

## DEKRA INDUSTRIAL SAS

### ANALYSE DES ENJEUX SANITAIRES – ILOT L (Missions A320 selon la norme NF X 31-620-2)

**SERL**

**Site localisé ZAC Gratte Ciel Nord – Villeurbanne (69)**



DEKRA INDUSTRIAL SAS  
36 avenue Jean Mermoz  
BP 8212  
69355 LYON Cedex 8

Tél. 04 72 78 13 55  
Fax 04 72 78 13 51

**Affaire n° : 51724321-EQRS**

**Ingenieur d'étude**

Guillaume FALEWEE – David JOUSSET

**Chef de projet**

Frédéric BOVER

**Superviseur**

Marie Gaulmé



**SITES ET SOLS POLLUÉS**  
**NF X 31-620-2**  
**ÉTUDES, ASSISTANCE**  
**ET CONTRÔLE**

**SITES ET SOLS POLLUÉS**  
**NF X 31-620-3**  
**INGÉNIERIE DES TRAVAUX**  
**DE RÉHABILITATION**

Les prestations d'études, assistance et contrôle (domaine A) et ingénierie des travaux de réhabilitation (domaine B) relatifs aux activités Sites et Sols Pollués de DEKRA INDUSTRIAL SAS sont certifiées par le LNE suivant le référentiel de certification de service des prestataires dans le domaine des sites et sols pollués. Plus d'information sur [www.lne.fr](http://www.lne.fr)

#### Modifications et évolutions

Date	Indice	Modifications apportées
27/07/15	01	Version initiale

## RESUME NON-TECHNIQUE DE L'ETUDE

<p>CONTEXTE DE LA MISSION</p>	<p>Dans le cadre d'un projet de restructuration du centre-ville de Villeurbanne (69), la SERL s'est vu confier par convention publique d'aménagement la mission de maîtrise d'ouvrage du projet de ZAC Gratte-ciel Nord de Villeurbanne. DEKRA INDUSTRIAL a été mandaté afin d'établir les études visant à caractériser l'état des milieux.</p> <p>De ces études, il en ressort au droit de l'ilot L :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les tests ISDI ont permis de mettre en évidence que, en cas d'excavation, certaines terres seront admises soit en ISDI soit en biocentre soit en ISDI+.</li> <li>▪ des anomalies en COHV dans les eaux souterraines dans les quatre piézomètres à proximité des ilots I et L (Pz1, Pz3, Pz11) et au droit de l'ilot L (Pz2).</li> <li>▪ Les résultats analytiques mettent en avant la présence de BTEX, de COHV et d'hydrocarbures totaux dans les gaz du sol.</li> <li>▪ l'EQRS permettra de savoir si le projet futur ne présente aucun risque pour les futurs occupants et le cas échéant de proposer les mesures de gestion nécessaires.</li> </ul> <p>Du fait la présence d'impact en COHV et du projet d'aménagement au droit de l'ilot L (Création du lycée Pierre BROSSOLETTE comprenant un complexe sportif), une analyse des enjeux sanitaires, objet du présent rapport, a été menée afin de vérifier la compatibilité de l'ilot L avec le projet.</p>
<p>SCENARI ETUDIES</p>	<p>Dans le cadre de l'EQRS, le projet de réhabilitation prévoit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aménagement d'un lycée comprenant :           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un bâtiment accueillant des logements de fonctions en R+2 et au-delà (Bâtiment A),</li> <li>- Quatre bâtiments scolaires (bâtiment B, C, D et E),</li> <li>- Un complexe sportif au nord de l'ilot (bâtiment G),</li> <li>- Une zone verte, au centre du site ainsi qu'une cours pavée.</li> </ul> </li> <li>▪ Trois scénarii sont étudiés : ensemble des bâtiments de plain-pied et sur 1 ou 2 niveaux de sous-sol,</li> <li>▪ En cas de construction de parkings en sous-sol, un terrassement préalable des terrains de 3 m ou 6 m par rapport au niveau actuel sera nécessaire,</li> <li>▪ Absence de culture de denrées comestibles sur toute la zone d'étude,</li> <li>▪ Absence d'élevage d'animaux dont les produits (ex : œuf, lait) ou la viande sont susceptibles d'être consommés,</li> <li>▪ Absence d'utilisation des eaux souterraines</li> <li>▪ Pour l'alimentation en eau potable, utilisation de canalisations métalliques ou PVC avec étanchéité complémentaire au niveau des joints ou implantation dans des remblais sains.</li> </ul>



<p>EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES</p>	<p>Pour les cibles 1 (salariés) et 2 (élèves), dans le cas du scénario 1 (bâtiment de plain-pied), et pour le bâtiment D, <b>les calculs réalisés et l'analyse des incertitudes</b> ont conclu que les risques sanitaires sont supérieurs aux limites considérées et sont donc <b>non acceptables</b>.</p> <p>Pour la cible 1 (salariés), dans le cas du scénario 1 (bâtiment de plain-pied), et pour le bâtiment E, les calculs réalisés et <b>l'analyse des incertitudes</b> ont conclu que les risques sanitaires sont supérieurs aux limites considérées et sont donc <b>non acceptables</b>.</p>
<p>CONCLUSIONS</p>	<p><b>Le site à l'étude, avec la pollution telle qu'observée à la date d'élaboration du présent rapport, apparaît donc incompatible au droit du futur bâtiment D en cas de construction du bâtiment de plain-pied.</b></p> <p>La création d'un niveau de sous-sol permettent de rendre compatible le site avec son usage futur.</p> <p>Les risques sont principalement liés à l'inhalation de vapeurs du Trichloroéthylène.</p> <p><b>Etant donné les incertitudes pour le bâtiment E, des mesures de gestion sont également à prévoir au droit de ce bâtiment en cas de construction de plain-pied.</b></p> <p><b><u>Les mesures de gestion prévues en recommandations, pour les bâtiments D et E, permettent de rendre compatible l'usage futur du point de vue sanitaire.</u></b></p>
<p>RECOMMANDATIONS</p>	<p>Les recommandations suivantes sont formulées pour rendre le terrain compatible avec l'usage projeté :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L'excavation des terres impactées par les BTEX et COHV lors de la réalisation du chantier de construction au droit du bâtiment D ; de même en cas de construction de plain-pied du bâtiment E.</li> <li>▪ L'envoi de ces terres vers un centre agréé ;</li> <li>▪ La réalisation de prélèvements de contrôle en fond et parois de fouille et air du sol ;</li> <li>▪ Le remblaiement de la zone avec des terres saines ;</li> <li>▪ La réalisation de nouvelles analyses d'air du sol ;</li> <li>▪ La validation des travaux par la réalisation d'une Analyse de Risques Résiduels (ARR)* ;</li> <li>▪ La conservation de la mémoire des pollutions résiduelles par la mise en place d'une restriction d'usage.</li> </ul> <p>ARR pouvant être basée sur le retour d'expérience en cas de concentrations résiduelles faibles.</p>



## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
1.1	Contexte	7
1.2	Hypothèses prises en compte	8
1.3	Définition d'une EQRS	10
<b>2</b>	<b>COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES .....</b>	<b>12</b>
2.1	Identification des substances et des concentrations présentes	12
2.2	Analyses complémentaires	16
2.3	Scénario retenu pour la réhabilitation du site	16
2.4	Schéma conceptuel - Usage futur	17
<b>3</b>	<b>EVALUATION DES DANGERS .....</b>	<b>22</b>
3.1	Toxicologie des substances	22
3.2	Propriétés physico-chimiques des substances	24
3.3	Sélection des substances à prendre en compte	25
<b>4</b>	<b>EVALUATION DES EXPOSITIONS .....</b>	<b>31</b>
4.1	Définition des concentrations d'exposition	31
4.2	Evaluation liée à l'inhalation de vapeurs	32
<b>5</b>	<b>CARACTERISATION DES RISQUES .....</b>	<b>40</b>
5.1	Principes de l'évaluation	40
5.2	Résultats des concentrations de polluants sous forme vapeur	41
5.3	Résultats de la caractérisation des risques	43
<b>6</b>	<b>ANALYSE DES INCERTITUDES .....</b>	<b>64</b>
6.1	Choix des substances	65
6.2	Concentrations retenues	65
6.3	Toxicité des composés	67
6.4	Paramètres d'exposition	68
6.5	Paramètres relatifs à la modélisation	69
6.6	Cumul des scenarii	71
6.7	Influence sur les risques estimés	71
<b>7</b>	<b>SYNTHESE ET CONCLUSION DE L'EQRS .....</b>	<b>72</b>
7.1	Synthèse	72
7.2	Recommandations	73





## FIGURES

Figure 1 : Plan masse - Lycée Pierre BROSSOLETTE.....	9
Figure 2 : Synthèses des investigations réalisées .....	15
Figure 3 : Schéma conceptuel - usage futur selon plan – scénario 1 .....	19
Figure 4 : Schéma conceptuel - usage futur - 1 niveau de sous-sol – scénario 2.....	20
Figure 5 : Schéma conceptuel - usage futur - 2 niveaux de sous-sol – scénario 3.....	21

## TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des études menées - Ilot L.....	7
Tableau 2 : Synthèse des composés détectés dans les sols .....	12
Tableau 3 : Synthèse des composés détectés dans les gaz du sol entre 0,5 et 2 m (DEKRA 2015) .....	13
Tableau 4 : Composés détectés dans les eaux souterraines .....	14
Tableau 5 : Voies de transfert et nature des expositions.....	18
Tableau 6 : Substances et concentrations retenues dans l'air du sol au droit du bâtiment A .....	26
Tableau 7 : Substances et concentrations retenues dans l'air du sol au droit des bâtiments B et C .....	26
Tableau 8 : Substances et concentrations retenues dans l'air du sol au droit des bâtiments D .....	27
Tableau 9 : Substances et concentrations retenues dans l'air du sol au droit des bâtiments E.....	27
Tableau 10 : Substances et concentrations retenues dans l'air du sol au droit des bâtiments G .....	28
Tableau 11 : Substances et concentrations retenues dans l'air du sol au droit des extérieurs.....	28
Tableau 12 : Composés retenus dans les eaux souterraines pour les scénarii 2 et 3 .....	29
Tableau 13 : Composés retenus dans les eaux souterraines pour les scénarii 2 et 3 .....	30
Tableau 14 : Valeur des paramètres d'exposition pour les cibles. ....	33
Tableau 15 : Valeurs des paramètres pour le dégazage - paramètres communs caractérisant la zone non saturée et saturée .....	34
Tableau 16 : Valeur des paramètres communs pour le dégazage pour le scénario 1 (plain-pied) .....	35
Tableau 17 : Valeur des paramètres communs pour le dégazage scénario 2 et 3 (1 ou 2 niveaux de sous-sol) .....	36
Tableau 18 : Valeur des paramètres communs pour le dégazage en extérieur .....	36
Tableau 19 : Valeur des paramètres communs du bâtiment A .....	37
Tableau 20 : Valeur des paramètres du bâtiment B .....	37
Tableau 21 : Valeur des paramètres communs du bâtiment C .....	38
Tableau 22 : Valeur des paramètres communs du bâtiment D .....	38
Tableau 23 : Valeur des paramètres communs du bâtiment E .....	39
Tableau 24 : Valeur des paramètres communs du bâtiment G .....	39
Tableau 25 : Résultats des concentrations de polluant dans l'air, sous forme gazeuse. – scénario 1 (plain-pied) .....	41
Tableau 26 : Résultats des concentrations de polluant dans l'air, sous forme gazeuse – scénario 2 (1 niveau de sous-sol).....	42
Tableau 27 : Résultats des concentrations de polluant dans l'air, sous forme gazeuse – scénario 3 (2 niveaux de sous-sol).....	42



Tableau 28 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 1 - cible 1 : salariés.....	43
Tableau 29 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 1 - cible 2 : élèves. ....	43
Tableau 30 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 1 – cible 3 : résidents. ....	44
Tableau 31 : Contribution des substances au QD – scénario 1 - cible 1 : salariés.....	45
Tableau 32 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 1 - cible 1 : salariés.....	46
Tableau 33 : Contribution des substances au QD – scénario 1 - cible 2 : élèves. ....	47
Tableau 34 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 1 - cible 2 : élèves. ....	48
Tableau 29 : Contribution des substances au QD – scénario 1 - cible 3 : résidents .....	49
Tableau 36 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 1 - cible 2 : résidents .....	49
Tableau 37 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 2 - cible 1 : salariés.....	50
Tableau 38 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 2 - cible 2 : élèves. ....	50
Tableau 39 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 2 - cible 3 : résidents. ....	51
Tableau 40 : Contribution des substances au QD – scénario 2 - cible 1 : salariés.....	52
Tableau 41 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 2 - cible 1 : salariés.....	53
Tableau 42 : Contribution des substances au QD – scénario 2 - cible 2 : élèves. ....	54
Tableau 43 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 2 - cible 2 : élèves. ....	55
Tableau 44 : Contribution des substances au QD – scénario 2 - cible 3 : élèves. ....	56
Tableau 45 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 2 – cible 3 : élèves.....	56
Tableau 46 : Résultats de la caractérisation des risques - scénario 3 - cible 1 : salariés. ....	58
Tableau 47 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 3 - cible 2 : élèves. ....	58
Tableau 48 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 3 - cible 2 : élèves. ....	58
Tableau 49 : Contribution des substances au QD – scénario 3 - cible 1 : salariés.....	59
Tableau 50 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 3 - cible 1 : salariés.....	60
Tableau 51 : Contribution des substances au QD – scénario 3 - cible 2 : élèves. ....	61
Tableau 52 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 3 - cible 2 : élèves. ....	62
Tableau 53 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 3 - cible 2 : élèves. ....	63
Tableau 54 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 3 - cible 2 : élèves. ....	63
Tableau 55 : Analyses des incertitudes - concentration maximales – eaux souterraines. ....	66
Tableau 56 : Analyses des incertitudes – QD et ERI issues des concentrations maximales – eaux souterraines.....	66
Tableau 57 : Analyses des incertitudes – fréquence d'exposition - salariés. ....	68

## ANNEXES

Annexe 1 : Evaluation des dangers

Annexe 2 : Détail des calculs



# 1 INTRODUCTION

Le présent rapport concerne la réalisation de la mission d'Analyse des Enjeux Sanitaires (A320) selon la méthodologie d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS).

## 1.1 CONTEXTE

Dans le cadre d'un projet de restructuration du centre-ville de Villeurbanne (69), la SERL s'est vu confier par convention publique d'aménagement la mission de maîtrise d'ouvrage du projet de ZAC Gratte-ciel Nord de Villeurbanne. DEKRA INDUSTRIAL a été mandaté afin d'établir les études visant à caractériser l'état des milieux.

SOURCE DE L'INFORMATION	DOCUMENT OU INFORMATION RECUEILLIE
TAUW, Rapport R/6056182-V05	Rapport du 02/12/10 : Etude historique et documentaire
TAUW, Rapport R/6059934-V02	Rapport du 15/03/11 : Diagnostic de la qualité des sols
TAUW, Rapport R/6059934-V01	Rapport du 05/07/11 : Diagnostic des eaux souterraines
BURGEAP, RSSPCE01951-03	Rapport du 03/10/12 : Diagnostic de la qualité des sols
DEKRA, Rapport 51724321	Rapport du 03/07/15 : Caractérisation de l'état des milieux – Ilot L

Tableau 1 : Liste des études menées - Ilot L

Ces études ont eu pour principal objectif d'approfondir les connaissances de la qualité des milieux afin de confirmer la compatibilité sanitaire des projets avec l'état de qualité des milieux. La présente mission concerne les ilots référencés « I, J et L » devant respectivement accueillir des programmes de logements, des activités et des commerces avec un à deux niveaux de sous-sols à usage de parkings, et un lycée.

De ces études, il en ressort au droit de l'ilot L, objet du présent rapport :

- les tests ISDI ont permis de mettre en évidence que, en cas d'excavation, certaines terres seront admises soit en ISDI soit en biocentre soit en ISDI+.
- des anomalies en COHV dans les eaux souterraines dans les quatre piézomètres à proximité des ilots I et L.
- les résultats analytiques mettent en avant la présence de BTEX, de COHV et d'hydrocarbures totaux dans les gaz du sol.
- l'EQRS permettra de savoir si le projet futur ne présente aucun risque pour les futurs occupants et le cas échéant de proposer les mesures de gestion nécessaires.

**Du fait la présence d'impact en COHV et du projet d'aménagement au droit de l'ilot L (Création du lycée Pierre BROSSOLETTE comprenant un complexe sportif), une analyse des enjeux sanitaires, objet du présent rapport, a été menée afin de vérifier la compatibilité de l'ilot L avec le projet.**



## 1.2 HYPOTHESES PRISES EN COMPTE

Cette étude s'appuie sur les hypothèses suivantes :

- La zone d'étude est constituée par l'ilot L ;
- Les différents diagnostics réalisés par TAUW, BURGEAP et DEKRA Industrial ont permis de montrer la présence de COHV sur l'ensemble de la zone d'étude, en concentrations localement importantes notamment au sud-ouest de l'ilot ;
- Les eaux souterraines, d'après les résultats de la campagne d'analyses de juin 2015 mettent en évidence la présence de COHV (Tetrachloroéthylène principalement) au droit de l'ensemble des piézomètres à proximité de l'ilot L (Pz1, Pz3 et Pz11) et au droit de l'ilot L (Pz2) ;
- Les résultats des investigations menées sont présentés dans le rapport DEKRA n°51724321- Caractérisation de l'état des milieux-Ilot L du 3 juillet 2015 (missions A200, A210 et A230) ;
- Les scénarii retenus pour l'aménagement de la zone d'étude sont basés sur les données et plans transmis en date du 6 juillet 2015. Les aménagements ainsi prévus sur la zone d'étude sont présentés en Figure 1. Les hypothèses retenues pour ces aménagements sont les suivantes :
  - Aménagement d'un lycée comprenant :
    - Un bâtiment accueillant des logements de fonctions en R+2 et au-delà (Bâtiment A),
    - Quatre bâtiments scolaires (bâtiment B, C, D et E),
    - Un complexe sportif au nord de l'ilot (bâtiment G),
    - Une zone verte, au centre du site ainsi qu'une cours pavée.
  - Trois scénarii sont étudiés : ensemble des bâtiments de plain-pied et sur 1 ou 2 niveaux de sous-sol,
  - En cas de construction de parkings en sous-sol, un terrassement préalable des terrains de 3 m ou 6 m par rapport au niveau actuel sera nécessaire,
  - Absence de culture de denrées comestibles sur toute la zone d'étude,
  - Absence d'élevage d'animaux dont les produits (ex : œuf, lait) ou la viande sont susceptibles d'être consommés,
  - Absence d'utilisation des eaux souterraines
  - Pour l'alimentation en eau potable, utilisation de canalisations métalliques ou PVC avec étanchéité complémentaire au niveau des joints ou implantation dans des remblais sains.

→ L'objectif de la présente étude est de se prononcer sur la compatibilité sanitaire de l'état des sols avec l'usage projeté et sur les éventuelles mesures à mettre en œuvre au droit de l'ilot L.





Site localisé ZAC des Gratte-ciel Nord à Villeurbanne (69) – ILOT L

Figure 1 : Plan masse - Lycée Pierre BROSSOLETTE

Référence :	51724321
Source :	SERL
Échelle :	



## 1.3 DEFINITION D'UNE EQRS

### 1.3.1 OBJECTIFS DE L'EQRS

L'objet d'une EQRS est de produire une analyse quantitative des risques ou des effets néfastes liés aux expositions à certaines substances chimiques, expositions définies selon l'usage envisagé.

Les objectifs spécifiques de l'étude des risques sont :

- de quantifier les effets liés aux substances non cancérigènes, et l'excès de risque lié aux composés cancérigènes,
- de recommander des mesures compensatoires si nécessaire.

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

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

### 1.3.2 RAPPEL DES PRINCIPES DE L'EQRS

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

- le principe de précaution inscrit dans la loi du 2 février 1995,
- le principe de proportionnalité, présent dans la circulaire du 3 décembre 1993,
- le principe de spécificité, présent dans cette même circulaire,
- le principe de transparence, présent dans cette même circulaire.

### 1.3.3 DEMARCHE

La réalisation de cette étude s'effectue en quatre étapes qui doivent permettre de répondre aux questions suivantes :

- Identification du danger

Est-ce que la substance engendre des effets indésirables pour l'homme ? Quels sont ces effets défavorables ?

L'identification du potentiel dangereux consiste à dresser la liste des types d'effets associés aux substances sélectionnées pour l'étude de risque. Il faut vérifier en particulier si la substance provoque des effets cancérigènes ou non cancérigènes.





- Evaluation de la relation dose - effet

Quelle est la relation entre la dose, ou le niveau d'exposition à une substance, et l'incidence et la gravité de ces effets chez l'homme ?

Pour les effets précédemment identifiés, il s'agit ici de quantifier leur fréquence et leur gravité.

- Evaluation de l'exposition

Quelles sont les voies de transfert du polluant de la source vers la cible ? Quelles sont la durée, la fréquence et l'importance de l'exposition ?

Dans une étude de risque, l'exposition est définie comme le contact entre les sources et les cibles, c'est à dire entre les composés présents dans les divers milieux et l'homme (par ingestion, par inhalation, par contact cutané). L'évaluation de l'exposition est la détermination des voies d'expositions, de la fréquence, de la durée et de l'importance de l'exposition.

- Caractérisation des risques

Quelle est l'expression quantitative du risque correspondant à la synthèse de l'évaluation de la toxicité et de l'exposition ? Quelle est l'interprétation du résultat ? Quels sont les facteurs d'incertitude ?

Après ces différents calculs, le risque est alors défini comme acceptable ou inacceptable suivant les recommandations de l'annexe II de la circulaire du 8 février 2007.

---

#### 1.3.4 LIMITES DE L'ETUDE

Cette étude a été réalisée suivant une méthode conforme aux pratiques en vigueur dans la profession.

Elle a été élaborée suivant la norme NFX 31-620 ainsi que suivant les standards environnementaux en vigueur à ce jour de l'US-EPA (United States Environmental Protection Agency), et présentés dans le guide « La démarche d'évaluation des risques sanitaires pour les substances chimiques : origine, objectifs et postulats aux Etats-Unis (INERIS, décembre 2006).

Les niveaux de risques acceptables sont basés sur les recommandations de l'annexe II de la circulaire du 8 février 2007.

L'étude et les conclusions sont élaborées en l'état actuel des connaissances scientifiques tant du point de vue chimique, géologique que toxicologique.



## 2 COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES

### 2.1 IDENTIFICATION DES SUBSTANCES ET DES CONCENTRATIONS PRESENTES

Les résultats complets sont présentés dans le rapport DEKRA n°51724321-Caractérisation de l'état des milieux-Ilot L du 3 juillet 2015 (missions A200, A210 et A230).

Un plan de synthèse des investigations est présent figure 2 en page 15.

A l'issue des investigations, les substances présentes sur site sont les suivantes :

#### Dans les SOLS :

- des anomalies ponctuelles notamment en métaux sur éluât et/ou en hydrocarbures sur les remblais ;
- un spot de pollution en COHV en limite sud-ouest du futur lycée jusqu'à 2 m de profondeur avec des teneurs pouvant atteindre 27,95 mg/kg pour la somme des COHV ;
- un spot de pollution en COHV entre les ilots I et L, jusqu'à 1 m de profondeur avec une teneur maximale de 3,35 mg/kg pour la somme des COHV ;
- des anomalies en tétrachloroéthylène, 1,1,1-trichloroéthane et trichloroéthylène ont été mesurées pour les échantillons D1, D2, D3, D5 et D9. Celles-ci vont respectivement de 0,02 à 2,4 mg/kg de MS, de 0,07 à 0,4 mg/kg de MS et de 0,02 à 14 mg/kg de MS.
- d'autres composés à l'état de traces ont été quantifiés (HCT, HAP, ...).

		D1	D1	D1	D2	D2	D3	D3	D4	D5	D6	D6	D9	D10	D10
Paramètre	Unité	(0-1 m)	(2-3 m)	(4-5 m)	(1-2 m)	(2-3 m)	(0-1 m)	(2-3 m)	(0-1 m)	(2-3 m)	(0-1 m)	(2-3 m)	(0-1 m)	(0-1 m)	(2-3 m)
Matière sèche	%														
COHV															
tétrachloroéthylène	mg/kg Ms	0,27	<0,02	<0,02	2,4	0,04	0,07	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,02	0,16	<0,02	<0,02
1,1,1-trichloroéthane	mg/kg Ms	0,4	<0,02	<0,02	0,14	<0,02	<0,02	<0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,07	<0,02	<0,02
trichloroéthylène	mg/kg Ms	14	0,18	0,14	2,4	<0,02	0,12	<0,03	<0,02	0,04	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02

Tableau 2 : Synthèse des composés détectés dans les sols



### Dans les GAZ DU SOL :

- des BTEX totaux et des hydrocarbures totaux sur l'ensemble des 8 piézairs installés entre 0,5 et 2 m de profondeur ;
- d'hydrocarbures aromatiques C6-C7, C7-C8, C8-C10 et d'hydrocarbures aliphatiques C5-C6, C6-C8, C8-C10 et C10-C12 pour le PzR4 ;
- des COHV suivants :
  - tétrachloroéthylène excepté PzR5 et PzR7 ;
  - 1,1,1-trichloroéthane excepté PzR6, PzR7 et PzR10 ;
  - trichloroéthylène au sein de PzR1, PzR3 et PzR4 ;
  - et du chloroforme pour le PzR1.

			PzR1	PzR3	PzR4	PzR5	PzR6	PzR7	PzR9	PzR10
Paramètres	Unités	Incertitudes								
<b>COMPOSES AROMATIQUES VOLATILS</b>										
benzène	µg/m3	4.4%	63	62	129	<19	<26	<16	54	<19
toluène	µg/m3	3%	1249	1642	1482	125	192	299	452	243
éthylbenzène	µg/m3	6%	295	467	323	50	81	93	81	62
orthoxyène	µg/m3	5%	1333	2074	391	73	133	135	102	300
para- et métaoxyène	µg/m3	6%	379	622	1347	250	416	432	362	95
xyènes	µg/m3	5.5%	1684	2592	1752	308	546	565	467	393
BTEX total	µg/m3	-	3368	4838	3773	500	806	964	1040	711
<b>COMPOSES ORGANO HALOGENES VOLATILS</b>										
1,2-dichloroéthane	µg/m3	13%	<14	<17	<13	<19	<26	<16	<15	<19
1,1-dichloroéthane	µg/m3	20%	<14	<17	<13	<19	<26	<16	<15	<19
cis-1,2-dichloroéthane	µg/m3	9.6%	<14	<17	<13	<19	<26	<16	<15	<19
trans 1,2-dichloroéthylène	µg/m3	12%	<14	<17	<13	<19	<26	<16	<15	<19
dichlorométhane	µg/m3	18%	<14	<17	<13	<19	<26	<16	<15	<19
1,2-dichloropropane	µg/m3	3.8%	<14	<17	<13	<19	<26	<16	<15	<19
1,3-dichloropropène	µg/m3	5.9%	<14	<17	<13	<19	<26	<16	<15	<19
tétrachloroéthylène	µg/m3	4.8%	589	622	162	<19	88	<16	226	110
tétrachlorométhane	µg/m3	7.2%	<14	<17	<13	<19	<26	<16	<15	<19
1,1,1-trichloroéthane	µg/m3	11%	1403	149	96	27	<26	<16	166	<19
trichloroéthylène	µg/m3	8.8%	6035	657	32	<19	<26	<16	<15	<19
chloroforme	µg/m3	10%	28	<17	<13	<19	<26	<16	<15	<19
chlorure de vinyle	µg/m3	26%	<14	<17	<13	<19	<26	<16	<15	<19
hexachlorobutadiène	µg/m3	11%	<14	<17	<13	<19	<26	<16	<15	<19
bromoforme	µg/m3	9%	<14	<17	<13	<19	<26	<16	<15	<19
<b>HYDROCARBURES TOTAUX</b>										
fraction C5-C6	µg/m3	31%	140	173	391	<96	<130	<83	347	<93
fraction C6-C8	µg/m3	9.3%	2667	2765	3099	404	494	648	1160	599
fraction C8-C10	µg/m3	-	4772	6221	3368	808	1431	1263	2863	842
fraction C10-C12	µg/m3	22%	309	<259	<202	<289	1353	<249	<226	<281
fraction C12-C16	µg/m3	-	<210	<259	<202	<289	<390	<249	<226	<281
hydrocarbures volatils (C5-C16)	µg/m3	20%	8000	9504	7141	1405	3381	1994	4370	1797
<b>TPH</b>										
aromatiques C6-C7	µg/m3	-	benzène	benzène	129	benzène	benzène	benzène	benzène	benzène
aromatiques C7-C8	µg/m3	-	toluène	toluène	1482	toluène	toluène	toluène	toluène	toluène
aromatiques C8-C10	µg/m3	-	4084	5324	2964	692	1224	1081	2451	721
aromatiques C10-C12	µg/m3	-	183	<	<135	<	801	<	<	<
aromatiques C12-C16	µg/m3	-	<	<	<135	<	<	<	<	<
aliphatiques C5-C6	µg/m3	-	140	173	391	<96	<130	<83	347	<93
aliphatiques C6-C8	µg/m3	-	1354	1061	1482	279	302	349	654	356
aliphatiques C8-C10	µg/m3	-	688	896	499	116	206	182	413	121
aliphatiques C10-C12	µg/m3	-	126	<	93	<	552	<	<	<
aliphatiques C12-C16	µg/m3	-	<	<	<67	<	<	<	<	<

4084 : concentration définie d'après analyse TPH réalisée sur PzR4

Tableau 3 : Synthèse des composés détectés dans les gaz du sol entre 0,5 et 2 m (DEKRA 2015)

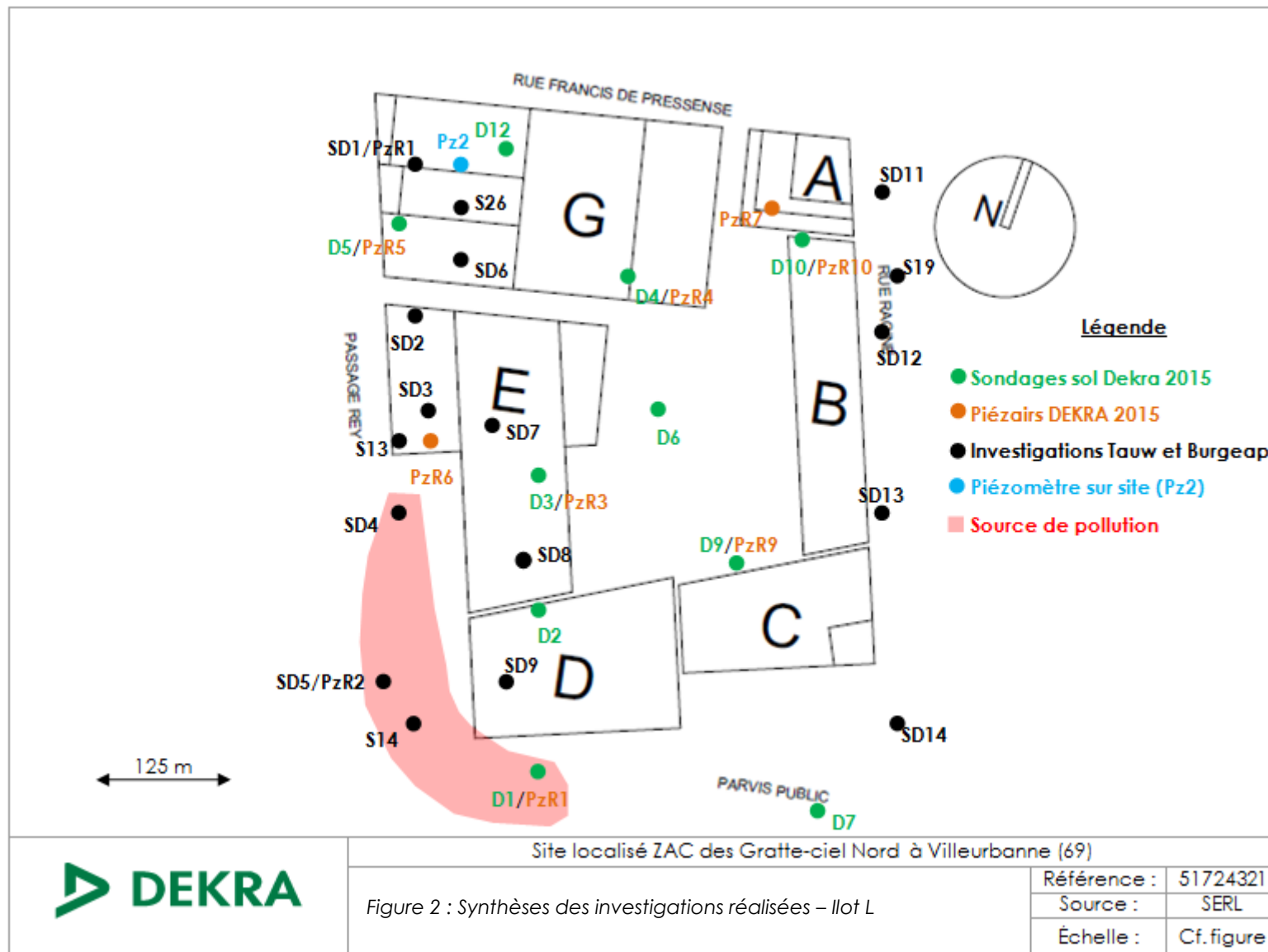


**Dans la NAPPE :** Les quatre piézomètres présentent des anomalies en COHV, notamment en tétrachloroéthylène, en trichloroéthylène, en 1,1,1-trichloroéthane, en chloroforme excepté Pz11, et en cis-1,2-dichloroéthène seulement au droit de Pz1. La somme du tétrachloroéthylène et du trichloroéthylène est supérieure à la limite de qualité fixée par l'annexe I de l'arrêté du 11/01/2007 qui est de 10 µg/L, pour les piézomètres Pz1 (73 + 0,7 µg/l soit 73,7 µg/l), Pz2 (9,7 + 0,41 µg/l soit 10,11 µg/l) et Pz11 (12 + 0,56 µg/l soit 12,56 µg/l). Le Pz2 est localisé au droit de l'Ilot L.

