

DEKRA INDUSTRIAL SAS

Evaluation Quantitative de Risques Sanitaires
(Mission A320 selon NF X 31-620-2)

KOMORI CHAMBON

Site : 1, avenue Louis Antériou – LA VOULTE-SUR-RHONE (07)



DEKRA INDUSTRIAL SAS

Domaine Vallée Verte – Bât. Bourbon 1
Rue de la Vallée Verte
13011 Marseille

Siret : 433 250 834 01273

Tél. 04.91.36.42.31

Fax 04.91.89.08.55

Affaire n° : 54277253

Chef de projets / Rédacteur :

Camille RICHAUD

Superviseur :

Marie GAULME



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

Modifications et évolutions

Date	Indice	Modifications apportées
22/01/2025	01	Version initiale

RESUME TECHNIQUE DE L'ETUDE

<p>CONTEXTE DE LA MISSION</p>	<p>Dans le cadre de la vente d'une parcelle ayant accueilli une activité de peinture cessée en 1990 et dont les installations ont été démantelées sur son site de La-Voulte-sur-Rhône (07), la société KOMORI CHAMBON a confié à DEKRA la réalisation d'études environnementales (rapports n°54193823 du 25/09/2024 et n° 54250103 du 10/12/2024) qui ont mis en évidence des impacts dans les sols et les gaz du sol et ont recommandé la réalisation d'une étude quantitative des risques sanitaires (EQRS).</p> <p>Aujourd'hui KOMORI CHAMBON souhaite suivre les recommandations et missionne de nouveau DEKRA pour la réalisation de l'EQRS.</p>
<p>OBJECTIF</p>	<p>Le présent rapport vise à statuer sur la compatibilité sanitaire du site avec son usage.</p>
<p>IMPACTS IDENTIFIES AU COURS DES ETUDES PRECEDENTES</p>	<p><u>Dans le milieu sols</u></p> <p>Il en ressort la présence :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ d'impacts en HCT et HAP en SC3 et SC9 entre la surface et 1,1 m de profondeur. Ces impacts sont délimités en profondeur. L'extension latérale reste incertaine au droit de ces deux sondages mais les anomalies semblent ponctuelles. ▪ d'impacts en métaux lourds entre la surface et 2 m de profondeur au niveau de l'ensemble des sondages qui peuvent être expliqués par la mauvaise qualité des remblais (avec notamment la présence de mercure en SC3, composé volatil). <p><u>Dans les milieux gaz du sol</u></p> <p>Les résultats analytiques sur les gaz du sol au droit ADS1 ont mis en évidence la présence d'anomalies en BTEX et en hydrocarbures aromatiques C8-C10.</p>
<p>ANALYSES DE RISQUES SANITAIRES (A330)</p>	<p>En l'état actuel du site, les calculs réalisés ont conclu que les risques sanitaires sont inférieurs à la limite considérée, ils sont donc acceptables.</p> <p>L'analyse des incertitudes a montré que les hypothèses et paramètres retenus étaient globalement réalistes à majorants.</p>
<p>RECOMMANDATIONS</p>	<p>A l'issue de cette étude, le site apparait compatible avec son usage industriel. DEKRA recommande de garder en mémoire les pollutions identifiées liées à la mauvaise qualité des remblais au travers d'un dossier de servitudes ou de restriction d'usages.</p> <p>En cas de changement de configuration du site ou des usages et/ou de mises à jour de contamination non reconnues ou non portées à la connaissance de DEKRA dans le cadre de la présente étude, les conclusions de cette étude pourraient devenir caduques.</p>



RESUME NON TECHNIQUE

Dans le cadre de la vente d'une parcelle ayant accueilli une activité de peinture cessée en 1990 et dont les installations ont été démantelées sur son site de La-Voulte-sur-Rhône (07), la société KOMORI CHAMBON a confié à DEKRA la réalisation d'études environnementales (rapport n°54193823 du 25/09/2024 et n° 54250103 du 10/12/2024) qui ont mis en évidence des impacts dans les sols et les gaz du sol. DEKRA a donc recommandé la réalisation d'une étude quantitative des risques sanitaires (EQRS) en vue de statuer sur la compatibilité sanitaire du site avec son usage.

En l'état actuel du site, les calculs réalisés ont conclu que les risques sanitaires sont inférieurs à la limite considérée, ils sont donc acceptables.

A l'issue de cette étude, le site apparaît compatible avec son usage industriel. DEKRA recommande de garder en mémoire les pollutions identifiées liées à la mauvaise qualité des remblais au travers d'un dossier de servitudes ou de restriction d'usages.

En cas de changement de configuration du site ou des usages et/ou de mises à jour de contamination non reconnues ou non portées à la connaissance de DEKRA dans le cadre de la présente étude, les conclusions de cette étude pourraient devenir caduques



IDENTIFICATION

DONNEUR D'ORDRE	KOMORI CHAMBON 1, avenue Louis Antériou 07 800 La Voulte-sur-Rhône		
INTERLOCUTEURS	M. HURTIER Responsable Méthode		
SITE A L'ETUDE	1, avenue Louis Antériou 07 800 La Voulte-sur-Rhône		
TYPE D'ETUDE	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS)		
MISSIONS (SELON NFX-31620)	Mission A320		
N° D'AFFAIRE	54277253		
MOTS CLES	Gaz du sol, hydrocarbures, BTEX, risques sanitaires		
VERSIONS	01	22/01/2025	Version initiale
SOUS-TRAITANCE	-		
CHEF DE PROJETS / REDACTEUR	Camille RICHAUD		
SUPERVISEUR	Marie GAULME		

SOMMAIRE

1	CONTEXTE	7
2	LIMITES DE L'ETUDE / METHODOLOGIE	7
3	SOURCES D'INFORMATIONS ET ORGANISMES CONSULTES	8
4	DESCRIPTION DU SITE	9
4.1	Localisation	9
4.2	Localisation cadastrale	10
4.3	Situation réglementaire	11
4.4	Usage futur	11
5	SYNTHESE DES ETUDES PRECEDENTES	12
5.1	« Audit Environnemental », DEKRA Réf. n° 54193823 du 25/09/2024 – INFOS/DIAG	12
5.2	«Audit environnemental complémentaire » DEKRA Réf. n°54250103 du 10/12/2024	15
5.3	« Audit Environnemental Complémentaire », DEKRA n° 54268293 du 23/01/2025	17
6	SCHEMA CONCEPTUEL DRESSE A L'ISSUE DES ETUDES ENVIRONNEMENTALES.....	19
6.1	Principes	19
6.2	Usage pris en considération	19
6.3	Recensement des cibles	19
6.4	Identification des sources	19
6.5	Synthèse des voies de transfert et nature des expositions	20
7	MISSION A320 : ETUDE QUANTITATIVE DE RISQUES SANITAIRES (EQRS)	22
7.1	Principes d'une EQRS	22
7.2	Collecte et analyse des données	24
7.3	Schéma conceptuel retenu pour l'analyse des enjeux sanitaires	27
7.4	Evaluation des dangers	27
7.5	Evaluation des expositions	31
7.6	Caractérisation des risques	34
7.7	Conclusion	42
8	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	43
8.1	Conclusions	43
8.2	Recommandations	43
9	LIMITES ET INCERTITUDES, JUSTIFICATION DES ECARTS	44
9.1	Autres limites ou incertitudes	44
9.2	Justification des écarts	44



TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des organismes, bases de données consultés.....	8
Tableau 2 : Voies de transfert et nature des expositions.....	20
Tableau 3 : Concentrations maximales en composés organiques présentes dans les sols	25
Tableau 4 : Concentrations maximales en composés organiques présentes dans les gaz des sols.....	26
Tableau 5 : Concentrations retenues dans les gaz des sols.....	31
Tableau 6 : Valeur des paramètres d'exposition pour les cibles étudiées	33
Tableau 7 : Valeur des paramètres pour la modélisation du dégazage	33
Tableau 8 : Concentrations modélisées dans l'air ambiant.....	34
Tableau 9 : Résultats de la caractérisation des risques générés par les sols pour l'inhalation de vapeurs	35

FIGURES

Figure 1 : Localisation géographique du site	9
Figure 2 : Vue aérienne de la zone d'étude	10
Figure 3 : Localisation cadastrale	11
Figure 4 : Localisation des anomalies mises en évidence	14
Figure 5 : Localisation des impacts sur le milieu sol sur vue aérienne	16
Figure 6 : Localisation des prélèvements d'air sous dalle et de l'ensemble des investigations	18
Figure 7 : Schéma conceptuel mis à jour.....	21
Figure 8 : Contribution des substances aux risques calculés pour les employés	36

ANNEXES

Annexe 1 : Evaluation des dangers

Annexe 2 : Détail des calculs



1 CONTEXTE

Dans le cadre de la vente d'une parcelle ayant accueilli une activité de peinture cessée en 1990 et dont les installations ont été démantelées sur son site de La-Voulte-sur-Rhône (07), la société KOMORI CHAMBON a confié à DEKRA la réalisation d'études environnementales (rapports n°54193823 du 25/09/2024 et n° 54250103 du 10/12/2024) qui ont mis en évidence les impacts suivants :

- En HCT et HAP dans les sols (sondages SC3 et SC9). Ces impacts sont délimités en profondeur. L'extension latérale reste incertaine au droit de ces deux sondages mais les anomalies semblent ponctuelles.
- En métaux lourds au niveau de l'ensemble des sondages, pouvant être expliqués par la mauvaise qualité des remblais (avec notamment la présence de mercure en SC3, composé volatil).
- En hydrocarbures aromatiques C8-C10 et BTEX dans les gaz du sol, sur un échantillon d'air sous-dalle (ASD1).

Aujourd'hui KOMORI CHAMBON souhaite suivre les recommandations émises et missionne de nouveau DEKRA pour la réalisation de l'EQRS visant à statuer sur la compatibilité sanitaire du site avec son usage.

Toutes les informations et résultats obtenus au cours de cette expertise du terrain sont synthétisés dans le présent document et concluent quant à la compatibilité actuelle du site avec son usage.

2 LIMITES DE L'ÉTUDE / MÉTHODOLOGIE

L'étude a concerné le site dans ses limites actuelles (partie de la parcelle n°100 de la section AL du cadastre communal). Cette mission, qui constitue l'objet du présent document, a consisté en la réalisation de la prestation suivante :

- **Mission A320** de la norme NFX 31-620-2 : Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS).

La présente étude est réalisée selon le référentiel méthodologique en vigueur notamment au cadre fixé par la circulaire du 8 février 2007, mise à jour en avril 2017, définissant les modalités de gestion et de réaménagement de sites pollués et à la norme NFX 31-620 « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués (études, ingénierie, réhabilitation de sites pollués et travaux de dépollution) » de l'AFNOR.

Les conclusions présentées dans ce rapport sont basées sur les conditions du site telles qu'observées lors des investigations et sur les informations disponibles lors de sa réalisation.



3 SOURCES D'INFORMATIONS ET ORGANISMES CONSULTÉS

Les organismes, personnes ou bases de données consultés pour l'élaboration du présent document sont détaillés dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Liste des organismes, bases de données consultés

SOURCE DE L'INFORMATION	DATE DE CONSULTATION	DOCUMENT OU INFORMATION RECUEILLIE
Documents ou sites internet consultés		
IGN (site internet)	Janvier 2025	Cartes IGN de la zone d'étude
CADASTRE (site internet)		Consultation des parcelles cadastrales du secteur d'étude
GEOPORTAIL (site internet)		Vue aérienne du site d'étude
Organismes consultés		
-	-	-
Personnes contactées ou interviewées		
M. HURTIER (Responsable méthode)	Novembre 2024	Contexte de l'étude
Documents consultés		
DEKRA	Décembre 2024	AUDIT ENVIRONNEMENTAL (n°54193823 du 25/09/2024) (Missions globales INFOS/DIAG avec A100, A110, A120, A130, A200 et A270 selon la norme NF X 31-620-2)
DEKRA	Décembre 2024	DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL COMPLEMENTAIRE (n°54250103 du 10/12/2024) (Missions A200, A230 et A270 selon la norme NF X 31-620-2)



