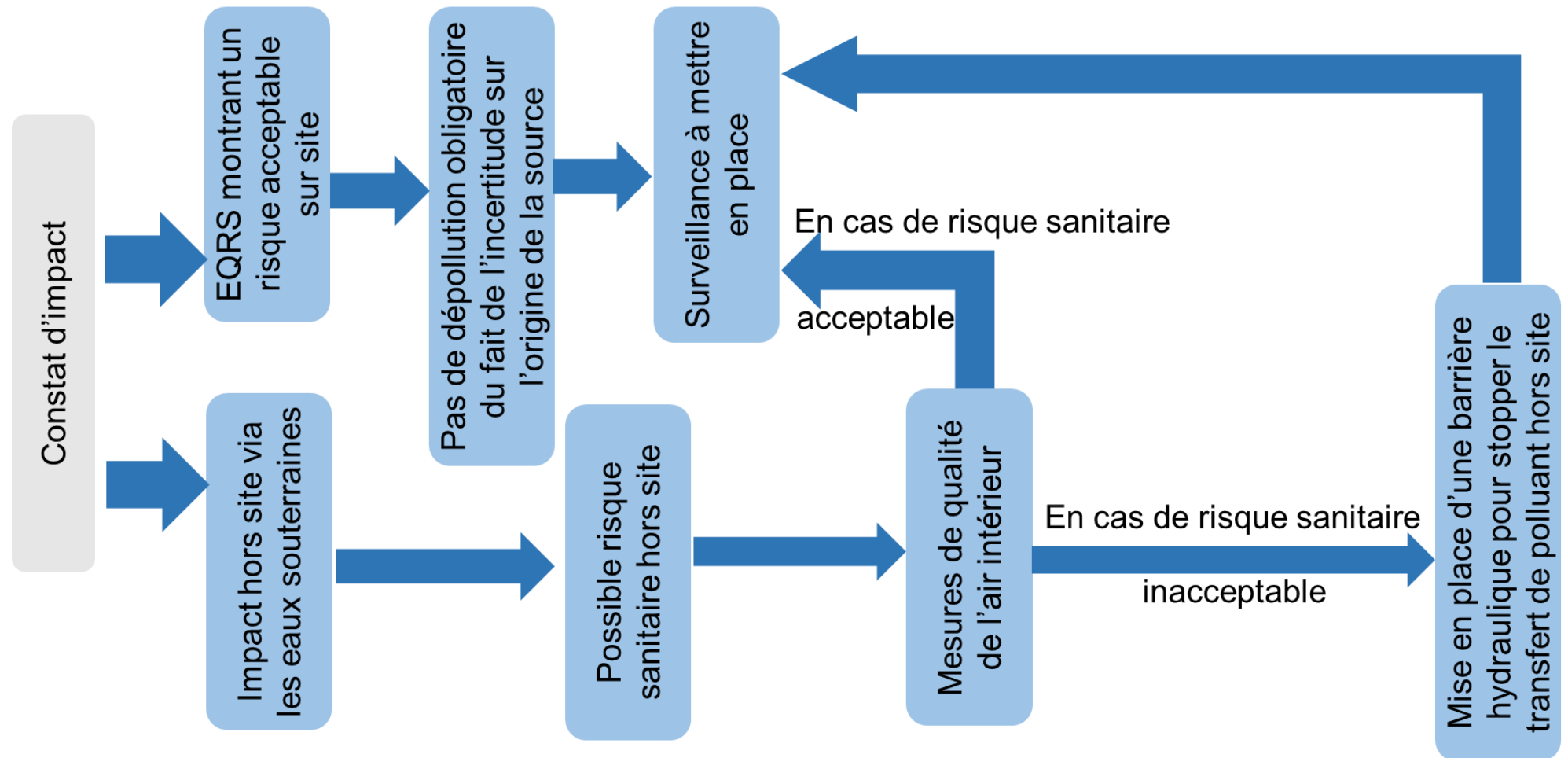
Un bilan coûts-avantages de ces différents scénarios est présenté en page suivante.

| Traitements sur site                                                                                       |                              |                                                                    |                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Traitement                                                                                                 | Coûts                        | Avantages                                                          | Inconvénients                                                                                                                                                                                               |
| Sparging couplé à un venting                                                                               |                              |                                                                    |                                                                                                                                                                                                             |
| Barbotage in situ (sparging)<br>Ventilation de la zone non saturée (venting)                               | 280 à 320 k€ HT              | Suppression d'une partie de contaminations retrouvées sur le site. | Ne garantit pas la suppression de la pollution en raison de l'incertitude sur l'origine exacte de cette dernière.<br><br>Coût élevé et du même ordre de grandeur que le budget de l'aménagement du secteur. |
| Surveillance                                                                                               |                              |                                                                    |                                                                                                                                                                                                             |
| Bilan quadriennal (2 mesure pas ans pendant 4 ans)                                                         | 22k € HT                     | Permet de vérifier l'efficacité du traitement                      |                                                                                                                                                                                                             |
| Mesure de qualité d'air intérieur (2 campagnes : une en période de chauffe et une hors période de chauffe) | 6 k€                         | Permet de s'assurer de l'absence de risque sanitaire hors site     |                                                                                                                                                                                                             |
| Total                                                                                                      | Entre 308 k€ HT et 348 k€ HT |                                                                    |                                                                                                                                                                                                             |

| Traitements sur site                                                                                                        |                        |                                                                                                              |                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Traitement                                                                                                                  | Coûts                  | Avantages                                                                                                    | Inconvénients                                                                                                                                                                              |
| Pompage et traitement                                                                                                       |                        |                                                                                                              |                                                                                                                                                                                            |
| Mise en place de puits d'extraction<br>Mise en place d'une cellule de traitement<br>Traitement des rejets au milieu naturel | 200 à 250 k€ HT*       | Endigue la pollution au droit de la zone d'étude                                                             | Ne traite pas les sources de pollution présentes sur site<br>Temps nécessaire au maintien inconnu<br><br>Coût élevé et du même ordre de grandeur que le budget de l'aménagement du secteur |
| Surveillance                                                                                                                |                        |                                                                                                              |                                                                                                                                                                                            |
| Bilan quadriennal (2 mesure pas ans pendant 4 ans)                                                                          | 22k € HT               | Permet de vérifier l'efficacité du traitement                                                                |                                                                                                                                                                                            |
| Mesure de qualité d'air intérieur (2 campagnes : une en période de chauffe et une hors période de chauffe)                  | 6 k€                   | Permet de s'assurer de l'absence de risque sanitaire hors site et de l'efficacité de la barrière hydraulique |                                                                                                                                                                                            |
| Total                                                                                                                       | Entre 228 et 278 k€ HT |                                                                                                              |                                                                                                                                                                                            |

| Réutilisation des terres sur le site                                                                       |             |                   |                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Traitement                                                                                                 | Coûts       | Avantages         | Inconvénients                                                                                                                   |
| Surveillance                                                                                               |             |                   |                                                                                                                                 |
| Mesure de qualité d'air intérieur (2 campagnes : une en période de chauffe et une hors période de chauffe) | 6 k€ HT     | Très faible coût. | Ne traite pas les sources de pollution présentes sur site<br>Temps nécessaire au maintien inconnu<br>N'endigue pas la pollution |
| Bilan quadriennal (2 mesure pas ans pendant 4 ans)                                                         | 22 k€ HT    |                   |                                                                                                                                 |
| Total                                                                                                      | 28 000 € HT |                   |                                                                                                                                 |

Au vu de la forte incidence financière d'un traitement de la pollution et de l'absence d'une source clairement identifiée sur site, SOCOTEC recommande de ne lancer de dépollution que dans le cas de présence d'un risque sanitaire inacceptable hors site. La gestion recommandée du site est donnée dans le logigramme ci-après.



Ainsi au vu des incertitudes pesant encore sur le site (localisation de la source, présence ou non d'un risque sanitaire hors site), SOCOTEC recommande la mise en place d'une surveillance sur les eaux souterraines et l'air ambiant des bâtiments encore occupé en aval du site avant de réaliser la moindre opération de dépollution. De plus, les écoulements des eaux souterraines pouvant être irrégulier, il pourrait être pertinent de forer de nouveau ouvrages, notamment en amont du site ou sur l'autre rive du Renaison.

## 8. PERENNISATION DES MESURES DE GESTION

Afin de pérenniser les mesures simples de gestion permettant de s'assurer que le site reste compatible avec son usage, des servitudes de droit privé devront être mises en place. Ces servitudes contiendront les points suivants :

- Maintien d'un recouvrement des terres du site soit par une dalle béton ou de l'enrobé, soit par 15 cm de terres saines. Un grillage avertisseur et/ou un géotextile pourront être mis en place afin de repérer les terres saines des terres actuellement présentes sur le site,
- dans le cas où des canalisations d'amenée d'eau potable seraient mises en place au droit du site, utilisation de canalisations limitant la diffusion des polluants (par exemple en fonte ductile) ou utilisation de canalisations en PVC dans des tranchées remblayées par des matériaux sains,
- interdiction de la mise en place de jardins potagers et d'arbres fruitiers ou mise en place de terres saines sur un mètre d'épaisseur au droit de futurs jardins potagers afin d'éviter l'accumulation de polluants dans la chaîne alimentaire,
- information de la présence de terres potentiellement non inertes au droit du site et donc d'une potentielle gestion adaptée en cas d'excavations de sols,
- interdiction de l'usage des eaux souterraines sur site,
- la mise à jour de l'analyse des risques résiduels et du plan de gestion en cas de changement d'usage,
- le respect des hypothèses prise dans le cadre de l'EQRS (dalle béton, taux de ventilation, hauteur sous plafond).

## 9. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Dans le cadre d'un projet de réhabilitation de terrain pour accueillir un programme immobilier mixte comprenant, un espace d'aménagement public et d'éventuelles habitations collectives en front de rue, sur un terrain ayant fait l'objet de diagnostics de pollution des sols, la Ville de Roanne a mandaté SOCOTEC ENVIRONNEMENT pour la réalisation d'une analyse des risques sanitaires et d'un plan de gestion afin de déterminer la compatibilité des terrains sous-jacents avec le projet futur et trouver des solutions de traitement si nécessaire.

Cette étude s'appuie sur les résultats des études menées en 2011 et 2012 par ARCADIS, mais également des études menées par SOCOTEC en 2019.

Suite à la transmission de ces études, la ville de Roanne a souhaité la réalisation d'un Plan de gestion afin de déterminer les contraintes liées à la présence de terres non inertes et leurs incidences sur le projet.

Ainsi, les objectifs de la présente prestation sont :

- choisir une stratégie de gestion appropriée, évaluer et justifier le(s) choix retenu(s) par la réalisation d'un Bilan Coûts/ Avantages,
- concevoir et dimensionner, au niveau avant-projet, les travaux de dépollution, de confinement ou de protection pour supprimer ou à défaut maîtriser les sources de pollution et leurs impacts,
- définir les précautions/ restrictions d'usage à instituer après les travaux,
- définir le programme de surveillance après les travaux,
- prouver que les mesures prévues préservent la santé publique par l'Analyse des Risques Résiduels.

Le projet prévoit l'aménagement d'immeuble d'habitation de plain-pied au Sud-Ouest, des espaces de loisirs sur la partie Nord et un parking en partie Est.

Au regard des diverses investigations réalisées sur le site d'étude, il ressort les éléments suivants :

- La présence de solvant chlorés dans les eaux souterraines a des teneurs modérées à fortes suivant les zones (max : 3250 µg/L). Plusieurs choses sont à noter sur cet impact :
  - La présence de « discontinuités » dans l'impact sur les eaux souterraines, en effet les teneurs retrouvées sont très variables spatialement et ne forment pas un panache clair,
  - Présence de COHV en teneurs modérées en aval du site laissant présumer un impact hors site.
- L'absence de teneurs remarquables en COHV dans les sols superficiels ou profonds ;
- La présence de COHV dans les gaz des sols en fortes teneurs sur les parties Est et Nord du site. Les autres secteurs étant moins impactés.

L'analyse des risques sanitaires a montré que le site était compatible en l'état avec son usage futur pour le projet étudié soit un aménagement public et une potentielle habitation collective en front de rue.

Cette analyse des risques s'est basée sur le projet, les concentrations maximales observées sur site et la mise en place de mesures simples de gestion (voir ci-après.)

**Notre approche est basée sur des hypothèses réalistes ou sécuritaires. La situation la plus pénalisante a été prise en considération chaque fois que c'était possible. L'analyse de sensibilité a ainsi mis en évidence qu'aucun paramètre (en dehors du recouvrement des sols) en l'état actuel des connaissances scientifiques n'est de nature à remettre en cause les conclusions de l'étude de risques sanitaires, c'est-à-dire la compatibilité de l'état du site avec le projet après mise en œuvre des mesures simples de gestion.**

Il a cependant été identifié un risque que le site puisse impacter la qualité de l'air intérieur des bâtiments voisins via les eaux souterraines impactées en aval du site Fontval. Il convient alors de lever cette incertitude qui est un facteur primordial dans la prise de décision sur la mise en place de travaux de dépollution ou non.

En effet, au vu des informations à notre disposition pour l'instant, il n'a pas pu être identifié de source claire dans les sols ou les eaux souterraines, un potentiel apport de pollution par un site extérieur n'est pas exclu. De ce fait

et compte tenu du coût des opérations de dépollution par rapport au budget du projet, il a été préconisé de mettre en place la méthodologie suivante :

- Mise en place d'un suivi de mesures de la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments encore occupés et présent en aval du site,
- Mise en place d'un suivi des eaux souterraines sur l'ensemble du réseau piézométrique du site afin d'étudier la variabilité des teneurs observées et de s'assurer de la non aggravation de l'état des milieux,
- Dans le cas où les mesures sur la qualité de l'air intérieur seraient mauvaises :
  - o La mise en place d'une barrière hydraulique en limite de propriété du site,
  - o Le traitement éventuel de la zone la plus concentrée dans les eaux souterraines du site – il est toutefois à noter que compte tenu des éléments en notre possession ce traitement ne semble pas pertinent pour le moment en raison de la possibilité de la présence d'une source non identifiée qui pourrait réalimenter les teneurs dans les eaux souterraines.

Dans tous les cas, le site devra faire l'objet de servitudes afin de limiter les usages des milieux. Ces servitudes devront comprendre les points suivants :

- Maintien d'un recouvrement des terres du site soit par une dalle béton ou de l'enrobé, soit par 15 cm de terres saines. Un géotextile devra être mis en place afin de repérer les terres saines des terres actuellement présentes sur le site. De plus au vu de la faible épaisseur du recouvrement (en raison du caractère inondable de la zone), il conviendra de créer une servitude sur le terrain interdisant l'utilisation d'engins de labour qui pourraient venir endommager le géotextile.
- dans le cas où des canalisations d'amenée d'eau potable seraient mises en place au droit du site, utilisation de canalisations limitant la diffusion des polluants (par exemple en fonte ductile) ou utilisation de canalisations en PVC dans des tranchées remblayées par des matériaux sains,
- interdiction de la mise en place de jardins potagers et d'arbres fruitiers ou mise en place de terres saines sur un mètre d'épaisseur au droit de futurs jardins potagers afin d'éviter l'accumulation de polluants dans la chaîne alimentaire,
- information de la présence de terres potentiellement non inertes au droit du site et donc d'une potentielle gestion adaptée en cas d'excavations de sols,
- interdiction de l'usage des eaux souterraines sur site,
- la mise à jour de l'analyse des risques résiduels et du plan de gestion en cas de changement d'usage,
- le respect des hypothèses prise dans le cadre de l'EQRS (dalle béton, taux de ventilation, hauteur sous plafond).

Fait le 19/03/2020

Arnaud GUILLAUMOND

Chef de Projets Sites et sols Pollués



## 10. ANNEXES

---

|                                                                   |                                    |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| <b>ANNEXE 1 : GLOSSAIRE .....</b>                                 | <b>53</b>                          |
| <b>ANNEXE 2 : DONNEES SUR LES SUBSTANCES .....</b>                | <b>56</b>                          |
| <b>ANNEXE 3 : PRESENTATION DU MODELE JOHNSON ET ETTINGER.....</b> | <b>96</b>                          |
| <b>ANNEXE 4 : PRESENTATION DU MODELE RBCA .....</b>               | <b>104</b>                         |
| <b>ANNEXE 5 : FEUILLES DE CALCULS .....</b>                       | <b>107</b>                         |
| <b>PIECE JOINTE : ETUDES PRECEDENTES .....</b>                    | <b>Erreur ! Signet non défini.</b> |

– Fin du rapport –

## ANNEXE 1 : GLOSSAIRE

Contamination : présence de substance non présente naturellement dans un milieu environnemental (eau, air, sol).

Analyse Quantitative des Risques Bruts (AQRB - anciennement EQRS) : Evaluation des effets sur la santé d'une exposition d'individus ou de populations à des matériaux, des substances ou à des situations dangereuses.

Hydrocarbure : composé organique constitué d'atomes de carbone et d'hydrogène.

Impact environnemental : toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique, résultant totalement ou partiellement des activités, produits ou services d'un organisme.

Mesures simples de gestion : actions simples qui peuvent être réalisées sur site pour supprimer les risques d'exposition (enlèvement d'une poche de polluants, mise en place d'un confinement) ou hors site, à l'issue d'une démarche d'Interprétation de l'Etat des Milieux, pour rétablir, si besoin, la compatibilité des milieux avec les usages qui y sont exercés. Si des actions de ce type ne peuvent être mise en œuvre, un Plan de Gestion peut s'avérer nécessaire.

Métaux lourds : métaux d'une densité supérieure à 5 (plomb, mercure, cuivre, ...) qui peuvent être toxiques pour un organisme à partir d'une certaine dose.

Pollution : présence de substance non présente naturellement dans un milieu (air, eau, sol) entraînant un risque sanitaire inacceptable pour les cibles à protéger en fonction de l'usage du milieu.

Pollution concentrée : Volume de milieu souterrain à traiter, délimité dans l'espace, au sein duquel les concentrations en une ou plusieurs substances sont significativement supérieures aux concentrations de ces mêmes substances à proximité immédiate de ce volume.

Le milieu souterrain comprend les sols, les eaux souterraines, les gaz du sol. Les substances peuvent y être présentes sous forme de produit en phase libre, dissoute, adsorbée, gazeuse.

Pollution diffuse : Zone difficile à circonscrire au sein de laquelle les concentrations en une ou plusieurs substances sont supérieures au bruit de fond local.

Pollution résiduelle : Substances restant dans le milieu souterrain après un traitement.

Réhabilitation : ensemble d'opérations effectuées en vue de rendre un site apte à un usage donné. Cette opération englobe à la fois les opérations de traitement de dépollution, celles de confinement et enfin de résorption des déchets d'un site pollué.

Schéma conceptuel : représentation synthétique du site et de son environnement comprenant toutes les informations acquises lors des diagnostics du site et des milieux, et permettant une présentation claire et simplifiée de la problématique rencontrée sur le site étudié. Le schéma conceptuel facilite la compréhension des mécanismes conduisant à l'évaluation des risques sanitaires, en particulier l'identification des relations entre les sources de pollution, les différents milieux de transfert et d'exposition (les populations riveraines et ressources naturelles à protéger).

Sensibilité : appréciation de l'aptitude d'une cible à réagir à une pollution, suite à une exposition directe (présence sur le site ou hors site) ou indirecte (consommation d'eau en provenance d'une alimentation contaminée, consommation d'aliments contaminés, pratique de sports aquatiques, ...).

Site pollué : site présentant un risque pérenne, réel ou potentiel, pour la santé humaine ou l'environnement du fait d'une pollution de l'un ou l'autre des milieux, résultant d'une activité actuelle ou ancienne.

Source de contamination : installation ou zone du sol, du sous-sol ou de la nappe qui émet des substances dangereuses vers les milieux eau, air, sol ou les aliments et qui, de ce fait est susceptible de remettre en cause un ou des usages de ces milieux.

Valeur guide : valeur de référence pour une grandeur (concentration en un élément donné), destinée à servir d'aide à la réflexion ou à la décision. Valeur en règle générale recommandée par une autorité, sans obligation légale, utilisée (avec un jugement professionnel) lors de l'évaluation d'un site pollué.

Vulnérabilité : la vulnérabilité exprime la facilité d'accès et de propagation avec laquelle un milieu est atteint par une perturbation ou par une substance considérée comme indésirable.

ISDI : Installation de stockage pour déchets inertes (filère classique)

ISDI+ aménagée : Installation de stockage pour déchets inertes aménagée, permettant de relever les limites d'acceptation des composés sur lixiviats

ISDND : Installation de stockage pour déchets non dangereux (ordures ménagères)

ISDD : Installation de stockage pour déchets dangereux.