			PZ1	PZ2	PZ3	PZ11
Paramètres	Unités	Incertiludes				
pH		0,3 %	7,3	7,3	7,4	7,2
température	°C	-	21	21	20,9	21
COMPOSES AROMATIQUES VOLATILS (BTEX)						
benzène	µg/l	31%	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
toluène	µg/l	23%	<0,2	<0,2	0,39	0,33
éthylbenzène	µg/l	31%	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
orthoxyène	µg/l	26%	<0,1	<0,1	0,13	0,14
para- et métaxyène	µg/l	29%	0,36	0,26	0,6	0,61
xylènes	µg/l	29%	0,36	<0,30	0,73	0,75
BTEX total	µg/l	29%	<1	<1	1,1	1,1
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES						
naphtalène	µg/l	13%	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
acénaphthylène	µg/l	19%	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
acénaphène	µg/l	18%	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
fluorène	µg/l	15%	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
phénanthrène	µg/l	24%	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
anthracène	µg/l	20%	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
fluoranthène **	µg/l	21%	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
pyrène	µg/l	21%	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
benzo(a)anthracène	µg/l	15%	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
chrysène	µg/l	25%	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
benzo(b)fluoranthène *	µg/l	19%	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
benzo(k)fluoranthène *	µg/l	20%	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
benzo(a)pyrène **	µg/l	22%	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
dibenzo(ah)anthracène	µg/l	21%	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
benzo(ghi)peryène *	µg/l	17%	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
indéno(1,2,3-cd)pyrène *	µg/l	17%	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Somme des HAP *	µg/l	-	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
Somme des HAP * + **	µg/l	-	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
COMPOSES ORGANO HALOGENES VOLATILS						
1,2-dichloroéthane	µg/l	28%	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,1-dichloroéthène	µg/l	29%	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
cis-1,2-dichloroéthène	µg/l	31%	1,1	<0,1	<0,1	<0,1
trans 1,2-dichloroéthylène	µg/l	36%	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
dichlorométhane	µg/l	31%	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
1,2-dichloropropane	µg/l	22%	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
1,3-dichloropropène	µg/l	40%	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
tétrachloroéthylène ***	µg/l	28%	73	9,7	8,8	12
tétrachlorométhane	µg/l	30%	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,1,1-trichloroéthane	µg/l	31%	0,88	0,41	0,75	1,2
trichloroéthylène ***	µg/l	25%	0,7	0,41	0,52	0,56
chloroforme	µg/l	31%	0,17	0,47	0,27	<0,1
chlorure de vinyle	µg/l	46%	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
hexachlorobutadiène	µg/l	31%	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
bromoforme	µg/l	33%	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
HYDROCARBURES TOTAUX						
fraction C10-C12	µg/l	36%	<5	<5	<5	<5
fraction C12-C16	µg/l	36%	<5	<5	<5	<5
fraction C16-C21	µg/l	36%	<5	<5	<5	<5
fraction C21-C40	µg/l	36%	<5	<5	<5	<5
hydrocarbures totaux C10-C40	µg/l	36%	<20	<20	<20	<20
AGRESSIVITE DES BETONS						
ammonium	mg/l	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
ammonium	mgN/l	11%	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
CO2 agresif	mg CO2/l	-	<5	<5	<5	<5
Titre alcalimétrique complet	mmol/l	-	5	4,9	4,9	4,9
Alcalinité (CaCO3)	mmol/l	-	4,7	4,6	4,5	4,6
magnésium	µg/l	19%	8800	8200	8500	8400
sulfate	mg/l	23%	52	45	40	44

Tableau 4 : Composés détectés dans les eaux souterraines





## 2.2 ANALYSES COMPLEMENTAIRES

Des analyses complémentaires ont été réalisées dans les sols en vue de l'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires, les résultats sont présentés ci-dessous.

### **Carbone Organique Total**

Cette analyse permet de connaître pour un sol la quantité de carbone « liée » à la matière organique. Le COT influe sur l'affinité entre certains polluants organiques et le sol. Les polluants organiques seront plus mobiles dans les sols présentant un taux de COT faible.

Analyse sur 11 échantillons : COT = 9 900 à 120 000 mg/kg

→ Pour la suite de l'étude nous avons retenu une fraction de carbone organique dans les sols égale à la moyenne des mesures de COT effectuées pour chacune des tranches de sol.

*COT moyen 0-1m = 51 000 mg/kg ; 1-2 m = 43 000 mg/kg ; >2m = 9 900 mg/kg*

La lithologie moyenne des sols rencontrées et retenue pour la présente étude est :

- Remblais sablo-graveleux entre 0 et 1 m,
- Argile sableuse entre 1 et 2 m,
- Sables graveleux au-delà de 2 m.

## 2.3 SCENARIO RETENU POUR LA REHABILITATION DU SITE

Dans le cadre de l'EQRS, le projet de réhabilitation prévoit :

- La mise en œuvre d'un revêtement étanche au droit des bâtiments (dalle béton) et des zones de circulation piétonne (pavement terre cuite ou pavement béton) ;
- La mise en œuvre de 30 cm de terre végétale au droit des espaces verts ;
- Un usage sensible de type lycée, incluant des logements de fonction au droit du bâtiment A (R+2) ;
- 3 scénarios étudiés :
  - o Scénario 1 : Ensemble des bâtiments de plain-pied ;
  - o Scénario 2 : 1 niveau de sous-sol,
  - o Scénario 3 : 2 niveaux de sous-sol.





## 2.4 SCHEMA CONCEPTUEL - USAGE FUTUR

### 2.4.1 CIBLES POTENTIELLES

La présente étude s'intéresse aux risques sanitaires sur site.

Les cibles correspondent aux personnes susceptibles d'être exposées de manière chronique aux polluants présents au droit du site dans les sols, l'air du sol et les eaux souterraines.

Les cibles potentielles pour l'EQRS au vu de l'usage retenu du site (usage lycée + logement de fonction) :

- les salariés adultes (professeur, personnel administratif,...cible 1) et/ou résidents (cible 3)
- Les élèves (cible 2),

### 2.4.2 VOIES DE TRANSFERT

La seule voie de transfert retenue concerne le dégazage des composés volatils présents dans les sols, l'air du sol et la nappe.

A l'inverse, les voies de transfert suivantes ne sont pas retenues :

- L'envol de poussières de sols pollués vers l'atmosphère (imperméabilisation du site et/ou mise en œuvre de 30 cm de terre végétale);
- Le transfert de polluants hors site via la nappe ;
- Le transfert de polluants vers les eaux superficielles ;
- Le transfert de polluants vers l'eau du robinet (hypothèse prise de canalisation métallique ou PVC avec étanchéité complémentaire au niveau des joints ou implantées dans des remblais sains).

La présente EQRS ne s'intéresse qu'aux impacts et cibles sur site. Un éventuel impact sanitaire hors site entrerait dans le champ de l'IEM. Toutefois, les pollutions sols ou gaz du sol en limite de site sont localisés au droit du projet global et peuvent considérées comme traité par les EQRS des ilots du projet. Concernant un impact hors site des eaux souterraines, nous rappelons que la nappe au droit du site présente des concentrations résiduelles en solvants chlorés connu à une échelle régionale.

### 2.4.3 VOIES D'EXPOSITION

La voie d'exposition retenue concerne l'inhalation de vapeurs de polluants issus des sols, les eaux souterraines et de l'air du sol étant donné la présence de composés volatils (BTEX et COHV).

Ne seront pas retenues dans la présente étude les voies d'expositions suivantes :

- le contact direct avec les sols superficiels non recouverts (ingestion / contact cutané) du fait de l'imperméabilisation du site,
- l'inhalation de poussières provenant des sols superficiels non recouverts du fait de l'imperméabilisation du site,
- l'ingestion d'eaux souterraines du fait de l'absence de captage d'eau,



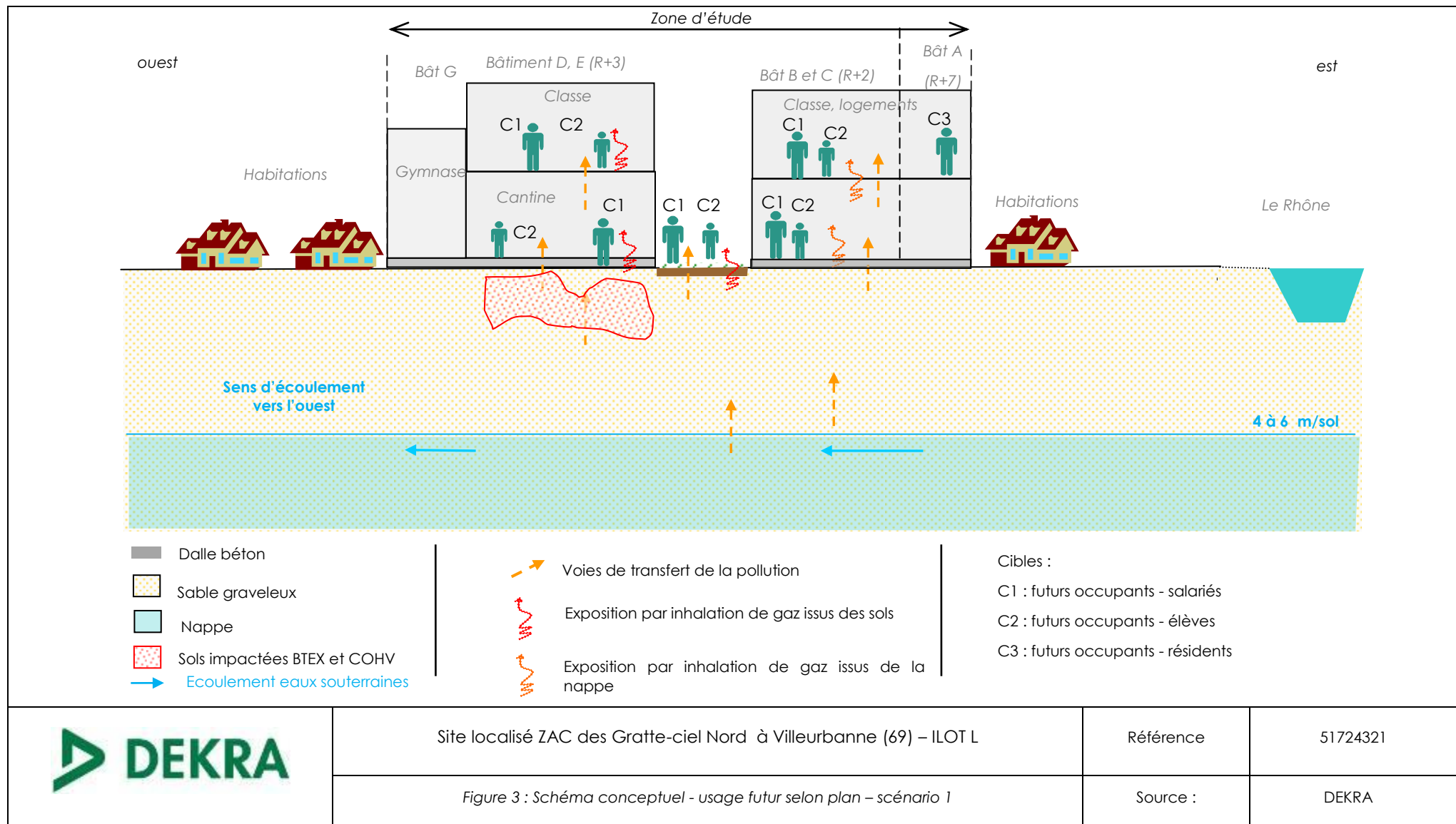
- l'ingestion d'eau du robinet (hypothèse prise de canalisation métallique ou PVC avec étanchéité complémentaire au niveau des joints ou implantées dans des remblais sains),
- l'ingestion de denrées alimentaires cultivées sur site (absence de jardins potagers).

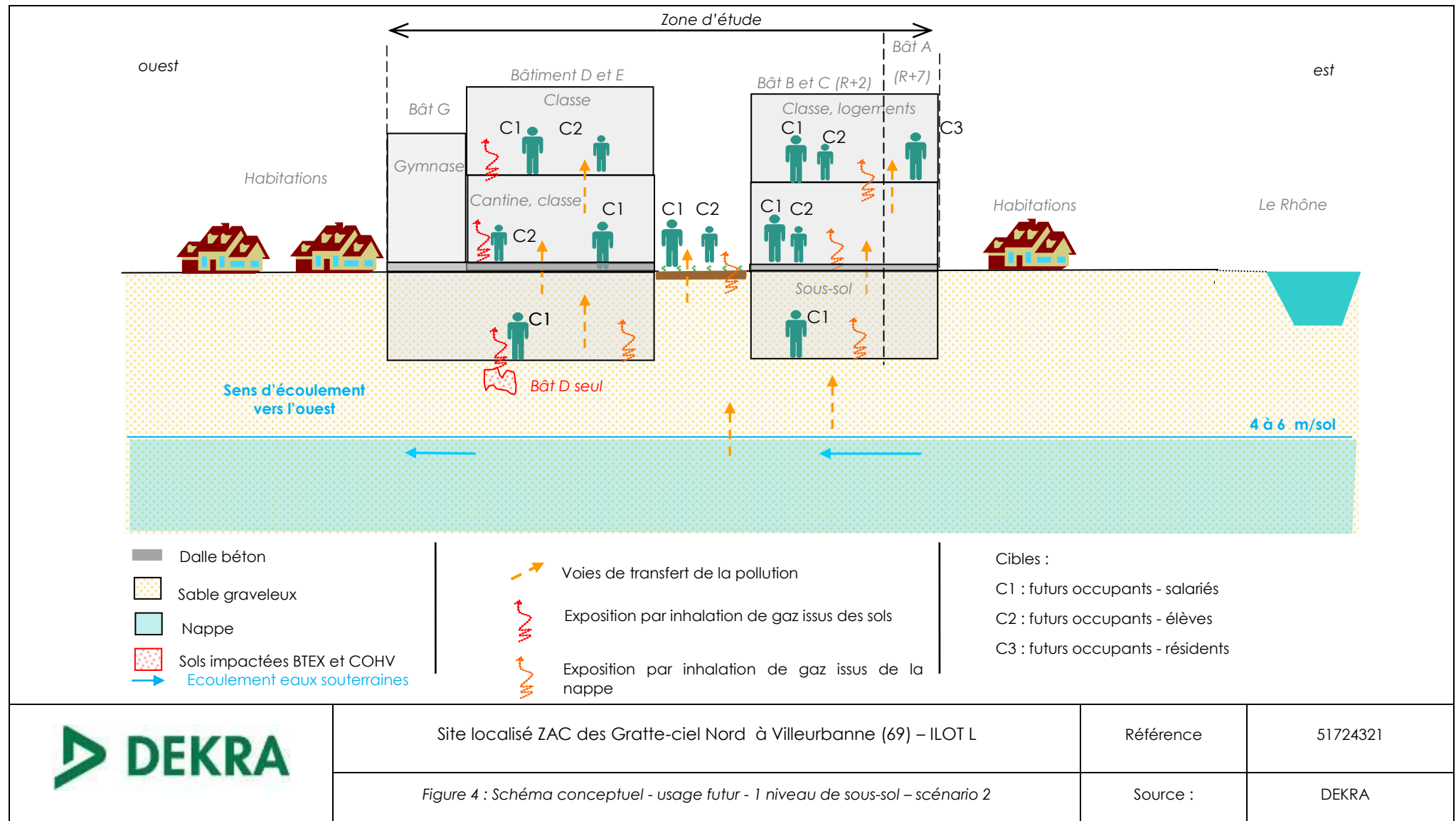
#### Synthèse des risques identifiés (Source + Transfert + Cible)

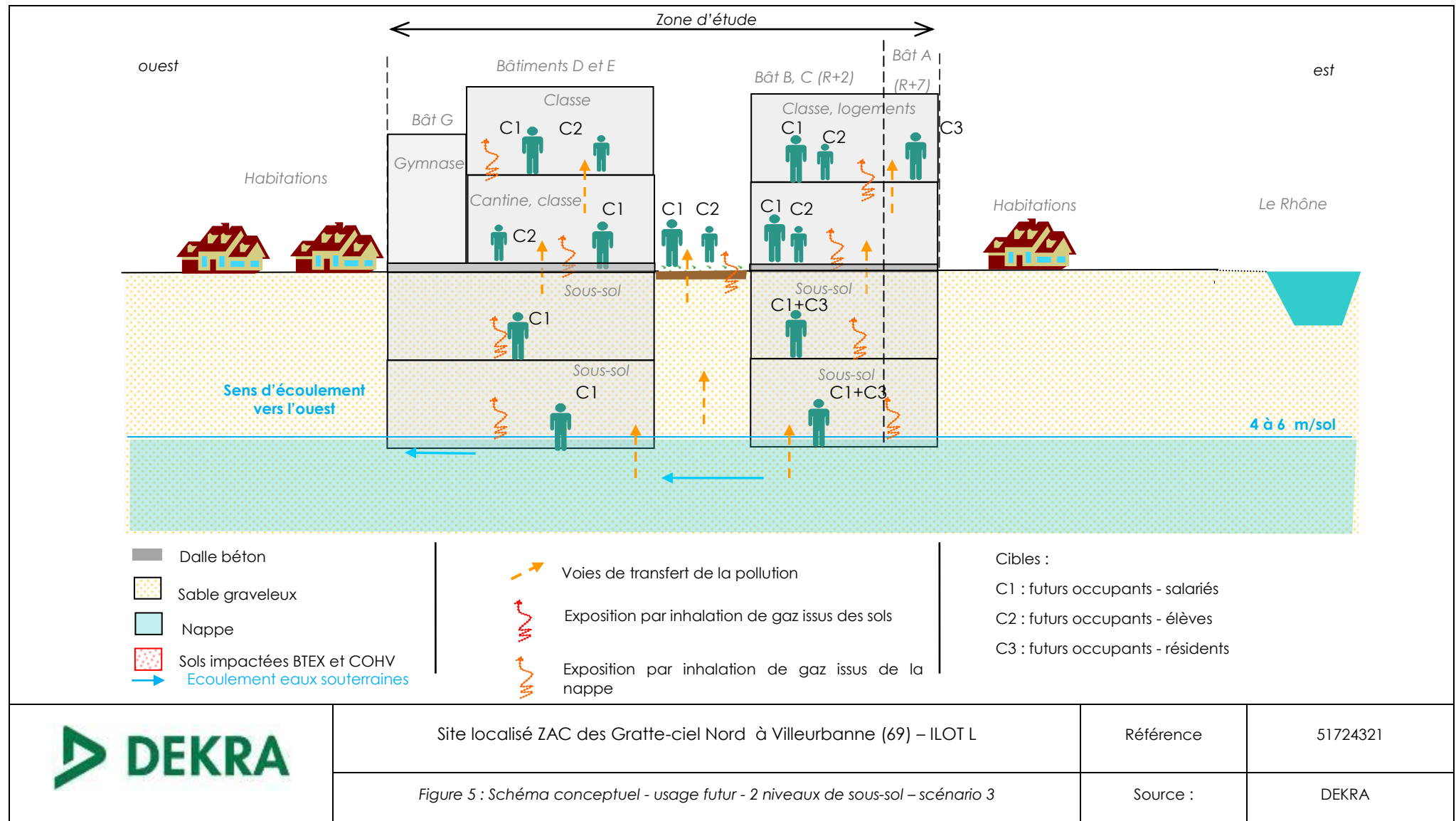
<b>RECAPITULATIF</b> <b>SOURCES/VECTEURS/CIBLES</b>				
Sources de pollution	Voies de transfert / d'exposition	Prise en compte	Nature de l'exposition	Cibles
Pollution du sous-sol en hydrocarbures, BTEX et COHV	Air ambiant	Oui	Inhalation	Salariés et élèves
	Sols	Non (zone recouverte)	Ingestion et contact	
	Eaux souterraines	Oui	Inhalation de vapeur issue des eaux souterraines	
	Eau du robinet	Non (canalisation métallique ou PVC ou implantation dans des remblais sains)	Ingestion et contact	
	Denrées alimentaires	Non (absence de jardins potagers)	Ingestion	

Tableau 5 : Voies de transfert et nature des expositions









### 3 EVALUATION DES DANGERS

L'évaluation du potentiel dangereux des substances consiste à identifier les effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme. Pour évaluer les dangers d'une substance, il est nécessaire de connaître :

- son comportement dans l'environnement, qui est déterminé par ses caractéristiques physico-chimiques (solubilité, volatilité...) ;
- ses effets sur la santé, qui consiste à identifier les effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme, et de définir les valeurs de référence qui représentent la limite entre le risque acceptable et le risque inacceptable.

L'ensemble des éléments concernant l'évaluation des dangers est présenté en annexe.

**Cf. Annexe 1 : Evaluation des dangers**

#### 3.1 TOXICOLOGIE DES SUBSTANCES

Dans le cadre d'une EQRS, les éléments suivants sont recherchés :

- l'identification du potentiel dangereux des substances : effets toxiques aigus, chroniques, effets cancérogènes, organes cibles,
- l'évaluation de la relation dose-effet qui a pour but de définir une relation quantitative entre la dose ou la concentration absorbée ou administrée et l'incidence de l'effet délétère. On recherche alors les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR).

- Pour les substances à seuil :

Les effets néfastes apparaissent à partir d'une certaine concentration d'exposition. On recherche les valeurs des doses de référence (RfD pour la voie orale) et concentration de référence (RfC pour la voie inhalation). Ces valeurs correspondent à des niveaux d'exposition sans risque appréciable d'effets néfastes sur l'homme.

- Pour les substances sans seuil (cancérogènes, mutagènes ou reprotoxiques) :

Il n'y a pas de niveau d'exposition sans risque, il y a un risque dès la première exposition. Les valeurs toxicologiques de références sont exprimées sous forme d'Excès de Risque Unitaire (ERUo pour la voie orale et ERUi pour la voie inhalation) qui expriment la relation entre le niveau d'exposition et la probabilité supplémentaire de développer l'effet cancérogène.

Les informations recueillies en termes de toxicité des substances sont présentées en annexe.





▪ Choix des VTR

Les VTR sont établies expérimentalement par des organismes de santé de notoriété internationale ou nationale. Les valeurs proposées peuvent donc diverger en fonction de l'organisme qui les établit ou encore en fonction des conditions expérimentales.

La note d'information n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 aide à la sélection des VTR proposées en recommandant de respecter la hiérarchisation suivante :

- En premier lieu, sélectionner les VTR construites par l'ANSES<sup>1</sup> si elles existent ;
- En second lieu, si une expertise nationale a été menée, retenir les VTR issues de la sélection approfondie réalisée dans le cadre de l'expertise (sous réserve que l'expertise soit postérieure à la date de parution de la VTR la plus récente) ;
- Sinon, sélectionner la VTR la plus récente parmi les trois bases de données suivantes : l'US-EPA<sup>2</sup>, l'ASTDR<sup>3</sup>, ou l'OMS<sup>4</sup>, sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée ;
- Enfin, si aucune VTR n'est retrouvée dans les quatre bases de données précédentes, choisir la plus récente proposée par Santé Canada<sup>5</sup>, RIVM<sup>6</sup>, l'OEHHA<sup>7</sup> ou l'EFSA<sup>8</sup>.

Les documents suivants sont donc retenus, lorsque pertinents :

- Rapport n°DCR-08-94380-11776C : Point sur les valeurs toxicologiques de référence – mars 2009, INERIS ;
- Rapport n°DCR-03-47026-ETSC-BDo-N°03DR177 : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, INERIS, décembre 2003.

---

<sup>1</sup> ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail : <http://www.anses.fr>

<sup>2</sup> US-EPA : United States – Environmental Protection Agency – <http://epa.gov/iris/>

<sup>3</sup> ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Etats-Unis) – <http://atsdr.cdc.gov/>

<sup>4</sup> OMS : Organisation Mondiale de la Santé

<sup>5</sup> Santé Canada : <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl1-lsp1/index-fra.php>

<sup>6</sup> RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Institu national de la santé publique et de l'environnement (Pays-Bas)  
<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701025.pdf>

<sup>7</sup> OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment (antenne californienne de l'US-EPA)  
<http://www.oehha.ca.gov/risk/ChemicalDB.index.asp>

<sup>8</sup> EFSA : European Food Safety Authority – <http://www.efsa.europa.eu/fr/>



## 3.2 PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES SUBSTANCES

Les propriétés physico-chimiques des différentes substances sélectionnées sont également répertoriées en annexe. Quelques propriétés sont à remarquer :

- La pression de vapeur

Elle indique la tendance d'un composé à être volatilisé depuis sa phase libre. Plus la pression de vapeur est importante, plus il pourra être volatilisé.

A titre indicatif, une pression de vapeur supérieure à 1 mm Hg indique une forte tendance à la volatilisation. Si elle est inférieure à  $10^{-3}$  mm Hg, le composé aura une faible tendance à la volatilisation.

*Pour illustration :*

Substance	Pression de vapeur (mm Hg)
Naphtalène	8,5E-02 (faible)
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	4,8 (élevée)
Tétrachloroéthylène (PCE)	14.25 (très élevée)
Toluène	21,91 (très élevée)

- La constante de Henry :

Elle indique la tendance d'un composé à être volatilisé à partir d'une phase aqueuse. Plus la constante **H** est élevée, plus le composé est volatil.

A titre indicatif, une constante de Henry supérieure à 0,04 indique une forte tendance à la volatilisation, tandis qu'une constante de Henry inférieure à 0,0004 indique une faible tendance à la volatilisation.

*Pour illustration :*

Substance	H
Naphtalène	1,9E-02 (assez faible)
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	80 (très élevée)
Tétrachloroéthylène (PCE)	1,111 (élevée)
Toluène	0,26 (élevée)

▪ Les coefficients d'adsorption :

Le coefficient de partition octanol-eau, **Kow**, indique la tendance du composé à être adsorbé sur les particules solides ou la matière organique.

Le coefficient d'adsorption sur la matière organique, **Koc**, indique la tendance du composé à être adsorbé sur la matière organique spécifiquement. Plus ces valeurs sont importantes plus le composé est adsorbable.

Pour illustration :

Substance	Log Kow	Koc
Naphtalène	3,4	933E-2000
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	4,8	3,16E-04
Tétrachloroéthylène (PCE)	2,67	247
Toluène	2,69	100

### 3.3 SELECTION DES SUBSTANCES A PRENDRE EN COMPTE

Les critères spécifiques de sélection des substances sont :

- La présence et la concentration de la substance dans le milieu de transfert ;
- Pour l'exposition par inhalation : le potentiel de volatilisation, traduit par de fortes valeurs de pression de vapeur et de constante de Henry ;
- L'existence de valeurs toxicologiques de référence pour les voies d'exposition retenues (fortes valeurs de l'ERUI pour les substances cancérigènes et faibles valeurs de RfC pour les substances non cancérigènes).

Afin de limiter les étapes de modélisation, nous utiliserons en priorité et lorsque celles-ci sont représentatives, les concentrations mesurées dans l'air du sol afin de définir les concentrations en composés volatils dans les milieux d'exposition. Ces mesures ont également l'avantage d'intégrer le dégazage des sols et un éventuel dégazage des eaux souterraines. Un total de 8 piézairs a été posé lors de la campagne d'investigations de 2015 au droit du site.

#### 3.3.1 SCENARIO 1 - PLAIN-PIED

▪ Substances retenues

L'ensemble des composés détectés dans l'air du sol sont retenus en première approche.

Il s'agit des :

- Composé Organo-Halogénés Volatils (COHV) dont le Trichloroéthylène ;
- BTEX ;
- TPH.



▪ Concentrations retenues dans l'air du sol

Les concentrations retenues pour le calcul des doses d'expositions correspondent aux teneurs maximales mesurées dans l'air du sol localisés au droit ou à proximité du bâtiment concerné.

→ Les composés présents en teneur inférieure au seuil de détection du laboratoire n'ont pas été retenus, ces seuils sont en effet jugés suffisamment faibles.

→ Les concentrations retenues correspondent aux concentrations mesurées dans l'air du sol au sein des piézairs implantés à 2 m de profondeur au droit ou à proximité de la zone (cf. tableaux ci-après).

	DEKRA 2015				
Paramètre	PzR7	PzR10	Concentrations retenues pour le dégazage au sein du bâtiment A		Piézair où la concentration a été mesurée
Unité	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	
<b>BTEX</b>					
Toluène	299	243	299	0,299	PzR7
Ethylbenzène	93	62	93	0,093	PzR7
Xylènes	565	393	565	0,565	PzR7
<b>COHV</b>					
tétrachloroéthylène	<16	110	110	0,110	PzR10
<b>hydrocarbures volatils (C5-C16)</b>					
fraction aromatique C8-C10	1081	721	1081	1,081	PzR7
fraction aliphatique C6-C8	349	356	356	0,356	PzR10
fraction aliphatique C8-C10	182	121	182	0,182	PzR7

Tableau 6 : Substances et concentrations retenues dans l'air du sol au droit du bâtiment A

	DEKRA 2015				
Paramètre	PzR9	PzR10	Concentrations retenues pour le dégazage au sein des bâtiments B et C		Piézair où la concentration a été mesurée
Unité	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	
<b>BTEX</b>					
Benzène	54	<19	54	0,054	PzR9
Toluène	452	243	452	0,452	PzR9
Ethylbenzène	81	62	467	0,467	PzR9
Xylènes	467	393	467	0,467	PzR9
<b>COHV</b>					
tétrachloroéthylène	226	110	226	0,226	PzR9
1,1,1-trichloroéthane	166	<19	166	0,166	PzR9
<b>Hydrocarbures volatils (C5-C16)</b>					
fraction aromatique C8-C10	2451	721	2451	2,451	PzR9
fraction aliphatique C5-C6	347	<93	347	0,347	PzR9
fraction aliphatique C6-C8	654	356	654	0,654	PzR9
fraction aliphatique C8-C10	413	121	413	0,413	PzR9

Tableau 7 : Substances et concentrations retenues dans l'air du sol au droit des bâtiments B et C



	BURGEAP	DEKRA 2015				
Paramètre	PzR-2	PzR1	PzR3	Concentrations retenues pour le dégazage au sein du bâtiment D		Piézair où la concentration a été mesurée
Unité	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	mg/m³	
<b>BTEX</b>						
Benzène		63	62	63	0,063	PzR1
Toluène		1249	1642	1642	1,642	PzR3
Ethylbenzène		295	467	467	0,467	PzR3
Xylènes		1684	2592	2592	2,592	PzR3
<b>COHV</b>						
tétrachloroéthylène	1955,8	589	622	1955,8	1,956	PzR-2
1,1,1-trichloroéthane		1403	149	1403	1,403	PzR1
trichloroéthylène	1323,6	6035	657	6035	6,035	PzR1
chloroforme		28	<17	28	0,028	PzR1
<b>Hydrocarbures volatils (C5-C16)</b>						
fraction aromatique C8-C10	91,05	4084	5324	5324	5,324	PzR3
fraction aromatique C10-C12		183	<	183	0,183	PzR1
fraction aliphatique C5-C6		140	173	173	0,173	PzR3
fraction aliphatique C6-C8		1354	1061	1354	1,354	PzR1
fraction aliphatique C8-C10	96,9	688	896	896	0,896	PzR3
fraction aliphatique C10-C12		126	<	126	0,126	PzR1

Tableau 8 : Substances et concentrations retenues dans l'air du sol au droit des bâtiments D

DEKRA 2015					
Paramètre	PzR3	PzR6	Concentrations retenues pour le dégazage au sein du bâtiment E		Piézair où la concentration a été mesurée
Unité	µg/m³	µg/m³	µg/m³	mg/m³	
<b>BTEX</b>					
Benzène	62	<26	62	0,062	PzR3
Toluène	1642	192	1642	1,642	PzR3
Ethylbenzène	467	81	467	0,467	PzR3
o-Xylène	2074	133	2074	2,074	PzR3
m,p-Xylène	622	416	622	0,622	PzR3
Somme Xylènes	2592	546	2592	2,592	PzR3
<b>COHV</b>					
tétrachloroéthylène	622	88	622	0,622	PzR3
1,1,1-trichloroéthane	149	<26	149	0,149	PzR3
trichloroéthylène	657	<26	657	0,657	PzR3
chloroforme	<17	<26	-	-	-

Tableau 9 : Substances et concentrations retenues dans l'air du sol au droit des bâtiments E

DEKRA 2015					
Paramètre	PzR4	PzR5	Concentrations retenues pour le dégazage au sein du bâtiment G		Piézzair où la concentration a été mesurée
Unité	µg/m³	µg/m³	µg/m³	mg/m³	
<b>BTEX</b>					
Benzène	129	<19	129	0,129	PzR4
Toluène	1482	125	1482	1,482	PzR4
Ethylbenzène	323	50	323	0,323	PzR4
o-Xylène	391	73	391	0,391	PzR4
m,p-Xylène	1347	250	1347	1,347	PzR4
Somme Xylènes	1752	308	1752	1,752	PzR4
<b>COHV</b>					
tétrachloroéthylène	162	<19	162	0,162	PzR4
1,1,1-trichloroéthane	96	27	96	0,096	PzR4
trichloroéthylène	32	<19	32	0,032	PzR4
chloroforme	<13	<19	-	-	-
<b>TPH</b>					
fraction aromatique C6-C7	129		129	0,129	PzR4
fraction aromatique C7-C8	1482		1482	1,482	PzR4
fraction aromatique C8-C10	2964		2964	2,964	PzR4
fraction aromatique C10-C12	<135		-	-	-
fraction aromatique C12-C16	<135		-	-	-
fraction aliphatique C5-C6	391		391	0,391	PzR4
fraction aliphatique C6-C8	1482		1482	1,482	PzR4
fraction aliphatique C8-C10	499		499	0,499	PzR4
fraction aliphatique C10-C12	93		93	0,093	PzR4
fraction aliphatique C12-C16	<67		-	-	-

Tableau 10 : Substances et concentrations retenues dans l'air du sol au droit des bâtiments G

DEKRA 2015						
Paramètre	PzR3	PzR4	PzR9	Concentrations retenues pour le dégazage en extérieur		Piézzair où la concentration a été mesurée
Unité	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	mg/m³	
<b>BTEX</b>						
Benzène	62	129	54	129	0,129	PzR4
Toluène	1642	1482	452	1642	1,642	PzR3
Ethylbenzène	467	323	81	467	0,467	PzR3
o-Xylène	2074	391	102	2074	2,074	PzR3
m,p-Xylène	622	1347	362	622	0,622	PzR3
Somme Xylènes	2592	1752	467	2592	2,592	PzR3
<b>COHV</b>						
tétrachloroéthylène	622	162	226	622	0,622	PzR3
1,1,1-trichloroéthane	149	96	166	166	0,166	PzR9
trichloroéthylène	657	32	<15	657	0,657	PzR3
chloroforme	<17	<13	<15	-	-	-
<b>hHydrocarbures totaux</b>						
fraction C5-C6	173	391	347	391	0,391	PzR4
fraction C6-C8	2765	3099	1160	3099	3,099	PzR4
fraction C8-C10	6221	3368	2863	6221	6,221	PzR3
fraction C10-C12	<259	<202	<226	-	-	-
fraction C12-C16	<259	<202	<226	-	-	-
hydrocarbures volatils (C5-C16)	9504	7141	4370	-	-	-
<b>TPH</b>						
fraction aromatique C6-C7		129		129	0,129	PzR4
fraction aromatique C7-C8		1482		1482	1,482	PzR4
fraction aromatique C8-C10		2964		2964	2,964	PzR4
fraction aromatique C10-C12		<135		-	-	-
fraction aromatique C12-C16		<135		-	-	-
fraction aliphatique C5-C6		391		391	0,391	PzR4
fraction aliphatique C6-C8		1482		1482	1,482	PzR4
fraction aliphatique C8-C10		499		499	0,499	PzR4
fraction aliphatique C10-C12		93		93	0,093	PzR4
fraction aliphatique C12-C16		<67		-	-	-

Tableau 11 : Substances et concentrations retenues dans l'air du sol au droit des extérieurs





### 3.3.2 SCENARIO 2 - 1 NIVEAU DE SOUS-SOL

Dans le cadre du scénario 2, l'hypothèse d'une excavation des sols jusqu'à une profondeur de 3 m pour permettre la construction d'un niveau de sous-sol a été retenue,

Les pollutions résiduelles seront alors constituées par les polluants présents dans les sols au-delà de 3 m de profondeur (seul sondage impacté à cette profondeur (d'après les données à disposition) = D1 (4-5m) présentant des traces de PCE, et les composés volatils présents dans la nappe.

#### ▪ Substances retenues

Le composé détecté dans les sols au niveau du sondage D1 (4 – 5 m) a été retenu en première approche pour le bâtiment D.

Il s'agit du :

- Composé Organo-Halogénés Volatils (COHV) : Tetrachloroéthylène

L'ensemble des composés détectés au niveau de la nappe ont été retenu en première approche.