4 DESCRIPTION DU SITE

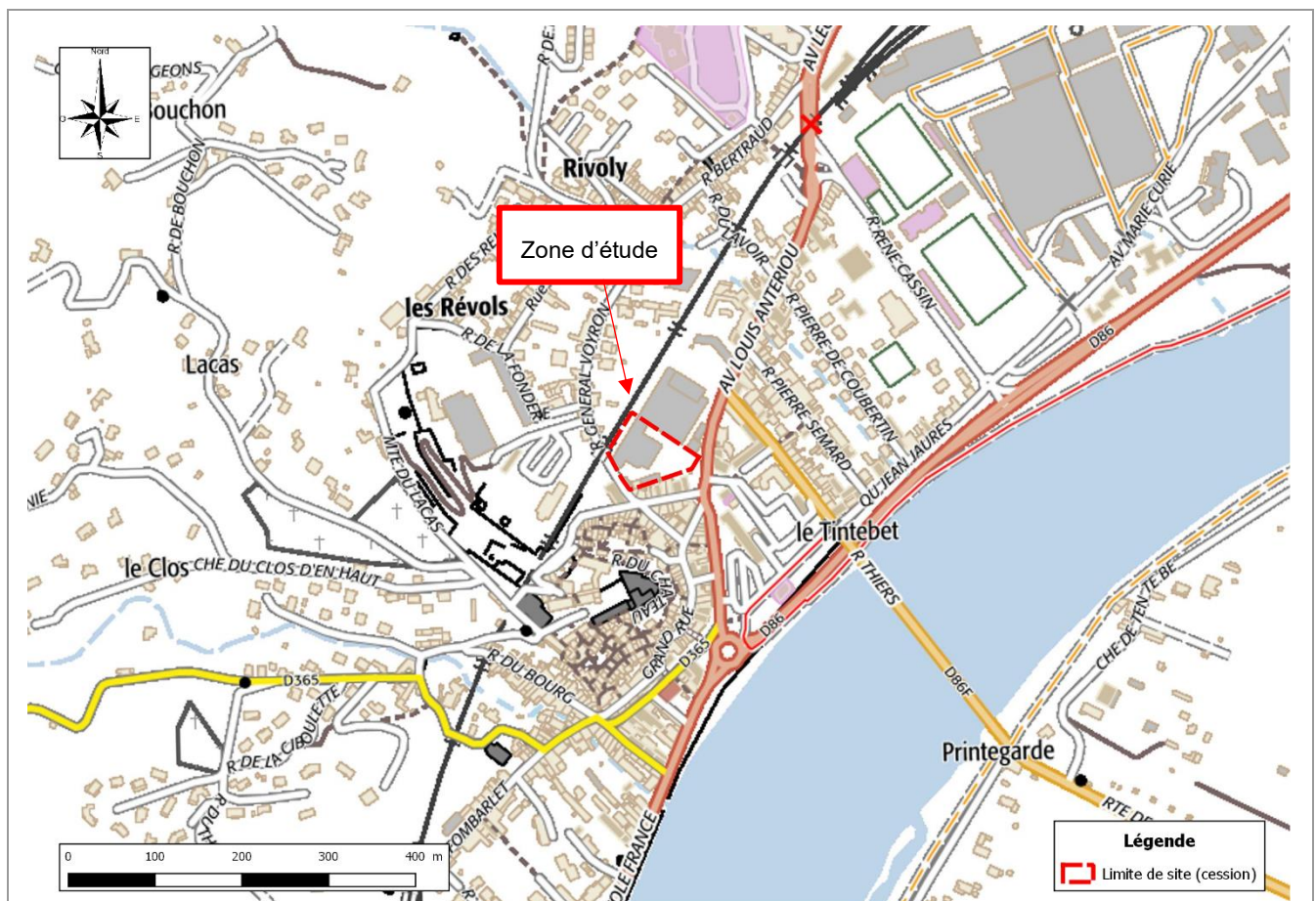
4.1 LOCALISATION

Le site, objet de la présente étude, correspondant à une usine de fabrication de machines à impression d'emballages alimentaires, est implanté 1 avenue Louis Antériou à La Voulte-sur-Rhône (07). La zone concernée par la cession ne concerne qu'une partie du site (entourée en rouge sur la figure ci-dessous).

Le terrain montre une altitude d'environ 95 m NGF et est globalement plat. Les coordonnées de son centre dans le système Lambert 93 sont approximativement les suivantes :

X : ~ 840 796 m

Y : ~ 6 413 015 m



KOMORI CHAMBON – La Voulte-sur-Rhône (07)

Figure 1 : Localisation géographique du site

Référence :	54277253
Source :	IGN via Géoportail
Échelle :	Cf. figure





KOMORI CHAMBON – La Voulte-sur-Rhône (07)

Figure 2 : Vue aérienne de la zone d'étude

Référence :	54277253
Source :	Google Satellite
Échelle :	Cf. figure

4.2 LOCALISATION CADASTRALE

Le site occupe une partie de la parcelle n°100 de la section AL du cadastre communal pour une superficie d'environ 5 000 m².



4.3 SITUATION RÉGLEMENTAIRE

Selon les informations transmises par KOMORI CHAMBON, le site correspond à une ICPE soumise à déclaration pour la rubrique 2560 « Travail mécanique des métaux et alliages ».

D'après le récépissé de déclaration, la société KOMORI CHAMBON est soumise à déclaration pour « l'activité d'application à froid sur support quelconque des peintures par pulvérisation, quantité utilisée journalièrement étant inférieure ou égale à 25 litres, activité rangée sous le n° 405-B-1°/-b ». La rubrique actuellement concernée est la 2940 « Vernis, peinture, apprêt, colle, enduit (application, cuisson, séchage de) ».

Une ATTES-SECUR a été réalisée par la société DEKRA (n°54193823 du 24/09/2024) dans le cadre de la cessation de l'activité de peinture (rubrique 2940).

4.4 USAGE FUTUR

Il nous a été indiqué que le site garderait un usage industriel (activité non précisée à ce jour)