HCT : Hydrocarbures totaux HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques

BTEX : Hydrocarbures aromatiques monocycliques PCB : Polychlorobiphényles

COHV : composés organochlorés volatils COT : Carbone organique total

## **ANNEXE 2 : DONNEES SUR LES SUBSTANCES**

| Substances                                     | Forme     | Solubilité                                              | Volatilité        | Comportement                      |                                                                   |                                                          | Biodégradation / Sous-produits                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                |           |                                                         |                   | Dans l'air                        | Dans l'eau                                                        | Dans les sols                                            |                                                                                                                                                                                                                                    |
| Hydrocarbures aromatiques monocycliques (BTEX) |           |                                                         |                   |                                   |                                                                   |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                    |
| Benzène                                        | C6H6      | Solubilité élevée<br>(environ 1 800 mg/l à 20-25°C)     | Volatilité élevée | Principalement sous forme gazeuse | Sous forme soluble<br>Volatilisation importante                   | Mobile<br>Volatilisation importante                      | Facilement biodégradable en conditions aérobies :<br>½ vie dans l'eau = 15 jours (CE-1996)<br>Produits de dégradation aérobie :<br>phénols, acides benzoïques<br>Biodégradable en conditions anaérobies                            |
| Toluène                                        | C6H5-CH3  | Faible solubilité<br>(environ 500 mg/l à 20°C)          | Volatilité élevée | Sous forme gazeuse                | Adsorption sur la phase particulaire<br>Volatilisation importante | Moyennement mobile à mobile<br>Volatilisation importante | Facilement biodégradable<br>½ vie aérobie dans l'eau : 4 jours (HSDB)<br>Produits de dégradation aérobie :<br>phénols, acides benzoïques<br>Biodégradable en conditions anaérobies<br>Produits de dégradation anaérobie non connus |
| Ethylbenzène                                   | C6H5-C2H5 | Faible solubilité<br>(environ 150 à 200 mg/l à 20-25°C) | Volatilité élevée | Sous forme gazeuse                | Adsorption sur la phase particulaire<br>Volatilisation importante | Mobilité modérée<br>Volatilisation importante            | Facilement biodégradable en conditions aérobies : ½ vie dans l'eau de surface estimée à 40 jours (INERIS-2003)<br><br>Produits de dégradation aérobie :<br>phénols, acides benzoïques<br><br>Dégradation observée en conditions    |

|                                               |                                                                |                                                      |                       |                         |                                                 |                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               |                                                                |                                                      |                       |                         |                                                 |                                                                          | anaérobies                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                               |                                                                |                                                      |                       |                         |                                                 |                                                                          | Produits de dégradation anaérobie non connus                                                                                                                                                                                                                         |
| Xylènes (m-, o-, p-)                          | C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> -(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | Faible solubilité (environ 150 à 200 mg/l à 20-25°C) | Volatilité élevée     | Sous forme gazeuse      | Volatilisation importante                       | Volatilisation importante<br><br>En profondeur, tendance à être lixiviés | Facilement biodégradables (surtout m- et p-xylènes)<br><br>Produits de dégradation aérobie : phénols, acides benzoïques<br><br>½ vie aérobie dans les eaux de surface du o-xylène : 150 jours (CE-1996)<br><br>Peu ou pas de biodégradation en conditions anaérobies |
| Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) |                                                                |                                                      |                       |                         |                                                 |                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Naphtalène                                    | C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> (2 cycles)                      | Faible solubilité (30-34 mg/l à 20-25°C)             | Volatilité importante | Sous forme gazeuse      | Adsorption modérée<br>Volatilisation importante | Adsorption modérée<br>Lixivable<br>Volatilisation importante             | Biodégradable<br>½ vie aérobie proposée dans l'eau de surface : 150 jours (CE-1996)<br>½ vie anaérobie dans les sols : 25 à 258 jours (Handbook)<br>Produits de dégradation anaérobie non connus                                                                     |
| Chrysène                                      | C <sub>18</sub> H <sub>12</sub> (4 cycles)                     | Solubilité très faible (2.10-3 mg/l à 25°C)          | Très peu volatil      | Sous forme particulaire | Adsorption sur les matières en                  | Mobilité très faible, voire nulle                                        | Résistant à la biodégradation ou biodégradabilité très faible (compte tenu du nombre de cycles)                                                                                                                                                                      |

|              |                      |                                                         |                       |                                               | suspension et les<br>sédiments                                                                                                                                           | (adsorption<br>importante)                                                                |                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------|----------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fluorène     | C13H10<br>(3 cycles) | Solubilité très<br>faible                               | Légèrement<br>volatil | Principalement<br>sous forme<br>gazeuse       | Adsorption importante<br>sur les matières en<br>suspension et les<br>sédiments<br>Volatilisation<br>susceptible d'être<br>importante mais<br>limitée par<br>l'adsorption | Très peu<br>mobile<br>(adsorption très<br>importante)<br>Volatilisation<br>peu importante | Relativement biodégradable<br>½ vie aérobie dans les sols : 2 à 64<br>jours (HSDB)<br>½ vie anaérobie dans les sols : 128 à<br>240 jours (Handbook)<br>Produits de dégradation anaérobie non<br>connus                      |
| Phénanthrène | C14H10<br>(3 cycles) | Solubilité très<br>faible (0,5 à 0,8<br>mg/l à 21-22°C) | Très peu volatil      | Essentiellement<br>sous forme<br>particulaire | Adsorption sur les<br>matières en<br>suspension et les<br>sédiments<br>Volatilisation très peu<br>importante                                                             | Très peu<br>mobile<br>(adsorption<br>élevée)<br>Volatilisation<br>très peu<br>importante  | Biodégradable<br>½ vie en milieu aqueux (conditions<br>anaérobies) : 64 à 800 jours<br>Produits de dégradation anaérobie non<br>connus                                                                                      |
| Pyrène       | C16H10<br>(4 cycles) | Solubilité très<br>faible (0,135 mg/l<br>à 25°C)        | Très peu volatil      | Sous forme<br>gazeuse et<br>particulaire      | Adsorption sur les<br>matières en<br>suspension et les<br>sédiments<br>Volatilisation très peu<br>importante                                                             | Très peu<br>mobile<br>(adsorption<br>élevée)<br>Volatilisation<br>très peu<br>importante  | Peu biodégradable<br>½ vie anaérobie dans les sols : 840 à<br>7592 jours (Handbook)<br>Produits de dégradation anaérobie non<br>connus, vraisemblablement<br>hydrocarbure aromatique polycyclique<br>plus petits (3 cycles) |

|                      |                      |                                               |                    |                                                               |                                                                              |                                                                                                                                |                                                                                                                                        |
|----------------------|----------------------|-----------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Benzo(g,h,i)pérylène | C22H12<br>(6 cycles) | Solubilité très faible (2,6.10-4 mg/l à 25°C) | Très peu volatil   | Sous forme particulaire                                       | Adsorption sur les matières en suspension et les sédiments                   | Mobilité très faible, voire nulle (adsorption importante)                                                                      | Résistant à la biodégradation ou biodégradabilité très faible (compte tenu du nombre de cycles)                                        |
| Acénaphène           | C12H10<br>(3 cycles) | Faible solubilité (environ 4 mg/l à 25°C)     | Volatil            | Sous forme gazeuse                                            | Adsorption sur les matières en suspension et les sédiments<br>Volatilisation | Faible mobilité<br>Adsorption importante                                                                                       | Peu biodégradable                                                                                                                      |
| Acénaphthylène       | C12H8<br>(3 cycles)  | Faible solubilité (environ 4 mg/l à 25°C)     | Volatil            | Sous forme gazeuse                                            | Adsorption sur les matières en suspension et les sédiments<br>Volatilisation | Mobilité faible à modérée<br>Adsorption importante                                                                             | Faible biodégradabilité                                                                                                                |
| Anthracène           | C14H10 (3 cycles)    | Solubilité très faible (1,29 mg/l à 25°C)     | Légèrement volatil | Environ 80% sous forme gazeuse<br>20% sous forme particulaire | Adsorption sur les matières en suspension et les sédiments<br>Volatilisation | Peu lixiviable<br>Adsorption importante<br>Volatilisation possible à partir de sols humides, très faible à partir de sols secs | Faible biodégradabilité<br>½ vie anaérobie dans les sols : 200 à 1840 jours (Handbook)<br>Produits de dégradation anaérobie non connus |
| Benzo(a)anthracène   | C18H12<br>(4 cycles) | Solubilité très faible (environ               | Très peu volatil   | Sous forme gazeuse et particulaire                            | Adsorption importante sur les matières en suspension et les                  | Pratiquement immobile dans les sols                                                                                            | Faible biodégradabilité<br>½ vie anaérobie dans les sols : 408 à 2720 jours (Handbook)                                                 |

|                        |                                               | 10-2 mg/l à 25°C)                                                         |                  |                                         | sédiments<br>Faible volatilisation                                                                            | Adsorption très importante                                                                 | Produits de dégradation anaérobie non connus                                                    |
|------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Benzo(a)pyrène         | C <sub>20</sub> H <sub>12</sub><br>(5 cycles) | Solubilité très faible (1,6.10 <sup>-3</sup> mg/l à 25°C)                 | Très peu volatil | Essentiellement sous forme particulaire | Adsorption sur les matières en suspension et les sédiments<br>Volatilisation très peu importante, voire nulle | Peu mobile (adsorption importante)<br>Volatilisation très peu importante, voire nulle      | Résistant à la biodégradation ou biodégradabilité très faible (compte tenu du nombre de cycles) |
| Benzo(b)fluoranthène   | C <sub>20</sub> H <sub>12</sub><br>(5 cycles) | Solubilité très faible (1,2.10 <sup>-3</sup> à 1,5.10 <sup>-3</sup> mg/l) | Très peu volatil | Sous forme particulaire                 | Adsorption sur les matières en suspension et les sédiments<br>Volatilisation très peu importante, voire nulle | Peu mobile (adsorption importante)<br>Volatilisation très peu importante, voire nulle      | Résistant à la biodégradation ou biodégradabilité très faible (compte tenu du nombre de cycles) |
| Benzo(k)fluoranthène   | C <sub>20</sub> H <sub>12</sub><br>(5 cycles) | Solubilité très faible (8.10 <sup>-4</sup> mg/l à 25°C)                   | Très peu volatil | Sous forme particulaire                 | Adsorption sur les matières en suspension et les sédiments<br>Volatilisation très peu importante, voire nulle | Très peu mobile (adsorption importante)<br>Volatilisation très peu importante, voire nulle | Résistant à la biodégradation ou biodégradabilité très faible (compte tenu du nombre de cycles) |
| Dibenzo(a,h)anthracène | C <sub>22</sub> H <sub>14</sub><br>(5 cycles) | Solubilité très faible (0,5.10 <sup>-3</sup> mg/l à 25°C)                 | Très peu volatil | Essentiellement sous forme particulaire | Adsorption sur les matières en                                                                                | Très peu mobile                                                                            | Résistant à la biodégradation ou biodégradabilité très faible (compte tenu du nombre de cycles) |

|                                           |                                               |                                                     |                   |                                         |                                                                                                                                          |                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           |                                               |                                                     |                   |                                         | suspension et les sédiments                                                                                                              | (adsorption très importante)                                                                    |                                                                                                                                                                                                                      |
| Fluoranthène                              | C <sub>16</sub> H <sub>10</sub><br>(4 cycles) | Solubilité très faible (0,26 mg/l à 25°C)           | Très peu volatil  | Sous forme gazeuse et particulaire      | Adsorption sur les matières en suspension et les sédiments<br>Volatilisation très peu importante                                         | Très peu mobile<br>(adsorption très importante)<br>Volatilisation très peu importante           | Peu biodégradable<br>½ vie aérobie en milieu aqueux : 1 500 jours (INERIS)                                                                                                                                           |
| Indéno(1,2,3-c,d)pyrène                   | C <sub>22</sub> H <sub>12</sub><br>(6 cycles) | Solubilité très faible (0,062 mg/l à 20°C)          | Très peu volatil  | Essentiellement sous forme particulaire | Adsorption sur les matières en suspension et les sédiments                                                                               | Très peu mobile<br>(adsorption importante)                                                      | Résistant à la biodégradation ou biodégradabilité très faible (compte tenu du nombre de cycles)                                                                                                                      |
| Composés organo-halogénés volatils (COHV) |                                               |                                                     |                   |                                         |                                                                                                                                          |                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                      |
| Tétrachloréthylène                        | Cl <sub>2</sub> C=CCl <sub>2</sub>            | Faible solubilité (150 à 200 mg/l à 20-25°C)        | Volatilité élevée | Sous forme gazeuse                      | Migration plus rapide que celle de l'eau en sous-sol<br>Accumulation au fond de l'aquifère (densité élevée)<br>Volatilisation importante | Assez mobile<br>Adsorption en quantité négligeable<br>Lixiviation et volatilisation importantes | Absence de biodégradation en conditions aérobies<br>Faible dégradation en conditions anaérobies<br>½ vie anaérobie dans les sols : 98 à 1653 jours (Handbook)<br>Principal produit de dégradation : trichloréthylène |
| Trichloréthylène                          | CCl <sub>2</sub> =CHCl                        | Solubilité moyenne (environ 1 à 1,4 mg/l à 20-25°C) | Volatilité élevée | Sous forme gazeuse                      | Volatilisation importante<br>Adsorption variable                                                                                         | Mobile<br>Adsorption variable<br>Accumulation dans la partie                                    | Absence ou très faible biodégradation en conditions aérobies<br>Biodégradation possible en conditions anaérobies<br>½ vie anaérobie dans les sols : 98 à                                                             |

|                                               |           |                                                                      |                        |                    |                           |                                                                              |                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               |           |                                                                      |                        |                    |                           | souterraine du sol<br>Lixiviation et volatilisation importantes              | 1653 jours (Handbook)<br>Produits de dégradation :<br>dichloroéthylènes (principalement 1,2-dichloréthylène (cis))                                                                                              |
| 1,2-Dichloroéthylène (cis et trans)           | CHCl=CHCl | Solubilité moyenne à élevée (0,6-0,8 g/l à 20°C, 3,5-6,3 g/l à 25°C) | Volatilité élevée      | Sous forme gazeuse | Volatilisation importante | Volatilisation importante                                                    | Absence de biodégradation en conditions aérobies<br>Faible biodégradation en conditions anaérobies<br>½ vie anaérobie dans les sols : 112 à 720 jours (Handbook)<br>Produit de dégradation : chlorure de vinyle |
| 1,1-Dichloroéthylène (chlorure de vinylidène) | CH2=CCl2  | Solubilité élevée (2,2 à 2,5 g/l à 20-25°C)                          | Volatilité élevée      | Sous forme gazeuse | Volatilisation importante | Volatilisation importante                                                    | Absence de biodégradation en conditions aérobies<br>Faible biodégradation en conditions anaérobies<br>½ vie anaérobie dans les sols : 81 à 173 jours (Handbook)<br>Produit de dégradation : chlorure de vinyle  |
| Chlorure de vinyle                            | CH2=CHCl  | Solubilité moyenne à élevée (0,9 à 2,8 g/l à 20-25°C)                | Volatilité très élevée | Sous forme gazeuse | Volatilisation importante | Très mobile<br>Lixiviation<br>Accumulation dans la partie souterraine du sol | Absence ou faible de biodégradation en conditions aérobies<br>Faible biodégradation en conditions anaérobies<br>½ vie anaérobie dans les sols : 112 à                                                           |

|                                               |                                    |                                                        |                   |                    |                                                                      |                                                                      |                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               |                                    |                                                        |                   |                    |                                                                      | Volatilisation importante                                            | 720 jours (Handbook)<br>Produit de dégradation : éthène                                                                                                                   |
| Tétrachlorure de carbone (tétrachlorométhane) | CCl <sub>4</sub>                   | Solubilité moyenne (800 mg/l à 20°C, 1160 mg/l à 25°C) | Volatilité élevée | Sous forme gazeuse | Volatilisation importante<br>Pas d'adsorption                        | Forte mobilité<br>Volatilisation significative                       | Pas facilement biodégradable dans les eaux de surface<br>Dégradation possible en milieu anaérobie avec formation de CO <sub>2</sub>                                       |
| Chloroforme (trichlorométhane)                | CHCl <sub>3</sub>                  | Solubilité élevée (8 200 mg/l à 20°C)                  | Volatilité élevée | Sous forme gazeuse | Volatilisation importante                                            | Forte mobilité<br>Lixiviation et volatilisation importantes          | Peu biodégradable en milieu aérobie<br>En milieu anaérobie : ½ vie dans les sols de 7 à 28 jours (Handbook)<br>Produits de dégradation anaérobie : dichlorométhane        |
| Chlorure de méthylène (dichlorométhane)       | CHCl <sub>2</sub>                  | Solubilité élevée (16 800 mg/l à 20°C)                 | Volatilité élevée | Sous forme gazeuse | Volatilisation importante                                            | Forte mobilité<br>Lixiviation et volatilisation importantes          | Facilement biodégradable en milieu aérobie<br>En milieu anaérobie : ½ vie dans les sols de 28 à 112 jours (Handbook)<br>Produits de dégradation anaérobie : chlorométhane |
| Monochloroéthane                              | CH <sub>2</sub> Cl-CH <sub>3</sub> | Solubilité élevée (environ 5 000 mg/l à 25°C)          | Volatilité élevée | Sous forme gazeuse | Phénomène d'adsorption non significatif<br>Volatilisation importante | Phénomène d'adsorption non significatif<br>Volatilisation importante | Biodégradable en conditions aérobie et anérobies                                                                                                                          |
| 1,1-Dichloroéthane                            | CHCl <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub> | Solubilité élevée (environ 5 000 mg/l à 25°C)          | Volatilité élevée | Sous forme gazeuse | Phénomène d'adsorption non significatif                              | Phénomène d'adsorption non significatif                              | Faiblement biodégradable                                                                                                                                                  |

|                                 |                                       |                                                  |                   |                                         | Volatilisation importante                                                                           | Volatilisation importante                                                        |                                                                                                                                                             |
|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1,2-Dichloroéthane              | CH <sub>2</sub> Cl-CH <sub>2</sub> Cl | Solubilité élevée (8000 à 8 690 mg/l à 25°C)     | Volatilité élevée | Sous forme gazeuse                      | Volatilisation importante                                                                           | Forte mobilité<br>Volatilisation importante                                      | Biodégradation partielles dans les eaux de surface et non significative dans les sols<br>En milieu anaérobie, biodégradation en éthane                      |
| 1,1,1-trichloroéthane           | CCl <sub>3</sub> -CH <sub>3</sub>     | Solubilité élevée (1 000 à 4 000 mg/l à 20-25°C) | Volatilité élevée | Sous forme gazeuse                      | Faible adsorption<br>Volatilisation importante                                                      | Phénomène d'adsorption non significatif<br>Volatilisation importante             | Pas ou peu de biodégradation en conditions aérobies<br>Dégradation lente en conditions anaérobies                                                           |
| 1,1,2-Trichloroéthane           | CHCl <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> Cl | Solubilité élevée (4 500 mg/l à 20°C)            | Volatilité élevée | Sous forme gazeuse                      | Volatilisation importante                                                                           | Volatilisation importante                                                        | Pas ou peu de biodégradation en conditions aérobies ; volatilisation prépondérante<br>Dégradation en milieu anaérobie, avec formation de chlorure de vinyle |
| Hydrocarbures                   |                                       |                                                  |                   |                                         |                                                                                                     |                                                                                  |                                                                                                                                                             |
| Hydrocarbures aliphatiques C>16 | -                                     | Solubilité très faible                           | Très peu volatils | Essentiellement sous forme particulaire | Adsorption importante sur les matières en suspension et les sédiments<br>Volatilisation négligeable | Mobilité très faible (adsorption forte)<br>Volatilisation peu importante à nulle | Faible biodégradabilité                                                                                                                                     |

|                                    |         |                                       |                   |                                         |                                                                                                         |                                                                                      |                                                              |
|------------------------------------|---------|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Hydrocarbures aromatiques C>16     | -       | Solubilité très faible                | Très peu volatils | Essentiellement sous forme particulaire | Adsorption importante sur les matières en suspension et les sédiments<br><br>Volatilisation négligeable | Mobilité très faible (adsorption forte)<br><br>Volatilisation peu importante à nulle | Faible biodégradabilité                                      |
| Hydrocarbures aliphatiques C10-C16 | -       | Solubilité très faible                | Volatils          | Sous forme gazeuse                      | Adsorption importante sur les matières en suspension et les sédiments<br><br>Volatilisation importante  | Mobilité très faible (adsorption forte)<br><br>Volatilisation importante             | Biodégradation minoritaire                                   |
| Hydrocarbures aromatiques C10-C16  | -       | Faible solubilité (C10-C12 : 25 mg/l) | Volatilité élevée | Sous forme gazeuse                      | Volatilisation importante<br><br>Adsorption sur les matières en suspension et les sédiments             | Volatilisation importante<br><br>Mobilité faible (adsorption importante)             | Biodégradation minoritaire                                   |
| Autres composés                    |         |                                       |                   |                                         |                                                                                                         |                                                                                      |                                                              |
| isopropylalcool / isopropanol      | C3-H8-O | Solubilité très élevée                | Volatilité élevée | Sous forme gazeuse                      | Volatilisation importante                                                                               | Volatilisation importante à partir de sols                                           | Dégradation significative en conditions aérobie et anaérobie |

|                                         |                          |                                                                               |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                 | Très faible<br>absorption sur les<br>matières en<br>suspension                                                                                                                     | secs et<br>humides<br><br>Mobilité<br>importante                                             | Produit(s) de dégradation anaérobie :<br>acétone<br><br>1/2 vie dans l'eau, entre 86 h (rivière) et<br>29 j (lac)      |
|-----------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| acétone                                 | C3-H6-O                  | Très soluble<br>(1.106 mg/l à<br>25°C)                                        | Volatil                                                                            | Sous forme gazeuse                                                                                                                                                                                              | Très faible (voire<br>nulle) adsorption<br>sur les sédiments<br>et matières en<br>suspension<br>Volatilisation<br>importante                                                       | Mobilité très<br>importante<br>Volatilisation<br>importante<br>Adsorption<br>quasiment nulle | Biodégradation aérobie et anaérobie                                                                                    |
| méthyl tert-butyl<br>éther (MTBE)       | C5-H12-O                 | Très soluble<br>(5.104 mg/l à<br>25°C)                                        | Volatilité élevée                                                                  | Sous forme gazeuse                                                                                                                                                                                              | Sous forme<br>soluble                                                                                                                                                              | Mobilité élevée                                                                              | Peu biodégradable dans l'eau<br><br>Non biodégradable dans les sols<br>1/2 vie dans les sols : 106 jours (CE,<br>2001) |
| Substances                              |                          | Voies d'exposition                                                            |                                                                                    | Organe(s) cible(s)                                                                                                                                                                                              | Effets sur l'homme - toxicité chronique                                                                                                                                            | Effets sur l'homme - toxicité<br>aigüe                                                       | Phases de risques                                                                                                      |
|                                         |                          | Principale                                                                    | Secondaire                                                                         |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                    |                                                                                              |                                                                                                                        |
| Hydrocarbures aromatiques monocycliques |                          |                                                                               |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                    |                                                                                              |                                                                                                                        |
| benzène                                 | Inhalation<br>(TA = 50%) | Orale (TA =<br>97% chez<br>l'animal)<br>Cutanée (TA<br>< 1% chez<br>l'animal) | Système<br>hématopoïétique<br>(système nerveux<br>central, système<br>immunitaire) | Par inhalation :<br>- effets hémotoxiques et<br>immunotoxiques : atteinte de la moelle<br>épinière (anémie aplasique,<br>myéloprolifératif, leucémie)<br>- effets neurologiques (observés chez<br>les rongeurs) | Par inhalation :<br>- dépression du système<br>nerveux centrale (narcose<br>précédée d'une excitation),<br>convulsions, dépression<br>respiratoire<br>- excitation, troubles de la | F; R11 Carc. Cat. 1<br>R45 Muta. Cat. 2;<br>R46 T;<br>R48/23/24/25 Xn;<br>R65 Xi; R36/38     |                                                                                                                        |