Il s'agit des :

- Composé Organo-Halogénés Volatils (COHV) : Tetrachloroéthylène, 1,1,1-trichloréthane, trichloroéthylène, chloroforme.

#### ▪ Concentrations retenues dans le sol

La concentration retenue pour le calcul dans le sol correspond à la concentration maximale mesurée dans le sol au droit du bâtiment D, au-delà de 3 m (entre 4 et 5 m), à savoir 0,14 mg/kg de MS.

→ Les composés présents en teneur inférieure au seuil de détection du laboratoire n'ont pas été retenus, ces seuils sont en effet jugés suffisamment faibles.

#### ▪ Concentrations retenues dans les eaux souterraines

Les concentrations retenues pour le calcul des doses d'expositions correspondent aux teneurs maximales mesurées dans les eaux souterraines localisés au droit ou à proximité des bâtiments concernés, à savoir celle du PZ2 (sur site). Les concentrations retenues dans le cadre de l'EQRS sont présentées dans le tableau suivant.

→ Les composés présents en teneur inférieure au seuil de détection du laboratoire n'ont pas été retenus, ces seuils sont en effet jugés suffisamment faibles.

Concentrations retenues dans les eaux souterraines pour les scénarii 2 et 3		
tétrachloroéthylène	µg/l	9,7
1,1,1-trichloroéthane	µg/l	0,41
trichloroéthylène	µg/l	0,41
chloroforme	µg/l	0,47

Tableau 12 : Composés retenus dans les eaux souterraines pour les scénarii 2 et 3

### 3.3.3 SCENARIO 2 - 2 NIVEAUX DE SOUS-SOL

Dans le cadre du scénario 3, l'hypothèse d'une excavation des sols jusqu'à une profondeur de 6 m pour permettre la construction d'un niveau de sous-sol a été retenu,

- Les pollutions résiduelles seront alors constituées uniquement par les composés volatils présents dans la nappe (absence de résiduel dans les sols).

#### ▪ Substances retenues

L'ensemble des composés détectés au niveau de la nappe ont été retenu en première approche.

Il s'agit des :

- Composé Organo-Halogénés Volatils (COHV) : Tétrachloroéthylène, 1,1,1-trichloroéthane, trichloroéthylène, chloroforme.

Les sols n'ont pas été retenus puisque à la profondeur de 6 m, nous sommes dans la nappe.

#### ▪ Concentrations retenues dans les eaux souterraines

Les concentrations retenues pour le calcul des doses d'expositions correspondent aux teneurs maximales mesurées dans les eaux souterraines localisés au droit ou à proximité des bâtiments concernés, à savoir celle du PZ2 (Ilot L). Les concentrations retenues dans le cadre de l'EQRS sont présentées dans le tableau suivant.

→ Les composés présents en teneur inférieure au seuil de détection du laboratoire n'ont pas été retenus, ces seuils sont en effet jugés suffisamment faibles.

Concentrations retenues dans les eaux souterraines pour les scénarii 2 et 3		
tétrachloroéthylène	µg/l	9,7
1,1,1-trichloroéthane	µg/l	0,41
trichloroéthylène	µg/l	0,41
chloroforme	µg/l	0,47

Tableau 13 : Composés retenus dans les eaux souterraines pour les scénarii 2 et 3

## 4 EVALUATION DES EXPOSITIONS

### 4.1 DEFINITION DES CONCENTRATIONS D'EXPOSITION

Dans cette phase, il s'agit de quantifier les doses de substances auxquelles sont exposées les cibles.

Les doses d'exposition, pour un type de cible, une substance et une voie d'exposition donnée sont détaillées dans les chapitres suivants.

- Formule générale de calcul de l'exposition

Pour la voie orale et la voie cutanée, la formule de la dose journalière d'exposition est, pour une substance et une voie d'exposition :

$$\text{DJE (mg/kg}_{\text{pc}}/\text{j}) = \frac{C_{\text{env}} \cdot Q_{\text{adm}} \cdot F \cdot D_{\text{exp}}}{P \cdot D_{\text{moy}}}$$

avec  $C_{\text{env}}$  : concentration dans le milieu administré (air, eau, aliment...) (mg/kg)

$Q_{\text{adm}}$  : quantité de milieu administrée par voie d'exposition (orale/cutanée) (kg/j)

$F$  : fréquence d'exposition (jour/an)

$D_{\text{exp}}$  : durée d'exposition en années (unité : an) ; 3 ans / élèves et 42 ans / adulte

$P$  : poids corporel (unité : kgpc) ; 57,7 kg / élèves, ou 70 kg / adulte

$D_{\text{moy}}$  : durée sur laquelle l'exposition est moyennée (unité : jours), c'est-à-dire  $D_{\text{exp}}$  pour le calcul de la dose d'exposition pour un effet à seuil et  $D_{\text{vie}} = 70$  ans pour un effet sans seuil

Pour la voie respiratoire, la dose journalière d'exposition est remplacée par la concentration moyenne inhalée, CI, par jour :

$$\text{CI (mg/m}^3\text{)} = \sum_i (C_i \cdot t_i) \cdot \frac{F \cdot fr \cdot D_{\text{exp}}}{D_{\text{moy}}}$$

avec  $C_i$  : concentration en polluants dans l'air inhalé pendant la fraction de temps  $t_i$  (mg/m<sup>3</sup>)

$t_i$  : fraction de temps exposé à la concentration  $C_i$  pendant une journée (sans unité)

$F$  : fréquence d'exposition (jour/an)

$fr$  : facteur de rétention des poussières dans les poumons (sans unité) ; 0,75

$D_{\text{exp}}$  : durée d'exposition (unité : an) ; 3 ans / élèves et 42 ans / adulte

$D_{\text{moy}}$  : durée sur laquelle l'exposition est moyennée (unité : jours) ; c'est-à-dire  $D_{\text{exp}}$  pour le calcul de la dose d'exposition pour un effet à seuil et  $D_{\text{vie}} = 70$  ans pour un effet sans seuil

L'exposition totale à une substance pour un scénario et un récepteur est la somme des expositions par chacune des voies d'expositions.

## 4.2 EVALUATION LIEE A L'INHALATION DE VAPEURS

### ▪ Outil de l'évaluation

L'équation permettant de déterminer les CI (concentrations inhalées) présentée au paragraphe précédent a été utilisée pour l'évaluation des expositions liées à l'inhalation de vapeurs.

Les concentrations dans l'air ont été estimées à partir d'un code de calcul permettant de simuler les phénomènes de dégazage des substances depuis les sols et les eaux souterraines.

Les équations du logiciel RISC 4.0 (développé par BP oil International version de 2001) réécrites sous Excel ont été utilisées pour l'évaluation des expositions dans l'air.

La modélisation des expositions aux vapeurs dans l'air intérieur, à partir de l'air du sol, des sols ou des eaux, a été réalisée à partir équations de *Johnson & Ettinger (1991)* utilisées avec une source de pollution infinie. Le transfert de vapeur est conditionné par un mouvement diffusif (équations de *Millington and Quirck* et équation de *Fick*) et un mouvement convectif induit par les effets de la ventilation.

Les équations utilisées pour réaliser ces simulations sont présentées en annexe.

### **Cf. Annexe 2 : Détails des calculs**

### ▪ Valeurs des paramètres

Les paramètres permettant d'estimer les concentrations *dans l'air extérieur*, par dégazage des substances depuis les sols, ont été déterminés à partir :

- des données de terrain (par ex : profondeur de la source sol, teneur en matière sèche ...) ;
- des données de la littérature pour les paramètres non mesurés (ex : porosité du sol), en se basant sur des valeurs adaptées à la réalité du terrain.

Les valeurs des paramètres permettant de calculer les CI sont présentées dans les tableaux suivants :

- valeurs des paramètres d'exposition pour les cibles ;
- valeurs des paramètres de modélisation.

### ▪ Paramètres d'exposition des cibles

Les cibles suivantes ont été retenues :

- Cible 1 : Salariés (professeur, personnel administratif...) ;
- Cible 2 : Elèves,
- Cible 3 : Salariés résidents (Bâtiment A).

Les paramètres suivants ont été définis, ils sont communs au trois scénarii :

Paramètre		unité	Cible 1 Salariés	Cible 2 Elèves	Cible 3 Résident
Dexp	Durée d'exposition	An	42	5	42
Dvie	Durée de vie	An	70	70	70
Fexp	Fréquence d'exposition	Jr/an	180	180	350
T <sub>ext</sub>	Taux d'exposition en extérieur	-	2h/24h	2h/24h	2h/24h
T <sub>int</sub>	Taux d'exposition en intérieur	-	8h/24h	8h/24h	22h/24h
T <sub>ssol</sub>	Taux d'exposition en sous-sol (scénarii 2 et 3)	-	0,5h/24h	-	0,5h/24h

Tableau 14 : Valeur des paramètres d'exposition pour les cibles.

#### Durée d'exposition :

Cibles 1 et 3 : Nous avons retenu une durée d'exposition de 42 ans, cette hypothèse est majorante puisqu'elle implique que la personne travaillera toute sa vie dans le même lycée.

Cible 2 : la durée d'exposition de 5 ans correspond au nombre d'années du lycée (seconde, première et terminale) et de BTS (2 ans).

#### Fréquence d'exposition :

Cibles 1 et 2 : La fréquence d'exposition a été choisie de 180 jours /an, elle correspond à la durée annuelle des cours.

Cible 3 : la fréquence d'exposition a été choisie de 350 jours, elle correspond à une année complète déduite de 15 jours de vacances en dehors du site.

#### Fraction de temps passé à l'intérieur / à l'extérieur :

Cibles 1, 2 et 3 : Nous avons pris en compte une exposition de 2 heures sur les extérieurs (temps de pause par exemple).

Cibles 1 et 2 : Concernant le temps d'exposition intérieur, nous avons considéré que les salariés et élèves passent 8h par jour de cours en intérieur.

Cible 3 : Nous avons considérés un temps d'exposition de 22 heures correspondant à une journée moins les 2 heures considérés en extérieur.

Cible 1 : Nous avons considéré un temps d'exposition de 0,5 heures en sous-sol caractéristique d'un parking en sous-sol.

Cible 2 : Nous avons pris en compte une exposition de 1 heure au droit du bâtiment E (cantine) (temps de déjeuner).

Cible 2 : Nous avons pris en compte une exposition de 0,4 heure au droit du bâtiment G (complexe sportif) correspondant à environ 2 h de sport par semaine.



▪ Paramètres de modélisation

**Caractéristiques communes (zone saturée : sols et gaz du sol ; non saturée : eaux souterraines).**

Les paramètres utilisés pour la modélisation sont synthétisés dans les tableaux suivants.

	unité	Paramètres communs aux modélisations du dégazage de composés volatils	Origine de la valeur
<b>Caractéristiques de la zone non saturée</b>			
<b>0-1 m : Remblais sablo-graveleux</b>			
Porosité totale	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,375	Valeur par défaut pour des Sables (US EPA) - En l'absence de valeur pour des sables graveleux
Contenu en eau	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,08	D'après les taux de matière sèche mesurés sur site dans cette tranche de sols
Fraction de carbone organique	mg/mg	0,045	Moyenne des valeurs mesurées entre 0 et 1 m de profondeur
Densité du sol	g/cm <sup>3</sup>	1,66	Valeur par défaut pour des Sables (US EPA)
<b>1-2 m : Argile sableuse</b>			
Porosité totale	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,385	Valeur par défaut pour des argiles sableuses (US EPA)
Contenu en eau	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,1	D'après les taux de matière sèche mesurés sur site dans cette tranche de sols
Fraction de carbone organique	mg/mg	0,043	Moyenne des valeurs mesurées entre 1 et 2 m de profondeur
Densité du sol	g/cm <sup>3</sup>	1,63	Valeur par défaut pour des Argiles sableuses (US EPA)
<b>2-4 m : Sables graveleux</b>			
Porosité totale	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,375	Valeur par défaut pour des Sables (US EPA) - En l'absence de valeur pour des sables graveleux
Contenu en eau	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,11	D'après les taux de matière sèche mesurés sur site dans cette tranche de sols
Fraction de carbone organique	mg/mg	0,0099	Valeur mesurée entre 2 et 4 m de profondeur
Densité du sol	g/cm <sup>3</sup>	1,66	Valeur par défaut pour des Sables (US EPA)
<b>Caractéristiques de la zone saturée</b>			
<b>&gt; 4 m : Sables graveleux</b>			
Porosité totale	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,375	Valeur par défaut pour des Sables (US EPA) - En l'absence de valeur pour des sables graveleux
Contenu en eau	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,253	Valeur par défaut pour des sables (US EPA)
Epaisseur de la frange capillaire	cm	17	Valeur par défaut pour des sables (US EPA)
Contenu en air de la frange capillaire	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,122	Valeur par défaut pour des sables (US EPA)

Tableau 15 : Valeurs des paramètres pour le dégazage - paramètres communs caractérisant la zone non saturée et saturée

### Caractéristiques de la zone d'exposition

Les paramètres utilisés pour la modélisation sont synthétisés dans les tableaux suivants (scénario 1, scénario 2/3 et extérieur).

	unité	Scénario 1 - Bâtiments de plain pied	Origine de la valeur
<b>Caractéristiques des zones sources sous les bâtiments</b>			
Distance de la source aux fondations	m	0,1	Source adjacente aux fondations
Epaisseur de la source	m	1,9	Zones polluées situées entre 0 et 2 m de profondeur des piézais
<b>Caractéristiques communes aux bâtiments de plain pied</b>			
Nombre d'échange d'air par jour	échange /j	12	Valeur par défaut pour une habitation (RISC) retenue en l'absence de valeur spécifique pour les bâtiments
Epaisseur des fondations	m	0,1	Faible épaisseur de dalle en l'absence de données (hypothèse majorante)
Différence de pression	g/cm.s <sup>2</sup>	40	Valeur par défaut du logiciel RISC
Perméabilité des sols sous les fondations	cm <sup>2</sup>	1,00E-06	Valeur par défaut pour des sables graveleux (RISC)
Fraction de fissure des fondations	/	2,00E-04	Valeur par défaut de J&E
Porosité du dallage	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,12	Valeur par défaut US EPA
Contenu en eau du dallage	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,07	Valeur par défaut US EPA

Tableau 16 : Valeur des paramètres communs pour le dégazage pour le scénario 1 (plain-pied)

	unité	Scénario 2 ou 3 - Bâtiments sur 1 ou 2 niveaux de sous- sol	Origine de la valeur
<b>Caractéristiques des zones sources sous les bâtiments / constituées par la zone saturée</b>			
Distance de la nappe aux fondations du R-1	m	1,32	Hauteur des sous-sols de 2,68 m d'après plans
Distance de la nappe aux fondations du R-2	m	0,1	Nappe adjacente aux fondations
Distance de la nappe aux extérieurs	m	4	Profondeur minimale de la nappe d'après les relevés de 2015
<b>Caractéristiques de la source sous le bâtiment D uniquement et pour un seul niveau de sous-sol (D1 &gt; 3 m)</b>			
Distance de la source aux fondations	m	0,1	Source adjacente aux fondations
Epaisseur de la source	m	1,5	Profondeur de la source non connu - hypothèse d'une présence jusqu'à la nappe
<b>Caractéristiques communes aux bâtiments sur 1 ou 2 niveaux de sous-sols</b>			
Nombre d'échange d'air par jour	échange / j	24	Valeur par défaut pour un usage industriel (RISC) retenue en l'absence de valeur spécifique pour un parking en sous-sol
Epaisseur des fondations	m	0,1	Faible épaisseur de dalle en l'absence de données (hypothèse majorante)
Différence de pression	g/cm.s <sup>2</sup>	40	Valeur par défaut du logiciel RISC
Perméabilité des sols sous les fondations	cm <sup>2</sup>	1,00E-06	Valeur par défaut pour des sables graveleux (RISC)
Fraction de fissure des fondations	/	2,00E-04	Valeur par défaut de J&E
Porosité du dallage	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,12	Valeur par défaut US EPA
Contenu en eau du dallage	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,07	Valeur par défaut US EPA

Tableau 17 : Valeur des paramètres communs pour le dégazage scénario 2 et 3 (1 ou 2 niveaux de sous-sol)

	unité	Dégazage vers l'extérieur depuis les sols	Origine de la valeur
<b>Caractéristiques des zones sources en extérieur</b>			
Distance de la source aux extérieurs	m	0,3	Sources situées sous 30 cm de terres saines
Epaisseur de la source	m	1,7	Prélèvements d'air du sol effectués jusqu'à 2 m de profondeur et épaisseur des remblais
<b>Caractéristiques des zones extérieure (box-model)</b>			
Hauteur	m	1,5	Hauteur de respiration communément utilisée dans ce type de modélisation
Longueur	m	55	Longueur approximative de la cours selon plan masse
Vitesse du vent	m/s	3,2	Vitesse moyenne du vent de 2005 à 2009 / station Lyon-Bron

Tableau 18 : Valeur des paramètres communs pour le dégazage en extérieur



	unité	Caractéristiques du bâtiment A	Origine de la valeur
<b>R-1 ou R-2 - Sous-sols de la totalité de l'emprise du bâtiment A</b>			
Superficie	m <sup>2</sup>	730	Surface approximative du bâtiment selon plans
Volume	m <sup>3</sup>	1956,4	Hauteur sous plafond de 2,68 m selon plans
Périmètre	m	108	D'après plans
<b>RDC - Bureau de 12,6 m<sup>2</sup> (5,48 m x 2,3 m) / RDC n'accueillant pas d'étudiants</b>			
Superficie	m <sup>2</sup>	12,6	Surface approximative du bureau selon plans
Volume	m <sup>3</sup>	35,3	Hauteur sous plafond de 2,8 m selon plans
Périmètre	m	15,6	D'après plans
<b>R+1 - Salle de cours de 65,76 m<sup>2</sup></b>			
Superficie	m <sup>2</sup>	65,8	Surface approximative de la plus petite salle selon plans
Volume	m <sup>3</sup>	184,1	Hauteur sous plafond de 2,8 m selon plans
Périmètre	m	34	D'après plans
<b>R+2 - Logement de 85 m<sup>2</sup></b>			
Superficie	m <sup>2</sup>	85,0	Surface approximative du plus petit logement
Volume	m <sup>3</sup>	229,5	Hauteur sous plafond de 2,7 m selon plans
Périmètre	m	41	D'après plans

Tableau 19 : Valeur des paramètres communs du bâtiment A

	unité	Caractéristiques du bâtiment B	Origine de la valeur
<b>R-1 ou R-2 - Sous-sols de la totalité de l'emprise du bâtiment B</b>			
Superficie	m <sup>2</sup>	605	Surface approximative du bâtiment selon plans
Volume	m <sup>3</sup>	1621,4	Hauteur sous plafond de 2,68 m selon plans
Périmètre	m	132	D'après plans
<b>RDC - Salle banalisée de 35,6 m<sup>2</sup></b>			
Superficie	m <sup>2</sup>	35,6	Surface approximative de la plus petite salle selon plans
Volume	m <sup>3</sup>	99,7	Hauteur sous plafond de 2,8 m selon plans
Périmètre	m	25	D'après plans

Tableau 20 : Valeur des paramètres du bâtiment B

	unité	Caractéristiques du bâtiment C	Origine de la valeur
<b>R-1 ou R-2 - Sous-sols de la totalité de l'emprise du bâtiment C</b>			
Superficie	m <sup>2</sup>	500	Surface approximative du bâtiment selon plans
Volume	m <sup>3</sup>	1340,0	Hauteur sous plafond de 2,68 m selon plans
Périmètre	m	91	D'après plans
<b>RDC - Amphithéâtre de 267 m<sup>2</sup></b>			
Superficie	m <sup>2</sup>	267,0	Surface approximative de l'amphithéâtre selon plans
Volume	m <sup>3</sup>	1468,5	Hauteur sous plafond de 5,5 m selon plans
Périmètre	m	71	D'après plans

Tableau 21 : Valeur des paramètres communs du bâtiment C

	unité	Caractéristiques du bâtiment D	Origine de la valeur
<b>R-1 ou R-2 - Sous-sols de la totalité de l'emprise du bâtiment D</b>			
Superficie	m <sup>2</sup>	887	Surface approximative du bâtiment selon plans
Volume	m <sup>3</sup>	2377,2	Hauteur sous plafond de 2,68 m selon plans
Périmètre	m	118	D'après plans
<b>RDC - Salle d'étude de 56 m<sup>2</sup></b>			
Superficie	m <sup>2</sup>	56,0	Surface approximative de la salle d'étude selon plans
Volume	m <sup>3</sup>	156,8	Hauteur sous plafond de 2,8 m selon plans
Périmètre	m	30	D'après plans

Tableau 22 : Valeur des paramètres communs du bâtiment D

	unité	Caractéristiques du bâtiment E	Origine de la valeur
<b>R-1 ou R-2 - Sous-sols de la totalité de l'emprise du bâtiment E</b>			
Superficie	m <sup>2</sup>	860	Surface approximative du bâtiment selon plans
Volume	m <sup>3</sup>	2304,8	Hauteur sous plafond de 2,68 m selon plans
Périmètre	m	124	D'après plans
<b>RDC - Salle banalisée de 56 m<sup>2</sup></b>			
Superficie	m <sup>2</sup>	41,0	Surface approximative de la plus petite salle selon plans
Volume	m <sup>3</sup>	114,8	Hauteur sous plafond de 2,8 m selon plans
Périmètre	m	26	D'après plans

Tableau 23 : Valeur des paramètres communs du bâtiment E

	unité	Caractéristiques du bâtiment G	Origine de la valeur
<b>R-1 ou R-2 - Sous-sols de la totalité de l'emprise du bâtiment G</b>			
Superficie	m <sup>2</sup>	1500	Surface approximative du bâtiment selon plans
Volume	m <sup>3</sup>	4020	Hauteur sous plafond de 2,68 m selon plans
Périmètre	m	175	D'après plans
<b>RDC - Salle de sport - superficie non détaillée sur plan</b>			
Superficie	m <sup>2</sup>	200,0	Surface proposée de 200 m <sup>2</sup> (10 m x 20 m) pour une salle de sport
Volume	m <sup>3</sup>	1880,0	Hauteur sous plafond minimale de 9,4 m selon plans
Périmètre	m	60	Périmètre correspondant à une salle de 10 m x 20 m

Tableau 24 : Valeur des paramètres communs du bâtiment G

## 5 CARACTERISATION DES RISQUES

La caractérisation des risques est l'étape finale d'un calcul de risque. Les résultats de l'évaluation de l'exposition et des dangers sont intégrés sous la forme d'une expression quantitative du risque.

Afin de caractériser les effets potentiels, les concentrations d'exposition (calculées dans l'évaluation de l'exposition) sont comparées avec les valeurs toxicologiques de référence (présentées dans l'évaluation des dangers).

Ces comparaisons sont faites séparément pour les substances cancérogènes et les substances non cancérogènes.

Les risques sont d'abord calculés pour chaque substance et chaque voie d'exposition.

L'exposition à plusieurs substances peut induire l'additivité, la synergie (amplification des effets) ou l'antagonisme (annulation des effets).

En l'absence de données sur la synergie entre les substances, il a été considéré, en première approche, l'additivité des risques liés à l'exposition à plusieurs substances dont on suppose que les effets propres à chacune vont s'additionner.

### 5.1 PRINCIPES DE L'EVALUATION

- Calcul de risque pour les substances non cancérogènes

Pour les substances non cancérogènes, la possibilité de survenue d'un effet toxique chez l'homme est représentée par un **Quotient de Danger (QD)**, également appelé Indice de Risque (IR), calculé comme suit :

Pour la voie d'exposition par inhalation :  $QD = CI / RfC$

Pour les autres voies d'exposition :  $QD = DJE / RfD$

→ La circulaire du Ministère en charge de l'Environnement (2007) recommande de considérer comme acceptable un indice de risque cumulé inférieur à 1.

Lorsque le QD est inférieur à 1, la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable, y compris pour les populations sensibles. Au-delà de 1, la possibilité d'apparition d'un effet toxique ne peut être exclue. En outre, cette possibilité apparaît d'autant plus forte que le QD augmente, mais ce n'est pas une relation linéaire.

- Calcul de risque pour les substances cancérogènes

L'effet cancérogène implique que, quel que soit le niveau d'exposition, la substance est susceptible d'induire un effet. Il y a donc un risque dès la première dose d'exposition – on parle dans ce cas d'effet sans seuil.



La relation entre le niveau d'exposition chez l'homme et la probabilité de développer un cancer est exprimée par l'**Excès de Risque Unitaire (ERU)**.

L'ERU représente la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu a de développer un cancer s'il est exposé toute sa vie à une unité de dose toxique.

L'ERU multiplié par la Concentration Inhalé (CI) pour l'inhalation, ou la Dose Journalière d'Exposition (DJE) pour les autres voies, permet de déduire un **Excès de Risque Individuel (ERI)**, qui représente la probabilité que l'individu a de développer l'effet (cancer) associé à la substance, pendant toute sa vie, du fait de l'exposition considérée.

Pour la voie d'exposition par inhalation : **ERI = CI x ERU**

Pour les autres voies d'exposition : **ERI = DJE x ERUo**

L'ERI est calculé pour chaque substance. En première approche, on considérera pour l'évaluation du risque la somme des ERI ainsi calculés.

Cette valeur d'ERI est à comparer à un niveau de risque acceptable généralement compris entre  $10^{-4}$  et  $10^{-6}$ .

Un risque de  $10^{-5}$  signifie l'apparition d'un cas de cancer supplémentaire dû à l'exposition à la substance, dans une population de 100 000 personnes, en plus du risque de base.

→ Les recommandations de l'annexe II de la circulaire du 8 février 2007 indiquent que le niveau de risque acceptable correspond à un ERI inférieur à la valeur de  $10^{-5}$ .

## 5.2 RESULTATS DES CONCENTRATIONS DE POLLUANTS SOUS FORME VAPEUR

### 5.2.1 SCENARIO 1 - PLAIN-PIED

Les résultats des concentrations de polluants (sous forme gazeuse) dans l'air, pour le scénario de plain-pied, sont présentés ci-dessous.

Concentration moyenne modélisée dans l'air ambiant (mg/m <sup>3</sup> ) / Scénario 1	Rdc Bât A	R+1 Bât A	R+2 Bât A	Rdc Bât B	Rdc Bât C	Rdc Bât D	Rdc Bât E	Rdc Bât G	Extérieur*
Chloroforme						4,47E-04			
1,1,1-trichloréthane				2,50E-03	8,62E-04	1,93E-02	2,17E-03	3,09E-04	6,01E-06
Trichloroéthylène						8,34E-02	9,64E-03	1,03E-04	2,41E-05
Tetrachloroéthylène (PCE)	1,83E-03	1,83E-04	1,90E-05	3,24E-03	1,13E-03	2,56E-02	8,63E-03	5,02E-04	2,08E-05
Benzène				8,75E-04	2,94E-04	9,24E-04	9,69E-04	4,37E-04	5,27E-06
Toluène	5,71E-03	5,71E-04	5,92E-05	7,28E-03	2,45E-03	2,39E-02	2,55E-02	4,99E-03	6,63E-05
Ethylbenzène	1,60E-03	1,60E-04	1,65E-05	6,87E-03	2,39E-03	6,27E-03	6,64E-03	1,02E-03	1,63E-05
Xylènes	9,41E-03	9,41E-04	9,76E-05	6,69E-03	2,34E-03	3,40E-02	3,60E-02	5,43E-03	8,66E-05
HCT aliphatiques C5-C6				6,05E-03	1,98E-03	2,71E-03	2,90E-03	1,39E-03	1,81E-05
HCT aliphatiques C6-C8	7,48E-03	7,48E-04	7,75E-05	1,14E-02	3,74E-03	2,12E-02	1,78E-02	5,28E-03	6,88E-05
HCT aliphatiques C8-C10	3,82E-03	3,83E-04	3,96E-05	7,20E-03	2,36E-03	1,40E-02	1,50E-02	1,78E-03	4,16E-05
HCT aliphatiques C10-C12						1,97E-03	9,26E-03	3,31E-04	4,32E-06
HCT aromatiques C8-C10	2,27E-02	2,27E-03	2,35E-04	4,27E-02	1,40E-02	8,34E-02	8,93E-02	1,06E-02	2,47E-04
HCT aromatiques C10-C12						2,87E-03	1,34E-02		

Tableau 25 : Résultats des concentrations de polluant dans l'air, sous forme gazeuse. – scénario 1 (plain-pied)

## 5.2.2 SCENARI 2 - 1 NIVEAU DE SOUS-SOL

Les résultats des concentrations de polluants (sous forme gazeuse) dans l'air, pour le scénario avec 1 niveau de sous-sol, sont présentés ci-dessous.

Concentration moyenne modélisée dans l'air ambiant (mg/m <sup>3</sup> ) / Scénario 2	R-1 Bât A	Rdc Bât A	R+2 Bât A	R-1 Bât B	Rdc Bât B	R-1 Bât C	Rdc Bât C	R-1 Bât D	Rdc Bât D	R-1 Bât E	Rdc Bât E	R-1 Bât G	Rdc Bât G
Chloroforme	2,44E-05	4,66E-06	4,66E-08	2,50E-05	4,79E-06	2,47E-05	2,41E-06	2,41E-05	4,62E-06	2,43E-05	4,65E-06	2,43E-05	1,39E-06
1,1,1-trichloréthane	8,62E-05	1,65E-05	1,65E-07	8,80E-05	1,68E-05	8,72E-05	8,50E-06	8,57E-05	1,64E-05	8,61E-05	1,65E-05	8,61E-05	4,91E-06
Trichloroéthylène	4,66E-05	8,91E-06	8,91E-08	4,75E-05	9,10E-06	4,71E-05	4,59E-06	4,62E-05	8,85E-06	4,65E-05	8,90E-06	4,65E-05	2,65E-06
Tetrachloroéthylène	2,35E-03	4,50E-04	4,50E-06	2,40E-03	4,59E-04	2,38E-03	2,32E-04	2,15E-02	4,13E-03	2,35E-03	4,50E-04	2,35E-03	1,34E-04

Tableau 26 : Résultats des concentrations de polluant dans l'air, sous forme gazeuse – scénario 2 (1 niveau de sous-sol).

## 5.2.3 SCENARI 3 - 2 NIVEAUX DE SOUS-SOL

Les résultats des concentrations de polluants (sous forme gazeuse) dans l'air, pour le scénario avec 2 niveaux de sous-sol, sont présentés ci-dessous.

Concentration moyenne modélisée dans l'air ambiant (mg/m <sup>3</sup> ) / Scénario 3	R-2 Bât A	Rdc Bât A	R+2 Bât A	R-2 Bât B	Rdc Bât B	R-2 Bât C	Rdc Bât C	R-2 Bât D	Rdc Bât D	R-2 Bât E	Rdc Bât E	R-2 Bât G	Rdc Bât G
Chloroforme	6,18E-05	1,18E-06	1,18E-08	6,41E-05	1,23E-06	6,31E-05	6,15E-07	6,10E-05	1,17E-06	6,16E-05	1,18E-06	6,16E-05	3,51E-07
1,1,1-trichloréthane	2,20E-04	4,22E-06	4,22E-08	2,27E-04	4,34E-06	2,24E-04	2,18E-06	2,18E-04	4,18E-06	2,20E-04	4,21E-06	2,20E-04	1,25E-06
Trichloroéthylène	1,19E-04	2,28E-06	2,28E-08	1,23E-04	2,35E-06	1,21E-04	1,18E-06	1,18E-04	2,26E-06	1,19E-04	2,27E-06	1,19E-04	6,77E-07
Tetrachloroéthylène	6,03E-03	1,15E-04	1,15E-06	6,19E-03	1,19E-04	6,12E-03	5,96E-05	5,98E-03	1,14E-04	6,01E-03	1,15E-04	6,01E-03	3,43E-05

Tableau 27 : Résultats des concentrations de polluant dans l'air, sous forme gazeuse – scénario 3 (2 niveaux de sous-sol).



## 5.3 RESULTATS DE LA CARACTERISATION DES RISQUES

Pour les scénarii étudiés, les indices de risque et les excès de risque individuels cumulés pour l'ensemble des substances et des voies d'exposition sont synthétisés dans les tableaux suivants.

### 5.3.1 SCENARII 1 - PLAIN-PIED

Les figures présentées à la suite permettent de distinguer la contribution de chaque substance et voie d'exposition.

CIBLE 1 - Scénario 1 synthèse	QD	ERI
RdC Bâtiment A	4,33E-02	5,29E-08
R+1 Bâtiment A	4,90E-03	1,06E-08
Bâtiment B	7,75E-02	2,33E-06
Bâtiment C	2,65E-02	1,99E+02
Bâtiment D	7,11E+00	3,70E-05
Bâtiment E	2,95E-01	6,61E-06
Bâtiment G	3,71E-02	1,18E-06

Tableau 28 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 1 - cible 1 : salariés.

CIBLE 2 - Scénario 1 synthèse	QD	ERI
RdC Bâtiment A	4,33E-02	6,30E-09
R+1 Bâtiment A	4,90E-03	1,27E-09
Bâtiment B	7,75E-02	2,78E-07
Bâtiment C	2,65E-02	1,99E+02
Bâtiment D	7,11E+00	4,38E-06
Bâtiment E	2,95E-01	7,87E-07
Bâtiment G	3,71E-02	1,41E-07

Tableau 29 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 1 - cible 2 : élèves.

CIBLE 3 - R+2 Bâtiment A	QD			ERI		
	R+2 Bât A	Extérieur	Total	R+2 Bât A	Extérieur	Total
<b>Composés Organo-Halogénés-Volatils</b>						
1,1,1-trichloréthane		4,80E-07	4,80E-07			
Trichloroéthylène		9,63E-04	9,63E-04		4,74E-09	4,74E-09
Tetrachloroéthylène	4,17E-04	4,15E-05	4,59E-04	2,60E-09	2,59E-10	2,86E-09
<b>BTEX</b>						
Benzène		4,39E-05	4,39E-05		6,57E-09	6,57E-09
Toluène	1,73E-05	1,77E-06	1,91E-05			
Ethylbenzène	3,34E-06	2,99E-07	3,64E-06			
Xylènes	8,58E-04	6,92E-05	9,27E-04			
<b>Hydrocarbures totaux</b>						
HCT aliphatiques C5-C6		7,88E-08	7,88E-08			
HCT aliphatiques C6-C8	3,70E-06	2,99E-07	4,00E-06			
HCT aliphatiques C8-C10	3,48E-05	3,32E-06	3,82E-05			
HCT aliphatiques C10-C12		3,45E-07	3,45E-07			
HCT aromatiques C8-C10	1,03E-03	9,87E-05	1,13E-03			
<b>Somme</b>	<b>2,37E-03</b>	<b>1,22E-03</b>	<b>3,59E-03</b>	<b>2,60E-09</b>	<b>1,16E-08</b>	<b>1,42E-08</b>

Tableau 30 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 1 – cible 3 : résidents.