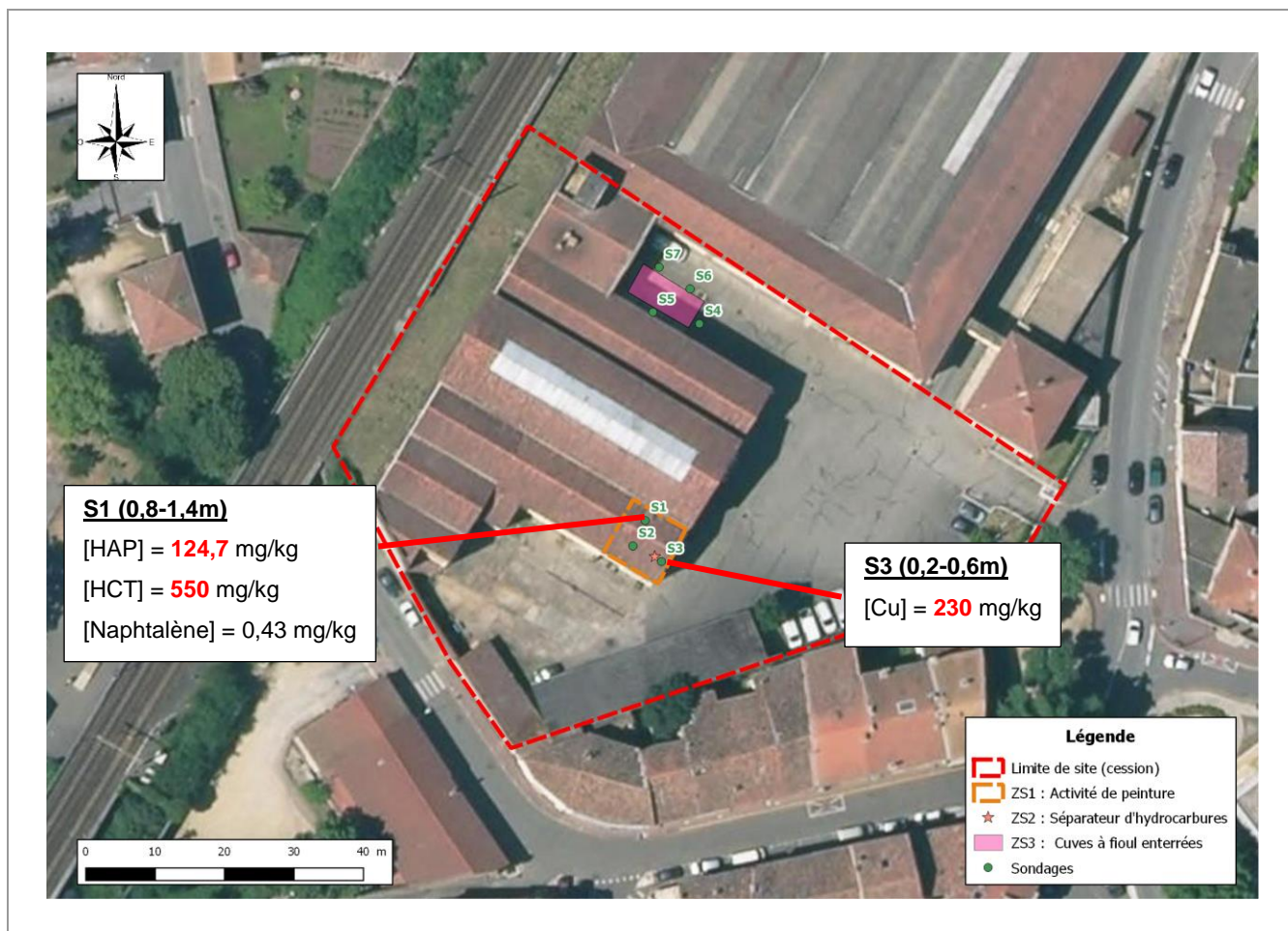
5 SYNTHÈSE DES ÉTUDES PRÉCÉDENTES

5.1 « AUDIT ENVIRONNEMENTAL », DEKRA RÉF. N° 54193823 DU 25/09/2024 – INFOS/DIAG

<p>CONTEXTE DE LA MISSION</p>	<p>Dans le cadre de la vente d'une parcelle ayant accueilli une activité de peinture cessée en 1990 et dont les installations ont été démantelées, le client a procédé à la notification de cessation en ligne. A l'issue de cette démarche, la DREAL demande à KOMORI CHAMBON de faire attester de la mise en œuvre des mesures relatives à la mise en sécurité. La rubrique 2560 (travail des métaux) sera poursuivie avec un nouvel exploitant dont le changement devra être effectué auprès de la DREAL. Ainsi, l'activité 2560 n'est pas prise en considération dans le périmètre de la cessation d'activité.</p> <p>De plus, quatre cuves de fioul enterrées de 10 m3 sont localisées au droit de la future cessation. KOMORI CHAMBON a donc souhaité compléter le diagnostic, prévu initialement uniquement sur le périmètre de la cessation d'activité (cabine de peinture) en ajoutant cette zone.</p>																			
<p>SITUATION REGLEMENTAIRE</p>	<p>Le site à l'étude est une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) soumise à Déclaration pour les rubriques 2560 (travail des métaux) et 2940 (application de peinture).</p>																			
<p>VISITE DE SITE (MISSION A100)</p>	<p>Le site a été visité le vendredi 26 juillet 2024 par Mme BROUARD (chef de projets DEKRA) en compagnie de Mme MONNET (Assistante). Les zones visitées correspondent à l'ancienne activité de peinture, au bâtiment qui sera cédé au prochain exploitant et la zone des cuves enterrées de fioul.</p>																			
<p>ETUDE HISTORIQUE ET DOCUMENTAIRE (MISSION A110)</p>	<p>Dates</p>	<p>Evolution des principales activités exercées sur le site</p> <table border="1"> <tr> <td>1913</td> <td>Création de l'usine</td> </tr> <tr> <td>1932</td> <td>La zone d'étude apparait quasiment dans son état actuel excepté le hangar en partie sud du site qui n'a pas encore été construit.</td> </tr> <tr> <td>Entre 1949 et 1969</td> <td>Le hangar de stockage au sud de la zone d'étude est construit. L'usine s'est agrandie au nord.</td> </tr> <tr> <td>1964</td> <td>Le site est exploité par la SARL MACHINES CHAMBON et Fonderies Ardéchoises de précision</td> </tr> <tr> <td>1974</td> <td>Achat et installation de la cabine de peinture</td> </tr> <tr> <td>Entre 1980 et 1991</td> <td>L'usine KOMORI s'est de nouveau agrandie au nord</td> </tr> <tr> <td>1987</td> <td>L'usine devient KOMORI CHAMBON</td> </tr> <tr> <td>1990</td> <td>Arrêt de l'activité de peinture</td> </tr> <tr> <td>1997</td> <td>Revente de la cabine de peinture à la fonderie Jouve</td> </tr> </table>	1913	Création de l'usine	1932	La zone d'étude apparait quasiment dans son état actuel excepté le hangar en partie sud du site qui n'a pas encore été construit.	Entre 1949 et 1969	Le hangar de stockage au sud de la zone d'étude est construit. L'usine s'est agrandie au nord.	1964	Le site est exploité par la SARL MACHINES CHAMBON et Fonderies Ardéchoises de précision	1974	Achat et installation de la cabine de peinture	Entre 1980 et 1991	L'usine KOMORI s'est de nouveau agrandie au nord	1987	L'usine devient KOMORI CHAMBON	1990	Arrêt de l'activité de peinture	1997	Revente de la cabine de peinture à la fonderie Jouve
1913	Création de l'usine																			
1932	La zone d'étude apparait quasiment dans son état actuel excepté le hangar en partie sud du site qui n'a pas encore été construit.																			
Entre 1949 et 1969	Le hangar de stockage au sud de la zone d'étude est construit. L'usine s'est agrandie au nord.																			
1964	Le site est exploité par la SARL MACHINES CHAMBON et Fonderies Ardéchoises de précision																			
1974	Achat et installation de la cabine de peinture																			
Entre 1980 et 1991	L'usine KOMORI s'est de nouveau agrandie au nord																			
1987	L'usine devient KOMORI CHAMBON																			
1990	Arrêt de l'activité de peinture																			
1997	Revente de la cabine de peinture à la fonderie Jouve																			
<p>ETUDE DE VULNERABILITE (MISSION A120)</p>	<p>Géologie</p> <p>Hydrogéologie</p> <p>Hydrologie</p> <p>Espaces protégés</p>	<p>Alluvions actuelles et récentes : sables, graviers, galets et limons (Fz)</p> <p>Présence d'une nappe au droit du site, vulnérable à toute pollution issue du site. Cette ressource est non sensible.</p> <p>Cette ressource est non vulnérable vis-à-vis de toute pollution issue du site et sensible.</p> <p>Présence de nombreuses zones naturelles sensibles dans les environs du site.</p>																		