|                 |                             |                                          |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                           |                                                        |
|-----------------|-----------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                 |                             |                                          |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | parole, céphalées, vertiges, insomnies, nausées, paresthésie dans les mains et les pieds, fatigue                                                                                                                                         |                                                        |
| toluène         | Inhalation<br>(TA = 50%)    | Orale (TA = 100%)<br>Cutanée             | Système nerveux central<br>(foie, reins, fœtus, lait maternel)                                                                                                                                 | Par inhalation :<br>- effets neurologiques :<br>dysfonctionnement cérébraux, pyramidaux et cognitifs (tremblements, ataxie, troubles de la mémoire, atrophie du cervelet)<br>- syndrome psycho-organique :<br>neurasthénie, diminution des réponses aux tests psycho-moteurs<br>- éventuelles atteintes rénales et hépatiques                                                                       | Par inhalation :<br>- maux de tête, vertiges, irritation des muqueuses, somnolence<br>- dommages rénaux (oligurie), dysfonctionnements urinaires (myoglobininurie)                                                                        | F; R11 Repr.Cat.3;<br>R63 Xn; R48/20-65<br>Xi; R38 R67 |
| Xylènes (m,p,o) | Inhalation<br>(TA = 62-64%) | Cutanée<br>(TA = 50-160 µg/min)<br>Orale | Par inhalation :<br>Système nerveux central, foie, sang, poumons<br>(et peau, pate, reins)<br>Par voie cutanée :<br>yeux, système nerveux central, peau, foie<br>Par ingestion : non déterminé | Exposition par voies pulmonaires et cutanées : irritation des yeux, troubles respiratoires, troubles cardio-vasculaires, troubles gastriques, atteintes hématologiques et immunologiques, troubles hépatiques, rénaux et neurologiques (maux de tête, vertiges, malaises, irritabilité, perte de la mémoire et de la concentration)<br><br>Pas d'étude sur l'exposition par voie orale chez l'homme | Par inhalation :<br>- irritations du nez et de la gorge, perte de la mémoire, déséquilibre, tachycardie, mort<br><br>Par ingestion :<br>- mort, coma<br><br>Par voie cutanée :<br>- urticaire, dessèchement, vasodilatation, desquamation | R10 Xn; R20/21 Xi;<br>R38                              |

|                                         |                                        |       |                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                       |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| éthylbenzène                            | Inhalation<br>(TA = 49-64%)<br>Cutanée | Orale | Foie et reins<br>(système<br>hématologique)                                                                                                                                                                          | <p>Par inhalation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Troubles du système hématopoïétique ; toutefois effets observés sur un mélange d'alkylbenzènes</li> </ul> <p>Aucune donnée concernant les effets systémiques induits par une exposition chronique par voie orale ou par voie cutanée à l'éthylbenzène n'est disponible chez l'homme.</p>                                                                            | <p>Par inhalation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- irritations des yeux, du nez et des muqueuses</li> <li>- dépression du système nerveux central, atteintes transitoire hépatiques et rénales</li> </ul> <p>Absence de données pour la voie orale</p> <p>Absence d'étude relative à l'exposition par voie cutanée de l'éthylbenzène seul</p>                                                | F; R11 Xn; R20                        |
| Hydrocarbures aromatiques polycycliques |                                        |       |                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                       |
| naphtalène                              | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée         |       | <p>Par inhalation :<br/>poumon, système sanguin, yeux (reins et foie)</p> <p>Par ingestion :<br/>système sanguin, yeux, système gastro-intestinal et système nerveux</p> <p>Par voie cutanée :<br/>non déterminé</p> | <p>Etudes chez l'homme :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Par inhalation : anémie hémolytique, cataracte</li> <li>- Absence d'étude sur l'homme portant sur l'exposition chronique par voie orale</li> <li>- Aucune relation n'a été démontrée entre l'exposition à long terme par voie cutanée, et le développement de symptômes respiratoires, cardiovasculaires, gastro-interstinaux, rénaux et oculaires.</li> </ul> | <p>Par ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- atteintes respiratoires et hépatiques</li> </ul> <p>Par inhalation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ictère sévère, lésions cérébrales</li> <li>- anémie hémolytique</li> </ul> <p>Par voie cutanée :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- irritations cutanées et oculaires</li> <li>- anémie hémolytique</li> </ul> | Carc. Cat.3; R40<br>Xn; R22 N; R50-53 |

|                      |                                                     |                                                                                                     |                                                                                                                                 |                                                                                   |                                                                              |
|----------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Chrysène             | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée                      | Non déterminé                                                                                       | Peu de données spécifiques disponibles pour ce composé dans les bases consultées.                                               |                                                                                   | Carc. Cat. 2; R45<br>Muta. Cat. 3; R68<br>N; R50-53                          |
| fluorène             | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée                      | Non déterminé                                                                                       | Peu de données spécifiques disponibles pour ce composé dans les bases consultées.                                               |                                                                                   | R45                                                                          |
| fluoranthène         | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée                      | Par inhalation : reins<br><br>Par ingestion : reins et foie<br><br>Par voie cutanée : non déterminé | Peu de données spécifiques disponibles pour ce composé dans les bases consultées.                                               | Peu de données spécifiques disponibles pour ce composé dans les bases consultées. | R45                                                                          |
| benzo(a)pyrène       | Inhalation<br>Orale (TA = 20%)<br>Cutanée (TA = 3%) | Par inhalation/ingestion : estomac, foie, reins, moelle osseuses<br><br>Par voie cutanée : peau     | Par voie cutanée : effets locaux cutanés (verruques)<br><br>Pas de données relatives aux autres voies d'exposition chez l'homme | Peu de données spécifiques disponibles pour ce composé dans les bases consultées. | Carc. Cat. 2; R45<br>Muta. Cat. 2; R46<br>Repr. Cat. 2; R60-61 R43 N; R50-53 |
| Pyrène               | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée                      | Non déterminé                                                                                       | Peu de données spécifiques disponibles pour ce composé dans les bases consultées.                                               |                                                                                   | R45                                                                          |
| Benzo(g,h,i)pérylène | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée                      | Système immunologique                                                                               | Potentiellement effets immunologiques, mais non démontrés                                                                       | Peu de données spécifiques disponibles pour ce composé dans les bases consultées. | N; R50-53                                                                    |

|                        |                                                                                         |                                                                                        |                                                                                                                                        |                                                                                                                                    |                             |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Acénaphène             | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée                                                          | Organe principal :<br>Foie<br>Organes secondaires : sang, poumons, organe reproducteur | Absence d'étude épidémiologique concernant les effet chez l'homme<br><br>Chez l'animal : troubles hépatiques, rénaux et hématologiques | Absence d'études relative à la toxicité aigüe, chez l'homme                                                                        | -                           |
| Acénaphthylène         | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée                                                          | Non déterminé                                                                          | Peu de données spécifiques disponibles pour ce composé dans les bases consultées.                                                      |                                                                                                                                    | -                           |
| Anthracène             | Ingestion, Inhalation, Contact cutané<br>(chez l'animal : TA = 53-74% pour les 3 voies) | Non déterminé                                                                          | Absence de données chez l'homme<br><br>Chez l'animal, les études n'ont montré aucun effet lié à l'anthracène                           | Chez l'homme : effets photosensibilisants lors de son utilisation pour le traitement du psoriasis (en solution et dans un mélange) | -                           |
| Benzo(a)anthracène     | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée                                                          | Non déterminé                                                                          | Peu de données spécifiques disponibles pour ce composé dans les bases consultées.                                                      |                                                                                                                                    | Carc.2; R45 N; R50-53       |
| Benzo(b)fluoranthène   | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée                                                          | Par ingestion : système immunitaire                                                    | Peu de données spécifiques disponibles pour ce composé dans les bases consultées.                                                      |                                                                                                                                    | -                           |
| Benzo(k)fluoranthène   | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée                                                          | Par inhalation : système immunitaire                                                   | Peu de données spécifiques disponibles pour ce composé dans les bases consultées.                                                      |                                                                                                                                    | Carc.2; R45 N; R50-53       |
| Dibenzo(a,h)anthracène | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée                                                          | Foie, peau, système immunologique                                                      | Peu de données spécifiques disponibles pour ce composé dans les bases consultées.                                                      |                                                                                                                                    | Carc. Cat. 2; R45 N; R50-53 |

|                                    |                                                                                                                                    |                                                                       |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                              |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| phénanthrène                       | Ingestion (TA=100% chez l'animal)<br>Inhalation (TA=ND)<br>Contact cutané (TA = 80-90% chez l'animal)                              | Non déterminé                                                         | Peu de données spécifiques disponibles pour ce composé dans les bases consultées.                                                                                                    |                                                                                                                                                                                   | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                              |
| Indéno(1,2,3-c,d)pyrène            | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée                                                                                                     | Non déterminé                                                         | Absence de données spécifiques disponibles pour ce composé dans les bases consultées.                                                                                                |                                                                                                                                                                                   | R45                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                              |
| Composés organo-halogénés volatils |                                                                                                                                    |                                                                       |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                              |
| Tétrachloréthylène                 | Inhalation (TA = 78-93%)                                                                                                           | Orale (TA inconnu chez l'homme TA = 82-100% chez l'animal)<br>Cutanée | Par inhalation : système nerveux central, foie et reins<br><br>Par ingestion : foie et reins (+ système nerveux central en second)<br><br>Par contact cutané : pas d'information     | • Effets neurologiques (altération de la vision des couleurs), par voie d'inhalation<br><br>• Atteintes rénales et hépatiques pour des expositions prolongées                     | • Dépression du système nerveux central, pouvant s'accompagner d'une détresse respiratoire ou d'altérations hépatiques transitoires, et de troubles cardiaques<br><br>• Par ingestion : effets digestifs (vomissements, saignements), anémie modérée et augmentation des activités enzymatiques hépatiques | Carc.3; R40 N; R51-53                        |
| Trichloréthylène                   | Inhalation (TA = 25-55% chez l'homme ; 31-79% chez l'animal)<br>Orale (TA = 80-98% chez l'animal)<br>Cutané (TA=5-8 µg.cm-2.min-1) | Système nerveux central<br>Foie<br>Reins<br>Cœur<br>Système           | Par inhalation :<br>- céphalées, léthargie, somnolence, anesthésie, vertiges, nausées et vomissements<br>- sécheresse de la gorge et irritation oculaire<br>- intolérance à l'alcool | Par inhalation :<br>- dépression du système nerveux central, fatigue et somnolence, perte des réflexes et de la coordination motrice, coma, lésions neurologiques (nerfs optiques |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Carc.2; R45 Mut.3; R68 R67 Xi; R36/38 R52-53 |

|                                     |                                                                                                                                           |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                    |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                                     |                                                                                                                                           | <p>immunitaire</p> <p>Peau</p>                                                                                                    | <p>- atteintes hépatiques irrégulières</p> <p>- arythmies ventriculaires</p> <p>Par ingestion :</p> <p>- troubles variés : neurologiques (troubles de l'humeur, diminution du réflexe oculo-palpébral), gastro-intestinaux (nausée, diarrhée, constipation), cardiaques (tachycardie au repos, palpitations), immunologiques (augmentation du nombre de lymphocytes T, augmentation des infections, des dermatites auto-immunes) et respiratoires (asthme, bronchite, pneumonie chez les enfants) ; toutefois causalité non démontrée</p> <p>Par contact cutané :</p> <p>- lésions cutanées (irritation, érythème, maculopapules...)</p> | <p>et trijumeaux)</p> <p>- effets cardiaques (fibrillation ventriculaire)</p> <p>- atteintes hépatiques et rénales</p> <p>Par ingestion :</p> <p>- irritations du tube digestifs (gastrites et diarrhées), faiblesse générale, avec dans les cas les plus graves, délires et pertes de consciences</p> <p>- lésions hépatorénales</p> <p>Par contact cutané :</p> <p>- irritations, dessèchements, érythèmes cutanés, gerçures</p> |                                                    |
| 1,2-Dichloroéthylène (cis et trans) | <p>Inhalation (TA=75% chez l'homme)</p> <p>Ingestion (TA=ND chez l'homme et l'animal)</p> <p>Cutanée (TA=ND chez l'homme et l'animal)</p> | <p>Par inhalation :<br/>Système nerveux central, foie, poumons</p> <p>Par ingestion :<br/>Système nerveux central, foie, sang</p> | <p>Par inhalation :</p> <p>- dépression du système nerveux central, sensation de brûlure oculaire</p> <p>Absence de données pour les autres voies d'exposition chez l'homme</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>Aucune données n'est disponible pour les effets sur l'homme</p> <p>Chez l'animal, les études ont montré, pour des expositionssubchroniques :</p> <p>- par inhalation (trans-) : effets</p>                                                                                                                                                                                                                                      | <p>Pour chaque isomère : F; R11 Xn; R20 R52-53</p> |

|                                                  |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                       |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|                                                  |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p>sur le foie, les poumons</p> <p>- par ingestion :</p> <p>(trans-) : effets sur les reins, les poumons, le système immunologique</p> <p>(cis-) : effets sanguins, hépatiques et rénaux</p> <p>(cis- et trans-) : effets sanguins et hépatiques</p>                                |                                       |
| 1,1-Dichloroéthylène<br>(chlorure de vinylidène) | <p>Inhalation (TA=ND chez l'homme, 100% chez l'animal)</p> <p>Ingestion (TA=ND chez l'homme, 100% chez l'animal)</p> <p>Cutanée (TA=ND chez l'homme et l'animal)</p> | <p>Par inhalation : foie, poumons</p> <p>Par ingestion : reins</p> <p>Par voie cutanée : système nerveux central</p> | <p>Par inhalation :</p> <p>- dépression du système nerveux central</p> <p>- lésions des nerfs crâniens</p> <p>- inflammation des muqueuses respiratoires</p> <p>Par contact :</p> <p>- irritation de la peau et des yeux</p> <p>Par ingestion :</p> <p>- douleurs abdominales, maux de gorge, aspiration possible au niveau des poumons avec un risque de pneumopathie</p> | <p>Par inhalation : toxicité hépatique et rénale</p> <p>Il n'existe pas de données concernant les effets systémiques chez l'homme liés à l'ingestion. En se basant sur la toxicité aiguë de ce composé, il est vraisemblable que des effets hépatiques et rénaux se produisent.</p> | <p>F; R12 Carc.Cat.3; R40 Xn; R20</p> |
| Chlorure de vinyle                               | <p>Inhalation (TA=30-40% chez l'homme, ND chez l'animal)</p>                                                                                                         | <p>Par inhalation : os, peau, rate, système nerveux central,</p>                                                     | <p>Par inhalation :</p> <p>- dépressions du SNC, des vertiges, des troubles de la coordination des</p>                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>- « maladie du chlorure de vinyle » : douleurs articulaires et céphalées,</p>                                                                                                                                                                                                    | <p>F+; R12 Carc.1; R45</p>            |

|                                               |                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                           |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|                                               | <p>Ingestion (TA=ND chez l'homme, 90-100% chez l'animal)<br/>Cutanée (TA=ND chez l'homme, 0,02-0,03% chez l'animal)</p>                                                 | <p>système nerveux périphérique, système circulatoire, système immunitaire, système respiratoire</p> <p>Par ingestion : peau, système circulatoire</p> <p>Par voie cutanée : ND</p> | <p>mouvements, des nausées, des céphalées, une asthénie, des troubles visuels et de la mémoire et des picotements et des tremblements des extrémités</p> <p>- à fortes doses, effets narcotiques observés</p> <p>Pas d'informations sur les autres voies d'exposition chez l'homme</p>                                             | <p>étourdissements, troubles visuels, fatigue et perte d'appétit, nausées, insomnies, essoufflements, douleurs abdominales, douleurs et picotements dans les membres, sensations de froid aux extrémités, diminution de la libido et perte de poids, syndrome de Raynaud</p> <p>- effets hépatiques, spléniques, respiratoires, immunologiques, cardiovasculaires, neurologiques</p> <p>- modification significatives de l'électroencéphalogramme</p> |                                                           |
| Tétrachlorure de carbone (tétrachlorométhane) | <p>Inhalation (TA=40% chez l'homme, ND chez l'animal)<br/>Ingestion (TA=ND chez l'homme et l'animal)<br/>Cutanée (TA=ND chez l'homme, 8,3 µg/cm²/min chez l'animal)</p> | <p>Par inhalation et ingestion : foie, cerveau, reins, muscle, sang</p> <p>Non déterminé pour la voie cutanée</p>                                                                   | <p>Par inhalation et ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- dépression du système nerveux central, troubles hépatiques, lésions rénales, symptôme gastro-intestinaux et neurologiques</li> </ul> <p>Par voie cutanée :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- blanchiment cutané, puis érythème</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- effets hépatiques</li> <li>- nausées, anorexie, vomissements, douleurs épigastrique, céphalées, étourdissements, troubles anxieux.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>Carc. Cat. 3; R40 T; R23/24/25-48/23 R52-53 N; R59</p> |
| Chloroforme (trichlorométhane)                | <p>Inhalation (TA=ND chez l'homme et l'animal)</p>                                                                                                                      | <p>Par inhalation : foie, reins, système</p>                                                                                                                                        | <p>Par ingestion ou inhalation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- dépression du système nerveux</li> </ul>                                                                                                                                                                                                             | <p>Par inhalation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- effets sur le foie et le</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>Xn; R22-48/20/22 Xi; R38 Carc.3; R40</p>               |

|                                         |                                                                                        |                                                                                                                                                |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |             |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|                                         | Ingestion (TA=100% chez l'homme et 96% l'animal)<br>Cutanée (TA=1,7-8,2% chez l'homme) |                                                                                                                                                | nerveux central, cavités nasales<br><br>Par ingestion : foie, reins, système nerveux central, tube digestif | central, pouvant conduire à la mort<br>- effets respiratoires, cardiaques, gastrointestinaux, hépatiques et rénaux<br><br>Par voie cutanée :<br>- irritation cutanée                                                                                                                                                                                                                                                                                          | système nerveux central (lassitude, manque de concentration, dépression et irritabilité), soif, douleurs gastro-intestinales, hépatite et ictère, mictions fréquentes et douloureuses<br><br>Par ingestion :<br>- potentiellement effets gastro-intestinaux, hépatiques et rénaux |             |
| Chlorure de méthylène (dichlorométhane) | Inhalation (TA=70-75% chez l'homme)                                                    | Ingestion (TA=ND chez l'homme, 98% (milieu aqueux) et 40-45% (huile de maïs) chez l'animal)<br>Cutanée (TA=ND chez l'homme, 70% chez l'animal) | Par inhalation : système nerveux central, sang<br><br>Par ingestion : tractus gastro-intestinal, sang       | Par inhalation :<br>- manifestations neurologiques variables : dépression du système nerveux central, céphalées et vertiges, perte de conscience, troubles digestifs non spécifiques, troubles respiratoires surtout liés à des fausses routes, anomalies du rythme cardiaque, voire décès<br>- hémorragies gastro-intestinales, d'ulcérations duodénales, accompagnées d'une hémoglobininurie<br><br>Par voie cutanée :<br>- brûlures cornéennes et cutanées | - malaises, démarche instable, vertiges, étourdissements, troubles mnésiques, dysarthrie, pertes de mémoire, changement d'humeur et dépression.                                                                                                                                   | Carc.3; R40 |

|                    |                                                                                                                                                  |                  |                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                               |                                             |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Monochloroéthane   | Inhalation                                                                                                                                       | Orale<br>Cutanée | Système nerveux central<br>Foie<br>Reins<br>Os | - dépression du système nerveux central<br>- stupeur, irritation des yeux, crampes stomacales/abdominales, pertes de la coordination<br>- effets sut le système nerveux sympathique<br>- arythmie cardiaque<br>- ettes rénaux et hépatiques<br>- refroidissement et gerçures de la peau par voie cutanée | - effets neurologiques : ataxie, tremblements, difficultés d'élocution, hallucinations<br>- effets hépatiques | F+; R12 Carc.3;<br>R40 R52-53               |
| 1,1-Dichloroéthane | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée                                                                                                                   |                  | Reins<br>Foie<br>Système nerveux central       | - irrégularité du rythme cardiaque<br>- dépression du système nerveux central<br>- effets hépatiques et rénaux<br>- par exposition aux vapeurs : irritation des yeux et de la peau, dépression du système nerveux central<br>- par contact cutané : brûlures, rugosité et éruption cutanée               | - effets rénaux                                                                                               | F; R11 Xn; R22 Xi;<br>R36/37 R52-53         |
| 1,2-Dichloroéthane | Inhalation (TA=important chez l'homme, 90% chez l'animal)<br>Ingestion (TA=important chez l'homme, 90-100% chez l'animal)<br>Cutanée (TA=ND chez |                  | Foie, reins<br>Système nerveux central         | Par inhalation :<br>- troubles du système nerveux central, troubles gastro-intestinaux, cyanose, douleurs épigastriques, congestion pulmonaire, lésions du foie et des reins, atteinte des cellules cérébrales, arythmie cardiaque                                                                       | - Troubles divers (nausées, vomissements, douleurs épigastriques), nervosité, fatigue, toxicité hépatique     | F; R11 Carc.2; R45 Xn; R22 Xi;<br>R36/37/38 |

|                       |                                        |         |                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                    |                                      |
|-----------------------|----------------------------------------|---------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|                       | l'homme, proche de 100% chez l'animal) |         |                                                    | Par ingestion :<br>- brûlures (bouche, pharynx, oesophage, estomac), nausées, vomissements, douleurs abdominales, cyanose et troubles cardiaques<br><br>Absence de données pour la voie cutanée                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                    |                                      |
| 1,1,1-trichloroéthane | Inhalation<br>Orale<br>Cutanée         |         | Système nerveux<br>Reins/foie                      | - Effets neurologiques : neurasténie, léthargie, fatigue, détérioration de la mémoire, vertige, nausées, baisse de la concentration et de l'attention, sautes d'humeurs, déséquilibre<br>- Atteintes hépatiques<br><br>- Effets systémiques : effets sur le système nerveux central avec perturbation de l'équilibre et de la coordination des mouvements, maux de tête, lassitude, somnolence, désorientation, coma et arrêt respiratoire | Par contact cutané :<br>- érythème, sensation de brûlures, vasoconstriction<br><br>Par inhalation :<br>- irritation des muqueuses nasales et pulmonaires<br>- arythmie cardiaque, baisse de la pression artérielle | Xn; R20 N; R59                       |
| 1,1,2-Trichloroéthane | Inhalation<br>Ingestion                | Cutanée | Système nerveux central<br>Peau<br>Poumons<br>Foie | Par voie cutanée :<br>- picotements, brûlures et blanchiment de la peau<br><br>Absence de données relatives à                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | - Effets systémiques : maux de tête, étourdissements, vertiges, défaillance, somnolence, impuissance, hallucinations ou déformation                                                                                | Carc.Cat.3; R40<br>Xn; R20/21/22 R66 |

|  |  |  |                        |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |
|--|--|--|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  |  | Reins<br>Tube digestif | l'exposition par inhalation et ingestion, chez l'homme<br><br>Chez l'animal, l'exposition par inhalation et ingestion, induit des effets hépatiques, rénaux et sur le système nerveux central | des perceptions, détérioration du jugement, modification de l'activité moteur, ataxie, diminution du temps de réaction, diminution de la dextérité, perte de la proprioception, irritabilité, agression, hyper mobilité, diarrhée, nausées ou vomissements, crampes abdominales et autres désordres gastro-intestinaux, hypotension, fibrillation cardiaque, lassitude, coma<br>- dépression du système nerveux central,<br>- détérioration des poumons<br>- irritation des yeux, de la peau, des muqueuses et de l'appareil respiratoire |  |
|--|--|--|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