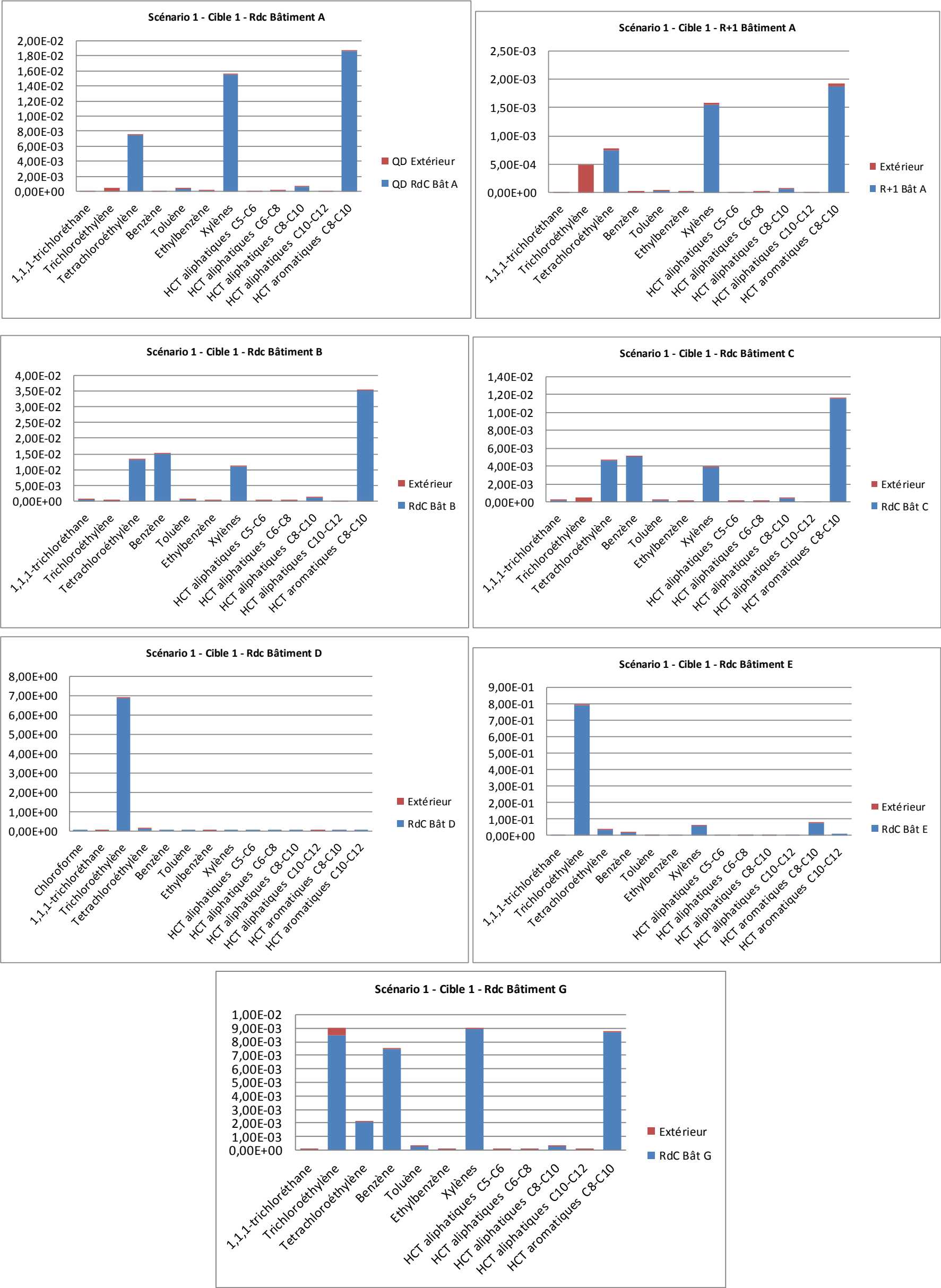


Tableau 31 : Contribution des substances au QD – scénario 1 - cible 1 : salariés.



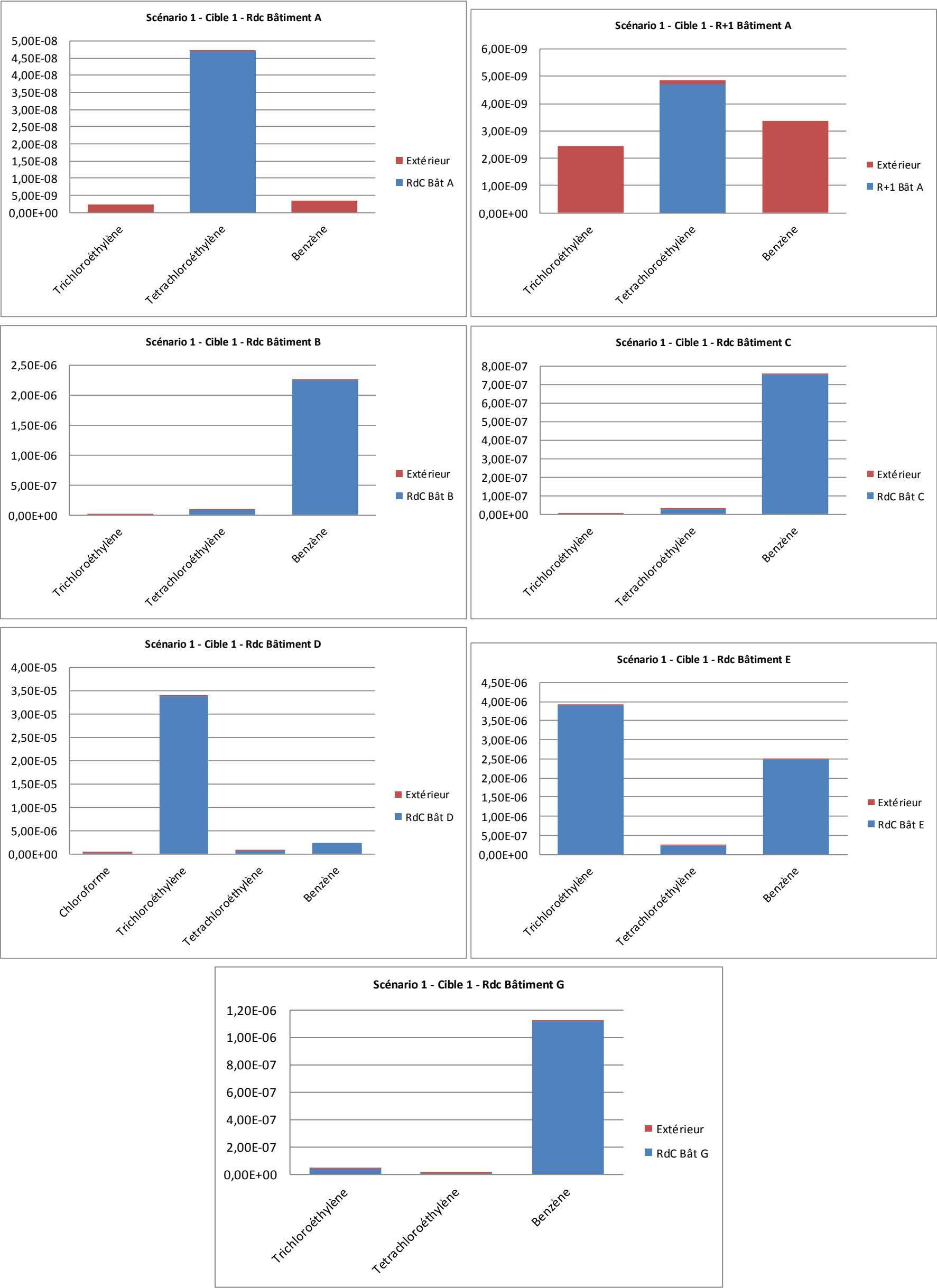


Tableau 32 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 1 - cible 1 : salariés.



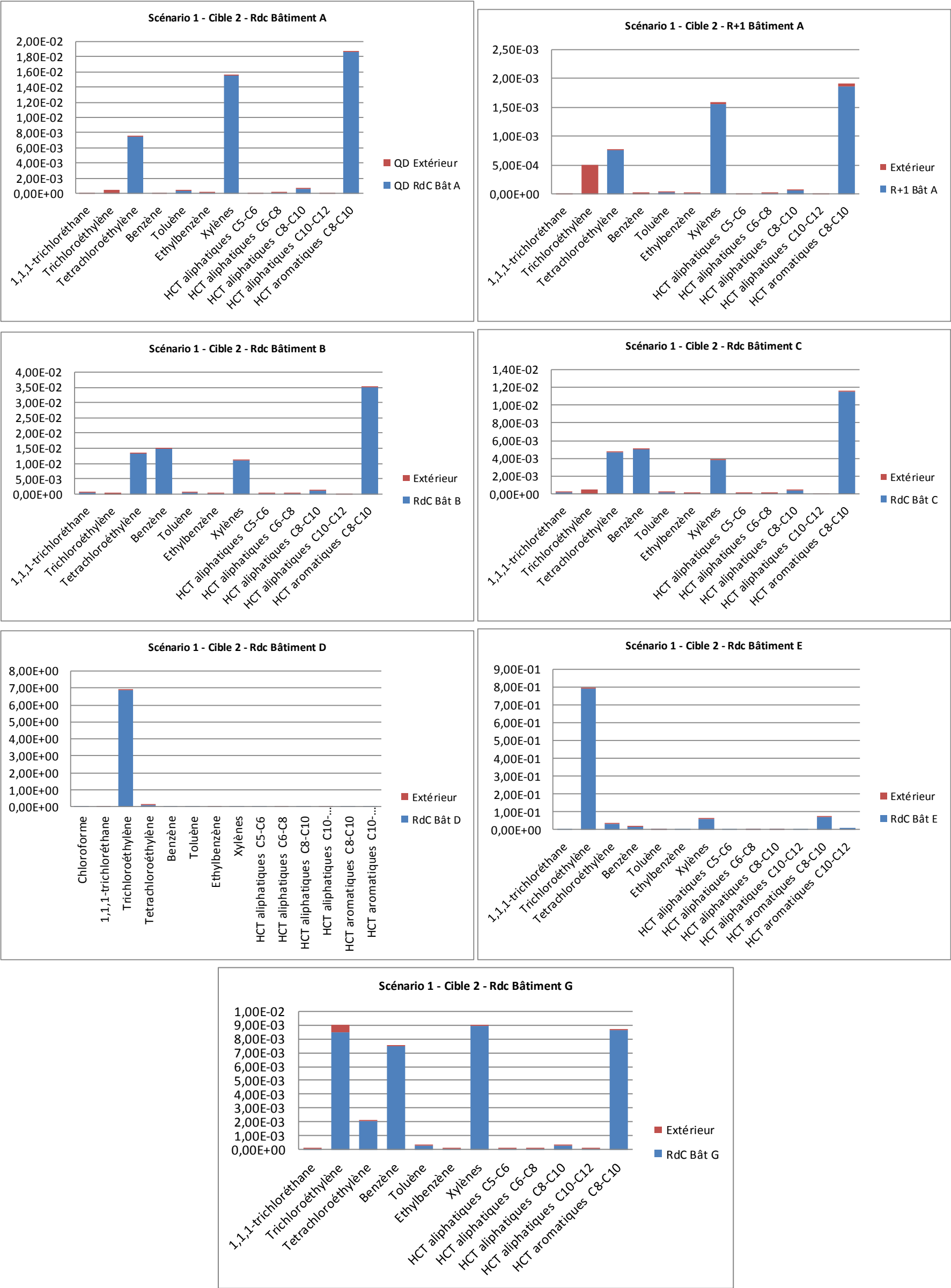


Tableau 33 : Contribution des substances au QD – scénario 1 - cible 2 : élèves.

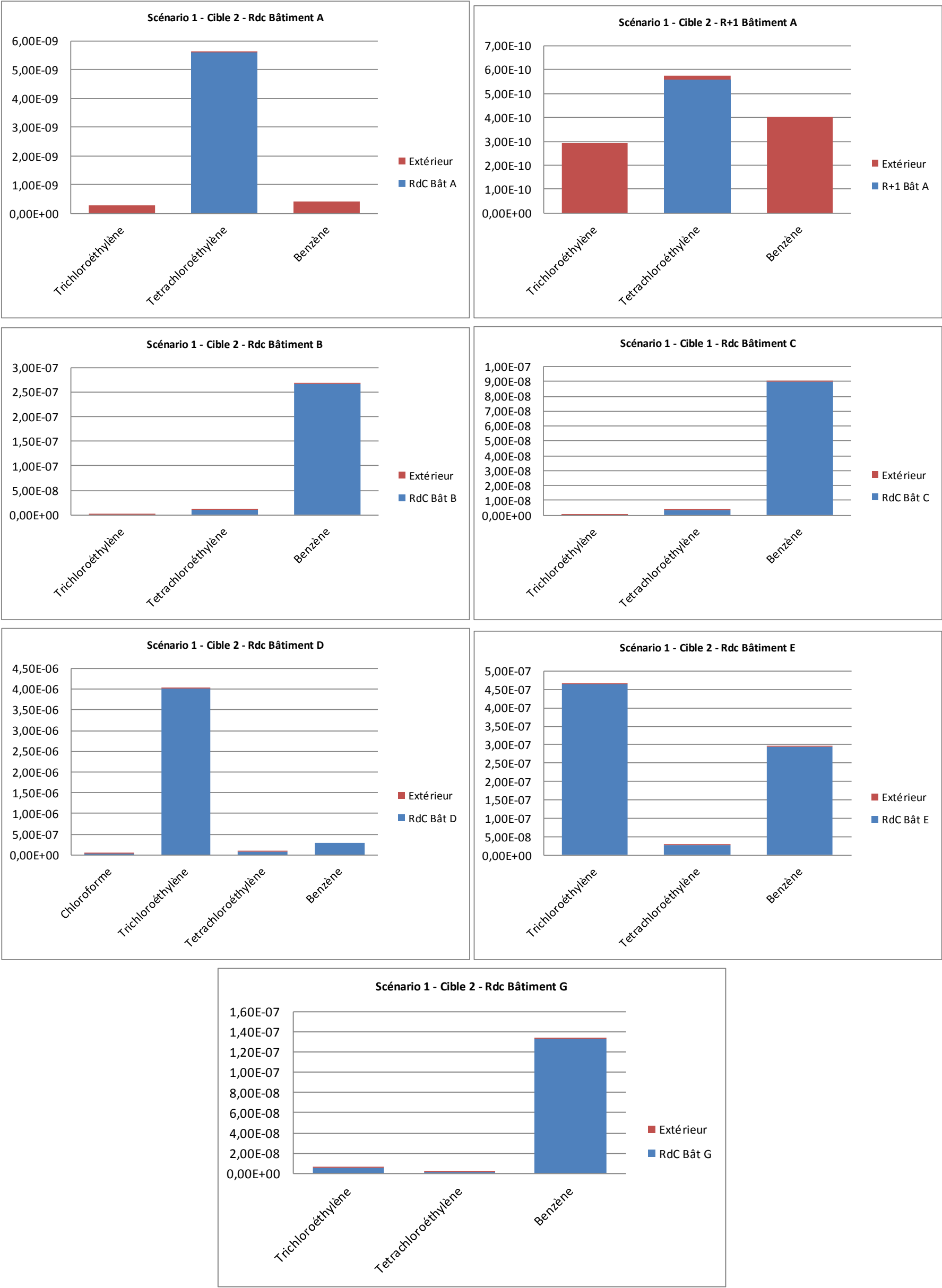


Tableau 34 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 1 - cible 2 : élèves.



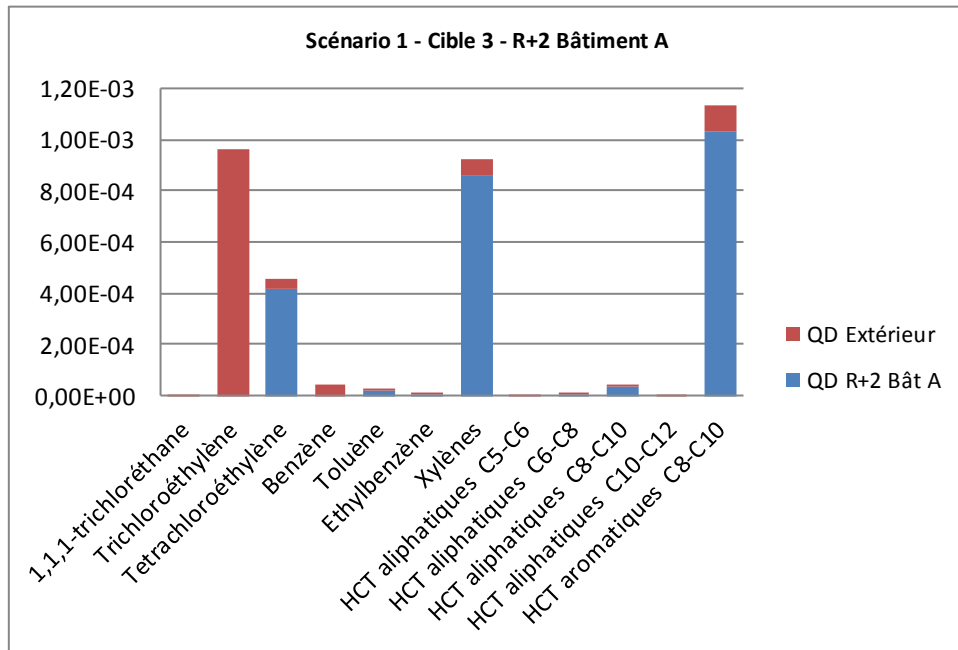


Tableau 35 : Contribution des substances au QD – scénario 1 - cible 3 : résidents

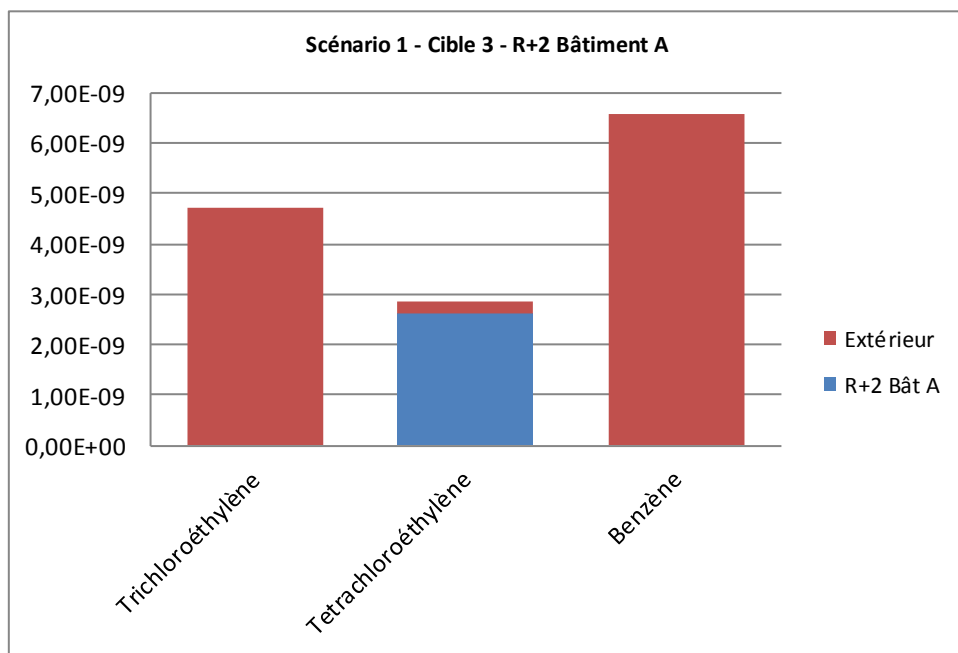


Tableau 36 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 1 - cible 2 : résidents

#### ▪ Risque toxiques (QD)

Pour les cibles 1 (salariés) et 2(élèves) considérées, les risques toxiques sont principalement liés au dégazage du **Trichloroéthylène** au droit du futur bâtiment D.

→ Les résultats mettent donc en évidence des risques toxiques **non acceptables** avec un niveau de risques supérieur à la valeur de 1 au droit du bâtiment D, ils sont jugés inacceptables pour ces 2 cibles (salariés et élèves).

Les niveaux de risques calculés au droit des autres bâtiments sont quant à eux acceptables.

▪ Risque cancérigènes (ERI)

→ Les résultats mettent en évidence des risques cancérigènes **non acceptables** avec un niveau de risques supérieur à la valeur de  $1.10^{-5}$  au droit du bâtiment D, ils sont jugés inacceptables.

Pour la cible 1 (salariés), les risques cancérigènes sont principalement liés au dégazage du **Trichloroéthylène** au droit du futur bâtiment D.

Les niveaux de risques calculés au droit des autres bâtiments sont quant à eux acceptables.

La part la plus importante pour les autres bâtiments est liée au dégazage du Trichloroéthylène au droit du Bâtiment E en RDC.

### 5.3.2 SCENARI 2 - 1 NIVEAU DE SOUS-SOL

Les figures présentées à la suite permettent de distinguer la contribution de chaque substance et voie d'exposition.

CIBLE 1 - Scénario 2 synthèse	QD	ERI
Bâtiment A	4,43E-03	3,49E-08
Bâtiment B	4,48E-03	3,52E-08
Bâtiment C	3,17E-03	2,64E-08
Bâtiment D	1,95E-02	1,29E-07
Bâtiment E	4,42E-03	3,49E-08
Bâtiment G	2,60E-03	2,25E-08

Tableau 37 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 2 - cible 1 : salariés.

CIBLE 2 - Scénario 2 synthèse	QD	ERI
Bâtiment A	4,43E-03	4,15E-09
Bâtiment B	4,48E-03	4,20E-09
Bâtiment C	3,17E-03	3,14E-09
Bâtiment D	1,95E-02	1,54E-08
Bâtiment E	4,42E-03	4,15E-09
Bâtiment G	2,60E-03	2,68E-09

Tableau 38 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 2 - cible 2 : élèves.



CIBLE 3 - Bâtiment A	QD				ERI			
	R-1 Bât A	R+2 Bât A	Extérieur	Total	R-1 Bât A	R+2 Bât A	Extérieur	Total
<b>Composés Organo-Halogénés-Volatils</b>								
Chloroforme	7,72E-06	3,37E-07		3,37E-07	1,55E-09	6,76E-11		6,76E-11
1,1,1-trichloréthane	1,72E-06	7,52E-08	1,40E-06	1,47E-06				
Trichloroéthylène	4,65E-04	2,03E-05	2,80E-03	2,82E-03	2,29E-09	9,99E-11	1,38E-08	1,39E-08
Tetrachloroéthylène	1,17E-03	5,13E-05	1,21E-04	1,72E-04	7,33E-09	3,20E-10	7,54E-10	1,07E-09
<b>BTEX</b>								
Benzène			1,28E-04	1,28E-04			1,91E-08	1,91E-08
Toluène			5,14E-06	5,14E-06				
Ethylbenzène			8,69E-07	8,69E-07				
Xylènes			2,01E-04	2,01E-04				
<b>Hydrocarbures totaux</b>								
HCT aliphatiques C5-C6			2,29E-07	2,29E-07				
HCT aliphatiques C6-C8			8,69E-07	8,69E-07				
HCT aliphatiques C8-C10			9,67E-06	9,67E-06				
HCT aliphatiques C10-C12			1,00E-06	1,00E-06				
HCT aromatiques C8-C10			2,87E-04	2,87E-04				
<b>Somme</b>	<b>1,64E-03</b>	<b>7,17E-05</b>	<b>3,56E-03</b>	<b>3,63E-03</b>	<b>1,12E-08</b>	<b>4,88E-10</b>	<b>3,36E-08</b>	<b>3,41E-08</b>

Tableau 39 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 2 - cible 3 : résidents.

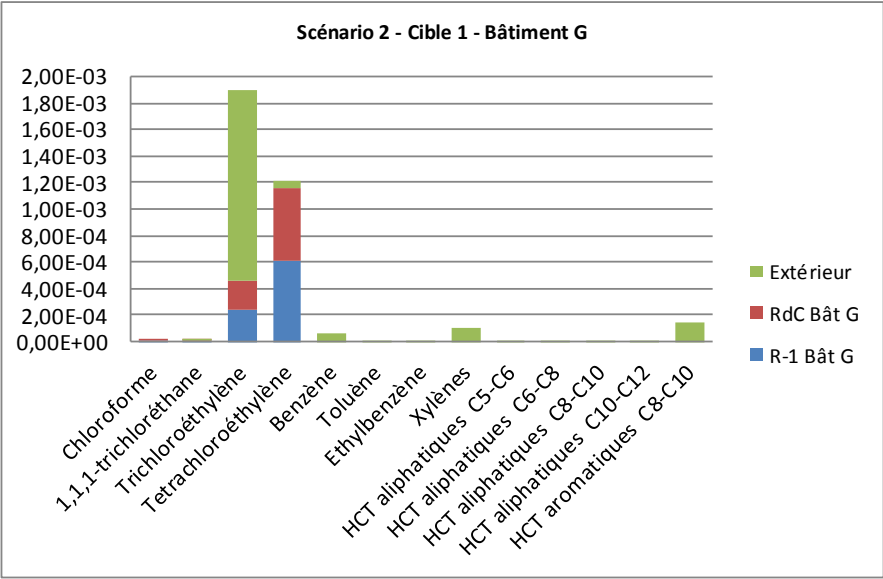
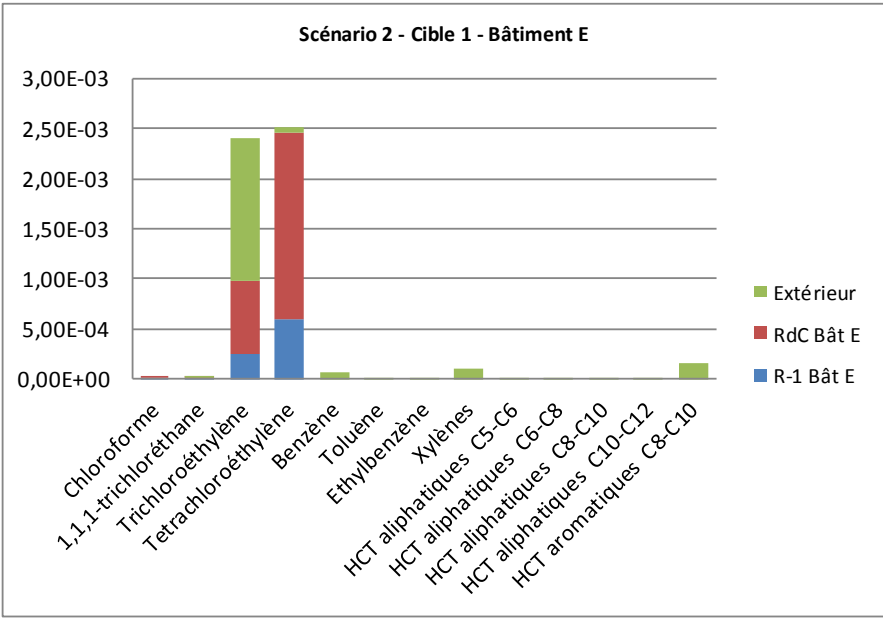
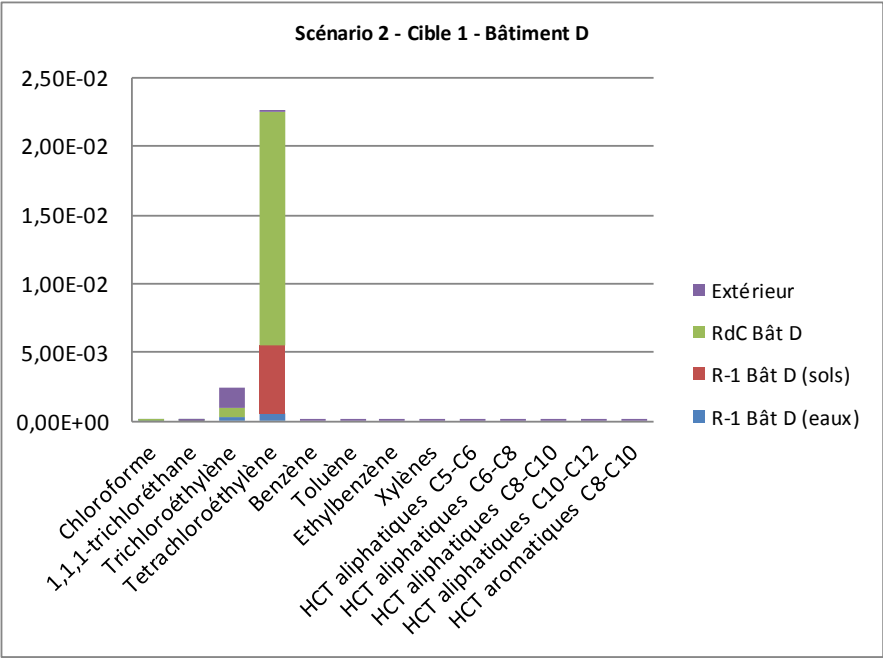
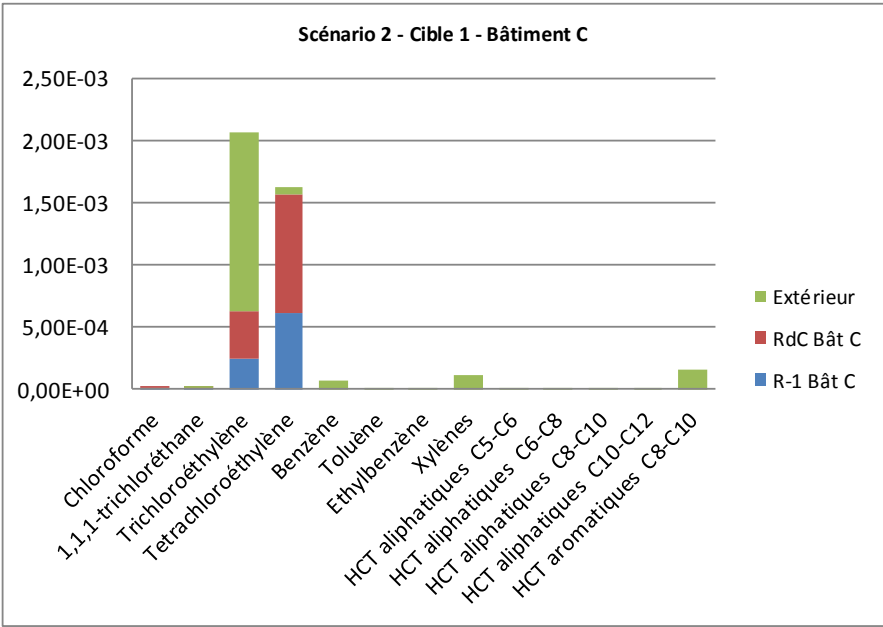
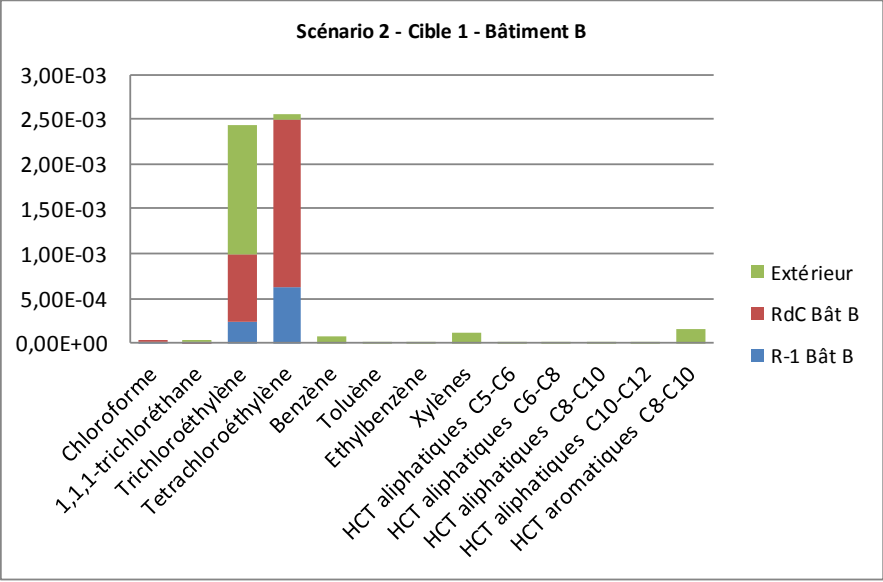
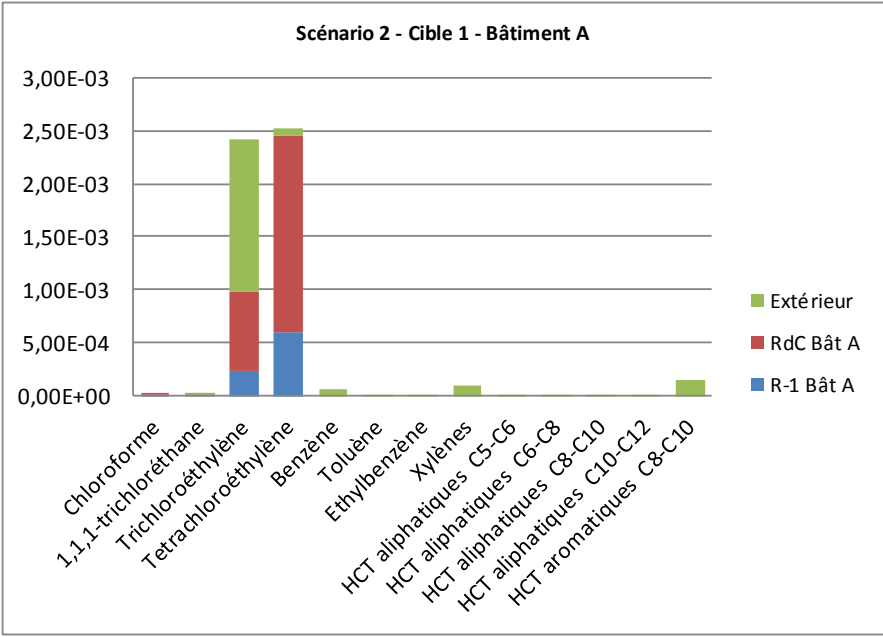


Tableau 40 : Contribution des substances au QD – scénario 2 - cible 1 : salariés.