	Sites industriels	Présence de plusieurs sites BASIAS en amont hydrogéologique du site.
ZONES SENSIBLES	<p>A l'issue de la visite de site et de l'étude historique, plusieurs zones sensibles ont été identifiées.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ZS1 : Ancienne activité de peinture ; ▪ ZS2 : Séparateur d'hydrocarbures ; ▪ ZS3 : Cuves enterrées de fioul. 	
INVESTIGATIONS SUR LES SOLS (MISSION A200)	<p>Les investigations sur les sols ont été opérées par la société HALLE ENVIRONNEMENT, supervisées par DEKRA le 26/08/2024.</p> <p>Elles ont consisté en la réalisation de 7 sondages de sols d'une profondeur maximale de 4,5 m. Ces sondages ont été répartis selon les zones sensibles identifiées.</p>	
INTERPRETATION DES RESULTATS (MISSION A270)	<p>Il en ressort la présence de :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Un impact significatif en HCT et HAP en S3 (0,8-1,4m) avec une teneur respective de 550 et 124,7 mg/kg avec la détection de naphtalène (composé volatil). Cet impact n'est pas délimité ni verticalement ni horizontalement ; ▪ Des impacts en métaux lourds au droit de S1, S2 et S3 qui peuvent être expliqués par la mauvaise qualité ponctuelle des remblais. 	
CONCLUSIONS/ RECOMMANDATIONS	<p>Compte tenu des conclusions précédentes, DEKRA recommande :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ La réalisation de sondages complémentaires afin de délimiter horizontalement et verticalement l'impact identifié en HAP et HCT au droit de S1 ; ▪ La réalisation de sondages complémentaires au droit du bâtiment à céder étant donné la présence de remblais de mauvaise qualité ; ▪ La réalisation d'investigations sur les gaz du sol étant donné la présence de naphtalène au droit de S1. <p>En cas de changement de configuration du site ou des usages et/ou de mises à jour de contamination non reconnues ou non portées à la connaissance de DEKRA dans le cadre de la présente étude, les conclusions de cette étude pourraient devenir caduques.</p>	



KOMORI CHAMBON – La Voulte-sur-Rhône (07)

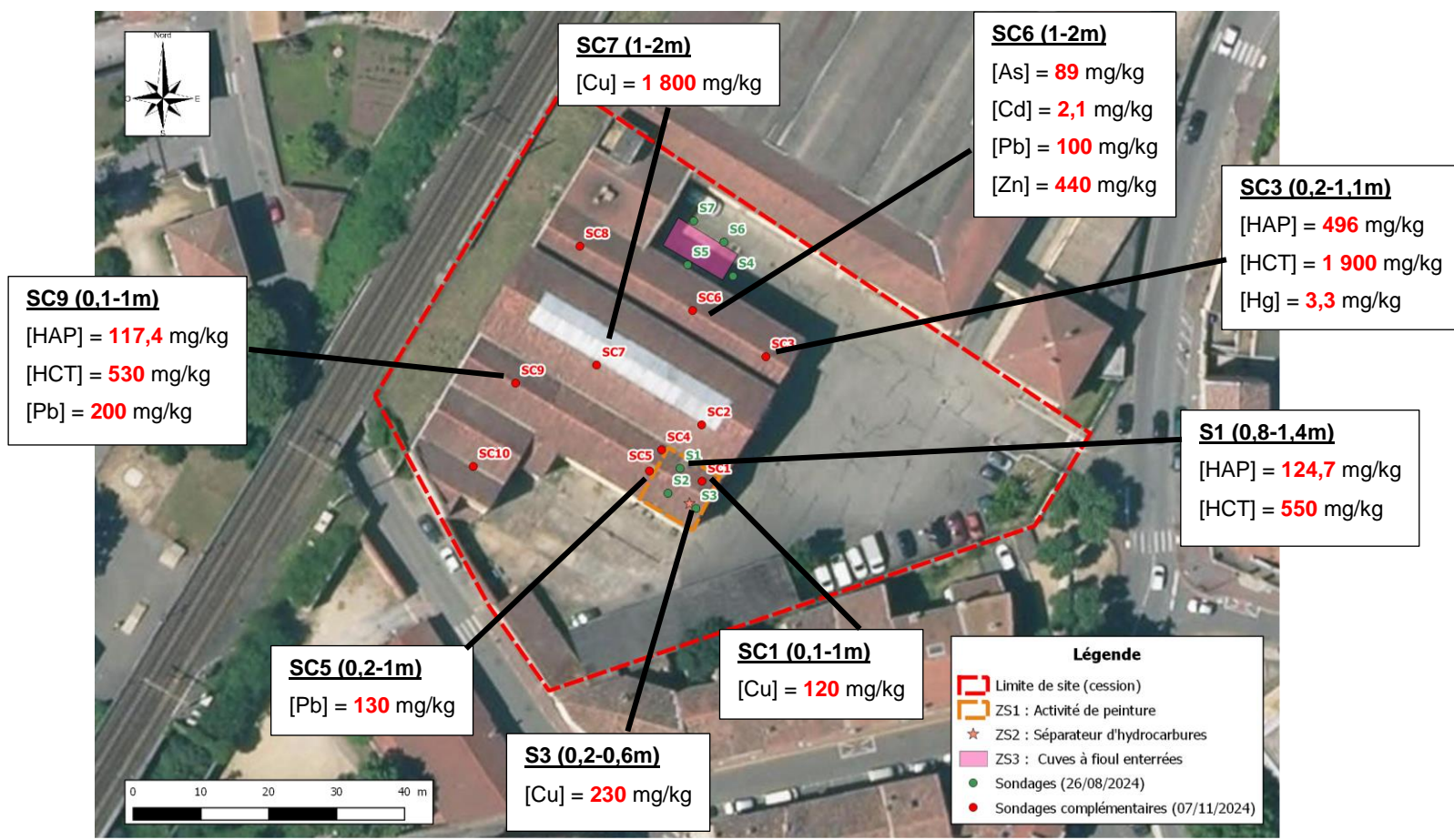
Figure 4 : Localisation des anomalies mises en évidence