## Hydrocarbures

|                                        |                                                                                                             |                                                                               |                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                            |                                             |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Total Petroleum<br>Hydrocarbures (TPH) | Inhalation (voie d'exposition principale pour les hydrocarbures volatils < 16 carbones)<br>Orale<br>Cutanée | Dépend du type de mélange et des composés (Cœur, système nerveux central,...) | Effets variables en fonction du type de mélange et des composés.<br><br>Des études ont montré, chez l'homme :<br>- une augmentation des risques d'adénomes-carcinomes rénaux chez des travailleurs en milieu pétrochimique | Effets variables en fonction du type de mélange et des composés.<br><br>Des expérimentations sur les animaux ont montré :<br>Par inhalation : des troubles | Fonction du type de mélange et des composés |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|

|          |                                               |                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |
|----------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|          |                                               |                                                                                                                                                                                                                | <p>et de raffinerie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- des cas de cancers des os, du cerveau et de la prostate chez des riverains implantés en bordure de 3 complexes pétroliers et pétrochimiques</li> <li>- une déficience neurophysiologique et neurologique chez des riverains implantés en bordure d'une usine pétrochimique</li> </ul> <p>Les expérimentations animales ont également montré :<br/>par inhalation, des effets néphrotoxiques et pulmonaires</p> | <p>cardiaques, nerveux, rénaux et hématologiques</p> <p>Par voie cutanée : des irritations, acnée, hyperkératose et photosensibilité</p> <p>Les hydrocarbures C6-C20 induisent les effets les plus irritants et toxiques, plus particulièrement pour la peau. Les huiles lourdes produisent les effets les plus irritants pour les yeux.</p>                                                                                 |             |
| Jet-fuel | <p>Inhalation</p> <p>Orale</p> <p>Cutanée</p> | <p>JP-4 et JP-7 : Peau (par voie cutanée), foie et système nerveux</p> <p>JP-5 et JP-8 : Peau (par voie cutanée), foie, système immunitaire, système nerveux, système urinaire/reins, système respiratoire</p> | <p>JP-4 et JP-7 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- par inhalation : effets sur le système nerveux (maux de tête, vertige, nausées, dépression, anxiété, perte de mémoire, irritabilité)</li> </ul> <p>JP-5 et JP-8 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- par inhalation : manque d'initiative, perturbations du sommeil, vertige</li> </ul>                                                                                                                | <p>JP-4 et JP-7 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- par inhalation : suffocation, difficultés à respirer, effets sur le système nerveux (maux de tête, vertige, nausées, dépression, anxiété, perte de mémoire, irritabilité)</li> </ul> <p>JP-5 et JP-8 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- par inhalation : maux de tête, difficulté de concentration, problèmes de coordination, fatigue</li> </ul> | Carc.3; R40 |

- par ingestion :  
vomissements, diarrhée,  
crampes abdominales, toux,  
sommolence et perte de  
conscience  
- par voie cutanée : irritation  
(démangeaison, rougeur,  
desquamation, douleur)

| Substances                                     | Cancérogénité       |                                          |                            | Reprotoxicité                           | Mutagénicité                             |
|------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|
|                                                | Classification CIRC | Classification UE                        | Classification US-EPA      |                                         |                                          |
| Hydrocarbures aromatiques monocycliques (BTEX) |                     |                                          |                            |                                         |                                          |
| Benzène                                        | Catégorie 1 (2012)  | Catégorie 1 / Catégorie 1A (CLP modifié) | A (2000)                   | -                                       | Catégorie 2 / Catégorie 1B (CLP modifié) |
| Toluène                                        | Catégorie 3 (1999)  | -                                        | Données inadéquates (2005) | Catégorie 3 / Catégorie 2 (CLP modifié) | -                                        |
| Ethylbenzène                                   | Catégorie 2B (2000) | -                                        | D (1991)                   | -                                       | -                                        |
| Xylènes                                        | Catégorie 3 (1999)  | -                                        | Données inadéquates (2003) | -                                       | -                                        |
| Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)  |                     |                                          |                            |                                         |                                          |
| acénaphtène                                    | Catégorie 3 (2010)  | -                                        | -                          | -                                       | -                                        |
| acénaphtylène                                  | -                   | -                                        | D (1991)                   | -                                       | -                                        |
| anthracène                                     | Catégorie 3 (2010)  | -                                        | D (1991)                   | -                                       | -                                        |
| benzo(a)anthracène                             | Catégorie 2B (2010) | Catégorie 2 / Catégorie 1B (CLP modifié) | B2 (1994)                  | -                                       | -                                        |
| Benzo(b)fluoranthène                           | Catégorie 2B (2010) | -                                        | B2 (1994)                  | -                                       | -                                        |

| Substances                          | Cancérogénité           |                                          |                       | Reprotoxicité                                  | Mutagénicité                                |
|-------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                                     | Classification CIRC     | Classification UE                        | Classification US-EPA |                                                |                                             |
| benzo(k)fluoranthène                | Catégorie 2B (2010)     | Catégorie 2 / Catégorie 1B (CLP modifié) | B2 (1994)             | -                                              | -                                           |
| dibenzo(a,h)anthracène              | Catégorie 2B (2010)     | Catégorie 2 / Catégorie 1B (CLP modifié) | B2 (1994)             | -                                              | -                                           |
| indeno(1,2,3-cd)pyrène              | Catégorie 2B (1990)     | -                                        | B2 (1994)             | -                                              | -                                           |
| Chrysène                            | Catégorie 2B (2010)     | Catégorie 2 / Catégorie 1B (CLP modifié) | B2 (1994)             | -                                              | Catégorie 3 / Catégorie 2 (CLP modifié)     |
| Phénanthrène                        | Catégorie 3 (2010)      | -                                        | D (1990)              | -                                              | -                                           |
| Naphtalène                          | Catégorie 2B (2002)     | Catégorie 3 / Catégorie 2 (CLP modifié)  | C (1998)              | -                                              | -                                           |
| Fluorène                            | Catégorie 3 (2010)      | -                                        | D (1990)              | -                                              | -                                           |
| Fluoranthène                        | Catégorie 3 (2010)      | -                                        | D (1990)              | -                                              | -                                           |
| Benzo(a)pyrène                      | Catégorie 1 (2012)      | Catégorie 2 / Catégorie 1B (CLP modifié) | B2 (1994)             | Catégorie 2 /<br>Catégorie 1B<br>(CLP modifié) | Catégorie 2 / Catégorie 1B<br>(CLP modifié) |
| Benzo(g,h,i)pérylène                | Catégorie 3 (2012)      | -                                        | D (1990)              | -                                              | -                                           |
| Pyrène                              | Catégorie 3 (2010)      | -                                        | D (1991)              | -                                              | -                                           |
| Composés organo-halogénés volatils  |                         |                                          |                       |                                                |                                             |
| Tétrachloréthylène                  | Catégorie 2A (in prep.) | Catégorie 3 / Catégorie 2 (CLP modifié)  | -                     | -                                              | -                                           |
| Trichloréthylène                    | Catégorie 1 (in prep.)  | Catégorie 2 / Catégorie 1B (CLP modifié) | -                     | -                                              | Catégorie 3 / Catégorie 2<br>(CLP modifié)  |
| 1,2-Dichloroéthylène (cis et trans) | -                       | -                                        | -                     | -                                              | -                                           |

| Substances                                       | Cancérogénité       |                                          |                                           | Reprotoxicité | Mutagénicité |
|--------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------|--------------|
|                                                  | Classification CIRC | Classification UE                        | Classification US-EPA                     |               |              |
| 1,1-Dichloroéthylène<br>(chlorure de vinylidène) | Catégorie 3 (1999)  | Catégorie 3 / Catégorie 2 (CLP modifié)  | C (2002)                                  | -             | -            |
| Chlorure de vinyle                               | Catégorie 1 (2012)  | Catégorie 1 / Catégorie 1A (CLP modifié) | A (2000)                                  | -             | -            |
| Tétrachlorure de carbone<br>(tétrachlorométhane) | Catégorie 2B (1999) | Catégorie 3 / Catégorie 2 (CLP modifié)  | données inadéquates (2005, révision 2010) | -             | -            |
| Chloroforme<br>(trichlorométhane)                | Catégorie 2B (1999) | Catégorie 3 / Catégorie 2 (CLP modifié)  | B2 (2001)                                 | -             | -            |
| Chlorure de méthylène<br>(dichlorométhane)       | Catégorie 2B (1999) | Catégorie 3 / Catégorie 2 (CLP modifié)  | D (2011)                                  | -             | -            |
| 1,1,1-trichloroéthane                            | Catégorie 3 (1999)  | -                                        | Données inadéquates (2007)                | -             | -            |
| 1,1,2-Trichloroéthane                            | Catégorie 3 (1999)  | Catégorie 3 / Catégorie 2 (CLP modifié)  | C (1994)                                  | -             | -            |
| 1,1-Dichloroéthane                               | -                   | -                                        | C (1996)                                  | -             | -            |
| 1,2-Dichloroéthane                               | Catégorie 2B (1999) | Catégorie 2 / Catégorie 1B (CLP modifié) | B2 (1991)                                 | -             | -            |
| Monochloroéthane                                 | Catégorie 3 (1999)  | Catégorie 3 / Catégorie 2 (CLP modifié)  | -                                         | -             | -            |
| <b>Hydrocarbures</b>                             |                     |                                          |                                           |               |              |
| n-hexane                                         | -                   | -                                        | Données inadéquates (2005)                | Catégorie 3   | -            |
| Huiles minérales raffinées                       | Catégorie 3 (1987)  | -                                        | -                                         | -             | -            |
| Huiles minérale non ou à moitié raffinée         | Catégorie 1 (2012)  | -                                        | -                                         | -             | -            |

| Substances                | Cancérogénité           |                   |                       | Reprotoxicité | Mutagénicité |
|---------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|---------------|--------------|
|                           | Classification CIRC     | Classification UE | Classification US-EPA |               |              |
| Jet fuel                  | Catégorie 3 (1989)      | Catégorie 3       | -                     | -             | -            |
| Isopropylbenzène (cumène) | Catégorie 2B (in prep.) | -                 | D (1997)              | -             | -            |



| Substances                 | Masse molaire | Solubilité | Constante de Henry à la température de référence | Température de référence pour la constante de Henry | Constante de Henry | Coefficient de diffusion dans l'air |          | Coefficient de diffusion dans l'eau |         | Coefficient de partage carbone organique | Point d'ébullition (à pression normale) | Température critique | Enthalpie de vaporisation au point d'ébullition | Epaisseur de la couche limite | Temps de demi-vie |          |
|----------------------------|---------------|------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|----------|-------------------------------------|---------|------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|----------|
|                            | M             | S          | H                                                | TR                                                  | H'                 | Da                                  |          | Dw                                  |         | Koc                                      | TB                                      | TC                   | □Hv,b                                           | d                             | t1/2 max          | t1/2 min |
|                            | g/mol         | mg/l       | atm.m3/mol                                       | °C                                                  | sans unité         | cm²/s                               | cm²/j    | cm²/s                               | cm²/j   | cm3/g                                    | K                                       | K                    | cal/mol                                         | cm                            | jour              | jour     |
| HC aliphatique C5-C6       | 81,00         | 3,60E+01   | 8,07E-01                                         | 25                                                  | 3,30E+01           | 8,26E-01                            | 71349,12 | 8,07E-06                            | 0,69725 | 7,94E+02                                 | 309,25                                  | 469,71               | 6160                                            | 0,853                         | 1,00E+06          | -        |
| HC aliphatiques C6-C8      | 100,00        | 5,40E+00   | 1,22E+00                                         | 25                                                  | 5,00E+01           | 1,00E-01                            | 8640,00  | 1,00E-05                            | 0,86400 | 3,98E+03                                 | 369,00                                  | 540,20               | 7593                                            | 1,724                         | 1,00E+06          | -        |
| HC aromatiques C6-C8       | 78,11         | 1,79E+03   | 5,54E-03                                         | 25                                                  | 2,27E-01           | 8,80E-02                            | 7603,20  | 9,80E-06                            | 0,84672 | 5,89E+01                                 | 353,24                                  | 562,16               | 7342                                            | 1,799                         | 1,00E+06          | -        |
| HC aliphatiques C8-C10     | 130,00        | 4,30E-01   | 1,96E+00                                         | 25                                                  | 8,00E+01           | 1,00E-01                            | 8640,00  | 1,00E-05                            | 0,86400 | 3,16E+04                                 | 423,00                                  | 594,60               | 8886                                            | 1,724                         | 1,00E+06          | -        |
| HC aromatiques C8-C10      | 120,00        | 6,50E+01   | 1,17E-02                                         | 25                                                  | 4,80E-01           | 1,00E-01                            | 8640,00  | 1,00E-05                            | 0,86400 | 1,58E+03                                 | 423,00                                  | 617,00               | 8520                                            | 1,724                         | 1,00E+06          | -        |
| HC aliphatiques C10-C12    | 160,00        | 3,40E-02   | 2,96E+00                                         | 25                                                  | 1,20E+02           | 1,00E-01                            | 8640,00  | 1,00E-05                            | 0,86400 | 2,51E+05                                 | 473,00                                  | 639,00               | 10000                                           | 1,724                         | 1,00E+06          | -        |
| HC aromatiques C10-C12     | 130,00        | 2,50E+01   | 3,43E-03                                         | 25                                                  | 1,40E-01           | 1,00E-01                            | 8640,00  | 1,00E-05                            | 0,86400 | 2,51E+03                                 | 473,00                                  | 748,40               | 10400                                           | 1,724                         | 1,00E+06          | -        |
| HC aliphatiques C12-C16    | 200,00        | 7,60E-04   | 1,27E+01                                         | 25                                                  | 5,20E+02           | 1,00E-01                            | 8640,00  | 1,00E-05                            | 0,86400 | 5,01E+06                                 | 533,00                                  | 693,00               | 11460                                           | 1,724                         | 1,00E+06          | -        |
| HC aromatiques C12-C16     | 150,00        | 5,80E+00   | 1,30E-03                                         | 25                                                  | 5,30E-02           | 1,00E-01                            | 8640,00  | 1,00E-05                            | 0,86400 | 5,01E+03                                 | 533,00                                  | 869,00               | 14200                                           | 1,724                         | 1,00E+06          | -        |
| Anthracène                 | 178,20        | 1,29E+00   | 4,97E-05                                         | 25                                                  | 2,05E-03           | 3,24E-02                            | 2799,36  | 7,74E-06                            | 0,66874 | 2,57E+04                                 | 613,10                                  | 869,30               | 15000                                           | 2,510                         | 2900              | -        |
| Benzo(a)anthracène         | 228,29        | 9,40E-03   | 3,34E-06                                         | 25                                                  | 1,37E-04           | 5,10E-02                            | 4406,40  | 9,00E-06                            | 0,77760 | 3,98E+05                                 | 708,15                                  | 1004,79              | 15900                                           | 2,157                         | 261               | 162      |
| Benzo(b)fluoranthène       | 252,32        | 1,50E-03   | 1,11E-04                                         | 25                                                  | 4,54E-03           | 2,26E-02                            | 1952,64  | 5,56E-06                            | 0,48038 | 1,23E+06                                 | 715,90                                  | 969,27               | 17000                                           | 2,830                         | 3300              | -        |
| Chrysène                   | 228,30        | 6,30E-03   | 9,44E-05                                         | 25                                                  | 3,87E-03           | 2,48E-02                            | 2142,72  | 6,21E-06                            | 0,53654 | 3,98E+05                                 | 714,15                                  | 979,00               | 16455                                           | 2,744                         | 3000              | -        |
| Fluoranthène               | 202,26        | 2,60E-01   | 7,90E-06                                         | 25                                                  | 3,26E-04           | 3,02E-02                            | 2609,28  | 6,35E-06                            | 0,54864 | 7,24E+04                                 | 655,95                                  | 905,00               | 13815                                           | 2,569                         | 2900              | -        |
| Fluorène                   | 166,22        | 1,98E+00   | 6,34E-05                                         | 25                                                  | 2,60E-03           | 3,63E-02                            | 3136,32  | 7,88E-06                            | 0,68083 | 1,38E+04                                 | 570,44                                  | 870,00               | 12666                                           | 2,416                         | 1200              | -        |
| Phénanthrène               | 178,20        | 1,20E+00   | 3,93E-05                                         | 25                                                  | 1,61E-03           | 5,40E-02                            | 4665,60  | 7,50E-06                            | 0,64800 | 8,14E+03                                 | 613,00                                  | 873,00               | 14184                                           | 2,117                         | 2100              | -        |
| Pyrène                     | 202,26        | 1,35E+00   | 1,10E-05                                         | 25                                                  | 4,50E-04           | 2,72E-02                            | 2350,08  | 7,24E-06                            | 0,62554 | 1,05E+05                                 | 667,95                                  | 936,00               | 14370                                           | 2,660                         | 3100              | -        |
| Naphtalène                 | 128,18        | 3,10E+01   | 4,82E-04                                         | 25                                                  | 1,98E-02           | 5,90E-02                            | 5097,60  | 7,50E-06                            | 0,64800 | 2,00E+03                                 | 491,14                                  | 748,40               | 1,04E+04                                        | 2,052                         | 3000              | -        |
| Acénaphtylène              | 152,20        | 1,61E+01   | 8,29E-05                                         | 25                                                  | 3,39E-03           | 4,40E-02                            | 3801,60  | 7,53E-06                            | 0,65059 | 2,77E+03                                 | 553,00                                  | 792,00               | 1,20E+04                                        | 2,263                         | 240               | -        |
| Acénaphthène               | 154,21        | 3,57E+00   | 1,55E-04                                         | 25                                                  | 6,34E-03           | 4,21E-02                            | 3637,44  | 7,69E-06                            | 0,66442 | 7,08E+03                                 | 550,54                                  | 803,15               | 1,22E+04                                        | 2,296                         | 1200              | -        |
| Benzo(a)anthracène         | 228,29        | 9,40E-03   | 3,36E-06                                         | 25                                                  | 1,37E-04           | 5,10E-02                            | 4406,40  | 9,00E-06                            | 0,77760 | 3,98E+05                                 | 708,15                                  | 1004,79              | 1,50E+04                                        | 2,154                         | 2720              | 408      |
| Benzène                    | 78,11         | 1,79E+03   | 5,54E-03                                         | 25                                                  | 2,27E-01           | 8,80E-02                            | 7603,20  | 9,80E-06                            | 0,84672 | 5,89E+01                                 | 353,24                                  | 562,16               | 7342                                            | 1,799                         | 730               | -        |
| Toluène                    | 92,14         | 5,26E+02   | 6,62E-03                                         | 25                                                  | 2,72E-01           | 8,70E-02                            | 7516,80  | 8,60E-06                            | 0,74304 | 1,82E+02                                 | 383,78                                  | 591,79               | 7930                                            | 1,806                         | 730               | -        |
| Ethylbenzène               | 106,16        | 1,69E+02   | 7,86E-03                                         | 25                                                  | 3,22E-01           | 7,50E-02                            | 6480,00  | 7,80E-06                            | 0,67392 | 3,63E+02                                 | 409,34                                  | 617,20               | 8501                                            | 1,897                         | 730               | -        |
| m-Xylène                   | 106,16        | 1,61E+02   | 7,32E-03                                         | 25                                                  | 3,00E-01           | 7,00E-02                            | 6048,00  | 7,80E-06                            | 0,67392 | 4,07E+02                                 | 412,27                                  | 617,05               | 8523                                            | 1,941                         | 730               | -        |
| p-Xylène                   | 106,16        | 1,85E+02   | 7,64E-03                                         | 25                                                  | 3,13E-01           | 7,69E-02                            | 6644,16  | 8,44E-06                            | 0,72922 | 3,89E+02                                 | 411,52                                  | 616,20               | 8525                                            | 1,881                         | 730               | -        |
| o-Xylène                   | 106,16        | 1,78E+02   | 5,18E-03                                         | 25                                                  | 2,12E-01           | 8,70E-02                            | 7516,80  | 1,00E-05                            | 0,86400 | 3,63E+02                                 | 417,60                                  | 630,30               | 8661                                            | 1,806                         | 730               | -        |
| Trichloréthylène           | 131,39        | 1,47E+03   | 1,03E-02                                         | 25                                                  | 4,21E-01           | 7,90E-02                            | 6825,60  | 9,10E-06                            | 0,78624 | 1,66E+02                                 | 360,36                                  | 544,20               | 7505                                            | 1,865                         | 1653              | 98       |
| Tétrachloréthylène         | 165,80        | 2,00E+02   | 1,84E-02                                         | 25                                                  | 7,53E-01           | 7,20E-02                            | 6220,80  | 8,20E-06                            | 0,70848 | 1,55E+02                                 | 394,40                                  | 620,20               | 8288                                            | 1,923                         | 1653              | 98       |
| 1,1,1-Trichloroéthane      | 133,41        | 1,33E+03   | 1,72E-02                                         | 25                                                  | 7,03E-01           | 7,80E-02                            | 6739,20  | 8,80E-06                            | 0,76032 | 1,10E+02                                 | 347,24                                  | 545,00               | 7136                                            | 1,873                         | 1653              | 560      |
| 1,1-dichloroéthane         | 98,96         | 5,06E+03   | 5,61E-03                                         | 25                                                  | 2,30E-01           | 7,42E-02                            | 6410,88  | 1,05E-05                            | 0,90720 | 3,16E+01                                 | 330,55                                  | 523,00               | 6895                                            | 1,904                         | 616               | 128      |
| 1,2-Dichloroéthylène (cis) | 96,94         | 3,50E+03   | 4,07E-03                                         | 25                                                  | 1,67E-01           | 7,36E-02                            | 6359,04  | 1,13E-05                            | 0,97632 | 3,55E+01                                 | 333,65                                  | 544,00               | 7192                                            | 1,909                         | 720               | 112      |
| 1,1-Dichloréthylène        | 96,95         | 2,25E+03   | 2,60E-02                                         | 25                                                  | 1,07E+00           | 9,00E-02                            | 7776,00  | 1,04E-05                            | 0,89856 | 5,89E+01                                 | 304,75                                  | 576,05               | 6247                                            | 1,785                         | 173               | 81       |
| Chlorure de vinyle         | 62,50         | 8,80E+03   | 2,69E-02                                         | 25                                                  | 1,10E+00           | 1,06E-01                            | 9158,40  | 1,23E-05                            | 1,06272 | 1,86E+01                                 | 259,25                                  | 432,00               | 5250                                            | 1,691                         | 720               | 112      |