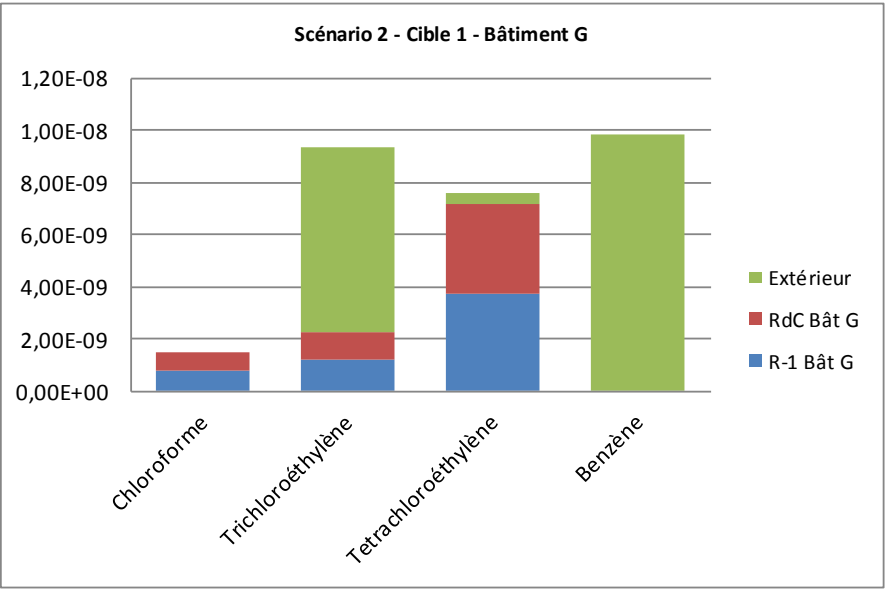
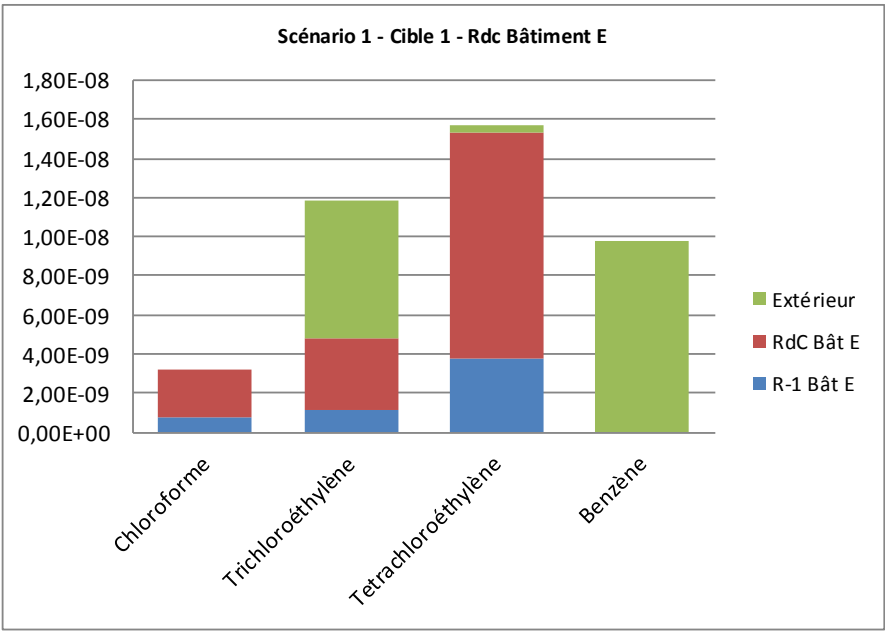
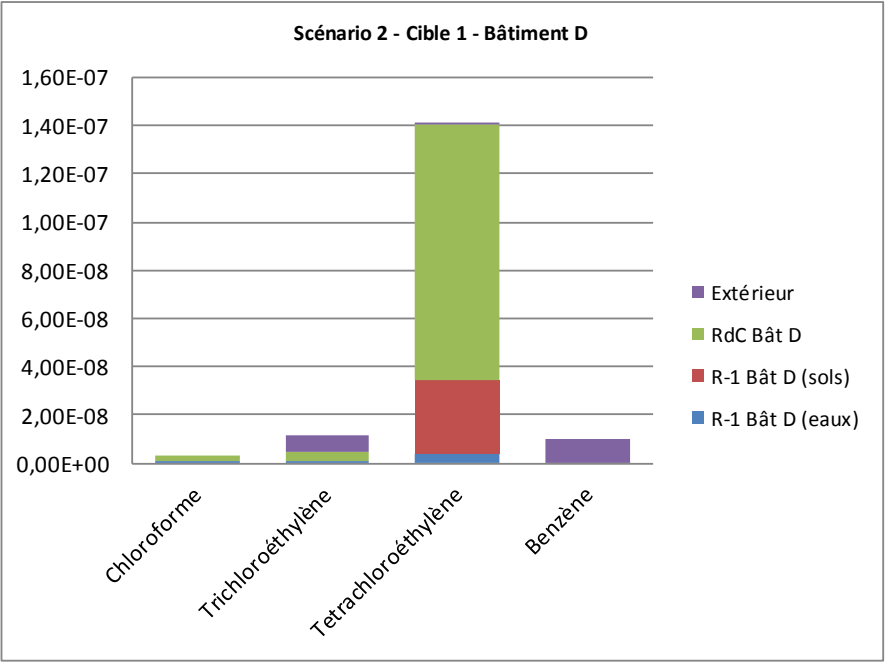
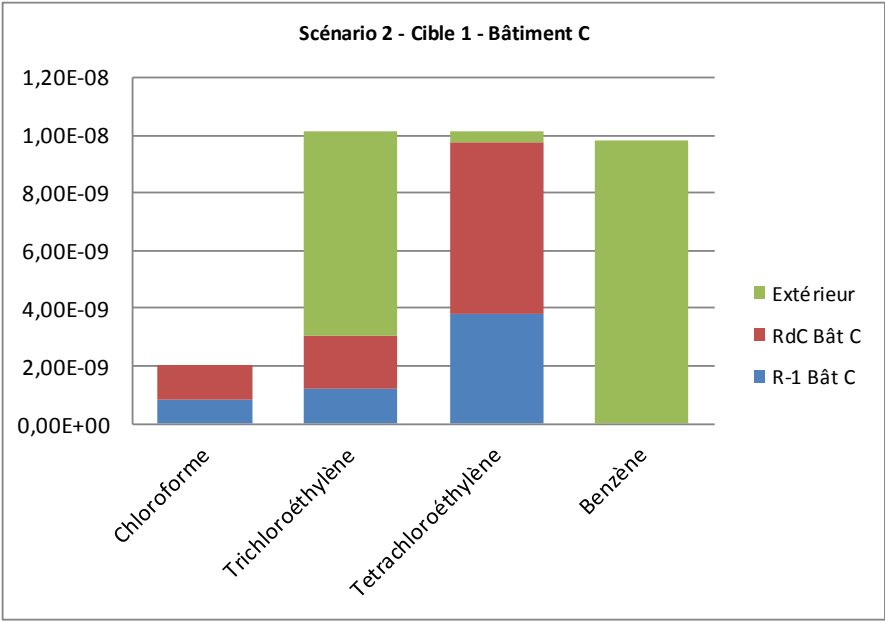
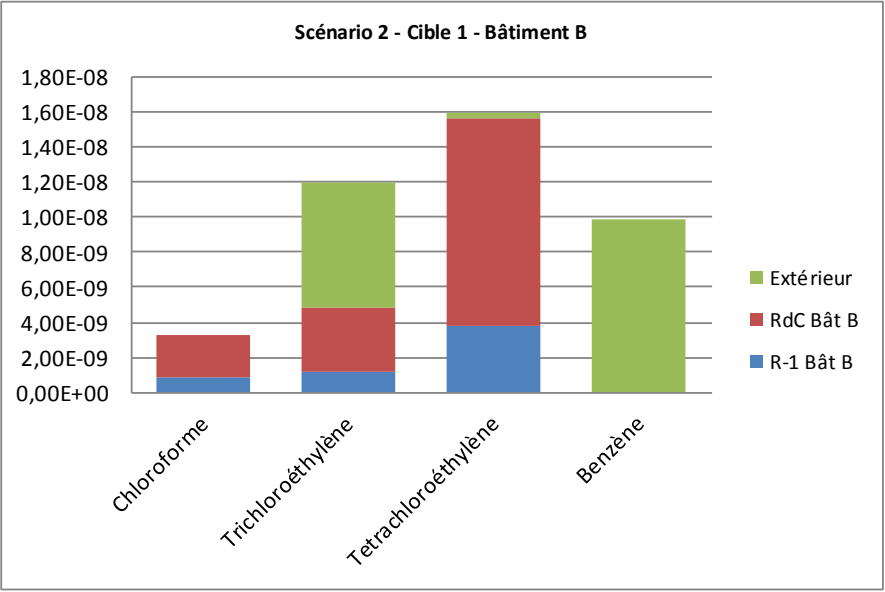
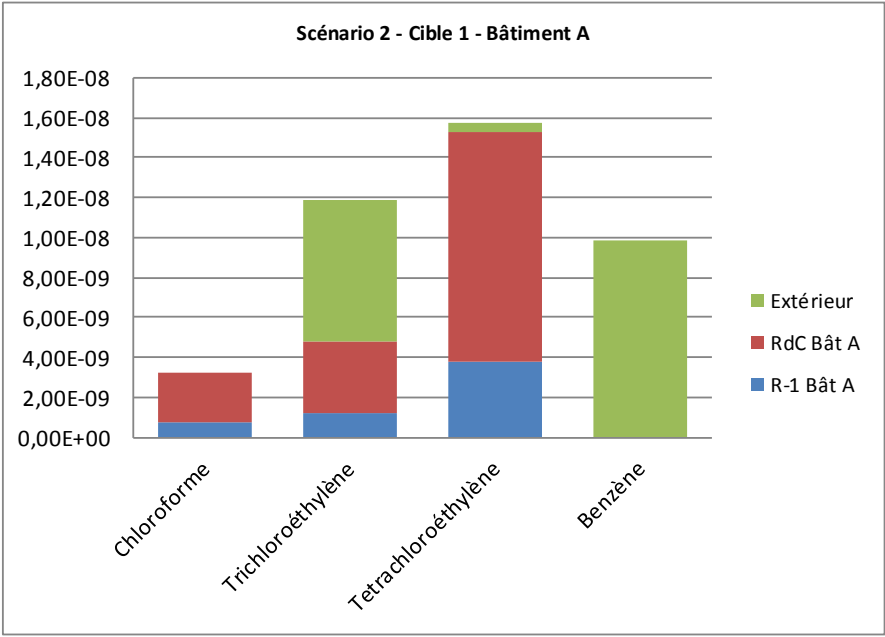


Tableau 41 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 2 - cible 1 : salariés.



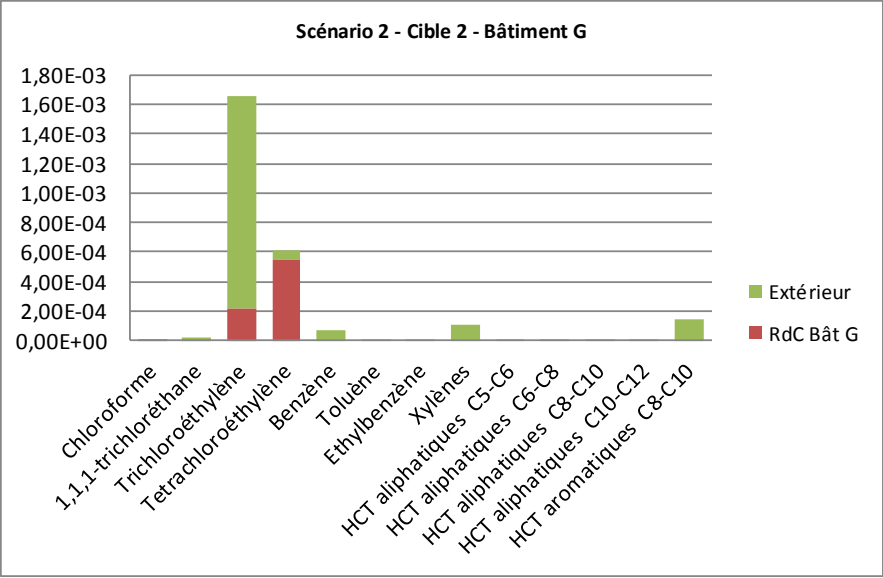
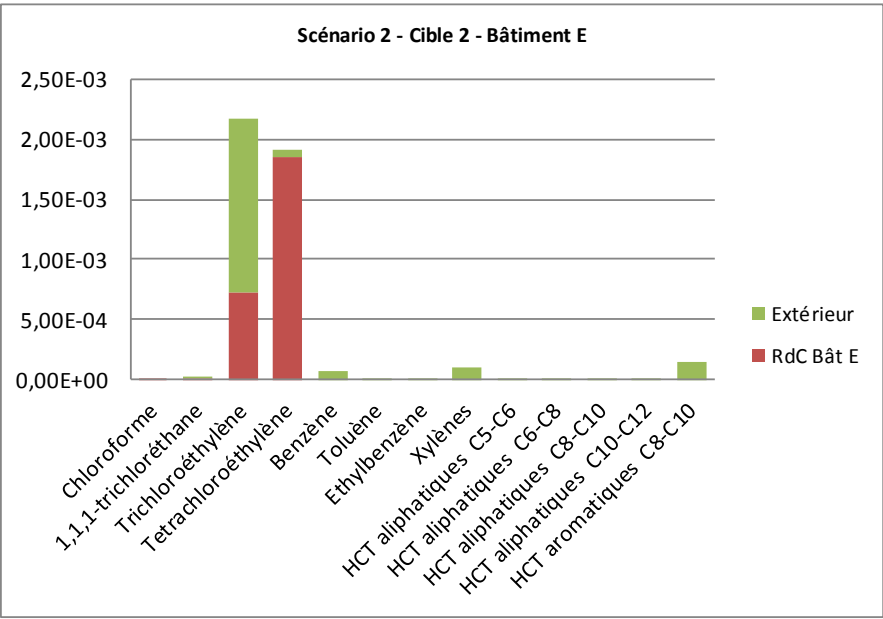
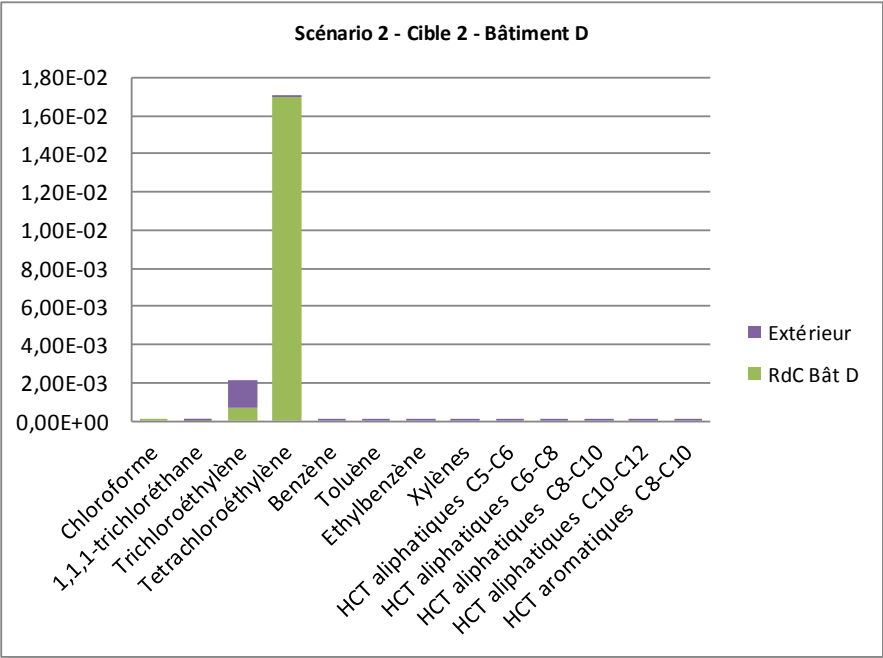
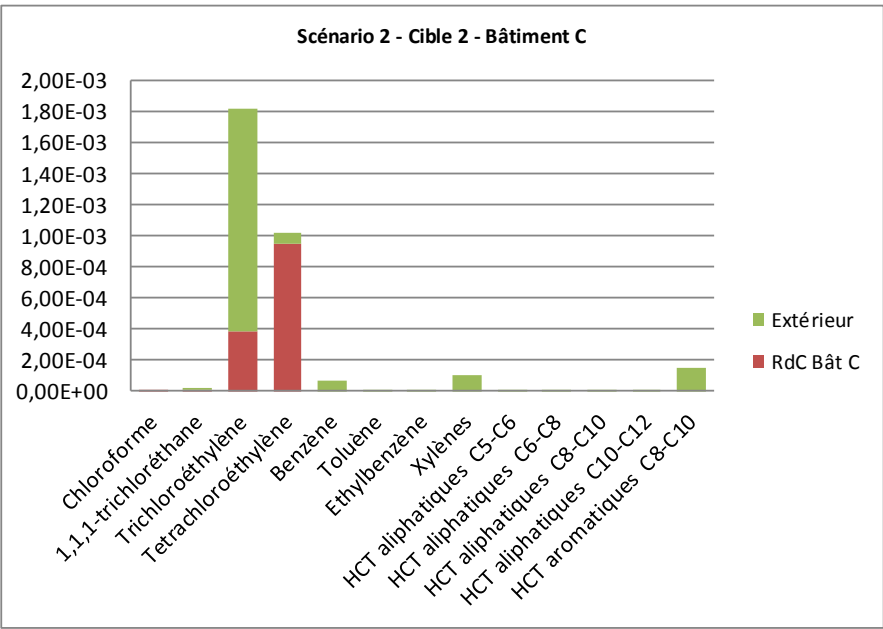
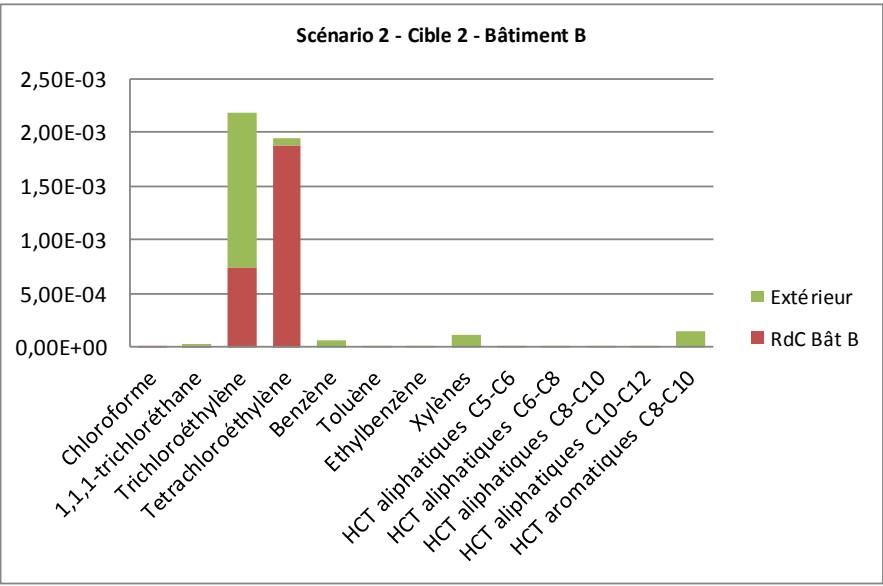
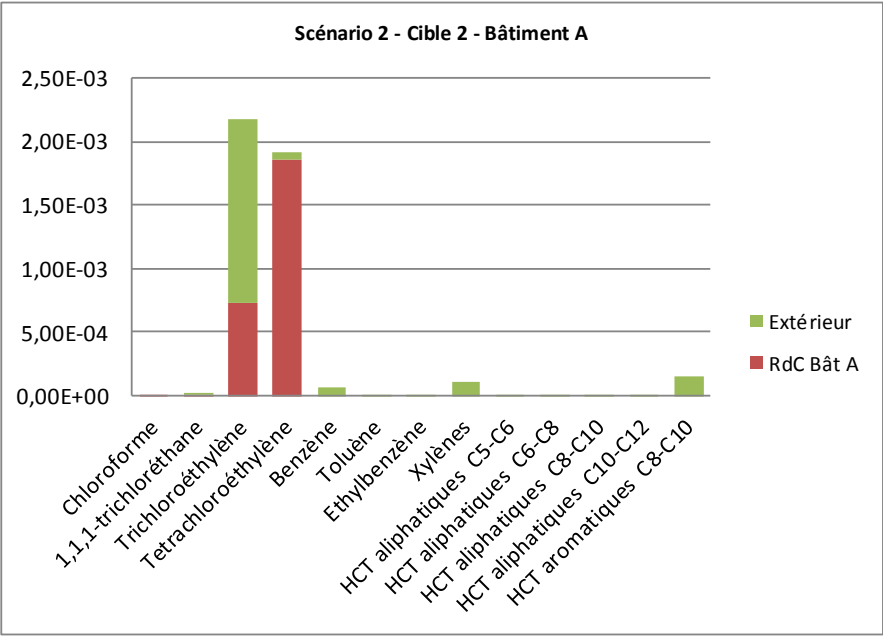


Tableau 42 : Contribution des substances au QD – scénario 2 - cible 2 : élèves.

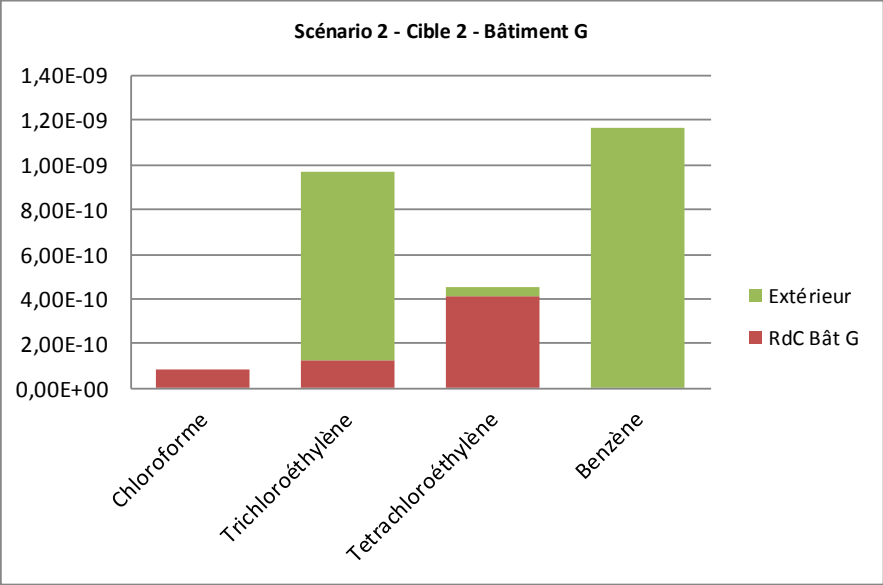
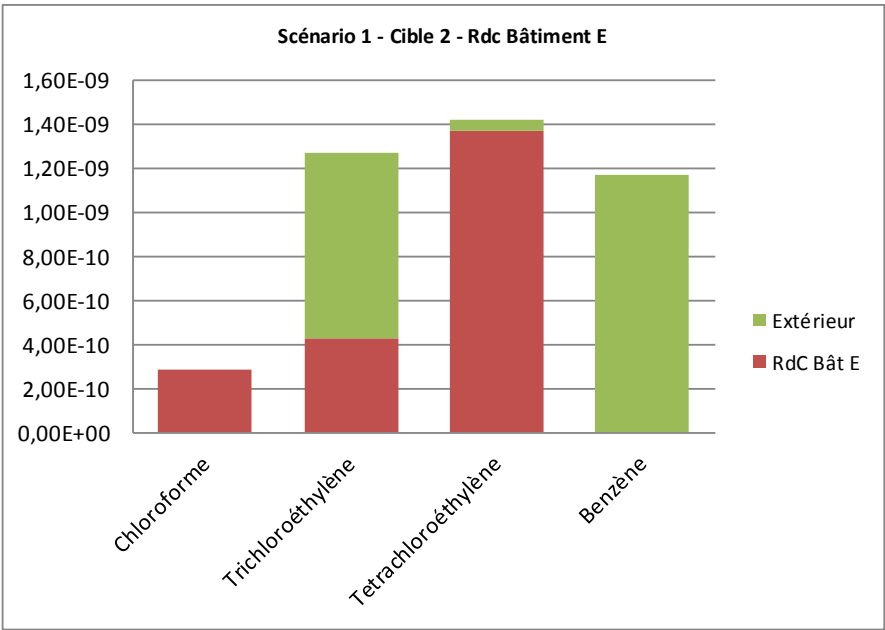
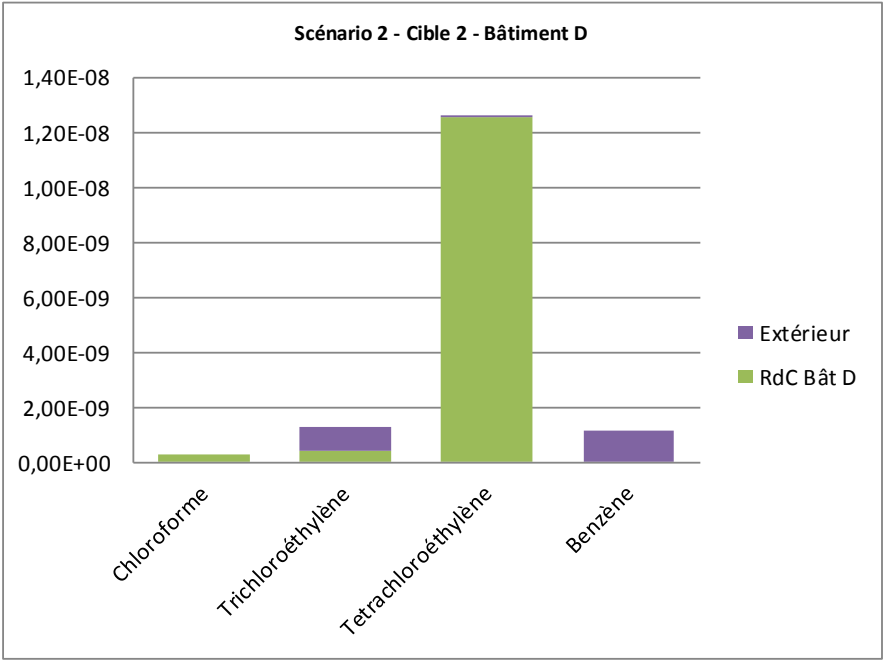
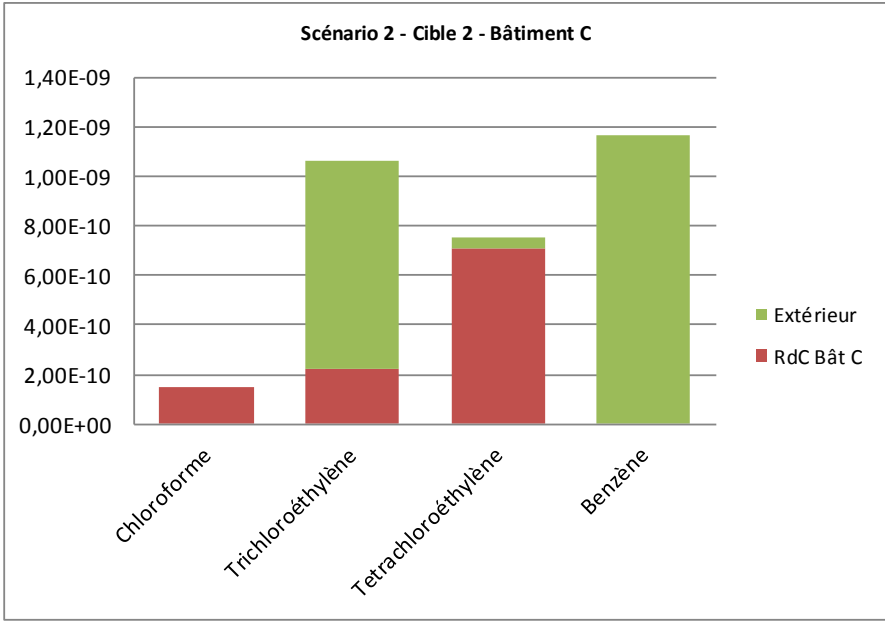
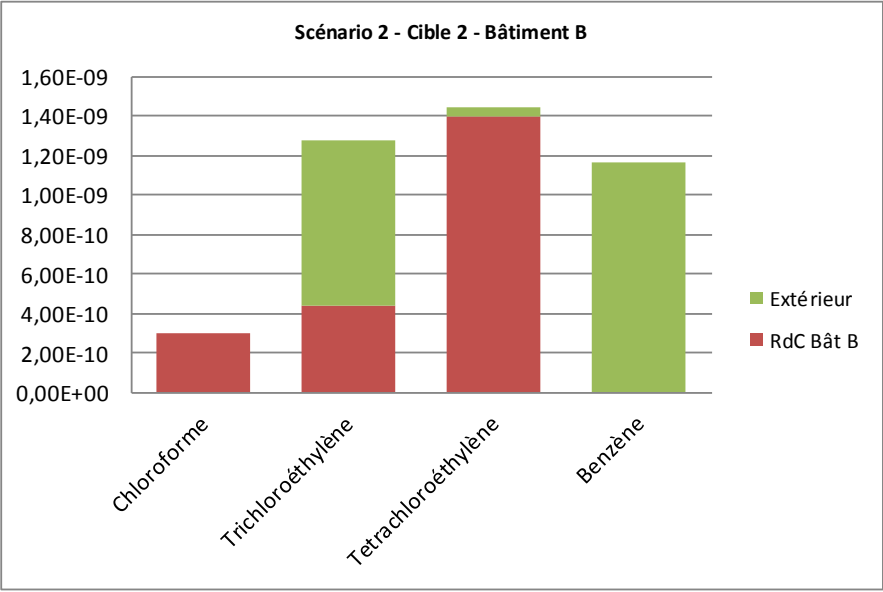
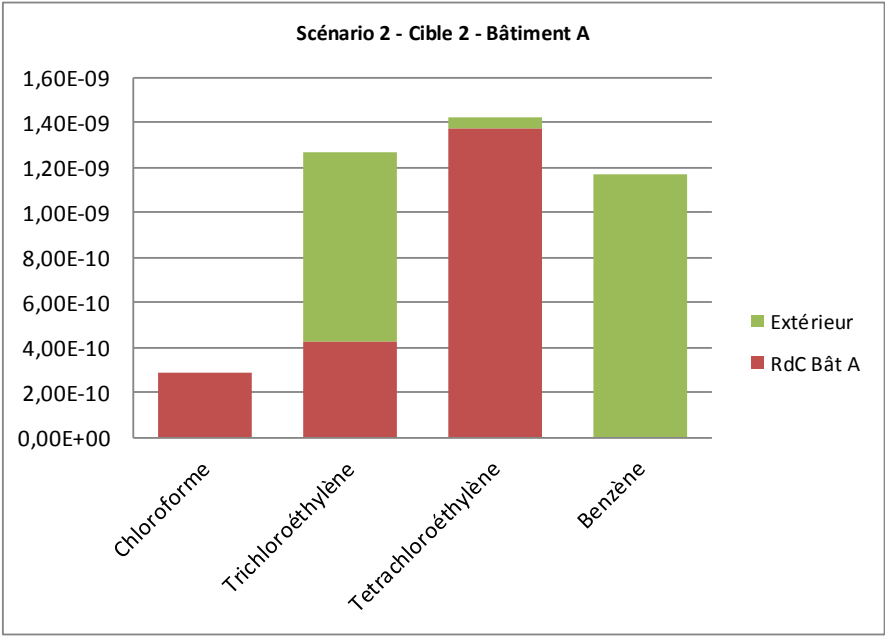


Tableau 43 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 2 - cible 2 : élèves.



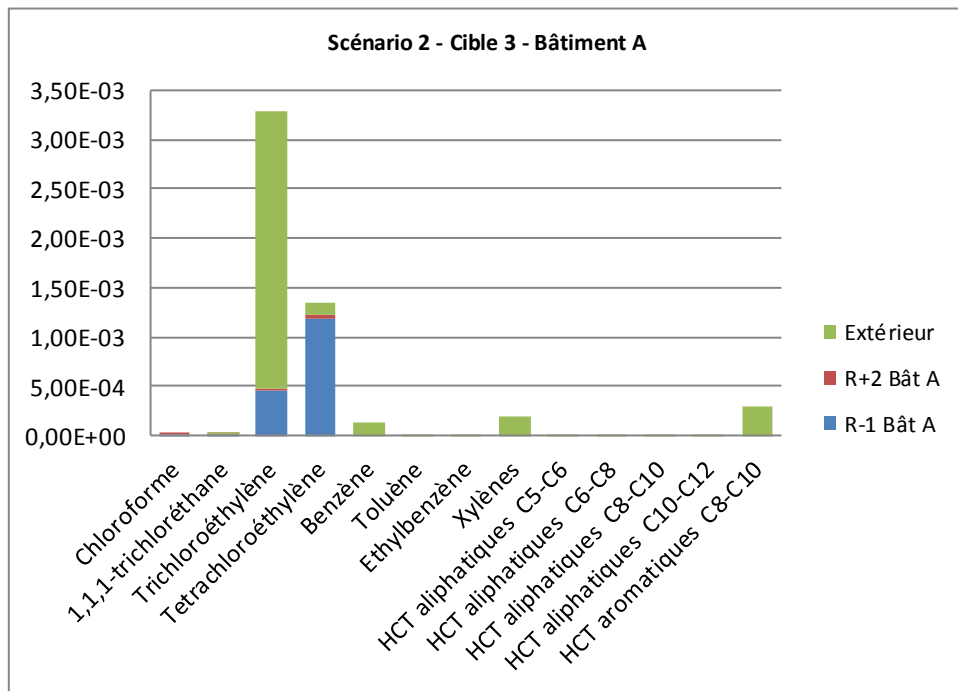


Tableau 44 : Contribution des substances au QD – scénario 2 - cible 3 : élèves.

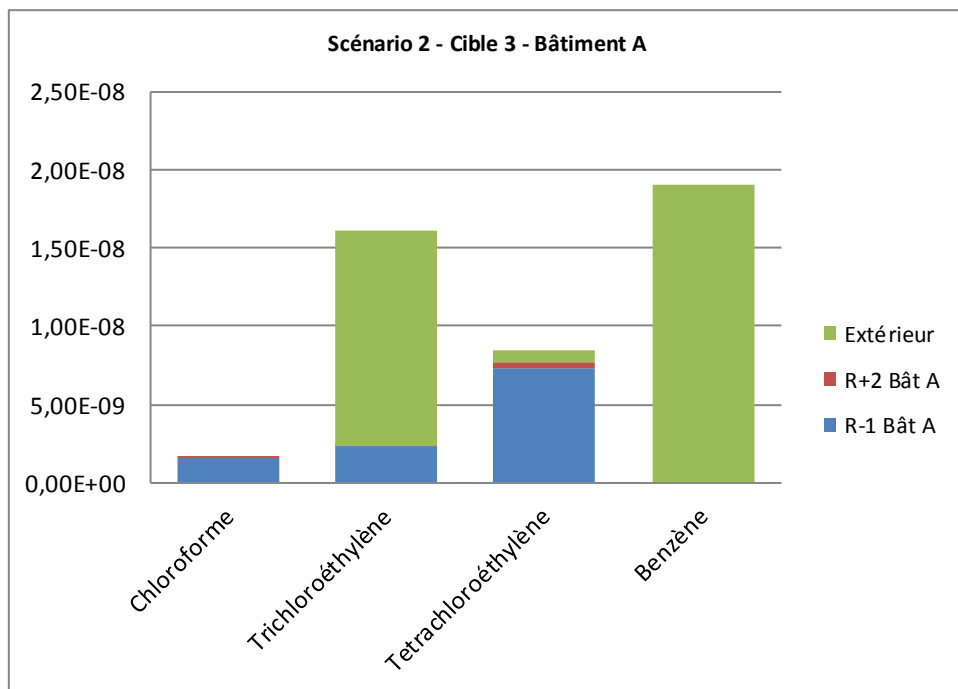


Tableau 45 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 2 - cible 3 : élèves.

▪ Risque toxiques (QD)

Pour les cibles considérées, les risques toxiques sont principalement liés :

- au dégazage en extérieur du trichloroéthylène au droit des bâtiments C, E et G, et A pour la cible 3 résidents,
- au dégazage au RDC du tetrachloroéthylène au droit des bâtiments A, B et D pour les cibles 1 et 2 (salariés et élèves).

→ Les résultats mettent donc en évidence des risques toxiques **acceptables** avec un niveau inférieur à 1 au droit de l'ensemble des bâtiments pour les 3 cibles étudiées.

▪ Risque cancérigènes (ERI)

Pour les adultes (salariés), les risques sont principalement sont principalement liés :

- au dégazage du Trichloroéthylène en extérieur au droit des bâtiments C et G pour les salariés et du bâtiment A pour les résidents,
- au dégazage en RDC du Tetrachloroéthylène au droit des bâtiments, A (cibles salariés et élèves), B, D, E,
- au dégazage en extérieur du benzène pour les bâtiments C et G pour les élèves et du bâtiment A pour les résidents.