Référence :	54250103
Source :	Google Satellite
Échelle :	Cf. figure

5.2 «AUDIT ENVIRONNEMENTAL COMPLÉMENTAIRE » DEKRA RÉF. N°54250103
DU 10/12/2024

<p>CONTEXTE DE LA MISSION</p>	<p>Dans le cadre de la vente d'une parcelle ayant accueilli une activité de peinture cessée en 1990 et dont les installations ont été démantelées sur son site de La-Voulte-sur-Rhône (07), la société KOMORI CHAMBON a confié à DEKRA la réalisation d'un diagnostic de sol (rapport 54193823 du 25/09/2024) qui a recommandé la réalisation d'un diagnostic complémentaire des sols et des gaz du sol autour du sondage S1 et au droit de l'ensemble du bâtiment étant donné la mauvaise qualité des remblais. Le présent rapport présente les résultats du diagnostic complémentaire réalisé.</p>
<p>INVESTIGATIONS SUR LES SOLS (MISSION A200)</p>	<p>Les investigations sur les sols ont été opérées par la société ABYSSE, supervisés par DEKRA le 7 novembre 2024. Elles ont consisté en la réalisation de 10 sondages de sols d'une profondeur maximale de 3 m. Ces sondages ont été répartis de manière à délimiter les impacts en HAP, HCT et Cuivre identifiés en S1 et S3 ainsi que pour caractériser les remblais au droit du bâtiment. Au total, 19 échantillons ont été analysés.</p>
<p>INVESTIGATIONS SUR LES SOLS (MISSION A230)</p>	<p>Des analyses en hydrocarbures volatils C5-C16, BTEX + naphtalène ont été réalisées sur 3 échantillons (1 piézair + 1 blanc de terrain + 1 blanc de transport).</p>
<p>INTERPRETATION DES RESULTATS (MISSION A270)</p>	<p><u>Dans le milieu sols</u></p> <p>Il en ressort la présence :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ d'impacts en HCT et HAP en SC3 et SC9. Ces impacts sont délimités en profondeur. L'extension latérale reste incertaines au droit de ces deux sondages mais les anomalies semblent ponctuelles. ▪ d'impacts en métaux lourds au niveau de l'ensemble des sondages qui peuvent être expliqués par la mauvaise qualité des remblais (avec notamment la présence de mercure en SC3, composé volatil). <p><u>Dans les milieux gaz du sol</u></p> <p>En résumé, les résultats analytiques sur les gaz du sol au droit de PZair1 ont mis en évidence l'absence d'anomalie.</p>
<p>CONCLUSIONS/ RECOMMANDATIONS</p>	<p>Compte tenu de l'identification de composés volatils dans les sols (naphtalène et mercure), DEKRA recommande :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ La réalisation de nouvelles mesures sur les gaz du sol dans les environs de SC3 et SC9 via des mesures d'air sous dalle ; ▪ Selon les résultats obtenus dans les gaz du sol, une analyse des risques sanitaire pourrait être recommandée dans un second temps afin de vérifier la compatibilité sanitaire des pollutions en place avec l'usage du site. <p>En cas de changement de configuration du site ou des usages et/ou de mises à jour de contamination non reconnues ou non portées à la connaissance de DEKRA dans le cadre de la présente étude, les conclusions de cette étude pourraient devenir caduques.</p>





KOMORI CHAMBON – La Voulte-sur-Rhône (07)



Figure 5 : Localisation des impacts sur le milieu sol sur vue aérienne

Référence :	54250103
Source :	DEKRA
Échelle :	Cf. figure

5.3 « AUDIT ENVIRONNEMENTAL COMPLÉMENTAIRE », DEKRA N° 54268293 DU
23/01/2025

CONTEXTE DE LA MISSION	Dans le cadre de la vente d'une parcelle ayant accueilli une activité de peinture cessée en 1990 et dont les installations ont été démantelées sur son site de La-Voulte-sur-Rhône (07), la société KOMORI CHAMBON a confié à DEKRA la réalisation d'un diagnostic de sol (rapport 54193823 du 25/09/2024) qui a recommandé la réalisation d'un diagnostic complémentaire des sols et des gaz du sol autour du sondage S1 et au droit de l'ensemble du bâtiment étant donné la mauvaise qualité des remblais (rapport 54250103 du 10/12/2024). Les sondages complémentaires SC3 et SC9 ont mis en évidence de nouvelles anomalies en HCT, HAP et mercure. Ainsi, il a été recommandé de réaliser des mesures complémentaires sur l'air du sol. Le présent rapport présente les résultats des prélèvements d'air sous dalle réalisés à proximité des deux sondages impactés.
INVESTIGATIONS SUR LES SOLS (MISSION A230)	Des analyses en hydrocarbures volatils C5-C16, BTEX + naphtalène + mercure ont été réalisées sur 4 échantillons (2 airs sous dalle + 1 blanc de terrain + 1 blanc de transport).
INTERPRETATION DES RESULTATS (MISSION A270)	Les résultats analytiques sur les gaz du sol au droit de SC3 ont mis en évidence la présence de traces en BTEX et TPH. Une anomalie en benzène a quant à elle été identifiée en SC9.
CONCLUSIONS/ RECOMMANDATIONS	Compte tenu de l'identification de composés volatils dans les sols (benzène), DEKRA recommande la réalisation d'une analyse des risques sanitaire afin de vérifier la compatibilité sanitaire des pollutions en place avec l'usage du site. En cas de changement de configuration du site ou des usages et/ou de mises à jour de contamination non reconnues ou non portées à la connaissance de DEKRA dans le cadre de la présente étude, les conclusions de cette étude pourraient devenir caduques.