|                              |        |          |          |    |          |          |          |          |         |          |        |        |      |       |      |     |
|------------------------------|--------|----------|----------|----|----------|----------|----------|----------|---------|----------|--------|--------|------|-------|------|-----|
| 1,2-Dichloroéthylène (trans) | 96,95  | 6,30E+03 | 9,36E-03 | 25 | 3,84E-01 | 7,07E-02 | 6108,48  | 1,19E-05 | 1,02816 | 5,25E+01 | 320,85 | 516,50 | 6717 | 1,935 | 720  | 112 |
| 1,1,2-Trichloroéthane        | 133,42 | 4,42E+03 | 9,11E-04 | 25 | 3,73E-02 | 7,80E-02 | 6739,20  | 8,80E-06 | 0,76032 | 5,01E+01 | 386,15 | 602,00 | 8322 | 1,873 | 1460 | 720 |
| Dichlorométhane              | 84,93  | 1,30E+04 | 2,18E-03 | 25 | 8,96E-02 | 1,01E-01 | 8726,40  | 1,17E-05 | 1,01088 | 1,17E+01 | 313,00 | 510,00 | 6706 | 1,718 | 112  | 28  |
| Trichlorométhane             | 119,38 | 7,92E+03 | 3,66E-03 | 25 | 1,50E-01 | 1,04E-01 | 8985,60  | 1,00E-05 | 0,86400 | 3,98E+01 | 334,32 | 536,40 | 6988 | 1,701 | 28   | 7   |
| Tétrachlorométhane           | 153,82 | 7,93E+02 | 3,03E-02 | 25 | 1,24E+00 | 7,80E-02 | 6739,20  | 8,80E-06 | 0,76032 | 1,74E+02 | 349,90 | 556,60 | 7127 | 1,873 | 28   | 7   |
| 1,2-dichloroéthane           | 99,00  | 8,52E+03 | 9,77E-04 | 25 | 4,00E-02 | 1,04E-01 | 8985,60  | 9,90E-06 | 0,85536 | 1,74E+01 | 356,65 | 561,00 | 7643 | 1,701 | 720  | 400 |
| Chloroéthane                 | 64,50  | 5,68E+03 | 8,80E-03 | 25 | 3,61E-01 | 2,71E-01 | 23414,40 | 1,15E-05 | 0,99360 | 4,40E+00 | 285,30 | 460,40 | 5879 | 1,236 | 112  | 28  |

Pour la dégradation des COHV, les temps de demi-vie max ont été utilisés pour la modélisation à partir de Johnson-Ettinger et les temps de demi-vie min pour la modélisation à partir d'EMSOFT

Notes : pour le chlorométhane, le chloroéthane et le cyanure d'hydrogène via le modèle EMSOFT, la valeur maximale acceptée pour le coefficient de diffusion dans l'air (10000 cm<sup>2</sup>/j) a été prise en considération.

Les valeurs prises en considération sont issues des sources suivantes :

- 1) modèle de Johnson et Ettinger
- 2) fiches toxicologiques de l'INERIS
- 3) base de données HSDB (Hazardous Substances DataBank)
- 4) US EPA
- 5) Chemfinder (<http://chemfinder.cambridgesoft.com>)
- 6) NIST (<http://webbook.nist.gov>)
- 7) TPHCWG (Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group)
- 8) Handbook of chemistry and physics (83rd edition 2002/2003)

La constante de Henry sans unité H' est calculée selon la formule suivante (EMSOFT) :

$$H' = H / RT \quad \text{avec} \quad \begin{aligned} R &= \text{constante universelle des gaz parfaits} = 8,21 \cdot 10^{-5} \text{ atm.m}^3 \cdot \text{K/mol} \\ T &= \text{température de référence pour la constante de Henry} \\ &= 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K} \end{aligned}$$

L'épaisseur de la couche limite d (m) est calculée selon la formule suivante (EMSOFT) :

$$d = 26 \times \frac{\nu}{V^* \times Sc^{1/3}} \quad \text{avec} \quad \begin{aligned} \nu &= \text{viscosité cinématique de l'air} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \\ V^* &= \text{Vélocité de friction} = 0,01V(6,1+0,63V)^{0,5} = 2,59 \cdot 10^{-2} \text{ m/s} \end{aligned}$$

$V$  = Vitesse du vent, prise égale 1  
m/s

$Sc$  = Nombre de Schmidt (sans unité) =  $\frac{Da}{\rho \nu}$   
(m<sup>2</sup>/s) / (m<sup>2</sup>/s)

## PHRASES DE RISQUES

- |                                                                                                     |                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>R 1</b> Explosif à l'état sec                                                                    | <b>R 33</b> Danger d'effets cumulatifs                                                     |
| <b>R 2</b> Risque d'explosion par le choc, la friction, le feu ou d'autres sources d'ignition       | <b>R 34</b> Provoque des brûlures                                                          |
| <b>R 3</b> Grand risque d'explosion par le choc, la friction, le feu ou d'autres sources d'ignition | <b>R 35</b> Provoque de graves brûlures                                                    |
| <b>R 4</b> Forme des composés métalliques explosifs très sensibles                                  | <b>R 36</b> Irritant pour les yeux                                                         |
| <b>R 5</b> Danger d'explosion sous l'action de la chaleur                                           | <b>R 37</b> Irritant pour les voies respiratoires                                          |
| <b>R 6</b> Danger d'explosion au contact ou sans contact avec l'air                                 | <b>R 38</b> Irritant pour la peau                                                          |
| <b>R 7</b> Peut provoquer un incendie                                                               | <b>R 39</b> Danger d'effets irréversibles très graves                                      |
| <b>R 8</b> Favorise l'inflammation des matières combustibles                                        | <b>R 40</b> Possibilité d'effets irréversibles                                             |
| <b>R 9</b> Peut exploser en mélange avec des matières combustibles                                  | <b>R 41</b> Risques de lésions oculaires très graves                                       |
| <b>R 10</b> Inflammable                                                                             | <b>R 42</b> Peut entraîner une sensibilisation par inhalation                              |
| <b>R 11</b> Facilement inflammable                                                                  | <b>R 43</b> Peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau                    |
| <b>R 12</b> Extrêmement inflammable                                                                 | <b>R 44</b> Risque d'explosion si chauffé en ambiance confinée                             |
| <b>R 13</b> ( <i>supprimé</i> )                                                                     | <b>R 45</b> Peut causer le cancer                                                          |
| <b>R 14</b> Réagit violemment au contact de l'eau                                                   | <b>R 46</b> Peut causer des altérations génétiques héréditaires                            |
| <b>R 15</b> Au contact de l'eau, dégage des gaz extrêmement inflammables                            | <b>R 47</b> ( <i>supprimé</i> )                                                            |
| <b>R 16</b> Peut exploser en mélange avec des matières comburantes                                  | <b>R 48</b> Risque d'effets grave sur la santé en cas d'exposition prolongée               |
| <b>R 17</b> Spontanément inflammable à l'air                                                        | <b>R 49</b> Peut causer le cancer par inhalation                                           |
| <b>R 18</b> Lors de l'utilisation, formation possible de mélange vapeur-air inflammable/explosif    | <b>R 50</b> Très toxique pour les organismes aquatiques                                    |
| <b>R 19</b> Peut former des peroxydes explosifs                                                     | <b>R 51</b> Toxique pour les organismes aquatiques                                         |
| <b>R 20</b> Nocif par inhalation                                                                    | <b>R 52</b> Nocif pour les organismes aquatiques                                           |
| <b>R 21</b> Nocif par contact avec la peau                                                          | <b>R 53</b> Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique |
| <b>R 22</b> Nocif en cas d'ingestion                                                                | <b>R 54</b> Toxique pour la flore                                                          |
| <b>R 23</b> Toxique par inhalation                                                                  | <b>R 55</b> Toxique pour la faune                                                          |
| <b>R 24</b> Toxique par contact avec la peau                                                        | <b>R 56</b> Toxique pour les organismes du sol                                             |
| <b>R 25</b> Toxique en cas d'ingestion                                                              | <b>R 57</b> Toxique pour les abeilles                                                      |
| <b>R 26</b> Très toxique par inhalation                                                             | <b>R 58</b> Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement           |
| <b>R 27</b> Très toxique par contact avec la peau                                                   | <b>R 59</b> Dangereux pour la couche d'ozone                                               |
| <b>R 28</b> Très toxique en cas d'ingestion                                                         | <b>R 60</b> Peut altérer la fertilité                                                      |
| <b>R 29</b> Au contact de l'eau, dégage des gaz toxiques                                            | <b>R 61</b> Risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant                    |
| <b>R 30</b> Peut devenir facilement inflammable pendant l'utilisation                               | <b>R 62</b> Risque possible d'altération de la fertilité                                   |
| <b>R 31</b> Au contact d'un acide, dégage un gaz toxique                                            | <b>R 63</b> Risque possible pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant           |
| <b>R 32</b> Au contact d'un acide, dégage un gaz très toxique                                       | <b>R 64</b> Risque possible pour les bébés nourris au lait maternel                        |
|                                                                                                     | <b>R 65</b> Nocif : peut provoquer une atteinte des poumons en cas d'ingestion             |

## Combinaisons de PHRASES R

- |                                                                                                    |                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>R 14/15</b> Réagit violemment au contact de l'eau en dégageant des gaz extrêmement inflammables | <b>R 23/25</b> Toxique par inhalation et par ingestion                                   |
| <b>R 15/29</b> Au contact de l'eau, dégage des gaz toxiques et extrêmement inflammables            | <b>R 23/24/25</b> Toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion      |
| <b>R 20/21</b> Nocif par inhalation et contact avec la peau                                        | <b>R 24/25</b> Toxique par contact avec la peau et par ingestion                         |
| <b>R 20/22</b> Nocif par inhalation et par ingestion                                               | <b>R 26/27</b> Très toxique par inhalation et par contact avec la peau                   |
| <b>R 20/21/22</b> Nocif par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion                  | <b>R 26/28</b> Très toxique par inhalation et par ingestion                              |
| <b>R 21/22</b> Nocif par contact avec la peau et par ingestion                                     | <b>R 26/27/28</b> Très toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion |
| <b>R 23/24</b> Toxique par inhalation et par contact avec la peau                                  | <b>R 27/28</b> Très toxique par contact avec la peau et par ingestion                    |

### Combinaisons de PHRASES R (suite)

|               |                                                                                                                    |               |                                                                                                                                       |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R 36/37       | Irritant pour les yeux et les voies respiratoires                                                                  | R 40/20/21    | Nocif : possibilité d'effets irréversibles par inhalation et par contact avec la peau                                                 |
| R 36/38       | Irritant pour les yeux et la peau                                                                                  | R 42/43       | Peut entraîner une sensibilisation par inhalation et par contact avec la peau                                                         |
| R 36/37/38    | Irritant pour les yeux, les voies respiratoires et la peau                                                         | R 48/20       | Nocif : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation                                            |
| R 36/38       | Irritant pour les voies respiratoires et la peau                                                                   | R 48/21       | Nocif : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par contact avec la peau                                  |
| R 39/23       | Toxique : danger d'effets irréversibles très graves par inhalation                                                 | R 48/22       | Nocif : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par ingestion                                             |
| R 39/24       | Toxique : danger d'effets irréversibles très graves par contact avec la peau                                       | R 48/20/21    | Nocif : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation et par contact avec la peau                |
| R 39/25       | Toxique : danger d'effets irréversibles très graves par ingestion                                                  | R 48/20/22    | Nocif : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation et par ingestion                           |
| R 39/23/24    | Toxique : danger d'effets irréversibles très graves par inhalation et par contact avec la peau                     | R 48/21/22    | Nocif : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par contact avec la peau et par ingestion                 |
| R 39/23/25    | Toxique : danger d'effets irréversibles très graves par inhalation et par ingestion                                | R 48/20/21/22 | Nocif : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion |
| R 39/24/25    | Toxique : danger d'effets irréversibles très graves par contact avec la peau et par ingestion                      | R 40/20/21    | Nocif : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation et par contact avec la peau                |
| R 39/23/24/25 | Toxique : danger d'effets irréversibles très graves par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion      | R 48/23       | Toxique : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation                                          |
| R 39/26       | Très toxique : danger d'effets irréversibles très graves par inhalation                                            | R 48/24       | Toxique : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par contact avec la peau                                |
| R 39/27       | Très toxique : danger d'effets irréversibles très graves par contact avec la peau                                  | R 48/25       | Toxique : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par ingestion                                           |
| R 39/28       | Très toxique : danger d'effets irréversibles très graves par ingestion                                             | R 48/23/24    | Toxique : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation et par contact avec la peau              |
| R 39/26/27    | Très toxique : danger d'effets irréversibles très graves par inhalation et par contact avec la peau                | R 48/23/25    | Toxique : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation et par ingestion                         |
| R 39/26/28    | Très toxique : danger d'effets irréversibles très graves par inhalation et par ingestion                           | R 48/24/25    | Toxique : risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par contact avec la peau et par ingestion               |
| R 39/27/28    | Très toxique : danger d'effets irréversibles très graves par contact avec la peau et par ingestion                 | R 50/53       | Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique           |
| R 39/26/27/28 | Très toxique : danger d'effets irréversibles très graves par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion | R 51/53       | Toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique                |
| R 40/20       | Nocif : possibilité d'effets irréversibles par inhalation                                                          | R 52/53       | Nocif pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique                  |
| R 40/21       | Nocif : possibilité d'effets irréversibles par contact avec la peau                                                |               |                                                                                                                                       |
| R 40/22       | Nocif : possibilité d'effets irréversibles par ingestion                                                           |               |                                                                                                                                       |
| R 40/20/21    | Nocif : possibilité d'effets irréversibles par inhalation et par contact avec la peau                              |               |                                                                                                                                       |
| R 40/20/22    | Nocif : possibilité d'effets irréversibles par inhalation et par ingestion                                         |               |                                                                                                                                       |
| R 40/21/22    | Nocif : possibilité d'effets irréversibles par contact avec la peau et par ingestion                               |               |                                                                                                                                       |
| R 40/20/21/22 | Nocif : possibilité d'effets irréversibles par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion               |               |                                                                                                                                       |

## Mention de danger -Règlement CE/1272/2008

H200 – Explosif instable.  
H201 – Explosif; danger d'explosion en masse.  
H202 – Explosif; danger sérieux de projection.  
H203 – Explosif; danger d'incendie, d'effet de souffle ou de projection.  
H204 – Danger d'incendie ou de projection.  
H205 – Danger d'explosion en masse en cas d'incendie.  
H220 – Gaz extrêmement inflammable.  
H221 – Gaz inflammable.  
H222 – Aérosol extrêmement inflammable.  
H223 – Aérosol inflammable.  
H224 – Liquide et vapeurs extrêmement inflammables.  
H225 – Liquide et vapeurs très inflammables.  
H226 – Liquide et vapeurs inflammables.  
H228 – Matière solide inflammable.  
H240 – Peut exploser sous l'effet de la chaleur.  
H241 – Peut s'enflammer ou exploser sous l'effet de la chaleur.  
H242 – Peut s'enflammer sous l'effet de la chaleur.  
H250 – S'enflamme spontanément au contact de l'air.  
H251 – Matière auto-échauffante; peut s'enflammer.  
H252 – Matière auto-échauffante en grandes quantités; peut s'enflammer.  
H260 – Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables qui peuvent s'enflammer spontanément.  
H261 – Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables.  
H270 – Peut provoquer ou aggraver un incendie; comburant.  
H271 – Peut provoquer un incendie ou une explosion; comburant puissant.  
H272 – Peut aggraver un incendie; comburant.  
H280 – Contient un gaz sous pression; peut exploser sous l'effet de la chaleur.  
H281 – Contient un gaz réfrigéré; peut causer des brûlures ou blessures cryogéniques.  
H290 – Peut être corrosif pour les métaux.  
H300 – Mortel en cas d'ingestion.  
H301 – Toxique en cas d'ingestion.  
H302 – Nocif en cas d'ingestion.  
H304 – Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires.  
H310 – Mortel par contact cutané.  
H311 – Toxique par contact cutané.  
H312 – Nocif par contact cutané.  
H314 – Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.  
H315 – Provoque une irritation cutanée.  
H317 – Peut provoquer une allergie cutanée.  
H318 – Provoque des lésions oculaires graves.  
H319 – Provoque une sévère irritation des yeux.  
H330 – Mortel par inhalation.

H331 – Toxique par inhalation.

H332 – Nocif par inhalation.

H334 – Peut provoquer des symptômes allergiques ou d'asthme ou des difficultés respiratoires par inhalation.

H335 – Peut irriter les voies respiratoires.

H336 – Peut provoquer somnolence ou vertiges.

H340 – Peut induire des anomalies génétiques

H341 – Susceptible d'induire des anomalies génétiques .

H350 – Peut provoquer le cancer

## Mention de danger -Règlement CE/1272/2008 (suite)

H351 – Susceptible de provoquer le cancer .  
H360 – Peut nuire à la fertilité ou au fœtus .  
H361 – Susceptible de nuire à la fertilité ou au fœtus .  
H362 – Peut être nocif pour les bébés nourris au lait maternel.  
H370 – Risque avéré d'effets graves pour les organes .  
H371 – Risque présumé d'effets graves pour les organes .  
H372 – Risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée .  
H373 – Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée .  
H400 – Très toxique pour les organismes aquatiques.  
H410 – Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.  
H411 – Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.  
H412 – Nocif pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.  
H413 – Peut être nocif à long terme pour les organismes aquatiques.

EUH 001 – Explosif à l'état sec.  
EUH 006 – Danger d'explosion en contact ou sans contact avec l'air.  
EUH 014 – Réagit violemment au contact de l'eau.  
EUH 018 – Lors de l'utilisation, formation possible de mélange vapeur-air inflammable/explosif.  
EUH 019 – Peut former des peroxydes explosifs.  
EUH 044 – Risque d'explosion si chauffé en ambiance confinée.  
EUH 029 – Au contact de l'eau, dégage des gaz toxiques.  
EUH 031 – Au contact d'un acide, dégage un gaz toxique.  
EUH 032 – Au contact d'un acide, dégage un gaz très toxique.  
EUH 066 – L'exposition répétée peut provoquer dessèchement ou gerçures de la peau.  
EUH 070 – Toxique par contact oculaire.  
EUH 071 – Corrosif pour les voies respiratoires.  
EUH 059 – Dangereux pour la couche d'ozone.  
EUH 201 – Contient du plomb. Ne pas utiliser sur les objets susceptibles d'être mâchés ou sucés par des enfants.  
EUH 201A – Attention! Contient du plomb.  
EUH 202 – Cyanoacrylate. Danger. Colle à la peau et aux yeux en quelques secondes. À conserver hors de portée des enfants.  
EUH 203 – Contient du chrome (VI). Peut produire une réaction allergique.  
EUH 204 – Contient des isocyanates. Peut produire une réaction allergique.  
EUH 205 – Contient des composés époxydiques. Peut produire une réaction allergique.  
EUH 206 – Attention! Ne pas utiliser en combinaison avec d'autres produits. Peut libérer des gaz dangereux (chlore).  
EUH 207 – Attention! Contient du cadmium. Des fumées dangereuses se développent pendant l'utilisation. Voir les informations fournies par le fabricant. Respectez les consignes de sécurité.

EUH 208 –Peut produire une réaction allergique.

EUH 209 – Peut devenir facilement inflammable en cours d'utilisation.

EUH 209A – Peut devenir inflammable en cours d'utilisation.

EUH 210 – Fiche de données de sécurité disponible sur demande.

EUH 401 – Respectez les instructions d'utilisation pour éviter les risques pour la santé humaine et l'environnement

## Classements des substances cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques

Classement du Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC) :

Groupe 1 : L'agent ou le mélange est cancérigène pour l'homme. Le mode d'exposition à cet agent entraîne des expositions qui sont cancérigènes pour l'homme.

Groupe 2A : L'agent ou le mélange est probablement cancérigène pour l'homme. Le mode d'exposition à cet agent entraîne des expositions qui sont probablement cancérigènes pour l'homme.

Groupe 2B : L'agent ou le mélange est peut-être cancérigène pour l'homme. Le mode d'exposition à cet agent entraîne des expositions qui sont peut-être cancérigènes pour l'homme.