→ Les résultats mettent en évidence des risques cancérigènes **acceptables** avec un niveau de risques inférieur à la valeur de  $1.10^{-5}$ , ils sont jugés acceptables.

---

5.3.3 SCENARII 3 - 2 NIVEAUX DE SOUS-SOL

Les figures présentées à la suite permettent de distinguer la contribution de chaque substance et voie d'exposition.

CIBLE 1 - Scénario 3 synthèse	QD	ERI
Bâtiment A	2,49E-03	2,18E-08
Bâtiment B	2,51E-03	2,19E-08
Bâtiment C	2,17E-03	1,96E-08
Bâtiment D	2,49E-03	2,18E-08
Bâtiment E	2,49E-03	2,18E-08
Bâtiment G	2,03E-03	1,86E-08

Tableau 46 : Résultats de la caractérisation des risques - scénario 3 - cible 1 : salariés.

CIBLE 2 - Scénario 3 synthèse	QD	ERI
Bâtiment A	2,49E-03	2,60E-09
Bâtiment B	2,51E-03	2,61E-09
Bâtiment C	2,17E-03	2,34E-09
Bâtiment D	2,49E-03	2,59E-09
Bâtiment E	2,49E-03	2,59E-09
Bâtiment G	2,03E-03	2,22E-09

Tableau 47 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 3 - cible 2 : élèves.

CIBLE 3 - Bâtiment A	QD				ERI			
	R-2 Bât A	R+2 Bât A	Extérieur	Total	R-2 Bât A	R+2 Bât A	Extérieur	Total
<b>Composés Organo-Halogénés-Volatils</b>								
Chloroforme	1,96E-05	8,55E-08		8,55E-08	3,92E-09	1,71E-11		1,71E-11
1,1,1-trichloréthane	4,40E-06	1,92E-08	1,40E-06	1,42E-06				
Trichloroéthylène	1,19E-03	5,19E-06	2,80E-03	2,81E-03	5,85E-09	2,55E-11	1,38E-08	1,38E-08
Tetrachloroéthylène	3,01E-03	1,31E-05	1,21E-04	1,34E-04	1,88E-08	8,20E-11	7,54E-10	8,36E-10
<b>BTEX</b>								
Benzène			1,28E-04	1,28E-04			1,91E-08	1,91E-08
Toluène			5,14E-06	5,14E-06				
Ethylbenzène			8,69E-07	8,69E-07				
Xylènes			2,01E-04	2,01E-04				
<b>Hydrocarbures totaux</b>								
HCT aliphatiques C5-C6			2,29E-07	2,29E-07				
HCT aliphatiques C6-C8			8,69E-07	8,69E-07				
HCT aliphatiques C8-C10			9,67E-06	9,67E-06				
HCT aliphatiques C10-C12			1,00E-06	1,00E-06				
HCT aromatiques C8-C10			2,87E-04	2,87E-04				
<b>Somme</b>	<b>4,20E-03</b>	<b>1,84E-05</b>	<b>3,56E-03</b>	<b>3,57E-03</b>	<b>2,86E-08</b>	<b>1,25E-10</b>	<b>3,36E-08</b>	<b>3,38E-08</b>

Tableau 48 : Résultats de la caractérisation des risques – scénario 3 - cible 2 : élèves.

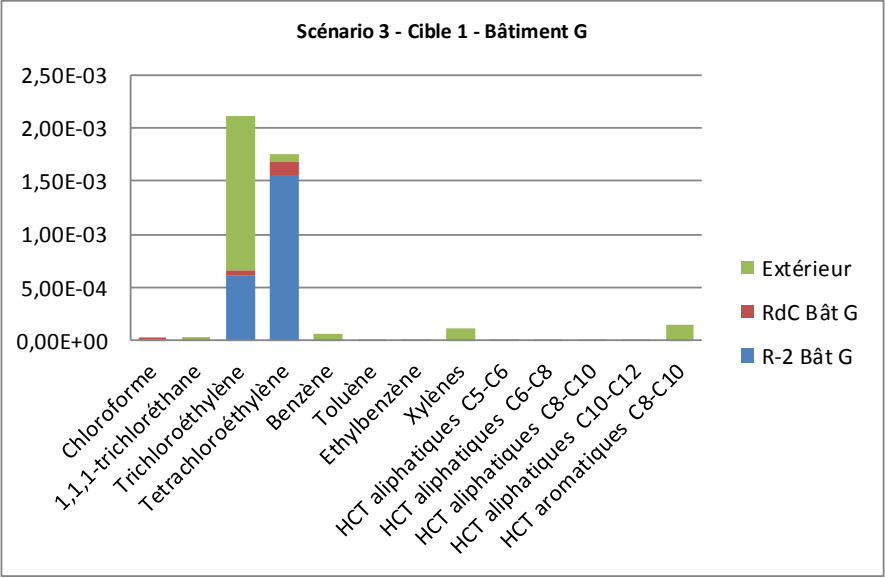
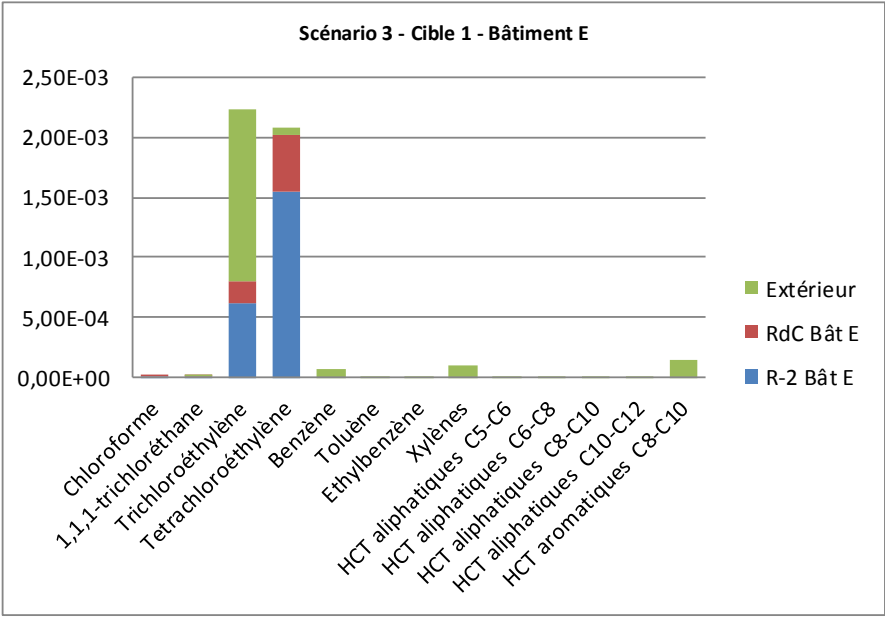
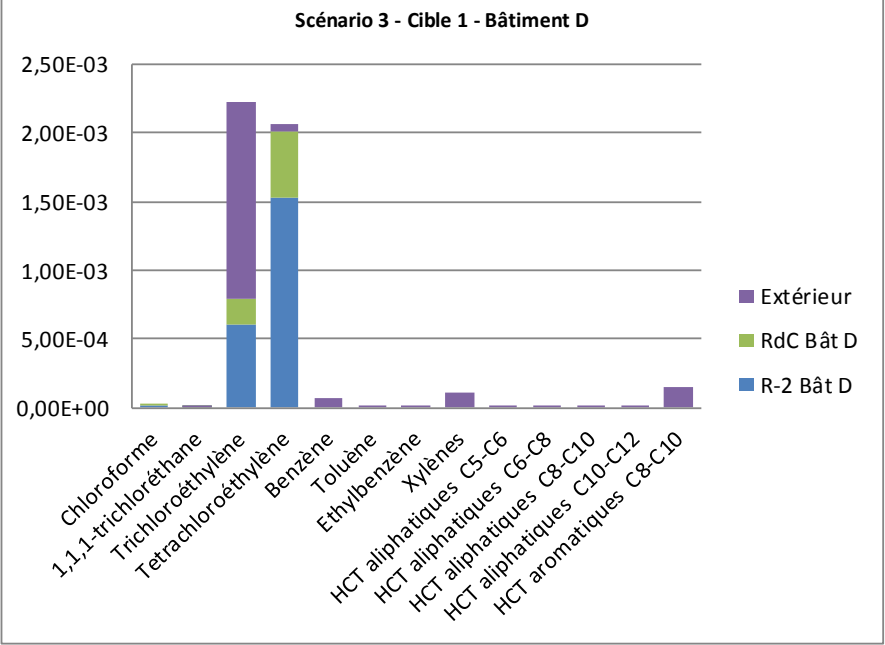
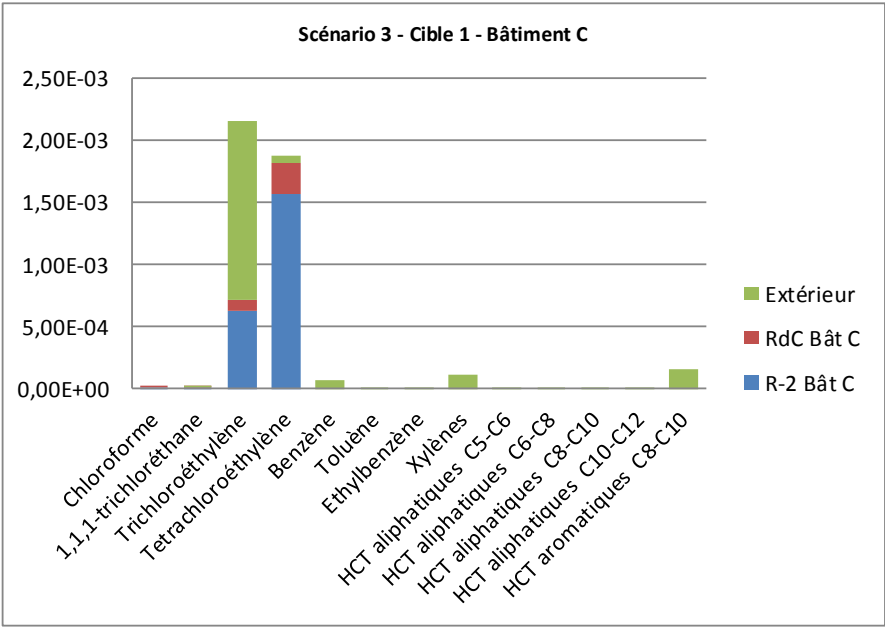
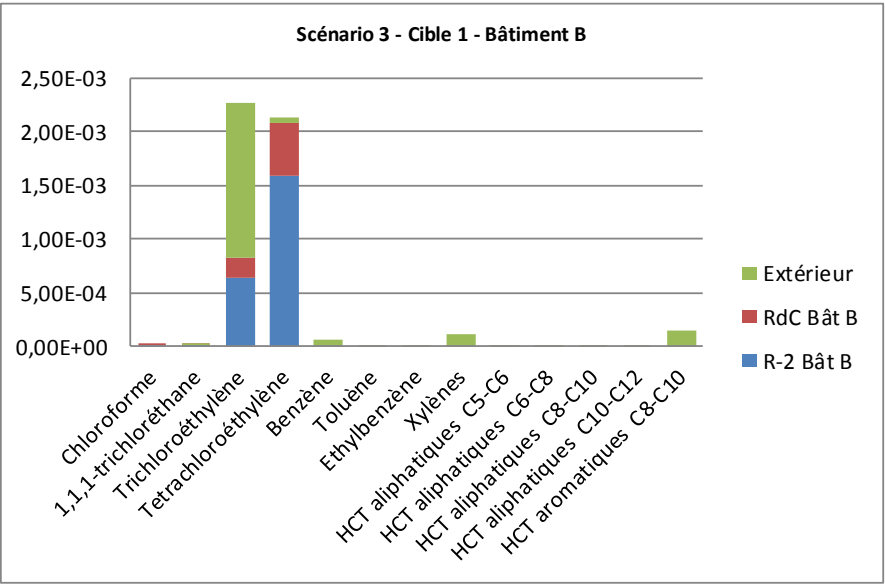
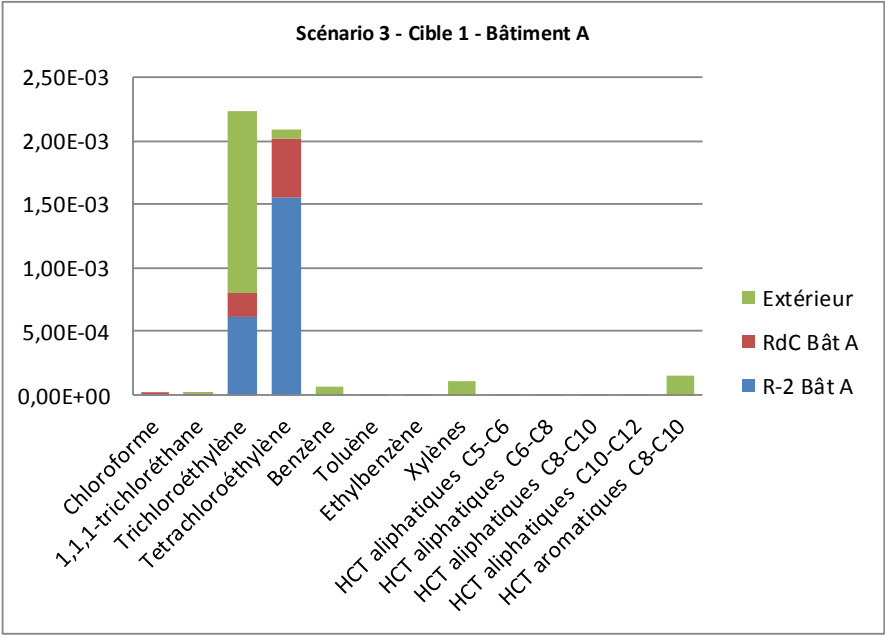


Tableau 49 : Contribution des substances au QD – scénario 3 - cible 1 : salariés.



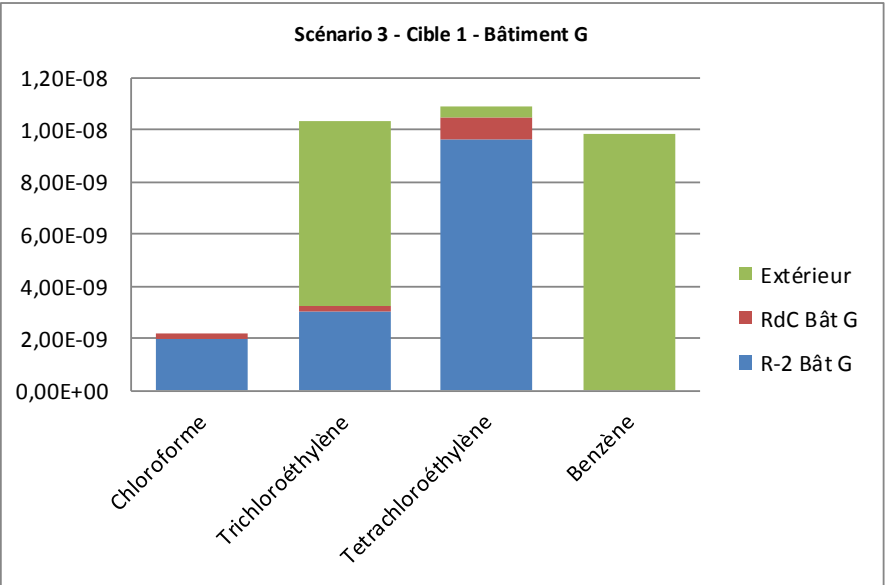
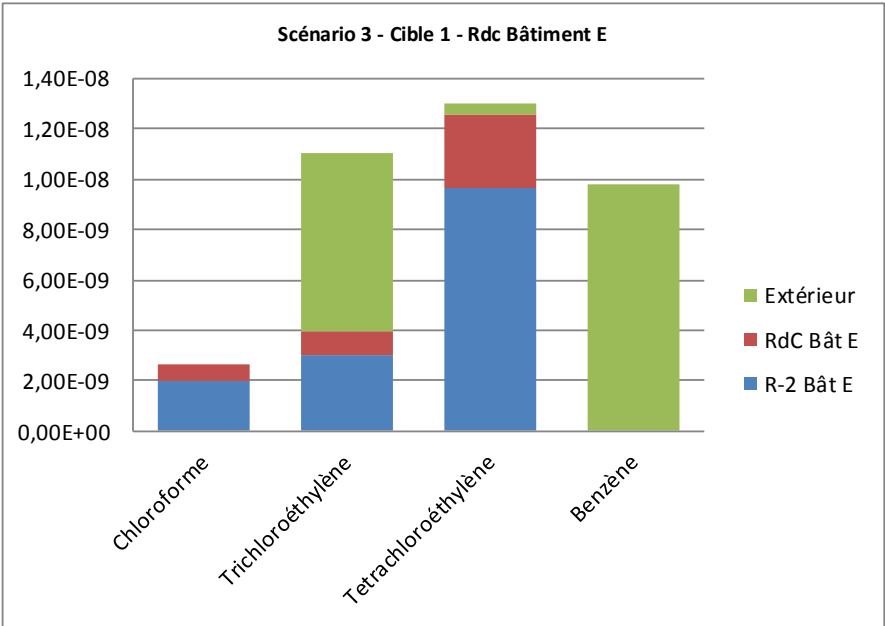
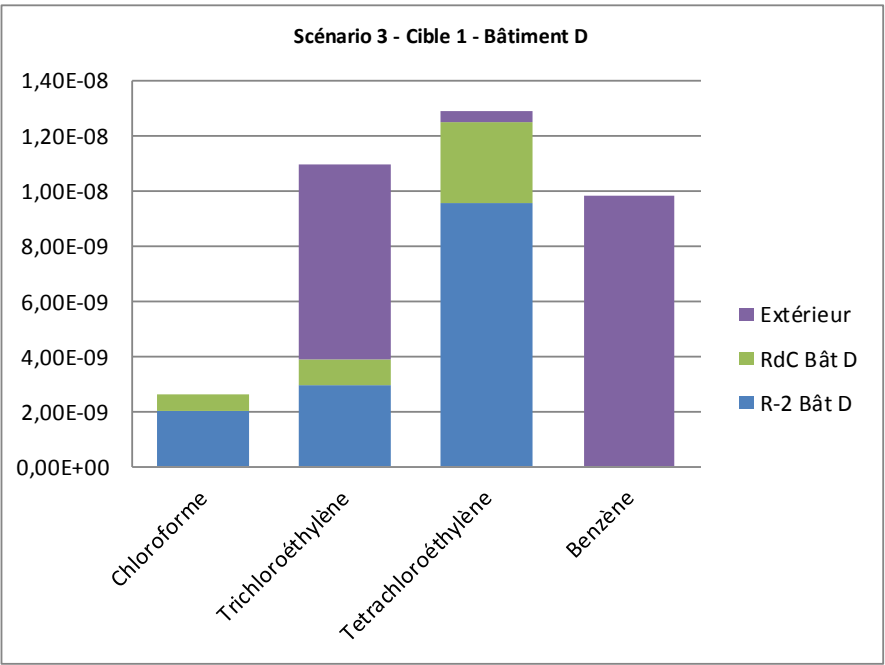
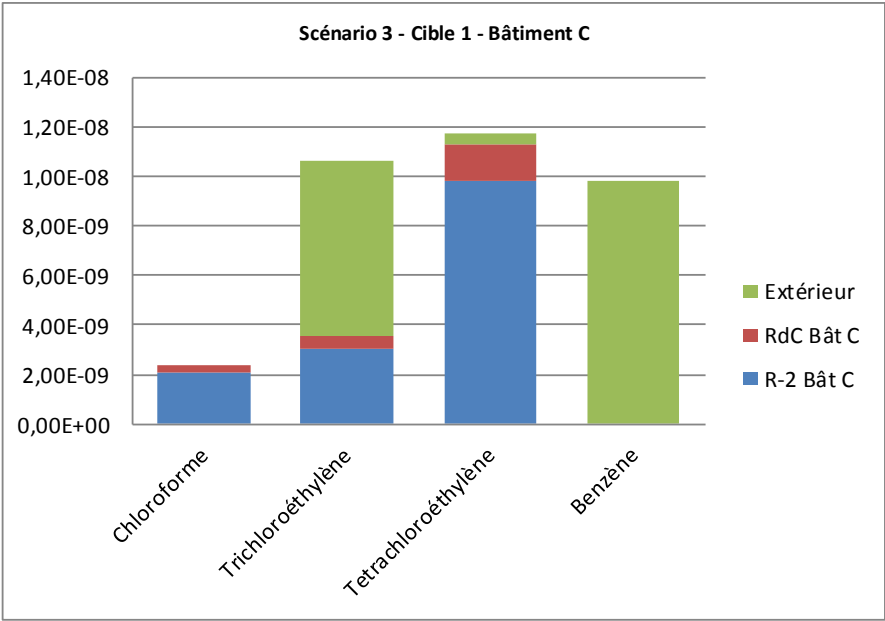
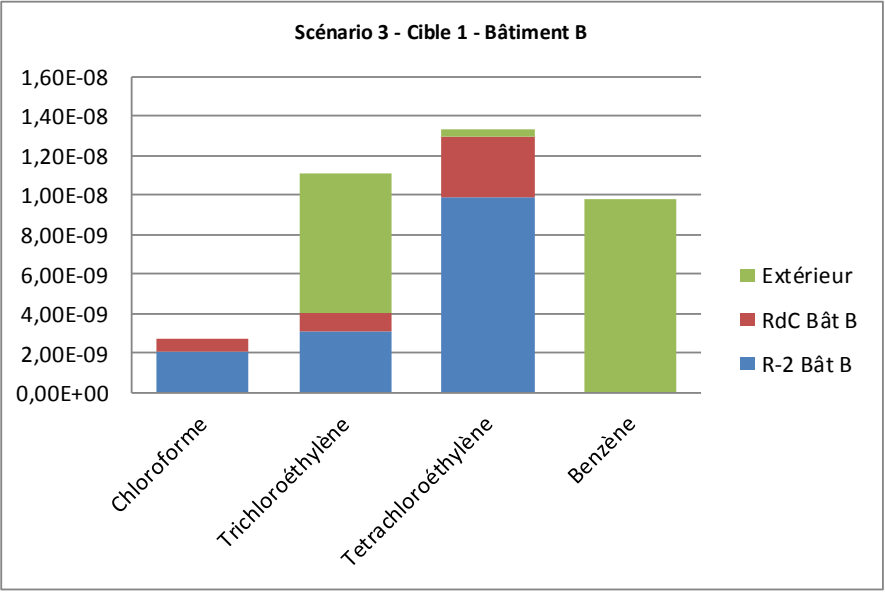
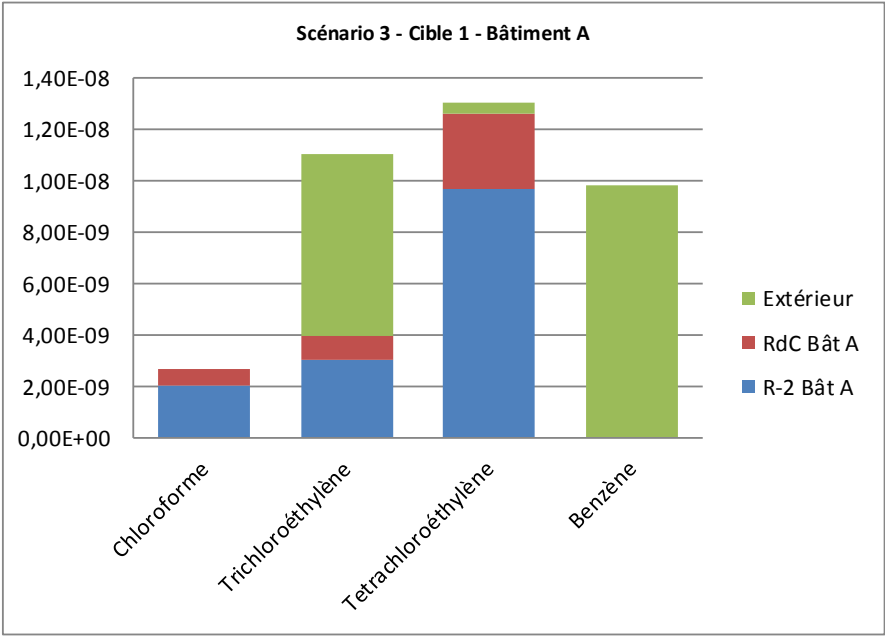


Tableau 50 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 3 - cible 1 : salariés.





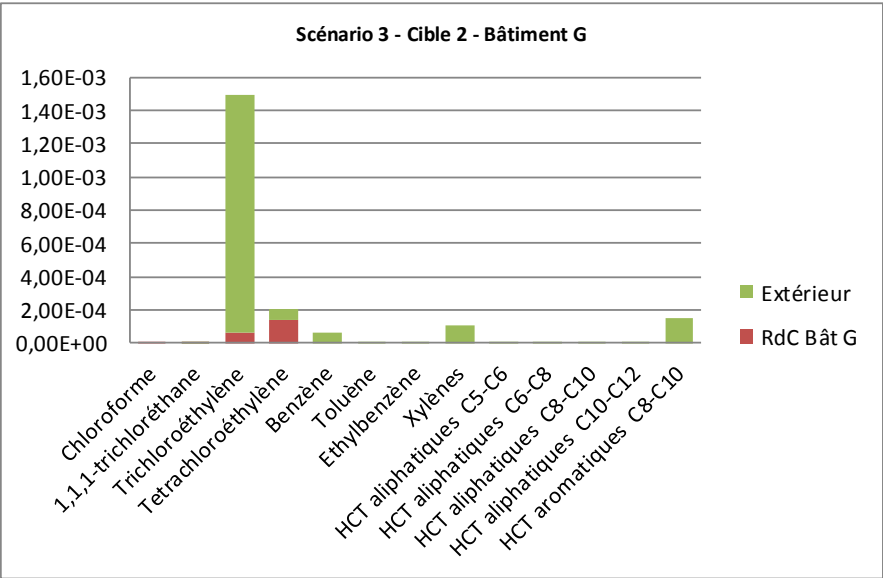
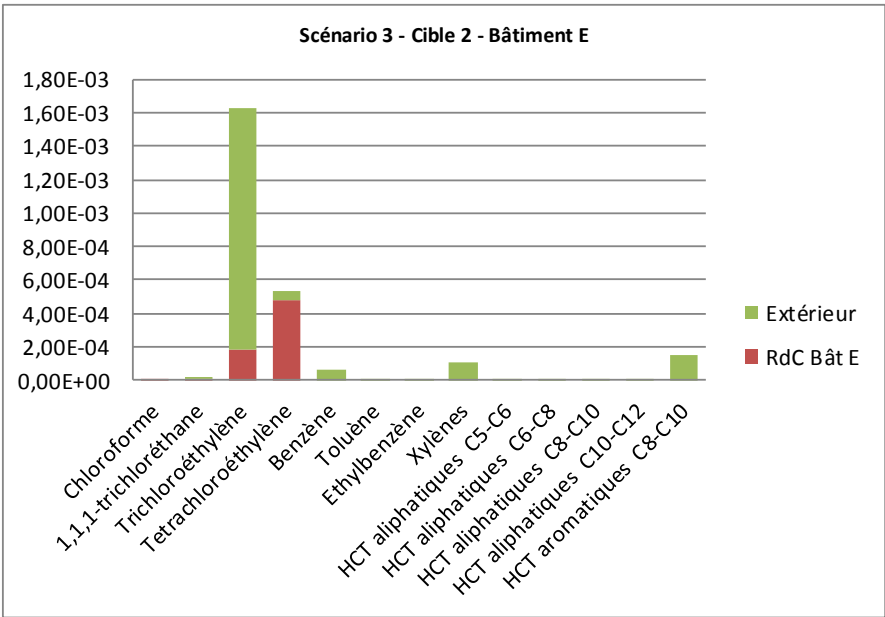
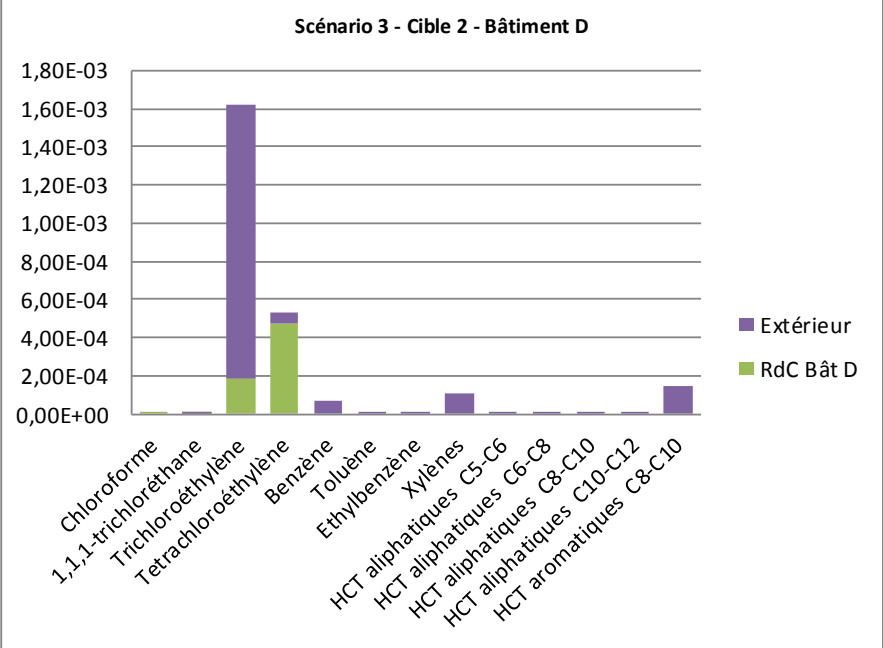
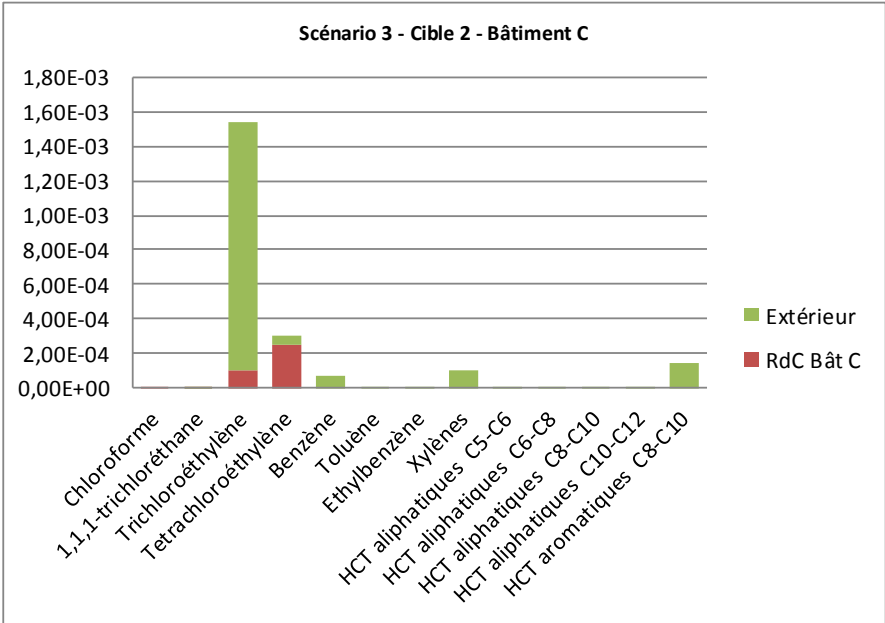
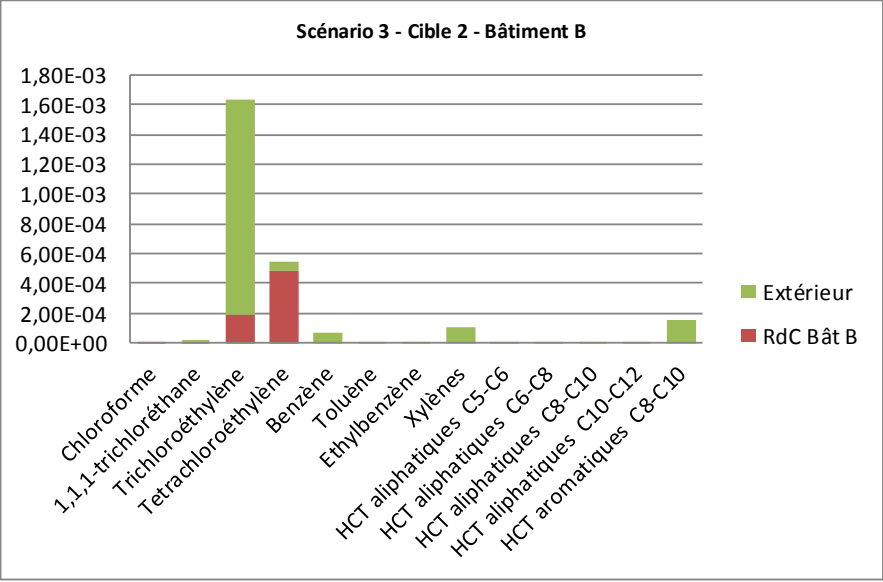
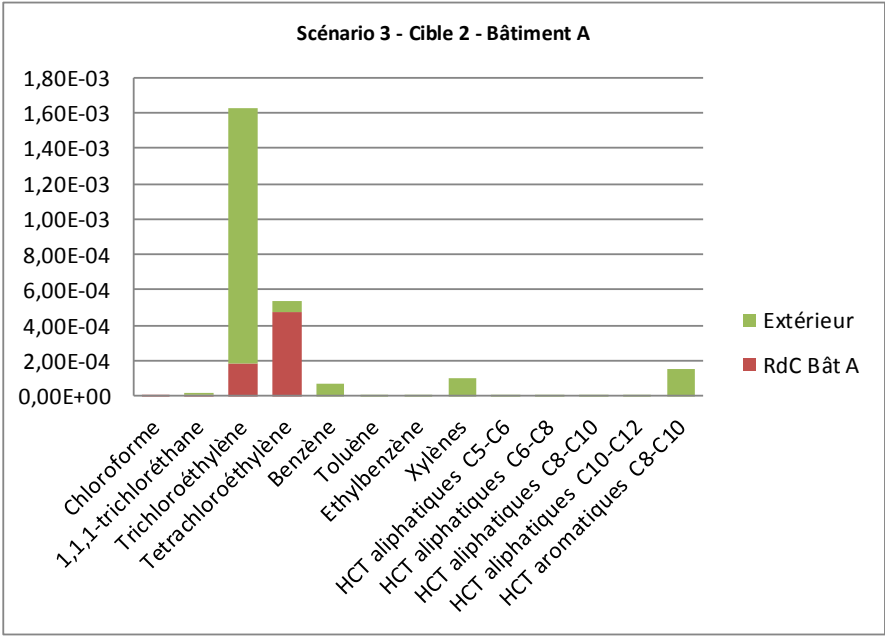


Tableau 51 : Contribution des substances au QD – scénario 3 - cible 2 : élèves.