La localisation des prélèvements d'air sous dalle est présentée sur la figure ci-après.



KOMORI CHAMBON – La Voulte-sur-Rhône (07)



Figure 6 : Localisation des prélèvements d'air sous dalle et de l'ensemble des investigations

Référence :	54268293
Source :	DEKRA
Échelle :	Cf. figure

6 SCHEMA CONCEPTUEL DRESSE A L'ISSUE DES ETUDES ENVIRONNEMENTALES

6.1 PRINCIPES

La politique nationale de gestion des sites et sols pollués fonde la gestion des risques sanitaires sur le schéma conceptuel d'un site. Celui-ci permet d'évaluer l'influence potentielle de la qualité des milieux sur les usagers futurs du site et des éventuels usagers des eaux hors site. Etat des lieux du milieu ou du site considéré, le schéma conceptuel s'attache à connaître les voies ou milieux d'exposition pertinents au regard des usages, puis à les caractériser. Un site ou un milieu pollué présentera un risque, seulement si les trois éléments suivants sont présents :

- une **source de pollution** mobilisable ;
- les **différents milieux de transfert** et leurs caractéristiques (sols, eaux superficielles et souterraines, cultures destinées à la consommation humaine ou animale) qui, au contact de la source de pollution, sont devenus à leur tour des éléments pollués et donc des sources de pollution ;
- les **enjeux à protéger** : les populations, les usages des milieux et de l'environnement, les milieux d'exposition et les ressources naturelles susceptibles d'être atteints par les pollutions.

Les durées d'exposition des cibles généralement considérées, avant que les effets sanitaires potentiellement redoutés ne se manifestent, sont de plusieurs années (des durées de plus de 30 ans sont usuellement considérées pour les effets cancérogènes). La problématique des sites et sols pollués relève en effet, pour la population générale, du domaine des risques chroniques et non des risques accidentels dont les effets potentiels sont, par contre, très rapidement observables.

L'élaboration du schéma conceptuel a été réalisée selon les recommandations et les précautions mentionnées dans le guide méthodologique « Schéma Conceptuel » de février 2007.

6.2 USAGE PRIS EN CONSIDÉRATION

Dans le cadre de l'élaboration du schéma conceptuel, nous retiendrons l'usage actuel, c'est-à-dire un usage industriel.

6.3 RECENSEMENT DES CIBLES

Sur site, les cibles concernées sont les employés du site (adultes).

6.4 IDENTIFICATION DES SOURCES

- Impact en HCT, HAP et BTEX dans les sols entre la surface et 1,1 m de profondeur, délimité par les horizons sous-jacents,
- Impact en HCT volatils et BTEX dans les gaz du sol sous la dalle béton.

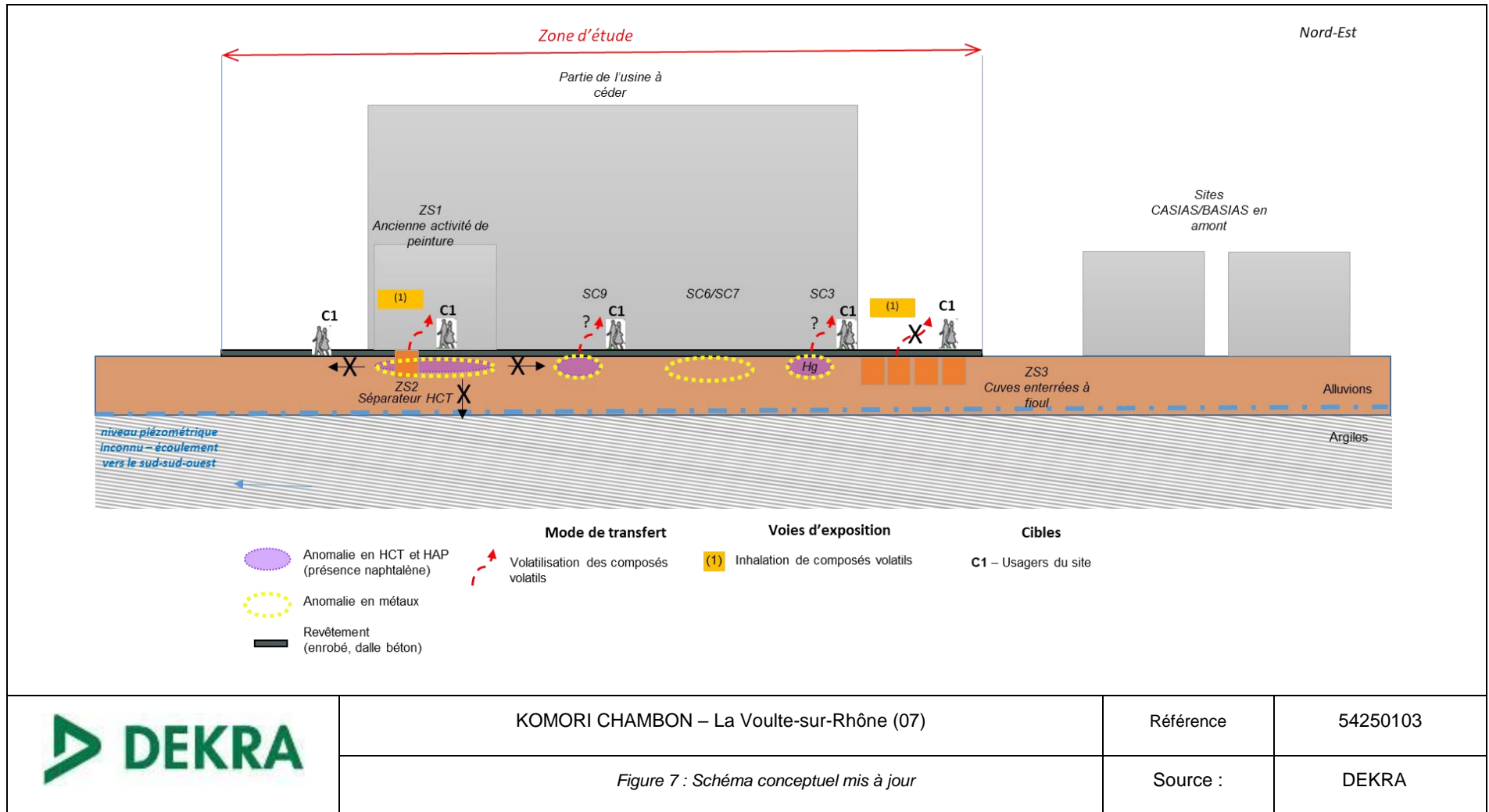


6.5 SYNTHÈSE DES VOIES DE TRANSFERT ET NATURE DES EXPOSITIONS

Le tableau ci-dessous présente les risques éventuels en fonction des voies de transfert, de la nature de l'exposition et de la cible potentielle.