Groupe 3 : L'agent, le mélange ou le mode d'exposition est inclassable quant à sa cancérigénicité pour l'homme.

Groupe 4 : L'agent, le mélange ou le mode d'exposition n'est probablement pas cancérigène pour l'homme.

Classement de l'Union Européenne (UE) :

Catégorie 1 : Substances que l'on sait être cancérigènes pour l'homme

Phrases de risque : R45 : Peut causer le cancer / R49 : Peut causer le cancer par inhalation

Catégorie 2 : Substances devant être assimilées à des substances cancérigènes pour l'homme.

Phrases de risque : R45 : Peut causer le cancer / R49 : Peut causer le cancer par inhalation

Catégorie 3 : Substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possibles.

Phrases de risque : R40 : Effet cancérigène suspecté. Preuves insuffisantes.

Classement de l'US EPA (base de données IRIS) :

Groupe A : cancérigène pour l'homme

Groupe B (B1/B2) : cancérigène probable pour l'homme

Groupe C : cancérigène possible pour l'homme

Groupe D : non classifiable quant à sa cancérigénicité pour l'homme

Substances mutagènes :

Catégorie 1 : substances que l'on sait être mutagènes pour l'homme

Catégorie 2 : substances devant être assimilées à des substances mutagènes pour l'homme

Catégorie 3 : substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets mutagènes possibles

Substances reprotoxiques :

Catégorie 1 : substances connues pour altérer la fertilité dans l'espèce humaine ou pour provoquer des effets toxiques sur le développement dans l'espèce humaine

Catégorie 2 : substances devant être assimilées à des substances altérant la fertilité dans l'espèce humaine ou causant des effets toxiques sur le développement dans l'espèce humaine

Catégorie 3 : substances préoccupantes pour la fertilité dans l'espèce humaine ou pour l'homme en raison d'effets toxiques possibles sur le développement

### **ANNEXE 3 : PRESENTATION DU MODELE JOHNSON ET ETTINGER**

## PRESENTATION DU MODELE DE JOHNSON ET ETTINGER

La volatilisation de polluants provenant d'un sol ou d'une nappe souterraine polluée et l'émanation associée de vapeurs polluantes se propageant à travers le sol constituent les phénomènes physico-chimiques aboutissant à une exposition potentielle de la population humaine aux substances chimiques par la voie d'inhalation à l'intérieur de bâtiments.

Dans ce cadre, les logiciels JOHNSON ET ETTINGER sont des outils qui vont permettre, à partir d'une concentration en polluant d'une source de pollution (sol, gaz du sol ou nappe souterraine), de quantifier la concentration d'exposition en polluant volatil dans l'air ambiant intérieur d'un bâtiment.

Ces logiciels ont été élaborés par l'US-EPA. Un guide d'utilisation a été établi ; il s'agit du « User's guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings », du 19 juin 2003, téléchargeable sur le site :

[http://www.epa.gov/superfund/programs/risk/airmodel/johnson\\_ettinger.htm](http://www.epa.gov/superfund/programs/risk/airmodel/johnson_ettinger.htm)

Les logiciels se présentent sous la forme de feuilles de calcul EXCEL.

### 1. Principe de la modélisation

#### 1.1. Contexte

Le fichier considère une zone contaminée en polluants volatils située à une distance donnée ( $L_T$ ) sous le sol d'un bâtiment avec ou sans sous-sol. La source de pollution se trouve enfouie dans le sol lui-même.

#### 1.2. Objectif

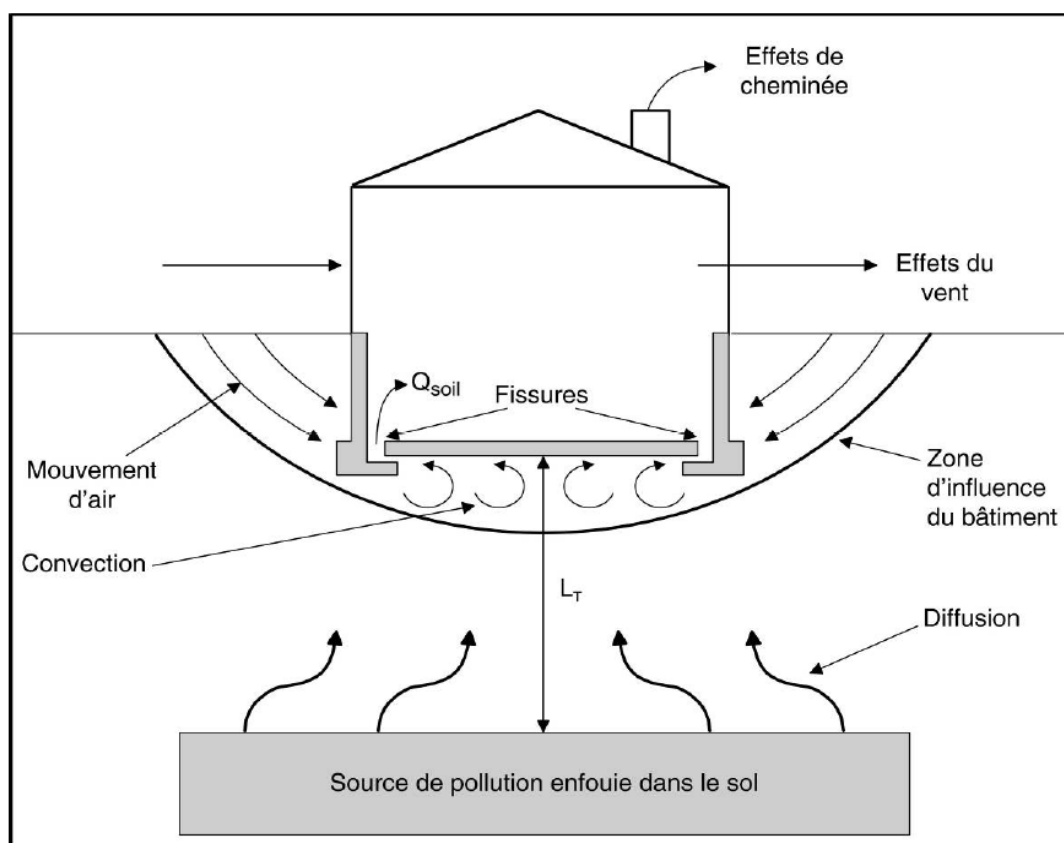
Pour calculer la concentration en polluant volatil dans le bâtiment à partir de la concentration en polluant de la source ( $C_{source}$ ), le fichier va évaluer un coefficient d'atténuation reliant les deux concentrations. Le calcul de ce coefficient fait intervenir de nombreux paramètres et phénomènes physico-chimiques.

#### 1.3. Théorie générale

En limite haute de la zone contaminée, la diffusion moléculaire provoque le mouvement des polluants volatils de la source vers la surface du sol jusqu'à ce que ceux-ci atteignent la zone d'influence du bâtiment considéré. Dans le cas où il n'y a pas de vide sanitaire, les volatils pénètrent ensuite dans le bâtiment par l'intermédiaire de fissures existant entre les fondations et la dalle du bâtiment. Dans le cas d'un vide sanitaire, un mouvement convectif d'air à l'intérieur du sol va faciliter le passage des vapeurs à travers les fissures. Cet effet de convection est induit par une pression négative à l'intérieur du bâtiment résultant de l'association des effets du vent et des effets de cheminée dus au chauffage et à la ventilation mécanique.

D'après US EPA « User's guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings » (Juin 2003)

1/7



**FIG.1 : MODELE THEORIQUE**

## 2. Principales étapes de calcul

⇒ **Etape 1 : Calcul de la concentration en phase gazeuse au niveau de la zone contaminée à partir de la concentration initiale de polluant dans le sol ou la nappe :**

Dans le cas d'un sol pollué (d'après Johnson et al. 1990) :

$$C_{source} = \frac{H'_{TS} C_R \rho_b}{\theta_w + K_d \rho_b + H'_{TS} \theta_a} \quad (1)$$

Avec :  $C_{source}$  : Concentration en phase vapeur au niveau de la source de contamination ( $g/cm^3$ )

$H'_{TS}$  : Constante de Henry à la température du système (sans unité)

$C_R$  : Concentration initiale dans le sol ( $g/g$ )

$\rho_b$  : Densité apparente du sol ( $g/cm^3$ )

$\theta_w$  : Porosité efficace du sol ou porosité à l'eau ( $cm^3/cm^3$ )

$K_d$  : Coefficient de partage sol/eau ( $cm^3/g$ ) ( $=K_{oc} \times f_{oc}$ )

$\theta_a$  : Porosité à l'air du sol ( $cm^3/cm^3$ )

$K_{oc}$  : Coefficient de partage sol/carbone organique ( $cm^3/g$ )

$f_{oc}$  : fraction de carbone organique ( $g/g$ )

D'après US EPA « User's guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings » (Juin 2003)

Dans le cas d'une contamination des eaux souterraines :

$$C_{source} = H'_{TS} C_w \quad (2)$$

Avec :  $C_{source}$  : Concentration en phase vapeur au niveau de la source de contamination ( $g/cm^3$ )

$H'_{TS}$  : Constante de Henry à la température du système (sans unité)

$C_w$  : Concentration dans les eaux souterraines ( $g/g$ )

La constante de Henry sans dimension à la température du système est déterminée d'après l'équation de Clapeyron, qui utilise l'enthalpie de vaporisation à la température du système, calculée par le modèle à partir de l'enthalpie de vaporisation à la température de référence d'après Lyman et al.

⇒ **Etape 2 : Estimation du phénomène de diffusion par le calcul d'un coefficient de diffusion dépendant de la nature et du nombre de strates de sol entre la zone contaminée et le bâtiment :**

a) Diffusion à travers la zone capillaire

Dans un premier temps, le modèle détermine le coefficient de diffusion à travers la zone capillaire, située juste au-dessus de la nappe. Ce coefficient est calculé d'après le modèle de Millington et

$$D_{cz}^{eff} = D_a (\theta_{a,cz}^{3.33} / n_{cz}^2) + (D_w / H'_{TS}) (\theta_{w,cz}^{3.33} / n_{cz}^2) \quad (6)$$

Quirk (1961) :

Avec :  $D_{cz}^{eff}$  : Coefficient de diffusion effective à travers la zone capillaire ( $cm^2/s$ )

$D_a$  : Coefficient de diffusion dans l'air ( $cm^2/s$ )

$\theta_{a,cz}$  : Porosité à l'air de la zone capillaire ( $cm^3/cm^3$ )

$n_{cz}$  : Porosité totale de la zone capillaire ( $cm^3/cm^3$ )

$D_w$  : Coefficient de diffusion dans l'eau ( $cm^2/s$ )

$H'_{TS}$  : Constante de Henry à la température du système (sans unité)

$\theta_{w,cz}$  : Porosité à l'eau de la zone capillaire ( $cm^3/cm^3$ )

Le transfert massique à travers la zone capillaire est estimé par la loi de diffusion de Fick :

$$E = A (C_{source} - C_{g0}) D_{cz}^{eff} / L_{cz} \quad (7)$$

Avec :  $E$  : taux de transfert massique ( $g/s$ )

$A$  : Aire de la section à travers laquelle passe la vapeur ( $cm^2$ ), prise égale à  $1\ cm^2$

$C_{source}$  : Concentration en phase vapeur au niveau de la source de contamination ( $g/cm^3$ )

$C_{g0}$  : Concentration en haut de la zone capillaire ( $g/cm^3$ ), présumée égale à 0 lorsque la diffusion est montante

$D_{cz}^{eff}$  : Coefficient de diffusion effective à travers la zone capillaire ( $cm^2/s$ )

$L_{cz}$  : Epaisseur de la zone capillaire ( $cm$ )

L'épaisseur de la zone capillaire est déterminée d'après Fetter (1994) :

$$L_{cz} = \frac{2 \alpha_2 \cos \lambda}{\rho_w g R} \quad (8)$$

Avec :  $L_{cz}$  : Epaisseur de la zone capillaire (cm)  
 $\alpha_2$  : Tension de surface de l'eau (g/s) (= 73)  
 $\lambda$  : Angle du ménisque de l'eau avec le tube capillaire (degrés), présumé égal à 0  
 $\rho_w$  : Densité de l'eau (g/cm<sup>3</sup>) (= 0,999)  
 $g$  : Accélération due à la gravité (cm/s<sup>2</sup>) (= 980)  
 $R$  : Rayon moyen des pores (cm) :  $R = 0,2D$  où  $D$  est le diamètre moyen des particules, estimé par Nielson et Rogers (1990) pour les différentes classes de textures du sol

#### b) Diffusion à travers la zone non saturée

Le coefficient de diffusion à travers la zone non saturée est déterminé sur la même base que

$$D_i^{eff} = D_a (\theta_{a,i}^{3,33} / n_i^2) + (D_w / H'_{TS}) (\theta_{w,i}^{3,33} / n_i^2) \quad (11)$$

l'équation 6 :

Avec :  $D_i^{eff}$  : Coefficient de diffusion effective à travers la couche de sol i (cm<sup>2</sup>/s)  
 $D_a$  : Coefficient de diffusion dans l'air (cm<sup>2</sup>/s)  
 $\theta_{a,i}$  : Porosité à l'air de la couche i (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)  
 $n_i$  : Porosité totale de la couche i (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)  
 $D_w$  : Coefficient de diffusion dans l'eau (cm<sup>2</sup>/s)  
 $H'_{TS}$  : Constante de Henry à la température du système (sans unité)  
 $\theta_{w,i}$  : Porosité à l'eau de la couche i (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

Le coefficient de diffusion effective totale pour un système composé de n couches de sol distinctes entre la source de contamination et le bâtiment est :

$$D_T^{eff} = \frac{L_T}{\sum_{i=0}^n L_i / D_i^{eff}} \quad (12)$$

Avec :  $D_T^{eff}$  : Coefficient de diffusion effective totale (cm<sup>2</sup>/s)  
 $L_i$  : Epaisseur de la couche de sol i (cm)  
 $D_i^{eff}$  : Coefficient de diffusion effective à travers la couche de sol i (cm<sup>2</sup>/s)  
 $L_T$  : Distance entre la source de contamination et le bâtiment (cm)

### ⇒ Etape 3 : Estimation du phénomène de convection

#### a) Evaluation de la perméabilité effective de la couche de sol située sous le bâtiment ( $k_v$ )

Ce paramètre est l'un des plus sensibles du modèle, associé au transport convectif des vapeurs à l'intérieur de la zone d'influence du bâtiment. Cette donnée est typiquement obtenue par des tests pneumatiques mais une estimation peut en être faite.

Si l'utilisateur possède une valeur de ( $k_v$ ), il peut l'inscrire dans les données d'entrée du modèle; sinon, le logiciel la calcule grâce à l'équation suivante :

$$k_v = k_i \times k_{rg}$$

Avec :  $k_i$  : perméabilité intrinsèque du sol ( $\text{cm}^2$ ), qui dépend de la taille et de la forme des pores connectés du sol, estimée à partir de la conductivité hydraulique du sol saturé :

$$k_i = \frac{K_s \mu_w}{\rho_w g} \quad (26)$$

$K_s$  : Conductivité hydraulique du sol saturé ( $\text{cm/s}$ )

$\mu_w$  : Viscosité dynamique de l'eau ( $\text{g/cm.s}$ ) (= 0,01307 à 10°C)

$\rho_w$  : Densité de l'eau ( $\text{g/cm}^3$ ) (= 0,999)

$g$  : Accélération due à la gravité ( $\text{cm/s}^2$ ) (= 980,665)

Et :  $k_{rg}$  : Perméabilité relative à l'air du sol (sans unité, compris entre 0 et 1) estimée d'après Parker et al. (1987) :

$$k_{rg} = (1 - S_{te})^{1/2} (1 - S_{te}^{1/M})^{2M} \quad (27)$$

$M$  : Paramètre de forme de Van Genuchten (sans unité)

$S_{te}$  : Saturation effective totale du fluide (sans unité)

$$S_{te} = \frac{(\theta_w - \theta_r)}{(n - \theta_r)} \quad (28)$$

$\theta_w$  : Porosité à l'eau du sol ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )

$\theta_r$  : Teneur résiduelle en eau du sol ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )

$n$  : Porosité totale du sol ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )

**b) Détermination de l'influence du bâtiment (étude de ses données structurales, appréciation des voies de transfert privilégiées des volatils, évaluation de la dépression interne)**

Le flux moyen de gaz du sol entrant à l'intérieur du bâtiment est calculé d'après la solution analytique de Nazaroff (1988) :

$$Q_{soil} = \frac{2 \pi \Delta P k_v X_{crack}}{\mu \ln(2 Z_{crack} / r_{crack})} \quad (15)$$

Avec :  $Q_{soil}$  : Flux moyen de gaz du sol entrant à l'intérieur du bâtiment ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )

$\Delta P$  : Différentiel de pression entre la surface du sol et l'intérieur du bâtiment ( $\text{g.cm.s}^2$ )

$k_v$  : Perméabilité du sol à la vapeur ( $\text{cm}^2$ )

$X_{crack}$  : Périmètre intérieur du bâtiment ( $\text{cm}$ )

$\mu$  : Viscosité de l'air ( $\text{g/cm.s}$ )

$Z_{crack}$  : Profondeur des fissures sous le bâtiment ( $\text{cm}$ )

$r_{crack}$  : Rayon équivalent de fissure ( $\text{cm}$ )

$$r_{crack} = \eta (A_B / X_{crack}) \quad (16)$$

Avec :  $\eta = A_{crack} / A_B$  (compris entre 0 et 1)

D'après US EPA « User's guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings » (Juin 2003)

5/7

⇒ **Etape 4 : Détermination du coefficient d'atténuation global  $\alpha$  ( $C_{\text{building}} = \alpha C_{\text{source}}$ )**

a) Cas d'une source infinie (on ne connaît pas son étendue)

Dans ce cas, l'hypothèse est faite que la source ne disparaît jamais et diffuse un flux constant en polluant ; le coefficient d'atténuation est déterminé par Johnson et Ettinger (1991) sur la base d'un régime permanent :

$$\alpha = \frac{\left[ \left( \frac{D_T^{\text{eff}} A_B}{Q_{\text{building}} L_T} \right) \times \exp\left( \frac{Q_{\text{soil}} L_{\text{crack}}}{D_{\text{crack}} A_{\text{crack}}} \right) \right]}{\left[ \exp\left( \frac{Q_{\text{soil}} L_{\text{crack}}}{D_{\text{crack}} A_{\text{crack}}} \right) + \left( \frac{D_T^{\text{eff}} A_B}{Q_{\text{building}} L_T} \right) + \left( \frac{D_T^{\text{eff}} A_B}{Q_{\text{soil}} L_T} \right) \left[ \exp\left( \frac{Q_{\text{soil}} L_{\text{crack}}}{D_{\text{crack}} A_{\text{crack}}} \right) - 1 \right] \right]} \quad (13)$$

Avec :  $\alpha$  : Coefficient d'atténuation en régime permanent 'sans unité

$D_T^{\text{eff}}$  : Coefficient de diffusion effective totale (cm<sup>2</sup>/s)

$A_B$  : Surface de contact entre le sol et le vide sanitaire sous le bâtiment (cm<sup>2</sup>)

$Q_{\text{building}}$  : Débit de ventilation du bâtiment (cm<sup>3</sup>/s)

$L_T$  : Distance entre la source de contamination et le bâtiment (cm)

$Q_{\text{soil}}$  : Flux moyen de gaz du sol entrant à l'intérieur du bâtiment (cm<sup>3</sup>/s)

$L_{\text{crack}}$  : Epaisseur des fissures (épaisseur de la dalle ou des fondations) (cm)

$A_{\text{crack}}$  : Aire totale des fissures (cm<sup>2</sup>)

$D_{\text{crack}}$  : Coefficient de diffusion effective à travers les fissures (cm<sup>2</sup>/s), présumé équivalent au coefficient de diffusion effective de la couche de sol i en contact avec la dalle

Le rapport du produit ( $Q_{\text{soil}}$ ) par ( $L_{\text{crack}}$ ) sur le produit ( $D_{\text{crack}}$ ) par ( $A_{\text{crack}}$ ) correspond au nombre de Peclet ( $Pe^i$ ) (nombre sans dimension). Lorsque  $Pe^i$  est trop grand pour être calculé, la valeur de ( $\alpha$ ) devient :

$$\left( \frac{D_T^{\text{eff}} A_B}{Q_{\text{building}} L_T} \right) \left( \frac{D_T^{\text{eff}} A_B}{Q_{\text{soil}} L_T} \right) + 1$$

b) Cas d'une source finie (source qui se volatilise entièrement)

Le coefficient va dépendre du temps de volatilisation de la source ainsi que du temps d'exposition :

$$\langle \alpha \rangle = \frac{\rho_b C_R \Delta H_c A_B}{Q_{\text{building}} C_{\text{source}} \tau} \left( \frac{L_T^0}{\Delta H_c} \right) \left[ (\beta^2 + 2 \Psi \tau)^{1/2} - \beta \right] \quad (20)$$

Avec :  $\langle \alpha \rangle$  : Coefficient d'atténuation de la source finie (sans unité)

$\rho_b$  : Densité apparente du sol (g/cm<sup>3</sup>)

$C_R$  : Concentration initiale dans le sol (g/g)

$\Delta H_c$  : Epaisseur initiale de la contamination (cm)

$A_B$  : Surface de contact entre le sol et le vide sanitaire sous le bâtiment (cm<sup>2</sup>)

$Q_{\text{building}}$  : Débit de ventilation du bâtiment (cm<sup>3</sup>/s)

$C_{\text{source}}$  : Concentration en phase vapeur au niveau de la source de contamination (g/cm<sup>3</sup>)

D'après US EPA « User's guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings » (Juin 2003)

$\tau$  : durée d'exposition (s)

$L_T^0$  : Distance de séparation entre la source de contamination et le bâtiment à  $t = 0$  (cm)

Et :

$$\beta = \left( \frac{D_T^{eff} A_B}{L_T^0 Q_{soil}} \right) \left[ 1 - \exp \left( - \frac{Q_{soil} L_{crack}}{D^{crack} A_{crack}} \right) \right] + 1 \quad (21)$$

$$\Psi = \frac{D_T^{eff} C_{source}}{(L_T^0)^2 \rho_b C_R} \quad (22)$$

Dans le cas d'une source finie, pour des durées d'exposition longues (par exemple 30 ans), le temps d'épuisement de la source ( $\tau_D$ ) (par volatilisation) peut être inférieur à la durée d'exposition ( $\tau$ ).