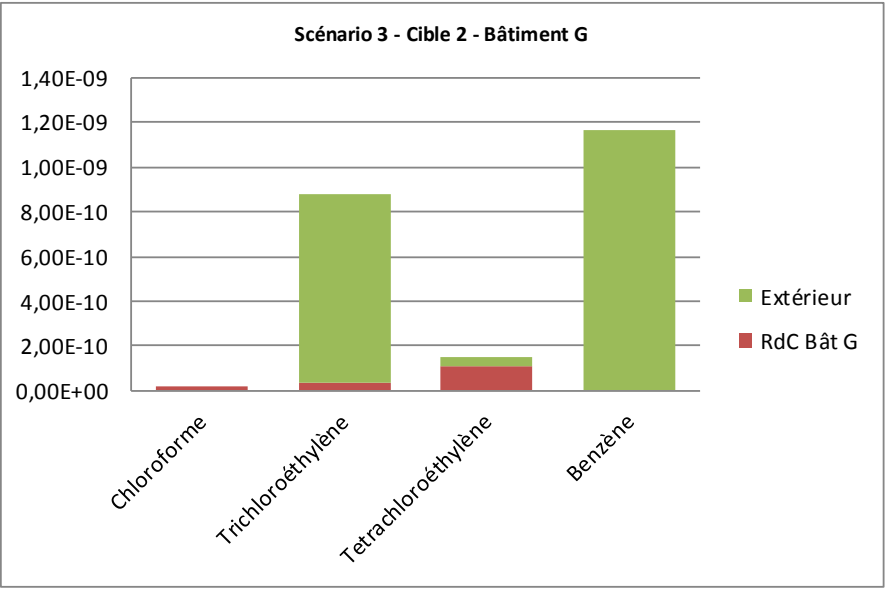
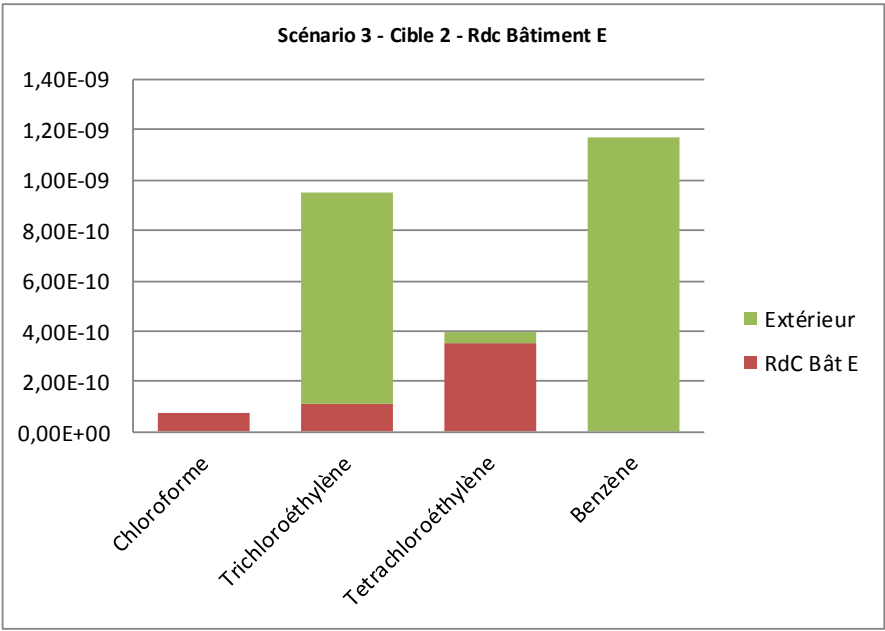
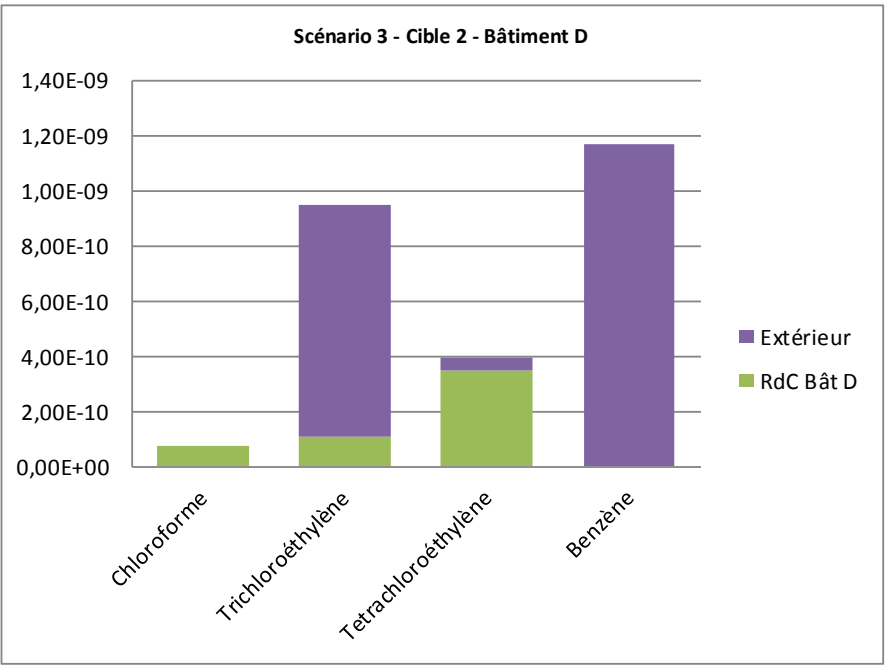
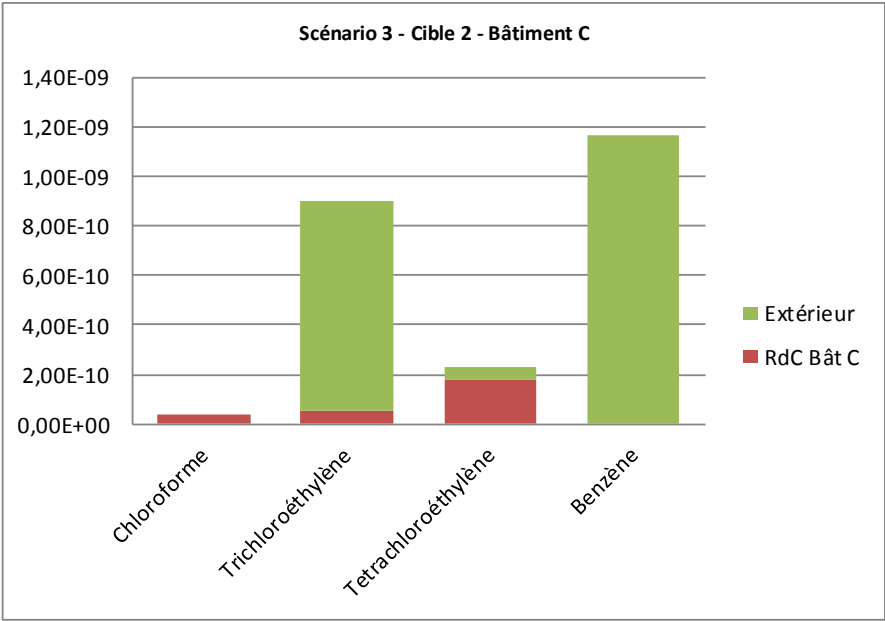
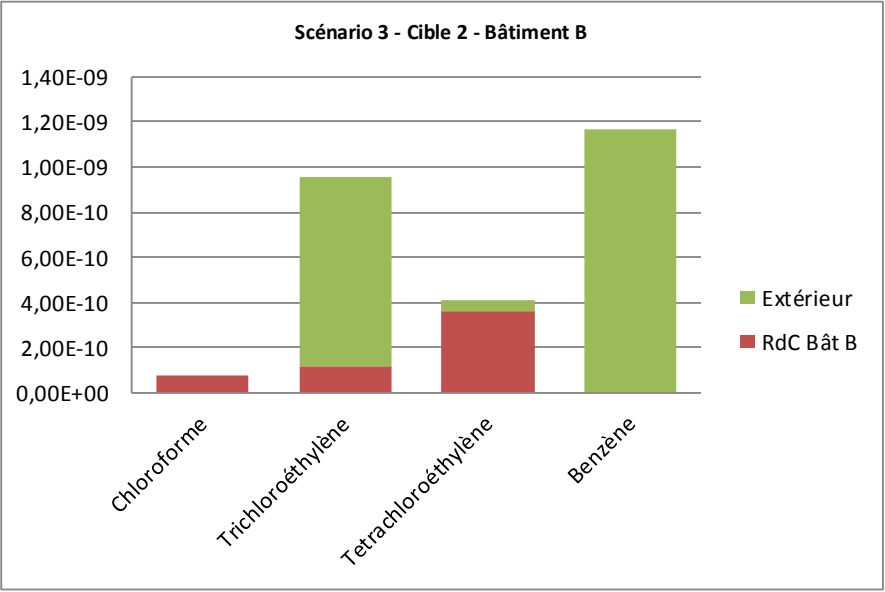


Tableau 52 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 3 - cible 2 : élèves.



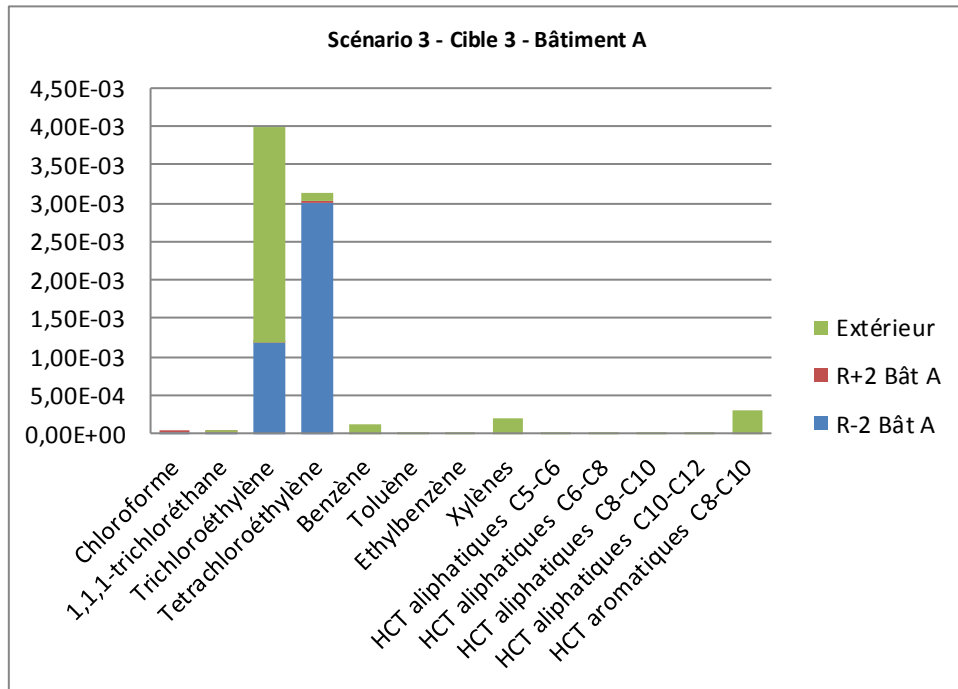


Tableau 53 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 3 - cible 2 : élèves.

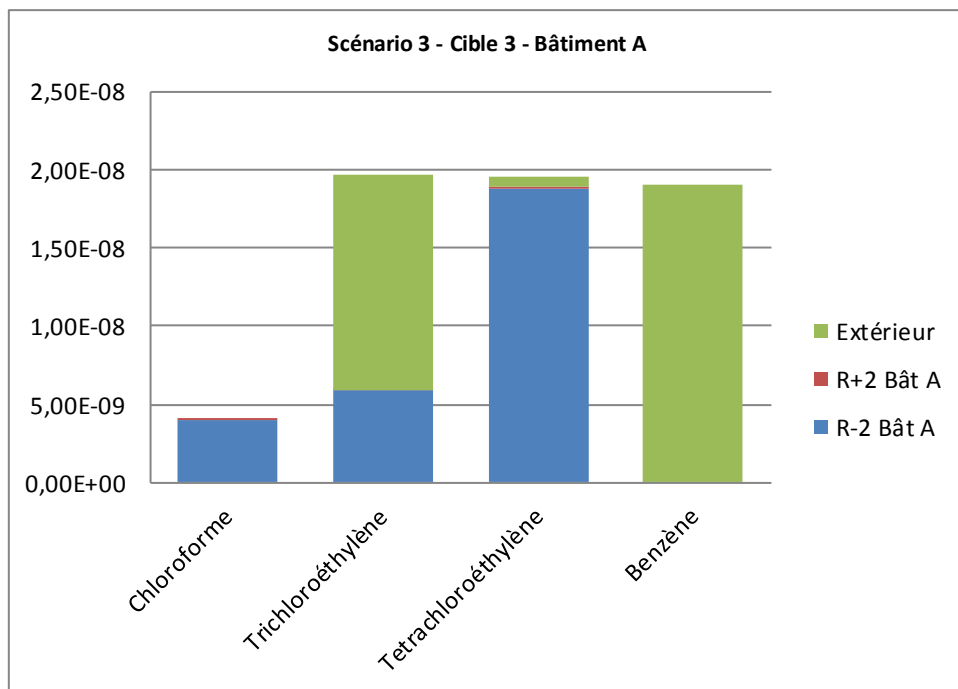


Tableau 54 : Contribution des substances à l'ERI – scénario 3 - cible 2 : élèves.

▪ Risque toxiques (QD)

Pour les cibles considérées, les risques toxiques sont principalement liés :

- au dégazage en extérieur du trichloroéthylène au droit des bâtiments pour les cibles 1, 2 et 3 (salariés, élèves et résidents),

→ Les résultats mettent donc en évidence des risques toxiques **acceptables** avec un niveau inférieur à 1 au droit de l'ensemble des bâtiments pour les 3 cibles étudiées.

▪ Risque cancérigènes (ERI)

Pour les adultes (salariés), les risques sont principalement sont principalement liés :

- au dégazage en extérieur du benzène pour tous les bâtiments pour les salariés, élèves et résidents.

→ Les résultats mettent en évidence des risques cancérigènes **acceptables** avec un niveau de risques inférieur à la valeur de  $1.10^{-5}$ , ils sont jugés acceptables.

## 6 ANALYSE DES INCERTITUDES

L'explication et la discussion des incertitudes qui concernent les paramètres et les hypothèses de calcul sont destinées à faciliter l'interprétation des résultats et permettre une gestion optimale des risques.

Les choix qui ont été faits sur les valeurs à attribuer à certains paramètres ou sur le comportement des individus sont entachés d'une incertitude. L'ensemble des paramètres déterminants est discuté dans ce chapitre, et notamment les concentrations de référence et les paramètres descriptifs de l'exposition.

L'approche générale se veut sécuritaire et conduit à des valeurs du risque majorantes (indice de risque et excès de risque unitaire). Ce chapitre permettra d'apprécier la sensibilité des paramètres et de vérifier l'influence sur le résultat du calcul.

Les risques totaux étant exclusivement liés au dégazage des sols et de la nappe, l'analyse des incertitudes s'intéresse uniquement à ces voies d'exposition.

## 6.1 CHOIX DES SUBSTANCES

La démarche adoptée a consisté à retenir l'ensemble des composés **détectés** dans les milieux air du sol, sols et eaux souterraines et disposant d'une valeur toxicologique de référence.

Cette approche est réaliste compte tenu de l'origine supposée des pollutions en présence et des voies d'expositions retenue (inhalation de vapeurs polluantes).

Les HAP n'ont pas été pris en compte dans la présente EQRS. Cette approche tend à sous-estimer les calculs ainsi effectués. Cependant, ces composés sont rencontrés à des teneurs relativement faibles et disposent de propriétés volatiles moindres au regard des polluants retenus. Leur prise en compte ne modifierait pas les résultats de la présente étude.

Les composés **non détectés** n'ont pas été retenus pour le calcul de risque. Cette démarche reste réaliste au regard des limites de quantification proposées par le laboratoire, conformes aux exigences actuelles.

## 6.2 CONCENTRATIONS RETENUES

Pour l'exposition à l'intérieur des bâtiments et le scénario de plain-pied, il a été choisi de retenir les concentrations maximales mesurées au droit des piézajirs implantés au droit ou à proximité des futurs bâtiments à 2m de profondeur. Cette approche est justifiée dans la mesure où elle permet de s'affranchir d'une étape de modélisation et propose ainsi une mesure directe des concentrations dans le milieu de transfert (air du sol). Il s'agit d'une approche majorante.

Les prélèvements des gaz du sol ont été réalisés début Juin 2015. La période pouvant présenter les concentrations la plus importante est en été sur les mois les plus chauds (fin Juillet probablement) et la moins importante en Hiver. La période de prélèvement des gaz du sol est considérée comme réaliste à majorante.

### Concentrations résiduelles dans les sols au-delà de 3 m :

En cas de construction d'un niveau de sous-sol, des pollutions résiduelles peuvent être présentes localement dans les sols. Nous noterons que nous ne disposons pas d'analyse de sols entre 3 et 4 m de profondeur. Cependant, les principales pollutions observées sur le site sont essentiellement présentes en surface, dans les remblais (jusqu'à 2 m de profondeur au maximum). Les analyses réalisées entre 2 et 3 m de profondeur montrent en effet l'absence ou la quasi absence (concentrations en COHV de l'ordre de grandeur du seuil de détection du laboratoire) sur la plupart des échantillons analysés hormis D1 à proximité du bâtiment D. Dans le cadre du scénario 2, nous avons retenu les concentrations mesurées au droit du sondage D1 entre 4 et 5 m de profondeur comme étant présentes directement sous les fondations. Les concentrations en COHV sont globalement identiques au droit de D1 de 2 à 3 m ou de 4 à 5 m (TCE = 0,18 mg/kg MS entre 2



et 3 m et 0,14 mg/kg MS entre 4 et 5 m). Les niveaux de risques engendrés par le dégazage des sols sous le sous-sol avec la concentration en TCE de 0,14 mg/kg étant assez largement acceptables, une prise en compte d'une concentration de 0,18 mg/kg n'aurait pas modifié les résultats de l'étude.

#### Concentrations dans les eaux souterraines :

Les concentrations retenues dans les eaux souterraines pour le dégazage de la nappe dans le cadre des scénarii 2 et 3 (sous-sol) correspondent aux concentrations mesurées dans le seul ouvrage présent sur le site, à savoir Pz2. Nous noterons cependant que cet ouvrage n'est pas présent au droit des zones sols les plus impactées en COHV (partie Sud-Ouest de l'Ilot) et qu'aucun ouvrage n'est par ailleurs présent dans cette zone. Les concentrations retenues tendent donc à sous-estimer les risques notamment au droit des bâtiments situés dans la partie Sud-Ouest (bâtiments D et E). Nous avons donc calculé les risques en considérant les concentrations maximales mesurées sur l'ensemble des ouvrages prélevés au droit ou autour de la zone d'étude (Pz1, Pz2, Pz3 et Pz11). Les résultats de ces calculs sont présentés dans le tableau suivant.

NB : les calculs ont été effectués pour le scénario le plus pénalisant uniquement (scénario 2 : 1 niveau de sous-sol, cible 1 : salariés).

Analyse des incertitudes : concentrations maximales dans les eaux souterraines		
toluène	µg/l	0,39
xylènes	µg/l	0,75
cis-1,2-dichloroéthène	µg/l	1,1
tétrachloroéthylène	µg/l	73
1,1,1-trichloroéthane	µg/l	1,2
trichloroéthylène	µg/l	0,7
chloroforme	µg/l	0,47

Tableau 55 : Analyses des incertitudes - concentration maximales – eaux souterraines.

Cible 1	Scénario 2 initial		Scénario 2 : Cmax eaux	
Incertitudes C° eaux	QD	ERI	QD	ERI
Bâtiment A	4,43E-03	3,49E-08	2,23E-02	1,44E-07
Bâtiment B	4,48E-03	3,52E-08	2,26E-02	1,46E-07
Bâtiment C	3,17E-03	2,64E-08	1,48E-02	9,80E-08
Bâtiment D	1,95E-02	1,29E-07	2,55E-02	1,66E-07
Bâtiment E	4,42E-03	3,49E-08	2,22E-02	1,44E-07
Bâtiment G	2,60E-03	2,25E-08	1,14E-02	7,68E-08

Tableau 56 : Analyses des incertitudes – QD et ERI issues des concentrations maximales – eaux souterraines.

--> Ces résultats mettent en évidence une augmentation logique des niveaux de risques. Cependant, ces derniers restent toujours assez largement inférieurs aux limites acceptables. Il ne



peut toutefois être exclu, compte tenu du manque de données au droit de la zone d'étude, que des concentrations localement plus importantes en COHV soient présentes dans la nappe.

**Dans ce cadre, DEKRA recommande de vérifier la qualité des eaux souterraines au droit de l'ilôt L et notamment de la partie Sud-Ouest. A défaut, et en cas de construction de bâtiments sur sous-sol, la qualité de l'air du sol sous les futurs niveaux de sous-sol pourra être vérifiée en complément des analyses sols de bords et fond de fouille.**

## 6.3 TOXICITE DES COMPOSES

### ▪ Valeurs toxicologiques de référence

Les valeurs les plus pertinentes de VTR ont été sélectionnées. Lorsque plusieurs valeurs toxicologiques sont disponibles, ces dernières ont été étudiées et les choix réalisés pour chaque substance sont présentés dans les "fiches de données physico-chimiques et toxicologiques" (en annexe).

L'extrapolation des VTR à partir d'études sur l'homme ou les animaux induit de nombreuses incertitudes. Pour les effets à seuil, le principe même de la dérivation des VTR induit l'utilisation de facteurs d'incertitudes qui atteignent 1000 dans le cas des substances retenues.

Dans l'état actuel des connaissances, l'application de ces VTR implique des estimations majorantes du risque.

D'autre part, nous nous sommes conformés à la note d'information n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 aide à la sélection des VTR recommandant de respecter la hiérarchisation suivante :

- En premier lieu, sélectionner les VTR construites par l'ANSES si elles existent ;
- En second lieu, si une expertise nationale a été menée, retenir les VTR issues de la sélection approfondie réalisée dans le cadre de l'expertise (sous réserve que l'expertise soit postérieure à la date de parution de la VTR la plus récente) ;
- Sinon, sélectionner la VTR la plus récente parmi les trois bases de données suivantes : l'US-EPA, l'ASTDR, ou l'OMS, sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée ;
- Enfin, si aucune VTR n'est retrouvée dans les quatre bases de données précédentes, choisir la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA.

### ▪ Cumul des indices de risques des différentes voies d'exposition et des différents composés

L'ensemble des QD et des ERI a été sommé. La sommation est justifiée pour les composés cancérigènes car on parle de cancer (en général) quelque soit la cause ou le mécanisme. Pour les composés non cancérigènes, ce n'est justifié qu'en première approche.

Toutefois les risques non cancérigènes supérieurs aux limites acceptables, le seraient également en considérant une approche par substance, le trichloroéthylène étant le composé tirant le risque.

## 6.4 PARAMETRES D'EXPOSITION

Les paragraphes suivants traitent de la stabilité des valeurs choisies pour les paramètres de calcul.

### ▪ Paramètres physiques caractérisant les récepteurs

Les paramètres utilisés pour caractériser physiquement les récepteurs (poids corporel, durée de vie et d'exposition) sont des valeurs standards, conservatoires et communément admises et utilisées par les groupes de travail et organismes internationaux : US EPA, OMS, INERIS, RIVM.

### ▪ Fréquences et durée d'exposition / temps passé en intérieur et en extérieur

Cible 1 et 3 : La durée d'exposition a été estimée à 42 ans pour les cibles salariés et résidents. Cette hypothèse est réaliste à majorante (la personne travaillant toute sa vie au même endroit). Concernant les résidents, il s'agit d'un logement de fonction donc lié à la durée du travail.

Cibles 2 : la durée d'exposition retenue de 5 ans est réaliste puisqu'il s'agit de la durée des études dans le secondaire et d'un BTS.

Pour les élèves, la fréquence d'exposition retenue est de 180 jours/an ce qui correspond au nombre de jours annuel de cours en France. Ce choix est réaliste à majorant, les jours fériés n'ayant pas été comptabilisés.

Pour les résidents, la fréquence d'exposition retenue est de 350 jours/an correspondant à une durée annuelle déduite de 15 jours de vacances hors site. Il s'agit d'une approche réaliste.

Pour les salariés du lycée, il a été retenu en première approche une exposition sur le site de 180 j/an, ce qui correspond au nombre de jours maximal de cours dans une année (hors jours fériés). Or, le personnel administratif doit vraisemblablement être amené à travailler plus de jours dans une année que les seules journées de cours (en particulier en été pour la préparation de la rentrée scolaire). Nous avons donc effectué un calcul en proposant un nombre de jours travaillé pour les adultes de 218 j / an (ce qui correspond au nombre de jour de travail légal en France). Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. NB : les calculs n'ont été effectués que pour le scénario 1 le plus pénalisant.

Cible 1	Scénario 1 initial		Scénario 1 : Fexp = 218 j/an	
Incertitudes Fexp salariés	QD	ERI	QD	ERI
RdC Bâtiment A	4,33E-02	5,29E-08	5,25E-02	6,41E-08
R+1 Bâtiment A	4,90E-03	1,06E-08	5,94E-03	1,29E-08
Bâtiment B	7,75E-02	2,33E-06	9,38E-02	2,83E-06
Bâtiment C	2,65E-02	1,99E+02	3,21E-02	1,99E+02
Bâtiment D	<b>7,11E+00</b>	<b>3,70E-05</b>	<b>8,62E+00</b>	<b>4,48E-05</b>
Bâtiment E	<u>2,95E-01</u>	6,61E-06	<b>1,21E+00</b>	8,01E-06
Bâtiment G	3,71E-02	1,18E-06	4,49E-02	1,43E-06

Tableau 57 : Analyses des incertitudes – fréquence d'exposition - salariés.





Les risques à l'intérieur du bâtiment E, en considérant une exposition plus élevée pour les travailleurs, passent au-dessus des limites acceptables. **Des mesures de gestion au niveau du point D3/PzR3 sont donc proposées en cas de construction du bâtiment E de plain-pied.**

Pour l'ensemble des cibles, le temps d'exposition intérieur correspond au nombre d'heures par jour travaillé et le temps en extérieur correspond au temps de pause par exemple. Ces hypothèses se veulent réalistes à majorantes.

## 6.5 PARAMETRES RELATIFS A LA MODELISATION

### ▪ Incertitudes liées au modèle utilisé

L'émission de polluants sous forme gazeuse depuis les sols a été estimée avec le modèle de *Johnson et Ettinger*, qui prend en compte la diffusion et la convection.

Le modèle permet de calculer les concentrations dans l'air à partir d'une source de pollution finie ou infinie.

Dans le cas présent, le modèle prend en compte le cas d'une source de pollution infinie, c'est-à-dire que la concentration en substance dans les sources reste identique en tout temps : la perte par évaporation n'est pas prise en considération.

Cette option n'a pas d'effet majeur sur l'évaluation du risque non cancérigène (effet à seuil) puisqu'on compare la plus forte concentration (généralement atteinte pour une durée simulée de moins de un an) avec une dose de référence.

En revanche, l'option de source infinie est majorante pour l'évaluation du risque cancérigène, puisque c'est l'exposition cumulée sur plusieurs années qui permet d'évaluer le risque. Or, dans la réalité la concentration devrait diminuer au fil des années.

Une autre hypothèse majorante induite par le modèle de *Johnson et Ettinger* est que toutes les vapeurs arrivant sous les fondations vont passer dans le bâtiment, même si les dalles et les murs peuvent constituer des barrières étanches aux vapeurs.

→ D'après les remarques citées ci-dessus, l'utilisation du modèle de *Johnson et Ettinger* constitue une approche majorante, en particulier pour l'évaluation du risque cancérigène (sans seuil).

### ▪ Caractéristiques du revêtement sur les extérieurs

Nous avons considéré dans le cadre de nos calculs l'absence de revêtement sur les extérieurs (espaces verts) mais la mise en œuvre de 30 cm de terre végétale. Selon les informations transmises par l'AMO, cette hypothèse se veut réaliste.

- Caractéristiques du revêtement à l'intérieur des bâtiments

Nous avons considéré dans le cadre de nos calculs que le revêtement des sols est constitué d'une dalle béton peu épaisse de seulement 10 cm, ce qui constitue une hypothèse réaliste à majorante (revêtement peu épais).

- Dimensions des zones de dégazage en INTERIEUR

Pour les bâtiments, nous avons considéré les dimensions disponibles au sein des plans projets transmis par la Maîtrise d'Ouvrage. Cette hypothèse se veut réaliste.

La surface retenue pour chaque rdc ou étage du bâtiment correspond à celle de la plus petite pièce occupée de manière quotidienne par bâtiment. Cette hypothèse est majorante. Nous rappelons en effet que plus le volume d'un bâtiment est faible et plus la concentration dans l'air ambiant modélisée sera importante (dilution plus faible dans un petit volume que dans un grand volume). Au droit du bâtiment D cependant, nous n'avons pas retenu les bureaux présents aux rez-de-chaussée mais la superficie d'une salle de cours accueillant élèves et professeurs. Cette hypothèse tend à sous estimer les risques. Toutefois, pour le scénario 1, les risques calculés au droit de ce bâtiment sont déjà largement supérieurs aux limites acceptables et pour les scénarii 2 et 3, a contrario, les risques sont largement inférieurs aux limites acceptables. Une prise en compte d'une superficie plus restreinte au RdC du bâtiment D ne modifierait pas les résultats de l'étude.

- Hypothèses prises pour le « Modèle Boîte »

On a considéré, pour le modèle d'inhalation en extérieur, une « longueur de boîte » de 55 m qui correspond approximativement à la largeur de la cours.

On a considéré comme « hauteur de boîte » une hauteur de 1,5 m afin de prendre en compte la hauteur de respiration des salariés et des élèves (hypothèse généralement prise en compte). Cette hypothèse se veut donc réaliste.

- Caractéristiques des sols

**Nature des sols :** aucune analyse granulométrique n'a été réalisée. Toutefois, les matériaux de la zone d'étude sont connus par le biais du retour d'expérience. Les sols de la tranche de sols impactés étaient constitués de sables graveleux. Aussi, les caractéristiques retenues pour les terrains en place sont celles des sables graveleux.

Ce type de terrain tend à faciliter le dégazage de polluants volatils du fait de son importante porosité à l'air.

**Porosité totale :** les valeurs prises en compte sont celles proposées par l'US EPA pour des sables. Dans l'absolu, ces valeurs sont sécuritaires au regard des données proposées dans la littérature.

**Contenu en eau :** le contenu en eau des différentes couches de sols rencontrées sur site a été déduit de teneurs en matière sèche mesurées lors de la campagne d'investigations de 2015. Les valeurs utilisées sont donc représentatives du site.

**Carbone Organique Total :** la teneur retenue pour le Carbone Organique Total est la valeur moyenne mesurée sur le terrain par tranche de sol. Il s'agit d'une hypothèse réaliste.



## 6.6 CUMUL DES SCENARII

Pour la Cible 3 (résident d'un des logements du bâtiment A), nous avons retenu l'unique exposition de cette cible à l'intérieur du logement. Or, le résident peut également travailler dans le Lycée, dans ce cas, il conviendrait d'étudier une exposition cumulée (par exemple dans un bureau et dans le logement). Toutefois, un scénario cumulé ne modifierait pas les conclusions de l'étude, en effet, les risques calculés les plus élevés pour la cible 3 (dans le cadre du scénario 1) sont largement inférieurs aux limites acceptables (de plus de 2 ordres de grandeur).

## 6.7 INFLUENCE SUR LES RISQUES ESTIMES

Cette discussion sur les incertitudes a montré que la démarche générale adoptée va dans le sens d'une estimation réaliste à conservatoire des risques calculés.

**La présente analyse confirme donc les résultats obtenus. Le site apparaît non compatible sur le plan sanitaire au droit du bâtiment D (scénario 1 plain-pied, cibles 1 - salariés et 2 - élèves).**

Les risques étant significativement supérieurs aux limites acceptables, une variation des paramètres les plus sensibles ne permet pas de ramener les risques à un niveau acceptable. L'analyse des incertitudes confirme que des mesures de gestion doivent être mises en place pour rétablir la compatibilité du site avec l'usage envisagé.

**L'analyse des incertitudes, pour la cible 1 (salariés), dans le bâtiment E et le scénario 1 (plain-pied), conduit également à une incompatibilité sanitaire.** Des mesures de gestion sont donc également à prévoir pour rétablir la compatibilité du site avec l'usage envisagé.

## 7 SYNTHÈSE ET CONCLUSION DE L'EQRS

### 7.1 SYNTHÈSE

L'EQRS a été réalisée pour un aménagement résidentiel selon la configuration future des bâtiments, pour des cibles adultes, enfants et résidents et les hypothèses suivantes :

- La zone d'étude est constituée par l'ilôt L ;
- Les différents diagnostics réalisés par TAUW, BURGEAP et DEKRA Industrial ont permis de montrer la présence de COHV sur l'ensemble de la zone d'étude, en concentrations localement importantes notamment au sud-ouest de l'ilôt ;
- Les eaux souterraines, d'après les résultats de la campagne d'analyses de juin 2015 mettent en évidence la présence de COHV (Tetrachloroéthylène principalement) au droit de l'ensemble des piézomètres au droit (Pz2) et à proximité de l'ilôt (Pz1, Pz3 et Pz11) ;
- Les résultats des investigations menées sont présentés dans le rapport DEKRA n°51724321- Caractérisation de l'état des milieux-Ilôt L du 3 juillet 2015 (missions A200, A210 et A230) ;
- Les scénarii retenus pour l'aménagement de la zone d'étude sont basés sur les données et plans transmis en date du 6 juillet 2015. Les aménagements ainsi prévus sur la zone d'étude sont présentés en Figure 1. Les hypothèses retenues pour ces aménagements sont les suivantes :
  - Aménagement d'un lycée comprenant :
    - Un bâtiment accueillant des logements de fonctions en R+2 et au-delà (Bâtiment A),
    - Quatre bâtiments scolaires (bâtiment B, C, D et E),
    - Un complexe sportif au nord de l'ilôt (bâtiment G),
    - Une zone verte, au centre du site ainsi qu'une cours pavée.
  - Trois scénarii sont étudiés : ensemble des bâtiments de plain-pied et sur 1 ou 2 niveaux de sous-sol,
  - En cas de construction de parkings en sous-sol, un terrassement préalable des terrains de 3 m ou 6 m par rapport au niveau actuel sera nécessaire,
  - Absence de culture de denrées comestibles sur toute la zone d'étude,
  - Absence d'élevage d'animaux dont les produits (ex : œuf, lait) ou la viande sont susceptibles d'être consommés,
  - Absence d'utilisation des eaux souterraines
  - Pour l'alimentation en eau potable, utilisation de canalisations métalliques ou PVC avec étanchéité complémentaire au niveau des joints ou implantation dans des remblais sains.

Cette analyse a été menée selon la méthodologie d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) et conformément à la démarche nationale suivant les textes et outils méthodologiques développés dans les circulaires du 8 février 2007.



Les cibles étudiées sont les salariés adultes (professeur, ...), résidents et élèves. L'exposition se fait uniquement par inhalation de polluants.

Les calculs réalisés et l'analyse des incertitudes ont conclu que les risques sanitaires sont supérieurs aux limites considérées et sont donc **non acceptables**.

**Le site à l'étude (ILOT L), avec la pollution telle qu'observée à la date d'élaboration du présent rapport, apparaît donc incompatible du point de vue sanitaire au droit du futur bâtiment D en cas de construction de ce dernier de plain-pied.**

**Sur la base du scénario 2 (1 niveau de sous-sol), la création d'un niveau de sous-sol permet de rendre compatible le site avec son usage futur.**

Les risques sont principalement liés à l'inhalation de vapeurs du Trichloroéthylène.

Dans le cadre de la construction du bâtiment D, des mesures de gestion doivent donc être mises en place au droit de la zone afin de rétablir la compatibilité du site avec l'usage projeté. Ces dernières sont précisées dans le paragraphe suivant dédié aux recommandations.

Etant donné les incertitudes pour le bâtiment E, des mesures de gestion sont également à prévoir au droit de ce bâtiment en cas de construction de plain-pied.

**Les mesures de gestion pour les bâtiments D et E, permettent de rendre compatible l'usage futur du point de vue sanitaire.**

## 7.2 RECOMMANDATIONS

Au vu des résultats sur les différents milieux analysés et de la conclusion de l'EQRS, **dans le cadre de la construction des bâtiments scolaires D et E**, les recommandations suivantes sont formulées pour rendre le terrain compatible avec l'usage projeté :

- L'excavation des terres impactées par les BTEX et COHV lors de la réalisation du chantier de construction au droit :
  - du bâtiment D impérativement,
  - du bâtiment E si celui-ci est construit de plain-pied ;
- L'envoi de ces terres vers un centre agréé ;
- La réalisation de prélèvements de contrôle en fond et parois de fouille sols et air du sol ;
- Le remblaiement de la zone avec des terres saines ;
- La réalisation de nouvelles analyses d'air du sol ;
- La validation des travaux par la réalisation d'une Analyse de Risques Résiduels (ARR)\* ;
- La conservation de la mémoire des pollutions résiduelles par la mise en place d'une restriction d'usage.



Cette étude a été menée et reste valide pour les pollutions actuellement observées sur le site.

En cas de changement de configuration du projet ou des usages et/ou de mise à jour de contamination non reconnue ou non portée à la connaissance de DEKRA dans le cadre de la présente étude, les conclusions de cette dernière pourraient devenir caduques.

*\*L'ARR conformément à la méthodologie de gestion des sites et sols pollués peut être constituée par un simple retour d'expérience en cas de concentrations résiduelles faibles. Seul un résiduel important une fois les mesures de gestions mise en place nécessitera la mise à jour des calculs de risques sanitaires.*



## **ANNEXE 1 : EVALUATION DES DANGERS**

---

# FAMILLE DES BTEX

Substance N° CAS	Benzène 71-43-2	
Paramètres physico-chimiques		
Paramètre	Valeur	Référence
Masse Molaire (g/mol)	78,11	HSDB, INERIS, ATSDR
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	0,88	INRS, HSDB, RISC
Pression de vapeur (mmHg)	65	HSDB
	95,2	RISC
	75,25	INERIS
Solubilité (mg/L)	1750	RISC, RAIS, INCHEM
	1830	INERIS
Constante de Henry (-)	0,228	HSDB, RAIS, RISC
	0,225	INERIS
Koc (mL/g)	59	RISC, RAIS
	60	INERIS
Kd (mL/g)	-	
Log Kow	2,1	HSDB, RISC
	2,13	INERIS, INCHEM
Coef. de diffusion dans l'air (cm²/s)	0,88	RAIS, RISC, INERIS
Coef. de diffusion dans l'eau (cm²/s)	9,8.10 <sup>-6</sup>	RAIS, RISC, INERIS
Coef. de diffusion à travers le PEHD (cm²/s)	1,4.10 <sup>-6</sup>	INERIS
Perméabilité cutanée Kp (cm/h)	0,111	INERIS
Tx d'absorption cutané par contact avec les sols ABS sol (-)	0,1	RISC
Tx d'absorption cutané par contact avec les eaux ABS eaux (-)	1	RISC

<sup>1</sup> : les données disponibles ne permettent pas une évaluation correcte

<sup>2</sup> : valeur pouvant être déterminée par calcul avec Log Kow





Substance N° CAS		Benzène 71-43-2						
Valeurs toxicologiques de référence								
Nature du risque	Voie d'exposition	Valeur	Source	Espèce	Critère	Facteur de sécurité	Date d'actualisation	Organe(s) cible(s)
NC	Ingestion (mg/kg/j)	5.10 <sup>-3</sup>	ATDSR	Homme	BMCL	30	2007	Système circulatoire, immunitaire et neurologique
		4.10 <sup>-3</sup>	US EPA	Homme	BMCL	300	2003	
		30	US EPA	Homme	BMCL	300	2003	
		9,75 <sup>(3)</sup>	ATSDR	Homme	BMCL	10	2005	
		60	OEHHA	Homme	-	10	2003	
C	Ingestion (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	1,5 à 5,5.10 <sup>-2</sup>	US EPA	Homme	-	-	2000	
		2,2 à 7,8.10 <sup>-6</sup>	US EPA	Homme	-	-	1998	
	Inhalation (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	6.10 <sup>-6</sup>	OMS	Homme	-	-	2000	
		2,9.10 <sup>-5</sup>	OEHHA	Homme	-	-	2002	
Classe de cancérogénicité		UE	CIRC - IARC	US EPA				
		1	1	A				

<sup>3</sup> : valeur provisoire

Substance N° CAS		Ethylbenzène 100-41-4						
Valeurs toxicologiques de référence								
Nature du risque	Voie d'exposition	Valeur	Source	Espèce	Critère	Facteur de sécurité	Date	Organe(s) cible(s)
NC	Ingestion (mg/kg/j)	0,097	OMS	Rats	NOAEL	1000	2004	Système hépatique et rénal
		0,1	US EPA	Rats	NOAEL	1000	1991	
	Inhalation (µg/m³)	4350	ATSDR	Rats et lapins	NOAEL	100	1999	Système hépatique et rénal
		770	RIVM	Rats et souris	NOAEL	100	2001	
		1000	US EPA	Rats et lapins	NOAEL	300	1991	
C	Ingestion (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	0,011	OEHHA	Rats et souris	-	-	2007	Système hépatique et rénal
	Inhalation (µg/m³) <sup>-1</sup>	0.0000025	OEHHA	Rats et souris	-	-	2007	
Classe de cancérogénicité		UE	CIRC - IARC	US EPA				
		-	2B	D				



Substance N° CAS	Ethylbenzène 100-41-4	
Paramètres physico-chimiques		
Paramètre	Valeur	Référence
Masse Molaire (g/mol)	106,2	HSDB, INCHEM, ATSDR, RAIS, RISC
Densité (g/cm³)	0,867	INERIS, RISC, HSDB, ATSDR
Pression de vapeur (mmHg)	9,6	RISC, HSDB, INERIS
Solubilité (mg/L)	169	RISC, RAIS
Constante de Henry (-)	0,323	HSDB, INERIS, RISC
Koc (mL/g)	360	RISC
	363	RAIS
	242	INERIS
Kd (mL/g)	-	
Log Kow	3,1	INERIS, RISC, HSDB
Coef. de diffusion dans l'air (cm²/s)	0,075	INERIS, RAIS, RISC, US EPA
Coef. de diffusion dans l'eau (cm²/s)	7,8.10 <sup>-6</sup>	INERIS, RAIS, RISC, US EPA
Coef. de diffusion à travers le PEHD (cm²/s)	2,1.10 <sup>-6</sup>	INERIS
Perméabilité cutanée Kp à une solution aqueuse (cm/h)	1,2	INERIS, RAIS
Tx d'absorption cutané par contact avec les sols ABS sol (-)	0,1	RISC
Tx d'absorption cutané par contact avec les eaux ABS eaux (-)	1	RISC

<sup>1</sup> : valeur pouvant être déterminée par calcul avec Log Kow



Substance N° CAS	Toluène 108-88-3	
Paramètres physico-chimiques		
Paramètre	Valeur	Référence
Masse Molaire (g/mol)	92,14	HSDB, INCHEM, ATSDR, RAIS, RISC, INERIS
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	0,87	INERIS, RISC, HSDB, ATSDR, INRS, INCHEM
Pression de vapeur (mmHg)	6,4	RISC, HSDB, RAIS
Solubilité (mg/L)	526	RISC, HSDB
Constante de Henry (-)	0,272	HSDB, INERIS, RISC
Koc (mL/g)	100	INERIS, HSDB, US EPA
	180	RISC
Kd (mL/g)	-	
Log Kow	2,69	INERIS
	2,73	HSDB
	2,75	RISC, US EPA
Coef. de diffusion dans l'air (cm²/s)	0,087	INERIS, RISC, US EPA, RAIS
Coef. de diffusion dans l'eau (cm²/s)	8,6.10 <sup>-6</sup>	INERIS, RISC, US EPA, RAIS
Coef. de diffusion à travers le PEHD (cm²/s)	1,2.10 <sup>-6</sup>	INERIS
Perméabilité cutanée Kp à une solution aqueuse (cm/h)	1	INERIS
Tx d'absorption cutané par contact avec les sols ABS sol (-)	0,1	RISC
Tx d'absorption cutané par contact avec les eaux ABS eaux (-)	1	RISC

Substance N° CAS		Toluène 108-88-3						
Valeurs toxicologiques de référence								
Nature du risque	Voie d'exposition	Valeur	Source	Espèce	Critère	Facteur de sécurité	Date	Organe(s) cible(s)
NC	Ingestion (mg/kg/j)	0,08	US EPA	Rats	LOAEL	3000	2005	Système hépatique, rénal et immunitaire
		0,22	Santé Canada	Rats	NOAEL	1000	1991	
		0,223	RIVM	Souris	NOAEL	1000	2001	
	Inhalation (µg/m³)	5000	US EPA	Homme	NOAEL	10	2005	Système neurologique et développement fœtal
		300	ATSDR	Homme	LOAEL	100	2000	
		3750	Santé Canada	Homme	LOAEL	10	1991	
		400	RIVM	Homme	LOAEL	300	2001	
		300	OEHHA	Rats	NOAEL	100	2003	
C	Ingestion (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	-
	Inhalation (µg/m³) <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	-
Classe de cancérogénicité		UE	CIRC - IARC	US EPA				
		-	3	D				



Substance N° CAS	Xylènes 1330-20-7	
Paramètres physico-chimiques		
Paramètre	Valeur	Référence
Masse Molaire (g/mol)	106,2	INERIS, INRS, INCHEM, RISC
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	0,87	INERIS, RISC, HSDB, INRS, INCHEM
Pression de vapeur (mmHg)	8,8	RISC, HSDB, RAIS
Solubilité (mg/L)	106	RAIS
	198	RISC, HSDB
Constante de Henry (-)	0,29	HSDB, INERIS, RISC
Koc (mL/g)	443	RAIS
	240	RISC, INERIS, US EPA, ATSDR
Kd (mL/g)	-	
Log Kow	3,15	INERIS
	3,2	HSDB, RISC
Coef. de diffusion dans l'air (cm²/s)	0,072	INERIS, RISC, US EPA, RAIS
Coef. de diffusion dans l'eau (cm²/s)	8,5.10 <sup>-6</sup>	INERIS, RISC, US EPA
Coef. de diffusion à travers le PEHD (cm²/s)	1,6.10 <sup>-6</sup>	INERIS
Perméabilité cutanée Kp à une solution aqueuse (cm/h)	0,08	INERIS
Tx d'absorption cutané par contact avec les sols ABS sol (-)	0,1	RISC
Tx d'absorption cutané par contact avec les eaux ABS eaux (-)	1	RISC

Substance N° CAS		Xylènes 1330-20-7						
Valeurs toxicologiques de référence								
Nature du risque	Voie d'exposition	Valeur	Source	Espèce	Critère	Facteur de sécurité	Date	Organe(s) cible(s)
NC	Ingestion (mg/kg/j)	0,1	ATDSR	Rats	NOAEL	100	2007	Système neurologique
		0,2	US EPA	Rats et souris	NOAEL	1000	2003	système hépatique
		0,179	OMS	Rats et souris	NOAEL	1000	2004	
		1,5	Santé Canada	Rats	NOEL	100	1991	
		0,15	RIVM	Rats	NOEL	1000	2001	
	Inhalation (µg/m³)	100	US EPA	Rats	NOEL	300	2003	Système neurologique et développement fœtal
		435	ATSDR	Homme	LOAEL	100	1995	
		220*	ATSDR	Homme	LOAEL	300	2005	
		180*	Santé Canada	Rats et souris	LOEL	1000	1991	
		870	RIVM	Rats	LOEL	1000	2001	
		700	OEHHA	Homme	NOAEL	30	2003	
C	Ingestion (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	-
	Inhalation (µg/m³) <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	-
Classe de cancérogénicité		UE	CIRC - IARC	US EPA				
		-	3	D				

\* : valeur provisoire



## FAMILLE DES COHV

Substance N° CAS	Trichloroéthylène 79-01-6	
Paramètres physico-chimiques		
Paramètre	Valeur	Référence
Masse Molaire (g/mol)	131,4	RISC, INERIS, HSDB, ATSDR
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	1,465	RISC, INERIS, HSDB, ATSDR
Pression de vapeur (mmHg)	69	RISC, HSDB, ATSDR
Solubilité (mg/L)	1070	INERIS, ATSDR
	1100	RISC, US EPA
Constante de Henry (-)	0,422	RAIS, RISC, CHEMFATE
Koc (mL/g)	170	RISC
	111	INERIS
Log Kow	2,7	RISC, US EPA
Coef. de diffusion dans l'air (cm²/s)	0,079	RISC, INERIS, US EPA
Coef. de diffusion dans l'eau (cm²/s)	9,1.10 <sup>-6</sup>	RISC, INERIS, US EPA
Coef. de diffusion à travers le PEHD (cm²/s)	1,6.10 <sup>-6</sup>	INERIS
Perméabilité cutanée Kp (cm/h)	0,23	INERIS            A déterminer <sup>1</sup>
Tx d'absorption cutané par contact avec les sols ABS sol (-)	0,1	RISC
Tx d'absorption cutané par contact avec les eaux ABS eaux (-)	1	RISC

<sup>1</sup> : valeur pouvant être déterminée par calcul avec Log Kow

Substance N° CAS		Trichloroéthylène 79-01-6						
Valeurs toxicologiques de référence								
Nature du risque	Voie d'exposition	Valeur	Source	Espèce	Critère	Facteur de sécurité	Date d'actualisation	Organe(s) cible(s)
NC	Ingestion (mg/kg/j)	5,00E-04	IRIS	Souris	LOAEL	100	2011	Système hépatique, cutané, circulatoire, immunitaire, rénal et développement fœtal
	Inhalation (µg/m³)	2	IRIS	Souris	LOAEL	100	2011	Système neurologique, rénal et hépatique
C	Ingestion (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	4,60E-02	IRIS	Homme			2011	Système neurologique, rénal et hépatique
	Inhalation (µg/m³) <sup>-1</sup>	4,1.10 <sup>-6</sup>	IRIS	Homme	-	-	2011	
Classe de cancérogénicité		UE	CIRC - IARC	US EPA				
		3	2A	B/C				





Substance N° CAS	Tétrachloroéthylène 127-18-4	
Paramètres physico-chimiques		
Paramètre	Valeur	Référence
Masse Molaire (g/mol)	165,8	RISC, INERIS, HSDB
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	1,623	INERIS, HSDB, ATSDR, RISC
Pression de vapeur (mmHg)	19	RISC, INERIS, HSDB, ATSDR
Solubilité (mg/L)	150	INERIS
	200	RISC, US EPA
Constante de Henry (-)	0,754	RAIS, RISC, CHEMFATE
Koc (mL/g)	160	RISC
	247	INERIS, US EPA
Log Kow	2,67	ATSDR, CHEMFATE, RISC
Coef. de diffusion dans l'air (cm²/s)	0,072	RISC, INERIS, US EPA
Coef. de diffusion dans l'eau (cm²/s)	8,2.10 <sup>-6</sup>	RISC, INERIS, US EPA
Coef. de diffusion à travers le PEHD (cm²/s)	7,7.10 <sup>-7</sup>	INERIS
Perméabilité cutanée Kp (cm/h)	0,37	INERIS
Tx d'absorption cutané par contact avec les sols ABS sol (-)	0,1	RISC
Tx d'absorption cutané par contact avec les eaux ABS eaux (-)	1	RISC

Substance N° CAS		Tétrachloroéthylène 127-18-4						
Valeurs toxicologiques de référence								
Nature du risque	Voie d'exposition	Valeur	Source	Espèce	Critère	Facteur de sécurité	Date d'actualisation	Organe(s) cible(s)
NC	Ingestion (mg/kg/j)	0,006	US EPA	Homme	LOAEL	1000	2012	Système hépatique, rénal et neurologique
		0,014	OMS	Rats et souris	NOAEL	1000	2004	
		0,014	Santé Canada	Rats	NOAEL	1000	1992	
		0,016	RIVM	Rats	NOAEL	1000	2001	
	Inhalation (µg/m <sup>3</sup> )	280	ATSDR	Homme	LOAEL	100	1997	Système neurologique
		40	US EPA	Homme	LOAEL	1000	2012	
		250	OMS	Homme	LOAEL	420	2000	
		360	Santé Canada	Souris	LOAEL	1000	1992	
C	Ingestion (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	2,1.10 <sup>-3</sup>	US EPA	Souris	-	-	2012	Système hépatique et neurologique
		0,54	OEHHA	Souris	-	-	2002	
	Inhalation (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	2,6.10 <sup>-7</sup>	US EPA	Souris	-	-	2012	
		5,9.10 <sup>-6</sup>	OEHHA	Souris	-	-	2002	
Classe de cancérogénicité		UE	CIRC - IARC	US EPA				
		3	2A	B/C				



Substance N° CAS	1,1,1-Trichloroéthane 71-55-6	
Paramètres physico-chimiques		
Paramètre	Valeur	Référence
Masse Molaire (g/mol)	133,4	RISC, INERIS, ATSDR, HSDB
Densité (g/cm³)	1,34	HSDB, ATSDR
	1,35	RISC
Pression de vapeur (mmHg)	120	RISC
	127	HSDB, ATSDR
Solubilité	1330	RISC
Constante de Henry (-)	0,705	RAIS, RISC
Koc (mL/g) log Kow	110	RISC
	2,5	RISC
Coef. de diffusion dans l'air (cm²/s)	0,078	RAIS, RISC, INERIS, US EPA
Coef. de diffusion dans l'eau (cm²/s)	8,8.10 <sup>-6</sup>	RAIS, RISC, INERIS, US EPA
Coef. de diffusion à travers le PEHD (cm²/s)	-	
Perméabilité cutanée Kp (cm/h)	-	A déterminer <sup>1</sup>
Tx d'absorption cutané par contact avec les sols ABS sol (-)	0,1	RISC
Tx d'absorption cutané par contact avec les eaux ABS eaux (-)	1	RISC

<sup>1</sup> : valeur pouvant être déterminée par calcul avec Log Kow

Substance N° CAS		1,1,1-Trichloroéthane 71-55-6						
Valeurs toxicologiques de référence								
Nature du risque	Voie d'exposition	Valeur	Source	Espèce	Critère	Facteur de sécurité	Date d'actualisation	Organe(s) cible(s)
NC	Ingestion (mg/kg/j)	0,5	TRI					Système digestif, hépatique et cutané
		2	US EPA	Souris	BMDL	1000	2000	
	Inhalation (µg/m³)	5000	US EPA	Rats	NOAEL	100	2000	Système nerveux et hépatique
		1000	OEHHA	Gerboises	NOAEL	300	2002	
C	Ingestion (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-						
	Inhalation (µg/m³) <sup>-1</sup>	-						
Classe de cancérogénicité		UE	CIRC - IARC	US EPA				
		3	2B	B2				



Substance N° CAS	Chloroforme (Trichlorométhane) 67-66-3	
Paramètres physico-chimiques		
Paramètre	Valeur	Référence
Masse Molaire (g/mol)	119,4	RAIS, RISC, INERIS, ATSDR
Densité (g/cm³)	1,48	INERIS, HSDB, ATSDR
	1,49	RISC
Pression de vapeur (mmHg)	200	RISC
	196	INERIS, HSDB
Solubilité (mg/L)	8200	INERIS
	7920	RISC
Constante de Henry (-)	0,15	RAIS, RISC
Koc (mL/g)	40	RISC, RAIS
	60	INERIS, US EPA
Log Kow	1,97	ATSDR US EPA, INERIS
	1,9	RISC
Coef. de diffusion dans l'air (cm²/s)	0,1	RAIS, RISC, INERIS, US EPA
Coef. de diffusion dans l'eau (cm²/s)	1.10 <sup>-5</sup>	RAIS, RISC, INERIS, US EPA
Coef. de diffusion à travers le PEHD (cm²/s)	1.10 <sup>-6</sup>	INERIS
Perméabilité cutanée Kp (cm/h)	0,1	INERIS                    A déterminer <sup>1</sup>
Tx d'absorption cutané par contact avec les sols ABS sol (-)	0,1	RISC
Tx d'absorption cutané par contact avec les eaux ABS eaux (-)	1	RISC

Substance N° CAS		Chloroforme (Trichlorométhane) 67-66-3						
Valeurs toxicologiques de référence								
Nature du risque	Voie d'exposition	Valeur	Source	Espèce	Critère	Facteur de sécurité	Date d'actualisation	Organe(s) cible(s)
NC	Ingestion (mg/kg/j)	0,01	ATSDR	Chiens	LOAEL	1000	1998	Système neurologique, hépatique et rénal
		0,01	US EPA	Chiens	LOAEL	1000	2001	
		0,013	OMS	Chiens	LOAEL	1000	2004	
	Inhalation (µg/m³)	98	ATSDR	Homme	LOAEL	100	1998	
		100	RIVM	Rats	NOAEL	-	2001	
		300	OEHHA	Rats	LOAEL	300	2002	
C	Ingestion (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	0,031	OEHHA	Rats	-	-	2002	Système neurologique, hépatique et rénal
	Inhalation (µg/m³) <sup>-1</sup>	2,3.10 <sup>-5</sup>	US EPA	Souris	-	-	2001	
		5,3.10 <sup>-6</sup>	OEHHA	Rats et souris	-	-	2002	
Classe de cancérogénicité		UE	CIRC - IARC	US EPA				
		3	2B	B2				

#### Références

**ATSDR** <http://www.atsdr.cdc.gov>

**Chemfate** <http://www.syrres.com/esc/chemfate.htm>

**HSDB** <http://www.nlm.nih.gov/pubs/factsheets/hsdbfs.html>

**Inchem** (WHO, EHC) <http://www.inchem.org/pages/ehc.html>

**Ineris** <http://www.ineris.fr>

**INRS** <http://www.inrs.fr>

**IRIS** <http://www.epa.gov/iriswebp/iris/index.html>

**ITER** <http://www.tera.org/iter/>

**OEHHA** <http://www.oehha.ca.gov/risk/ChemicalDB/index.asp>

**RAIS** <http://risk.lsd.ornl.gov/index.shtml>

**RISC Workbench** Human health risk assessment for contaminated sites - BP, 2001

**RIVM** <http://www.rivm.nl/en/>

**Santé Canada** [http://www.hc-sc.gc.ca/index\\_f.html](http://www.hc-sc.gc.ca/index_f.html)

**Scorecard** <http://www.scorecard.org/chemical-profiles/>

**Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group**

**Toxnet** <http://toxnet.nlm.nih.gov/>



## **ANNEXE 2 : DETAIL DES CALCULS**

---



## **INHALATION DE VAPEURS DANS L'AIR INTERIEUR - BATIMENT DE PLAIN PIED OU AVEC NIVEAUX DE SOUS-SOL**

### Choix de l'outil de modélisation

La modélisation des transferts de l'air des sols vers l'air intérieur est associée au développement d'outils relativement récents (début des années 90). Ces outils sont très peu nombreux, les principaux utilisés en France qui intègrent et le transport diffusif et le transport convectif sont VOLASOIL 9 (Waitz et al, 1996) et le modèle dit de « Johnson and Ettinger »<sup>10</sup> (Johnson and Ettinger, 1991). D'autres outils plus simplifiés comme HESP® ne sont plus utilisés car ils ne considèrent que le flux diffusif à travers le dallage et peuvent donc dans certaines configurations sous-estimer le transfert.

VOLASOIL qui prend en compte un écoulement à travers les fissures des bétons de type POISSEUILLE, est utilisable pour des bâtiments avec vide sanitaire, il n'est pas adapté à la modélisation des transferts vers un bâtiment de plain pied. Johnson and Ettinger qui prend en compte une fissuration périphérique du dallage et un écoulement de type DARCY à travers ces fissures, est utilisable pour des bâtiments de plain-pied.

→ Compte tenu du projet utilisé (bâtiment de plain-pied), le modèle de Johnson et Ettinger a été retenu.

### Description du modèle utilisé

La modélisation des expositions aux vapeurs est conduite sur la base des équations de Johnson & Ettinger (1991), dont la description est donnée ci-dessous. Les équations présentées dans la norme ASTM E 1739-95 et dans le logiciel intégré RISC v 4.0 (octobre 2001, Distribué par Waterloo hydrogeologic, développé par Lynn R.Spence et BP oil International) ont été réécrites par nos soins sous excel, les phénomènes considérés sont synthétisés ci-après.

La diffusion (équations de Millington and Quirck et équation de Fick) entraîne les polluants à travers le sol jusqu'à la zone d'influence du bâtiment où le phénomène convectif intervient. Le mouvement convectif, dû à une différence de pression entre l'air du sol et l'air intérieur des bâtiments (occasionnée par la combinaison du vent, du chauffage et des mécanismes de ventilation), transporte les vapeurs par les fissures des fondations et de la dalle béton.

---

<sup>9</sup> Waitz et al., 1996. The VOLASOIL risk assessment model based on CSOIL for soils contaminated with volatile compounds. M.F.W. Waitz; J.I. Freijer; F.A. Swartjes. May 1996. RIVM. Report n° 7581001.

<sup>10</sup> Johnson PC and Ettinger RA, 1991. Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into buildings. Env. Sci. Technol. 25, p 1445-1452





La concentration dans l'air intérieur en régime permanent (source infinie) est calculée à partir de la concentration dans l'air des sols à la source comme suit:

$$C_{\text{int}} = \alpha \cdot C_{\text{vs}} \quad (1)$$

avec :

$$\alpha = \frac{\left[ \frac{D_{\text{eff}} \times A_B}{Q_B \times L_T} \right] \times \left[ \exp\left(\frac{Q_{\text{sol}} \times L_{\text{crack}}}{D_{\text{crack}} \times A_{\text{crack}}}\right) \right]}{\left[ \exp\left(\frac{Q_{\text{sol}} \times L_{\text{crack}}}{D_{\text{crack}} \times A_{\text{crack}}}\right) + \left[ \frac{D_{\text{eff}} \times A_B}{Q_B \times L_T} \right] + \left[ \frac{D_{\text{eff}} \times A_B}{Q_{\text{sol}} \times L_T} \right] \times \left[ \exp\left(\frac{Q_{\text{sol}} \times L_{\text{crack}}}{D_{\text{crack}} \times A_{\text{crack}}}\right) - 1 \right] \right]} \quad (2)$$

$D_{\text{eff}}$  : coefficient de diffusion effectif ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ) calculé à partir de la porosité et de la teneur en eau des différents horizons de sols entre la source de pollution et le dallage par application des équations de Millington et Quirck détaillées ci-après

$C_{\text{vs}}$  : concentration de vapeur dans la source ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$Q_{\text{sol}}$  : débit de gaz en provenance du sol dans le bâtiment ( $\text{cm}^3/\text{s}$ ), calculé à partir de la différence de pression et de la perméabilité des sols sous dallage

$D_{\text{crack}}$  : coefficient de diffusion effectif dans les fondations ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ), calculé à partir de la porosité et de la teneur en eau des sols sous dallage par application des équations de Millington et Quirck détaillées ci-après

$A_{\text{crack}}$  : surface de fissures à travers lesquelles les vapeurs rentrent dans le bâtiment ( $\text{cm}^2$ ), correspondant au produit entre le taux de fissuration et la surface du dallage

$L_{\text{crack}}$  : épaisseur de la dalle ( $\text{cm}$ )

$A_B$  : surface des bâtiments ( $\text{cm}^2$ )

$L_T$  : distance de la source au dallage ( $\text{cm}$ )

$Q_B$  : Débit de renouvellement d'air du bâtiment ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), calculé à partir du nombre d'échanges d'air par jour et du volume du bâtiment

Le débit  $Q_{sol}$  est calculé à partir de l'équation suivante :

$$Q_{sol} = \frac{2 \times \pi \times (\Delta P) \times k_v \times X_{crack}}{\mu \ln[2 \times Z_{crack} / r_{crack}]} \quad (3)$$

avec  $\Delta P$  : gradient de pression entre le bâtiment et l'extérieur ( $g/cm^2 \cdot s^2$ )

$k_v$  : perméabilité intrinsèque des sols ( $cm^2$ )

$\mu$  : viscosité des vapeurs ( $g/cm \cdot s$ )

$X_{crack}$  : longueur du cylindre représentant la fissure, correspondant au périmètre du bâtiment considéré

$r_{crack}$  : rayon équivalent de la fissure, calculé par le rapport entre (fraction des fissures dans le dallage x surface du dallage) et le périmètre du bâtiment considéré

$Z_{crack}$  : profondeur des fissures sous le sol, correspondant à l'épaisseur du dallage considéré

$\pi$  : 3.14159

Le terme en exponentiel dans l'équation (2) suivant :

$$\left( \frac{Q_{sol} \times L_{crack}}{D_{crack} \times A_{crack}} \right)$$

représente le nombre de Péclet Equivalent pour le transport à travers les fondations du dallage, quand ce terme tend vers l'infini, la résolution de l'équation (2) approche :

$$\alpha = \frac{\left[ \frac{D_{eff} \times A_B}{Q_B \times L_T} \right]}{\left[ \frac{D_{eff} \times A_B}{Q_{sol} \times L_T} \right] + 1}$$

#### Calcul des coefficients de diffusion

Le coefficient de diffusion réel (appelé diffusion effective,  $D_{sa}$  dans l'air et  $D_w$  dans l'eau) est calculé par la solution analytique développée par Millington and Quirk (1981) à partir de la porosité des sols, de la teneur en air et en eau et des coefficients de diffusion de la substance dans l'air et dans l'eau.

$$D_{sa} = D_{air} \times \theta_{air} \times \theta_{air}^{-1} \quad (1)$$

$$D_w = (D_{eau} / H) \times \theta_{eau} \times \theta_{eau}^{-1} \quad (2)$$

Le coefficient de diffusion dans le milieu poreux est ensuite défini comme la somme des deux termes précédents.

le coefficient de tortuosité ( $\theta^{-1}$ ) est défini de la manière suivante : dans l'air du sol :  $\theta_{air}^{-1} = \theta_{air}^{7/3} / \theta^2$  et dans la phase aqueuse du sol :  $\theta_{eau}^{-1} = \theta_{eau}^{7/3} / \theta^2$ , avec :

$H$  : constante de Henry adimensionnelle,

$\theta$  : porosité totale,

$\theta_{eau}$  : teneur en eau du sol,

$\theta_{air}$  : teneur en gaz du sol.



La concentration dans l'air du sol est calculée correspond à la valeur minimale issue des équations suivantes :

$$C_{vs} = (C_t \times \rho_b \times K_H) / (\theta_a \times K_H + \theta_w + \rho_b \times F_{oc} \times K_{oc})$$

Equation utilisée quand  $C_w < \text{Solubilité effective}$

Avec  $C_t$  : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)  
 $\rho_b$  : densité du sol (g/cm<sup>3</sup>)  
 $F_{oc}$  : fraction de carbone organique dans le sol (g co/g sol)  
 $K_{oc}$  : coefficient de partition du carbone organique (mg/l/g)  
 $K_H$  : constante de Henry ((mg/l)/(mg/l))  
 $\theta_a$  : teneur en air dans les sols (cm<sup>3</sup> d'air/ cm<sup>3</sup> de sol)  
 $\theta_w$  : teneur en eau dans les sols (cm<sup>3</sup> d'eau/ cm<sup>3</sup> de sol)

$$C_{wi} = X \cdot S \text{ et } C_{eaudusol} = \frac{C_{airdusol}}{H}$$

Equation utilisée en présence de phase résiduelle dans les sols ( $C_w > \text{Solubilité}$ )

Avec  $C_{wi}$  : concentration de la substance i dans l'eau du sol (mg/l),  
H : constante de Henry (-)  
X : fraction molaire de la substance i dans le mélange (-)  
S : solubilité de la substance i (mg/l)

Les équations du modèle en source finie ou infinie de Johnson et Ettinger utilisées sont consultables dans le document suivant : **USER'S GUIDE FOR EVALUATING SUBSURFACE VAPOR INTRUSION INTO BUILDINGS**, U.S. EPA OFFICE OF EMERGENCY AND REMEDIAL RESPONSE ; EPA Contract Number: 68-W-01-058 ; June 19, 2003



## INHALATION DE VAPEURS DANS L'AIR EXTERIEUR

Dans l'air extérieur, la modélisation des expositions est conduite sur la base des équations de Millington and Quirck 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 source de pollution est considérée comme infinie.

Le calcul des concentrations diluées par le vent est effectué à l'aide de l'équation générique utilisée dans le logiciel RISC (modèle boîte) :

$$C_{i,air-ext} = \frac{F}{v} \cdot \frac{L}{H}$$

avec  $C_{i, air-ext}$  : concentration moyenne dans l'air extérieur ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) à la hauteur de l'organe respiratoire (H)

F : flux de polluant à l'interface sol/air extérieur ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )

L : longueur de la zone de mélange (correspondant à la longueur de la zone polluée) (en m)

v : vitesse moyenne du vent (m/s).

H : hauteur de la zone de mélange (m) correspondant à la hauteur de l'organe respiratoire de la cible

Le flux vers l'air extérieur est calculé à partir de l'équation de FICK (flux diffusif seul) suivante :

$$\phi(g / m^2 - j) = D_{eff} * \frac{\partial C}{\partial z}$$

où : -  $dC/dz$  : gradient de concentration ( $\text{g}/\text{m}^3\text{-m}$ ) entre la concentration à la source (la concentration dans les gaz à l'équilibre avec les sols pollués ou les eaux de la nappe polluée).

- le coefficient de diffusion effectif ( $D_{eff}$  en  $\text{m}^2/\text{j}$ ) dans le sol prend en considération à la fois la diffusion dans la phase aqueuse et dans la phase gazeuse<sup>11</sup> est donné ci-après.

Le coefficient de diffusion réel (appelé diffusion effective,  $D_{sa}$  dans l'air et  $D_w$  dans l'eau) est calculé par la solution analytique développée par Millington and Quirck (1981) à partir de la porosité des sols, de la teneur en air et en eau et des coefficients de diffusion de la substance dans l'air et dans l'eau.

$$D_{sa} = D_{air} \times \theta_{air} \times \theta_{air}^{-1} \quad (1)$$

$$D_w = (D_{eau} / H) \times \theta_{eau} \times \theta_{eau}^{-1} \quad (2)$$

---

<sup>11</sup> Dans la notice d'utilisation de VOLASOII, il est souligné qu' zone non saturée, le coefficient de diffusion dans la phase gazeuse est approximativement  $10^4$  fois plus grand que le coefficient de diffusion dans la phase aqueuse (Glottely & Schomburg, 1991).

Le coefficient de diffusion dans le milieu poreux est ensuite défini comme la somme des deux termes précédents. Le coefficient de tortuosité ( $\tau^{-1}$ ) est défini de la manière suivante :

dans l'air du sol :  $\tau_{\text{air}}^{-1} = \theta_{\text{air}}^{7/3} / \theta^2$

et dans la phase aqueuse du sol :  $\tau_{\text{eau}}^{-1} = \theta_{\text{eau}}^{7/3} / \theta^2$ , avec :

- H        constante de Henry adimensionnelle,
- $\theta$         porosité totale,
- $\theta_{\text{eau}}$     teneur en eau du sol,
- $\theta_{\text{eau}}$     teneur en gaz du sol.

La concentration dans l'air du sol à la source est calculée à l'aide des équations génériques présentées dans le premier chapitre dédié aux équations de Millington et Quirck « description du modèle utilisé ».