Ce temps d'épuisement est calculé de la manière suivante :

$$\tau_D = \frac{[\Delta H_c / L_T^0 + \beta]^2 - \beta^2}{2 \Psi} \quad (24)$$

Si  $\tau_D$  est inférieur à la durée d'exposition ( $\tau$ ), la concentration à l'intérieur du bâtiment devient alors :

$$C_{building} = \frac{\rho_b C_R \Delta H_c A_B}{Q_{building} \tau} \quad (25)$$

Avec :  $C_{building}$  : Concentration à l'intérieur du bâtiment ( $g/cm^3$ )

$\rho_b$  : Densité apparente du sol ( $g/cm^3$ )

$C_R$  : Concentration initiale dans le sol ( $g/g$ )

$\Delta H_c$  : Epaisseur initiale de la contamination (cm)

$A_B$  : Surface de contact entre le sol et le vide sanitaire sous le bâtiment ( $cm^2$ )

$Q_{building}$  : Débit de ventilation du bâtiment ( $cm^3/s$ )

$\tau$  : durée d'exposition (s)

Lorsque la source se volatilise entièrement avant que l'exposition ne cesse, le calcul de la concentration dans le bâtiment ne prend pas en compte la volatilisation progressive de la source au cours du temps. Au contraire,  $C_{building}$  est obtenue directement à partir de  $C_R$  (concentration initiale en phase solide) en faisant l'hypothèse d'une conservation de la masse entre les deux et ceci jusqu'à la fin de l'exposition.

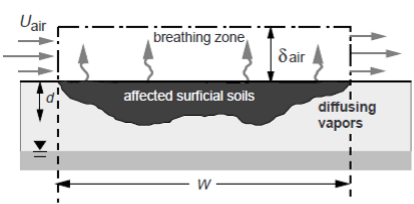
#### **ANNEXE 4 : PRESENTATION DU MODELE RBCA**

## PRESENTATION des equations de modélisation des transferts du logiciel RBCA

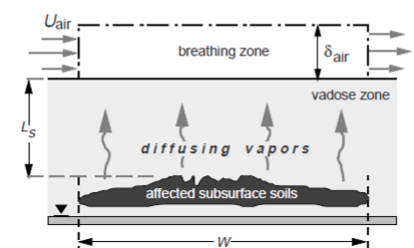
Référence : Parameter Estimation Guidelines for Risk-Based Corrective Action (RBCA) Modeling, Groundwater Services, Inc., 1996

### Présentation des équations

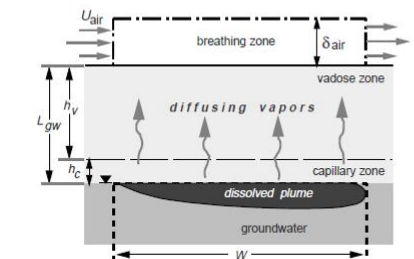
#### 1. Volatilisation des substances présentes dans les sols en surface vers l'air extérieur

| Equation CM-1: Surface Soil Volatilization Factor (VF <sub>ss</sub> )             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>CM-1a:</p> $VF_{ss} \left[ \frac{(mg / m^3 - air)}{(mg / kg - soil)} \right] = \frac{2W\rho_s}{U_{air}\delta_{air}} \sqrt{\frac{D_s^{eff} H}{\pi\tau(\theta_{ws} + k_s\rho_s + H\theta_{as})}} \times 10^3$ <p>or CM-1b:</p> $VF_{ss} \left[ \frac{(mg / m^3 - air)}{(mg / kg - soil)} \right] = \frac{W\rho_s d}{U_{air}\delta_{air}\tau} \times 10^3$ <p>whichever is less</p> |

#### 2. Volatilisation des substances présentes dans les sols en profondeur vers l'air extérieur

| Equation CM-3: Subsurface Soil Volatilization Factor (VF <sub>samb</sub> )         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>CM-3a:</p> $VF_{samb} \left[ \frac{(mg / m^3 - air)}{(mg / kg - soil)} \right] = \frac{H\rho_s}{[\theta_{ws} + k_s\rho_s + H\theta_{as}] \left[ 1 + \frac{U_{air}\delta_{air}L_s}{D_s^{eff}W} \right]} \times 10^3$ <p>or CM-3b:</p> $VF_{samb} \left[ \frac{(mg / m^3 - air)}{(mg / kg - soil)} \right] = \frac{W\rho_s d_s}{U_{air}\delta_{air}\tau} \times 10^3$ <p>whichever is less</p> |

#### 3. Volatilisation des substances présentes dans les eaux souterraines vers l'air extérieur

| Equation CM-5: Groundwater Volatilization Factor (VF <sub>wamb</sub> )              |                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | $VF_{wamb} \left[ \frac{(mg / m^3 - air)}{(mg / L - H_2O)} \right] = \frac{H}{1 + \left[ \frac{U_{air}\delta_{air}L_{GW}}{WD_{ws}^{eff}} \right]} \times 10^3$ |

#### 4. Coefficient de diffusion effective (utilisé dans les équations CM1 et CM5)

| Definitions for Cross-Media Transfer Equations                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><math>D_s^{eff}</math> Effective diffusivity in vadose zone soils:</p> $D_s^{eff} \left[ \frac{cm^2}{s} \right] = D^{air} \frac{\theta_{as}^{3.33}}{\theta_T^2} + \left[ \frac{D^{wat}}{H} \right] \left[ \frac{\theta_{ws}^{3.33}}{\theta_T^2} \right]$ | <p><math>D_{crack}^{eff}</math> Effective diffusivity through foundation cracks:</p> $D_{crack}^{eff} \left[ \frac{cm^2}{s} \right] = D^{air} \frac{\theta_{acrack}^{3.33}}{\theta_T^2} + \left[ \frac{D^{wat}}{H} \right] \left[ \frac{\theta_{wcrack}^{3.33}}{\theta_T^2} \right]$ |
| <p><math>D_{ws}^{eff}</math> Effective diffusivity above the water table:</p> $D_{ws}^{eff} \left[ \frac{cm^2}{s} \right] = (h_{cap} + h_v) \left[ \frac{h_{cap}}{D_{cap}^{eff}} + \frac{h_v}{D_s^{eff}} \right]^{-1}$                                      | <p><math>D_{cap}^{eff}</math> Effective diffusivity in the capillary zone:</p> $D_{cap}^{eff} \left[ \frac{cm^2}{s} \right] = D^{air} \frac{\theta_{acap}^{3.33}}{\theta_T^2} + \left[ \frac{D^{wat}}{H} \right] \left[ \frac{\theta_{wcap}^{3.33}}{\theta_T^2} \right]$             |

Définition et valeurs des paramètres d'entrée utilisés dans les équations de modélisation de transfert (logiciel RBCA)

|                    |                                                                                 |                     |                                                                                                                      |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| d                  | Lower depth of surficial soil zone (cm)                                         | W                   | Width of source area parallel to wind, or groundwater flow direction (cm)                                            |
| d <sub>s</sub>     | Thickness of affected subsurface soils                                          | δ <sub>air</sub>    | Ambient air mixing zone height (cm)                                                                                  |
| D <sup>air</sup>   | Diffusion coefficient in air (cm <sup>2</sup> /s)                               | δ <sub>gw</sub>     | Groundwater mixing zone thickness (cm)                                                                               |
| D <sup>wat</sup>   | Diffusion coefficient in water (cm <sup>2</sup> /s)                             | η                   | Areal fraction of cracks in foundations/walls (cm <sup>2</sup> -cracks/cm <sup>2</sup> -total area)                  |
| ER                 | Enclosed-space air exchange rate (l/s)                                          | θ <sub>acap</sub>   | Volumetric air content in capillary fringe soils (cm <sup>3</sup> -air/cm <sup>3</sup> -soil)                        |
| f <sub>oc</sub>    | Fraction of organic carbon in soil (g-C/g-soil)                                 | θ <sub>acrack</sub> | Volumetric air content in foundation/wall cracks (cm <sup>3</sup> -air/cm <sup>3</sup> total volume)                 |
| H                  | Henry's law constant (cm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> O)/(cm <sup>3</sup> -air) | θ <sub>as</sub>     | Volumetric air content in vadose zone soils (cm <sup>3</sup> -air/cm <sup>3</sup> -soil)                             |
| h <sub>cap</sub>   | Thickness of capillary fringe (cm)                                              | θ <sub>T</sub>      | Total soil porosity (cm <sup>3</sup> -pore-space/cm <sup>3</sup> -soil)                                              |
| h <sub>v</sub>     | Thickness of vadose zone (cm)                                                   | θ <sub>wcap</sub>   | Volumetric water content in capillary fringe soils (cm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> O/cm <sup>3</sup> -soil)         |
| I                  | Infiltration rate of water through soil (cm/year)                               | θ <sub>wcrack</sub> | Volumetric water content in foundation/wall cracks (cm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> O)/cm <sup>3</sup> total volume) |
| k <sub>oc</sub>    | Carbon-water sorption coefficient (g-H <sub>2</sub> O/g-C)                      | θ <sub>ws</sub>     | Volumetric water content in vadose zone soils (cm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> O/cm <sup>3</sup> -soil)              |
| k <sub>s</sub>     | Soil-water sorption coefficient (g-H <sub>2</sub> O/g-soil)                     | ρ <sub>s</sub>      | Soil bulk density (g-soil/cm <sup>3</sup> -soil)                                                                     |
| L <sub>B</sub>     | Enclosed space volume/infiltration area ratio (cm)                              | τ                   | Averaging time for vapor flux (s)                                                                                    |
| L <sub>crack</sub> | Enclosed space foundation or wall thickness (cm)                                |                     |                                                                                                                      |
| L <sub>CW</sub>    | Depth to groundwater = h <sub>cap</sub> + h <sub>v</sub> (cm)                   |                     |                                                                                                                      |
| L <sub>s</sub>     | Depth to subsurface soil sources (cm)                                           |                     |                                                                                                                      |
| P <sub>e</sub>     | Particulate emission rate (g/cm <sup>2</sup> -s)                                |                     |                                                                                                                      |
| U <sub>air</sub>   | Wind speed above ground surface in ambient mixing zone (cm/s)                   |                     |                                                                                                                      |
| V <sub>gw</sub>    | Groundwater Darcy velocity (cm/s)                                               |                     |                                                                                                                      |

## **ANNEXE 5 : FEUILLES DE CALCULS**

### SCENARIO : Adulte résident - Intérieur

#### Bâtiment - Cible : adulte résident

#### MODELISATION A PARTIR DESGAZ DES SOLS : J&E

#### Détermination des niveaux de risques

Cible : adulte résident 19,77h/j, 365 j/an, pendant 30 ans

| ti    | F     | T  | Tm | Tm canc | Facteur correctif |
|-------|-------|----|----|---------|-------------------|
| -     | -     | an | an | an      | -                 |
| 0,824 | 1,000 | 30 | 30 | 70      |                   |

| Composés                | Gaz des sols | Intérieur bâtiment A (J&E) |                        | Concentrations inhalées |                | Valeurs Toxicologiques de |           | Niveaux de risques |          | %QD    | %ERI   |
|-------------------------|--------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|---------------------------|-----------|--------------------|----------|--------|--------|
|                         |              | Cintérieur toxique         | Cintérieur cancérigène | CI toxique              | CI cancérigène | RfC                       | ERUi      | QD                 | ERI      |        |        |
|                         | µg/m3        | µg/m3                      | µg/m3                  | µg/m3                   | µg/m3          | mg/m3                     | (µg/m3)-1 | -                  | -        |        |        |
| Aliphatiques >C6 - C8   | 155,19       | 3,51E-01                   |                        | 2,89E-01                |                | 1,84E+01                  |           | 1,6E-05            |          | 0,13%  |        |
| Aliphatiques >C8 - C10  | 759,31       | 2,17E-01                   |                        | 1,79E-01                |                | 1,00E+00                  |           | 1,8E-04            |          | 1,48%  |        |
| Aliphatiques >C10 - C12 | 482,73       | 1,22E-01                   | -                      | 1,00E-01                | -              | 1,00E+00                  | -         | 1,0E-04            | -        | 0,83%  | -      |
| Aliphatiques >C12 - C16 | 270,09       | 4,33E-02                   | -                      | 3,57E-02                | -              | 1,00E+00                  | -         | 3,6E-05            | -        | 0,30%  | -      |
| Aromatiques >C8 - C10   | 96,15        | 7,43E-01                   |                        | 6,12E-01                |                | 2,00E-01                  |           | 3,1E-03            |          | 25,37% |        |
| Aromatiques >C10 - C12  | 1657,18      | 8,75E-02                   | -                      | 7,21E-02                | -              | 2,00E-01                  | -         | 3,6E-04            | -        | 2,99%  | -      |
| Aromatiques >C12-C16    | 194,29       | 2,14E-02                   | -                      | 1,76E-02                | -              | 2,00E-01                  | -         | 8,8E-05            | -        | 0,73%  | -      |
| Benzène                 | 63,18        | 2,83E-02                   | 2,83E-02               | 2,33E-02                | 1,00E-02       | 9,60E-03                  | 2,60E-05  | 2,4E-03            | 2,60E-07 | 20,15% | 30,63% |
| Toluène                 | 775,94       | 3,48E-01                   | -                      | 2,86E-01                | -              | 1,90E+01                  | -         | 1,5E-05            | -        | 0,12%  | -      |
| Ethylbenzène            | 168,49       | 7,51E-02                   | 7,51E-02               | 6,19E-02                | 2,65E-02       | 1,50E+00                  | 2,50E-06  | 4,1E-05            | 6,63E-08 | 0,34%  | 7,81%  |
| m-Xylène                | 698,34       | 3,10E-01                   | -                      | 2,56E-01                | -              | 2,20E-01                  | -         | 1,2E-03            | -        | 9,63%  | -      |
| p-Xylène                | 698,34       | 3,12E-01                   | -                      | 2,57E-01                | -              | 2,20E-01                  | -         | 1,2E-03            | -        | 9,67%  | -      |
| o-Xylène                | 164,24       | 7,36E-02                   | -                      | 6,06E-02                | -              | 2,20E-01                  | -         | 2,8E-04            | -        | 2,28%  | -      |
| Trichloroéthylène       | 2863,6       | 1,28E+00                   | 1,28E+00               | 1,05E+00                | 4,51E-01       | 3,20E+00                  | 1,00E-06  | 3,3E-04            | 4,51E-07 | 2,73%  | 53,19% |
| Tetrachloroéthylène     | 430,5        | 1,92E-01                   | 1,92E-01               | 1,58E-01                | 6,76E-02       | 4,10E-02                  | 2,60E-07  | 3,8E-03            | 1,76E-08 | 31,90% |        |
| Chloroforme             | 14,1         | 6,36E-03                   | 6,36E-03               | 5,24E-03                | 2,24E-03       | 6,30E-02                  | 2,30E-05  | 8,3E-05            | 5,16E-08 | 0,69%  |        |
| 1,1,1-Trichloroéthane   | 190,3        | 8,49E-02                   | -                      | 7,00E-02                | -              | 5,00E+00                  | -         | 1,4E-05            | -        | 0,12%  |        |
| Naphtalène              | 2,1          | 9,26E-04                   | 9,26E-04               | 7,63E-04                | 3,27E-04       | 3,70E-02                  | 5,60E-06  | 2,1E-05            | 1,83E-09 | 0,17%  | 0,22%  |
| SOMME                   |              |                            |                        |                         |                |                           |           | 1,21E-02           | 8,49E-07 |        |        |

### SCENARIO : Enfant résident - Intérieur

#### Bâtiment - Cible : enfant résident

|                         | ti      | F                          | T                      | Tm                      | Tm canc        | Facteur correctif         |              |                    |                 |        |        |
|-------------------------|---------|----------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|---------------------------|--------------|--------------------|-----------------|--------|--------|
|                         | -       | -                          | an                     | an                      | an             | -                         |              |                    |                 |        |        |
|                         | 0,824   | 1,000                      | 6                      | 6                       | 15             |                           |              |                    |                 |        |        |
|                         |         |                            |                        |                         |                |                           |              |                    |                 |        |        |
|                         |         | Intérieur bâtiment A (J&E) |                        | Concentrations inhalées |                | Valeurs Toxicologiques de |              | Niveaux de risques |                 |        |        |
| Composés                | Sol     | Cintérieur toxique         | Cintérieur cancérigène | CI toxique              | CI cancérigène | RfC                       | ERUi         | QD                 | ERI             | %QD    | %ERI   |
|                         | mg/kg   | µg/m3                      | µg/m3                  | µg/m3                   | µg/m3          | mg/m3                     | (µg/m3)-1    | -                  | -               |        |        |
| Aliphatiques >C6 - C8   | µg/m3   | 3,51E-01                   | -                      | 2,89E-01                | -              | 1,84E+01                  |              | 1,6E-05            | -               | 0,13%  | -      |
| Aliphatiques >C8 - C10  | 155,19  | 2,17E-01                   | -                      | 1,79E-01                | -              | 1,00E+00                  |              | 1,8E-04            |                 | 1,48%  |        |
| Aliphatiques >C10 - C12 | 759,31  | 1,22E-01                   | -                      | 1,00E-01                | -              | 1,00E+00                  | -            | 1,0E-04            | -               | 0,83%  | -      |
| Aliphatiques >C12 - C16 | 482,73  | 4,33E-02                   | -                      | 3,57E-02                | -              | 1,00E+00                  | -            | 3,6E-05            | -               | 0,30%  | -      |
| Aromatiques >C8 - C10   | 270,09  | 7,43E-01                   |                        | 6,12E-01                | -              | 2,00E-01                  |              | 3,1E-03            | -               | 25,37% | -      |
| Aromatiques >C10 - C12  | 96,15   | 8,75E-02                   | -                      | 7,21E-02                | -              | 2,00E-01                  | -            | 3,6E-04            | -               | 2,99%  | -      |
| Aromatiques >C12-C16    | 1657,18 | 2,14E-02                   | -                      | 1,76E-02                | -              | 2,00E-01                  | -            | 8,8E-05            | -               | 0,73%  | -      |
| Benzène                 | 194,29  | 2,83E-02                   | 2,83E-02               | 2,33E-02                | 9,33E-03       | 9,60E-03                  | 2,60E-05     | 2,4E-03            | 2,43E-07        | 20,15% | 28,59% |
| Toluène                 | 63,18   | 3,48E-01                   | -                      | 2,86E-01                | -              | 1,90E+01                  | -            | 1,5E-05            | -               | 0,12%  | -      |
| Ethylbenzène            | 775,94  | 7,51E-02                   | 7,51E-02               | 6,19E-02                | 2,47E-02       | 1,50E+00                  | 2,50E-06     | 4,1E-05            | 6,19E-08        | 0,34%  | 7,29%  |
| m-Xylène                | 168,49  | 3,10E-01                   | -                      | 2,56E-01                | -              | 2,20E-01                  | -            | 1,2E-03            | -               | 9,63%  | -      |
| p-Xylène                | 698,34  | 3,12E-01                   | -                      | 2,57E-01                | -              | 2,20E-01                  | -            | 1,2E-03            | -               | 9,67%  | -      |
| o-Xylène                | 698,34  | 7,36E-02                   | -                      | 6,06E-02                | -              | 2,20E-01                  | -            | 2,8E-04            | -               | 2,28%  | -      |
| Trichloroéthylène       | 164,24  | 1,28E+00                   | 1,28E+00               | 1,05E+00                | 4,21E-01       | 3,20E+00                  | 1,00E-06     | 3,3E-04            | 4,21E-07        | 2,73%  | 49,65% |
| Tetrachloroéthylène     | 2863,6  | 1,92E-01                   | 1,92E-01               | 1,58E-01                | 6,31E-02       | 4,10E-02                  | 2,60E-07     | 3,8E-03            | 1,64E-08        | 31,90% | 1,93%  |
| Chloroforme             | 430,5   | 6,36E-03                   | 6,36E-03               | 5,24E-03                | 2,09E-03       | 6,30E-02                  | 2,30E-05     | 8,3E-05            | 4,82E-08        | 0,69%  | 5,68%  |
| 1,1,1-Trichloroéthane   | 14,1    | 8,49E-02                   | -                      | 7,00E-02                | -              | 5,00E+00                  | -            | 1,4E-05            | -               | 0,12%  | -      |
| Naphtalène              | 190,3   | 9,26E-04                   | 9,26E-04               | 7,63E-04                | 3,05E-04       | 3,70E-02                  | 5,60E-06     | 2,1E-05            | 1,71E-09        | 0,17%  | 0,20%  |
| Benzène                 | 2,1     |                            |                        |                         |                |                           | <b>SOMME</b> | <b>1,21E-02</b>    | <b>7,92E-07</b> |        |        |

### SCENARIO : Adulte résident - extérieur

|                                                        |         |                    |                        |                         |                |                           |           |                    |          |        |        |
|--------------------------------------------------------|---------|--------------------|------------------------|-------------------------|----------------|---------------------------|-----------|--------------------|----------|--------|--------|
| Aires extérieures : Cible : adulte résident            |         |                    |                        |                         |                |                           |           |                    |          |        |        |
| MODELISATION A PARTIR DES GAZ DES SOLS : RBCA          |         |                    |                        |                         |                |                           |           |                    |          |        |        |
| Détermination des niveaux de risques                   |         |                    |                        |                         |                |                           |           |                    |          |        |        |
| Cible : adulte résident 2h/j, 365 j/an, pendant 30 ans |         |                    |                        |                         |                |                           |           |                    |          |        |        |
|                                                        | ti      | F                  | T                      | Tm                      | Tm canc        | Facteur correctif         |           |                    |          |        |        |
|                                                        | -       | -                  | an                     | an                      | an             | -                         |           |                    |          | T30/70 |        |
|                                                        | 0,083   | 1,000              | 30                     | 30                      | 70             |                           |           |                    |          |        |        |
|                                                        |         |                    |                        |                         |                |                           |           |                    |          |        |        |
|                                                        |         | Extérieur (RBCA)   |                        | Concentrations inhalées |                | Valeurs Toxicologiques de |           | Niveaux de risques |          |        |        |
| Composés                                               | Cgaz    | Cextérieur toxique | Cextérieur cancérogène | CI toxique              | CI cancérogène | RfC                       | ERUi      | QD                 | ERI      | %QD    | %ERI   |
|                                                        | mg/kg   | µg/m3              | µg/m3                  | µg/m3                   | µg/m3          | mg/m3                     | (µg/m3)-1 | -                  | -        |        |        |
| Aliphatiques >MeC5 - C6                                | 126,28  | 6,91E-03           | -                      | 5,76E-04                | -              | 1,84E+01                  | -         | 3,1E-08            | -        | 0,00%  | -      |
| Aliphatiques >C6 - C8                                  | 2681,23 | 2,69E-01           | -                      | 2,24E-02                | -              | 1,84E+01                  | -         | 1,2E-06            | -        | 0,01%  | -      |
| Aliphatiques >C8 - C10                                 | 345,11  | 8,40E-02           | -                      | 7,00E-03                | -              | 1,00E+00                  | -         | 7,0E-06            | -        | 0,07%  | -      |
| Aliphatiques >C10 - C12                                | 226,75  | 1,49E-01           | -                      | 1,24E-02                | -              | 1,00E+00                  | -         | 1,2E-05            | -        | 0,12%  | -      |
| Aliphatiques >C12 - C16                                | 54,42   | 2,18E-01           | -                      | 1,82E-02                | -              | 1,00E+00                  | -         | 1,8E-05            | -        | 0,17%  | -      |
| Aromatiques >C8 - C10                                  | 1770,94 | 1,80E+00           | -                      | 1,50E-01                | -              | 2,00E-01                  | -         | 7,5E-04            | -        | 6,98%  | -      |
| Aromatiques >C10 - C12                                 | 193,64  | 4,12E-01           | -                      | 3,43E-02                | -              | 2,00E-01                  | -         | 1,7E-04            | -        | 1,60%  | -      |
| Aromatiques >C12-C16                                   | 47,47   | 2,20E-01           | -                      | 1,84E-02                | -              | 2,00E-01                  | -         | 9,2E-05            | -        | 0,85%  | -      |
| Benzène                                                | 85,57   | 1,40E-02           | 2,56E-03               | 1,17E-03                | 9,13E-05       | 9,60E-03                  | 2,60E-05  | 1,2E-04            | 2,37E-09 | 1,13%  | 2,26%  |
| Toluène                                                | 796,09  | 2,15E-01           | -                      | 1,79E-02                | -              | 1,90E+01                  | -         | 9,4E-07            | -        | 0,01%  | -      |
| Ethylbenzène                                           | 201,92  | 6,83E-02           | 1,25E-02               | 5,69E-03                | 4,45E-04       | 1,50E+00                  | 2,50E-06  | 3,8E-06            | 1,11E-09 | 0,04%  | 1,06%  |
| m-Xylène                                               | 619     | 2,23E-01           | -                      | 1,86E-02                | -              | 2,20E-01                  | -         | 8,4E-05            | -        | -      | -      |
| p-Xylène                                               | 619     | 2,23E-01           | -                      | 1,86E-02                | -              | 2,20E-01                  | -         | 8,5E-05            | -        | 0,79%  | -      |
| o-Xylène                                               | 165,51  | 7,51E-02           | -                      | 6,26E-03                | -              | 2,20E-01                  | -         | 2,8E-05            | -        | 0,26%  | -      |
| Trichloroéthylène                                      | 73113,2 | 1,41E+01           | 2,57E+00               | 1,17E+00                | 9,18E-02       | 3,20E+00                  | 1,00E-06  | 3,7E-04            | 9,18E-08 | 3,41%  | 87,28% |
| Tetrachloroéthylène                                    | 31918,2 | 4,45E+00           | 8,13E-01               | 3,71E-01                | 2,90E-02       | 4,10E-02                  | 2,60E-07  | 9,1E-03            | 7,55E-09 | 84,26% | 7,18%  |
| Chloroforme                                            | 78,8    | 1,39E-02           | 2,54E-03               | 1,16E-03                | 9,07E-05       | 6,30E-02                  | 2,30E-05  | 1,8E-05            | 2,09E-09 | 0,17%  | 1,98%  |
| 1,1,1-Trichloroéthane                                  | 12,6    | 1,49E-03           | -                      | 1,24E-04                | -              | 5,00E+00                  | -         | 2,5E-08            | -        | 0,00%  | -      |
| Naphtalène                                             | 2,1     | 6,73E-03           | 1,23E-03               | 5,61E-04                | 4,39E-05       | 3,70E-02                  | 5,60E-06  | 1,5E-05            | 2,46E-10 | 0,14%  | 0,23%  |
|                                                        |         |                    |                        |                         |                |                           | SOMME     | 1,07E-02           | 1,05E-07 |        |        |

## SCENARIO : Enfant résident – extérieur

|                                                                |                  |                           |                               |                   |                           |                   |                    |                 |                 |            |             |
|----------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------|------------|-------------|
| <b>Aires extérieures : Cible : enfant résident</b>             |                  |                           |                               |                   |                           |                   |                    |                 |                 |            |             |
| <b>MODELISATION A PARTIR DES SOLS : RBCA</b>                   |                  |                           |                               |                   |                           |                   |                    |                 |                 |            |             |
| <b>Détermination des niveaux de risques</b>                    |                  |                           |                               |                   |                           |                   |                    |                 |                 |            |             |
| <b>Cible : enfants résident 2h/j, 365 j/an, pendant 15 ans</b> |                  |                           |                               |                   |                           |                   |                    |                 |                 |            |             |
|                                                                | ti               | F                         | T                             | Tm                | Tm canc                   | Facteur correctif |                    |                 |                 |            |             |
|                                                                | -                | -                         | an                            | an                | an                        | -                 |                    |                 |                 |            |             |
|                                                                | 0,083            | 1,000                     | 6                             | 6                 | 15                        |                   |                    |                 |                 |            |             |
|                                                                | Extérieur (RBCA) |                           | Concentrations inhalées       |                   | Valeurs Toxicologiques de |                   | Niveaux de risques |                 |                 |            |             |
| <b>Composés</b>                                                | <b>Cgaz</b>      | <b>Cextérieur toxique</b> | <b>Cextérieur cancérigène</b> | <b>CI toxique</b> | <b>CI cancérigène</b>     | <b>RfC</b>        | <b>ERUi</b>        | <b>QD</b>       | <b>ERI</b>      | <b>%QD</b> | <b>%ERI</b> |
|                                                                | mg/kg            | µg/m3                     | µg/m3                         | µg/m3             | µg/m3                     | mg/m3             | (µg/m3)-1          | -               | -               |            |             |
| Aliphatiques >MeC5 - C6                                        | 126,28           | 1,04E-02                  | -                             | 8,64E-04          | -                         | 1,84E+01          | -                  | 4,7E-08         | -               | 0,00%      | -           |
| Aliphatiques >C6 - C8                                          | 2681,23          | 4,04E-01                  | -                             | 3,37E-02          | -                         | 1,84E+01          | -                  | 1,8E-06         | -               | 0,01%      | -           |
| Aliphatiques >C8 - C10                                         | 345,11           | 1,26E-01                  | -                             | 1,05E-02          | -                         | 1,00E+00          | -                  | 1,0E-05         | -               | 0,07%      | -           |
| Aliphatiques >C10 - C12                                        | 226,75           | 2,24E-01                  | -                             | 1,86E-02          | -                         | 1,00E+00          | -                  | 1,9E-05         | -               | 0,12%      | -           |
| Aliphatiques >C12 - C16                                        | 54,42            | 3,27E-01                  | -                             | 2,73E-02          | -                         | 1,00E+00          | -                  | 2,7E-05         | -               | 0,17%      | -           |
| Aromatiques >C8 - C10                                          | 1770,94          | 1,80E+00                  | -                             | 1,50E-01          | -                         | 2,00E-01          | -                  | 7,5E-04         | -               | 4,76%      | -           |
| Aromatiques >C10 - C12                                         | 193,64           | 6,18E-01                  | -                             | 5,15E-02          | -                         | 2,00E-01          | -                  | 2,6E-04         | -               | 1,64%      | -           |
| Aromatiques >C12-C16                                           | 47,47            | 3,30E-01                  | -                             | 2,75E-02          | -                         | 2,00E-01          | -                  | 1,4E-04         | -               | 0,87%      | -           |
| Benzène                                                        | 85,57            | 2,10E-02                  | 8,57E-03                      | 1,75E-03          | 2,86E-04                  | 9,60E-03          | 2,60E-05           | 1,8E-04         | 7,43E-09        | 1,16%      | 2,26%       |
| Toluène                                                        | 796,09           | 3,22E-01                  | -                             | 2,68E-02          | -                         | 1,90E+01          | -                  | 1,4E-06         | -               | 0,01%      | -           |
| Ethylbenzène                                                   | 201,92           | 1,02E-01                  | 4,18E-02                      | 8,54E-03          | 1,39E-03                  | 1,50E+00          | 2,50E-06           | 5,7E-06         | 3,49E-09        | 0,04%      | 1,06%       |
| m-Xylène                                                       | 619              | 3,34E-01                  | -                             | 2,78E-02          | -                         | 2,20E-01          | -                  | 1,3E-04         | -               | 0,00%      | -           |
| p-Xylène                                                       | 619              | 3,35E-01                  | -                             | 2,79E-02          | -                         | 2,20E-01          | -                  | 1,3E-04         | -               | 0,81%      | -           |
| o-Xylène                                                       | 165,51           | 1,13E-01                  | -                             | 9,38E-03          | -                         | 2,20E-01          | -                  | 4,3E-05         | -               | 0,27%      | -           |
| Trichloroéthylène                                              | 73113,2          | 2,11E+01                  | 8,62E+00                      | 1,76E+00          | 2,87E-01                  | 3,20E+00          | 1,00E-06           | 5,5E-04         | 2,87E-07        | 3,49%      | 87,28%      |
| Tetrachloroéthylène                                            | 31918,2          | 6,68E+00                  | 2,73E+00                      | 5,57E-01          | 9,09E-02                  | 4,10E-02          | 2,60E-07           | 1,4E-02         | 2,36E-08        | 86,26%     | 7,18%       |
| Chloroforme                                                    | 78,8             | 2,09E-02                  | 8,51E-03                      | 1,74E-03          | 2,84E-04                  | 6,30E-02          | 2,30E-05           | 2,8E-05         | 6,53E-09        | 0,18%      | 1,98%       |
| 1,1,1-Trichloroéthane                                          | 12,6             | 2,24E-03                  | -                             | 1,86E-04          | -                         | 5,00E+00          | -                  | 3,7E-08         | -               | 0,00%      | -           |
| Naphtalène                                                     | 2,1              | 1,01E-02                  | 4,12E-03                      | 8,42E-04          | 1,37E-04                  | 3,70E-02          | 5,60E-06           | 2,3E-05         | 7,70E-10        | 0,14%      | 0,23%       |
|                                                                |                  |                           |                               |                   |                           |                   | <b>SOMME</b>       | <b>1,57E-02</b> | <b>3,29E-07</b> |            |             |

### SCENARIO : Adulte utilisateur espace public - extérieur

#### Aires extérieures : Cible : adulte utilisateur espace public

#### MODELISATION A PARTIR DES SOLS : RBCA

#### Détermination des niveaux de risques

Cible : adulte résident 6h/j, 365 j/an, pendant 30 ans

|                         | ti      | F                  | T                      | Tm                      | Tm canc        | Facteur correctif         |              |                    |                 |        |        |
|-------------------------|---------|--------------------|------------------------|-------------------------|----------------|---------------------------|--------------|--------------------|-----------------|--------|--------|
|                         | -       | -                  | an                     | an                      | an             | -                         |              |                    |                 |        |        |
|                         | 0,250   | 1,000              | 30                     | 30                      | 70             |                           |              |                    |                 | T1/70  |        |
|                         |         | Extérieur (RBCA)   |                        | Concentrations inhalées |                | Valeurs Toxicologiques de |              | Niveaux de risques |                 |        |        |
| Composés                | Cgaz    | Cextérieur toxique | Cextérieur cancérigène | CI toxique              | CI cancérigène | RfC                       | ERUi         | QD                 | ERI             | %QD    | %ERI   |
|                         | mg/kg   | µg/m3              | µg/m3                  | µg/m3                   | µg/m3          | mg/m3                     | (µg/m3)-1    | -                  | -               |        |        |
| Aliphatiques >MeC5 - C6 | 126,28  | 6,91E-03           | -                      | 1,73E-03                | -              | 1,84E+01                  | -            | 9,4E-08            | -               | 0,00%  | -      |
| Aliphatiques >C6 - C8   | 2681,23 | 2,69E-01           | -                      | 6,73E-02                | -              | 1,84E+01                  | -            | 3,7E-06            | -               | 0,01%  | -      |
| Aliphatiques >C8 - C10  | 345,11  | 8,40E-02           | -                      | 2,10E-02                | -              | 1,00E+00                  | -            | 2,1E-05            | -               | 0,07%  | -      |
| Aliphatiques >C10 - C12 | 226,75  | 1,49E-01           | -                      | 3,73E-02                | -              | 1,00E+00                  | -            | 3,7E-05            | -               | 0,12%  | -      |
| Aliphatiques >C12 - C16 | 54,42   | 2,18E-01           | -                      | 5,45E-02                | -              | 1,00E+00                  | -            | 5,5E-05            | -               | 0,17%  | -      |
| Aromatiques >C8 - C10   | 1770,94 | 1,80E+00           | -                      | 4,50E-01                | -              | 2,00E-01                  | -            | 2,2E-03            | -               | 6,98%  | -      |
| Aromatiques >C10 - C12  | 193,64  | 4,12E-01           | -                      | 1,03E-01                | -              | 2,00E-01                  | -            | 5,2E-04            | -               | 1,60%  | -      |
| Aromatiques >C12-C16    | 47,47   | 2,20E-01           | -                      | 5,51E-02                | -              | 2,00E-01                  | -            | 2,8E-04            | -               | 0,85%  | -      |
| Benzène                 | 85,57   | 1,40E-02           | 2,56E-03               | 3,50E-03                | 2,74E-04       | 9,60E-03                  | 2,60E-05     | 3,6E-04            | 7,12E-09        | 1,13%  | 2,26%  |
| Toluène                 | 796,09  | 2,15E-01           | -                      | 5,37E-02                | -              | 1,90E+01                  | -            | 2,8E-06            | -               | 0,01%  | -      |
| Ethylbenzène            | 201,92  | 6,83E-02           | 1,25E-02               | 1,71E-02                | 1,34E-03       | 1,50E+00                  | 2,50E-06     | 1,1E-05            | 3,34E-09        | 0,04%  | 1,06%  |
| m-Xylène                | 619     | 2,23E-01           | -                      | 5,57E-02                | -              | 2,20E-01                  | -            | 2,5E-04            | -               | 0,79%  | -      |
| p-Xylène                | 619     | 2,23E-01           | -                      | 5,59E-02                | -              | 2,20E-01                  | -            | 2,5E-04            | -               | 0,79%  | -      |
| o-Xylène                | 165,51  | 7,51E-02           | -                      | 1,88E-02                | -              | 2,20E-01                  | -            | 8,5E-05            | -               | 0,26%  | -      |
| Trichloroéthylène       | 73113,2 | 1,41E+01           | 2,57E+00               | 3,52E+00                | 2,75E-01       | 3,20E+00                  | 1,00E-06     | 1,1E-03            | 2,75E-07        | 3,41%  | 87,28% |
| Tetrachloroéthylène     | 31918,2 | 4,45E+00           | 8,13E-01               | 1,11E+00                | 8,71E-02       | 4,10E-02                  | 2,60E-07     | 2,7E-02            | 2,27E-08        | 84,26% | 7,18%  |
| Chloroforme             | 78,8    | 1,39E-02           | 2,54E-03               | 3,48E-03                | 2,72E-04       | 6,30E-02                  | 2,30E-05     | 5,5E-05            | 6,26E-09        | 0,17%  | 1,98%  |
| 1,1,1-Trichloroéthane   | 12,6    | 1,49E-03           | -                      | 3,73E-04                | -              | 5,00E+00                  | -            | 7,5E-08            | -               | 0,00%  | -      |
| Naphtalène              | 2,1     | 6,73E-03           | 1,23E-03               | 1,68E-03                | 1,32E-04       | 3,70E-02                  | 5,60E-06     | 4,5E-05            | 7,38E-10        | 0,14%  | 0,23%  |
|                         |         |                    |                        |                         |                |                           | <b>SOMME</b> | <b>3,22E-02</b>    | <b>3,15E-07</b> |        |        |

**SCENARIO : Enfant utilisateur espace public - extérieur**

**Aires extérieures : Cible : enfant Utilisateur espace public**

**MODELISATION A PARTIR DES SOLS : RBCA**

**Détermination des niveaux de risques**

Cible : enfants résident 6h/j, 365 j/an, pendant 15 ans

|                         | ti               | F                  | T                       | Tm         | Tm canc                   | Facteur correctif |                    |                 |                 |        |         |
|-------------------------|------------------|--------------------|-------------------------|------------|---------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------|--------|---------|
|                         | -                | -                  | an                      | an         | an                        | -                 |                    |                 |                 |        |         |
|                         | 0,250            | 1,000              | 6                       | 6          | 15                        |                   |                    |                 |                 |        | T1/15   |
|                         | Extérieur (RBCA) |                    | Concentrations inhalées |            | Valeurs Toxicologiques de |                   | Niveaux de risques |                 |                 |        |         |
| Composés                | Cgaz             | Cextérieur toxique | Cextérieur cancérigène  | CI toxique | CI cancérigène            | RfC               | ERUi               | QD              | ERI             | %QD    | %ERI    |
|                         | mg/kg            | µg/m3              | µg/m3                   | µg/m3      | µg/m3                     | mg/m3             | (µg/m3)-1          | -               | -               |        |         |
| Aliphatiques >MeC5 - C6 | 126,28           | 1,04E-02           | -                       | 2,59E-03   | -                         | 1,84E+01          | -                  | 1,4E-07         | -               | 0,00%  | -       |
| Aliphatiques >C6 - C8   | 2681,23          | 4,04E-01           | -                       | 1,01E-01   | -                         | 1,84E+01          | -                  | 5,5E-06         | -               | 0,01%  | -       |
| Aliphatiques >C8 - C10  | 345,11           | 1,26E-01           | -                       | 3,15E-02   | -                         | 1,00E+00          | -                  | 3,1E-05         | -               | 0,07%  | -       |
| Aliphatiques >C10 - C12 | 226,75           | 2,24E-01           | -                       | 5,59E-02   | -                         | 1,00E+00          | -                  | 5,6E-05         | -               | 0,12%  | -       |
| Aliphatiques >C12 - C16 | 54,42            | 3,27E-01           | -                       | 8,18E-02   | -                         | 1,00E+00          | -                  | 8,2E-05         | -               | 0,17%  | -       |
| Aromatiques >C8 - C10   | 1770,94          | 1,80E+00           | -                       | 4,50E-01   | -                         | 2,00E-01          | -                  | 2,2E-03         | -               | 4,76%  | -       |
| Aromatiques >C10 - C12  | 193,64           | 6,18E-01           | -                       | 1,55E-01   | -                         | 2,00E-01          | -                  | 7,7E-04         | -               | 1,64%  | -       |
| Aromatiques >C12-C16    | 47,47            | 3,30E-01           | -                       | 8,26E-02   | -                         | 2,00E-01          | -                  | 4,1E-04         | -               | 0,87%  | -       |
| Benzène                 | 85,57            | 2,10E-02           | 8,57E-03                | 5,25E-03   | 8,57E-04                  | 9,60E-03          | 2,60E-05           | 5,5E-04         | 2,23E-08        | 1,16%  | 21,20%  |
| Toluène                 | 796,09           | 3,22E-01           | -                       | 8,05E-02   | -                         | 1,90E+01          | -                  | 4,2E-06         | -               | 0,01%  | -       |
| Ethylbenzène            | 201,92           | 1,02E-01           | 4,18E-02                | 2,56E-02   | 4,18E-03                  | 1,50E+00          | 2,50E-06           | 1,7E-05         | 1,05E-08        | 0,04%  | 9,95%   |
| m-Xylène                | 619              | 3,34E-01           | -                       | 8,35E-02   | -                         | 2,20E-01          | -                  | 3,8E-04         | -               | 0,80%  | -       |
| p-Xylène                | 619              | 3,35E-01           | -                       | 8,38E-02   | -                         | 2,20E-01          | -                  | 3,8E-04         | -               | 0,81%  | -       |
| o-Xylène                | 165,51           | 1,13E-01           | -                       | 2,82E-02   | -                         | 2,20E-01          | -                  | 1,3E-04         | -               | 0,27%  | -       |
| Trichloroéthylène       | 73113,2          | 2,11E+01           | 8,62E+00                | 5,28E+00   | 8,62E-01                  | 3,20E+00          | 1,00E-06           | 1,6E-03         | 8,62E-07        | 3,49%  | 819,71% |
| Tetrachloroéthylène     | 31918,2          | 6,68E+00           | 2,73E+00                | 1,67E+00   | 2,73E-01                  | 4,10E-02          | 2,60E-07           | 4,1E-02         | 7,09E-08        | 86,26% | 67,46%  |
| Chloroforme             | 78,8             | 2,09E-02           | 8,51E-03                | 5,21E-03   | 8,51E-04                  | 6,30E-02          | 2,30E-05           | 8,3E-05         | 1,96E-08        | 0,18%  | 18,63%  |
| 1,1,1-Trichloroéthane   | 12,6             | 2,24E-03           | -                       | 5,59E-04   | -                         | 5,00E+00          | -                  | 1,1E-07         | -               | 0,00%  | -       |
| Naphtalène              | 2,1              | 1,01E-02           | 4,12E-03                | 2,52E-03   | 4,12E-04                  | 3,70E-02          | 5,60E-06           | 6,8E-05         | 2,31E-09        | 0,14%  | 2,20%   |
|                         |                  |                    |                         |            |                           |                   | <b>SOMME</b>       | <b>4,72E-02</b> | <b>9,87E-07</b> |        |         |