Tableau 2 : Voies de transfert et nature des expositions.

Récapitulatif Sources/Vecteurs/Cibles			
Sources potentielles de pollution	Voies d'exposition potentielles	Prise en compte	Nature de l'exposition Cibles
Impact en HCV et BTEX	Ingestion/ inhalation de sol et/ou de poussières	Non (Les sols sont recouverts)	Employés du site
	Inhalation de polluants sous forme gazeuse (1)	Oui (Présence de polluants volatils)	
	Ingestion d'eau souterraine polluée – sur site et hors site	Non (Anomalie localisée dans les sols superficiels, absence d'eau jusqu'à 3 m de profondeur)	Potentiels usagers de la nappe en aval du site
	Inhalation de vapeurs d'eau souterraine polluée – sur et hors site		
	Ingestion d'eau contaminée	Non (Canalisations AEP en aérien dans le bâtiment)	Employés du site
	Ingestion d'aliments contaminés – sur site	Non (Absence de cultures sur site)	-
	Ingestion d'aliments contaminés – hors site	Non (Pas de contamination des eaux souterraine, pas de transfert hors site via la nappe)	Présence d'habitations avec jardins à proximité du site
	Ingestion d'eau superficielle polluée	Non (Milieu non vulnérable)	Potentiels usagers des eaux superficielles
	Inhalation de vapeurs d'eau superficielle polluée		



KOMORI CHAMBON – La Voulte-sur-Rhône (07)

Référence

54250103

Figure 7 : Schéma conceptuel mis à jour

Source :

DEKRA



7 MISSION A320 : ETUDE QUANTITATIVE DE RISQUES SANITAIRES (EQRS)

7.1 PRINCIPES D'UNE EQRS

7.1.1 OBJECTIFS DE L'ETUDE QUANTITATIVE DE RISQUES SANITAIRES

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).

7.1.2 PRINCIPES DE L'ETUDE QUANTITATIVE DE RISQUES SANITAIRES

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.

Des solutions complémentaires de gestion devront être envisagées en cas de risques supérieurs aux limites acceptables.

7.1.3 DÉMARCHE

La réalisation de cette étude s'effectue conformément à la démarche d'analyse de risques sanitaires (définie dans le guide du ministère en charge de l'environnement) 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 (sans seuil) ou non cancérigènes (à seuil).

➤ 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 la note ministérielle du 19 avril 2017.

7.1.4 LIMITES DE L'ÉTUDE

L'analyse de risque 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 du guide technique associé à la note ministérielle du 19 avril 2017.

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



7.2 COLLECTE ET ANALYSE DES DONNÉES

7.2.1 SCÉNARIO RETENU : USAGE DE TYPE HABITATION

L'usage futur du site considéré pour l'analyse de risques sanitaires est un usage industriel.

Les hypothèses générales suivantes ont été retenues sur l'ensemble du site :

- Absence d'utilisation des eaux souterraines au droit du site ;
- Absence de canalisations AEP dans les sols traversant les zones impactées ;
- Absence de vide sanitaire sur l'ensemble du bâtiment ;
- Absence de cultures de denrées comestibles sur site ou dans son environnement proche,
- Présence de bâtiments industriels au droit du site,
- Présence d'une dalle en béton de 20 cm d'épaisseur.

7.2.2 CARACTÉRISTIQUES DES TERRAINS EN PLACE

7.2.2.1 Analyse de la granulométrie des sols

Les sondages ont montré la succession lithologique suivante :

- Une dalle béton de 10 à 20 cm d'épaisseur maximum ;
- Des remblais limono-sablo-graveleux bruns avec blocs et/ou briques et/ou scories jusqu'à 1 m ;
- Des remblais argilo-sableux avec briques / verre jusqu'à 2 m ;
- Des argiles marron de 2 à 3 m de profondeur au droit de SC5.

Aucune venue d'eau n'a été rencontrée lors de la réalisation des sondages d'une profondeur maximale de 3 m.

Aucune analyse granulométrique n'a été réalisée. Par conséquent, les lithologies retenues seront les suivantes :

- De 0,2 à 1 m de profondeur : texture graveleuse ;
- De 1 à 2 m : texture sablo-graveleuse ;
- De 2 à 3 m : texture argileuses.

La lithologie retenue est la plus représentative des horizons observés dans les sols lors des investigations. Ce choix sera discuté en incertitudes.



7.2.2.2 Analyse du Carbone Organique Total

Aucune analyse de COT n'a été réalisée. Par conséquent, la valeur du COT retenue pour la réalisation des calculs de risques sanitaires est issue de la littérature¹ pour la texture la plus défavorable (graveleuse).

La teneur de 2 000 mg/kg sera donc retenue pour la suite des calculs. Ce choix sera discuté en incertitudes.

7.2.3 CONCENTRATIONS PRÉSENTES DANS LES SOLS

Deux campagnes d'investigations des sols ont été réalisées sur le site :

- 7 sondages de sols d'une profondeur maximale de 4,5 m, supervisées par DEKRA le 26/08/2024,
- 10 sondages de sols d'une profondeur maximale de 3 m supervisées par DEKRA le 7/11/2024.

Les concentrations maximales mesurées au cours des deux campagnes d'investigations des sols sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Concentrations maximales en composés organiques présentes dans les sols

Paramètre	Concentrations maximales (mg/kg)	Echantillon concerné
Hydrocarbures Totaux C10-C40		
Fraction C10-C12	<LQ	-
Fraction C12-C16	290	SC3 (0,2-1,1)
Fraction C16-C21	960	SC3 (0,2-1,1)
Fraction C21-C35	690	SC3 (0,2-1,1)
Fraction C35-C40	30	SC3 (0,2-1,1)
Hydrocarbures totaux C10-C40	1900	SC3 (0,2-1,1)
HAP		
Naphtalène	1,3	SC3 (0,2-1,1)
Acénaphthylène	2,9	SC3 (0,2-1,1)
Acénaphtène	10	SC3 (0,2-1,1)
Fluorène	3,1	SC3 (0,2-1,1)
Phénanthrène	182	SC3 (0,2-1,1)
Anthracène	12	SC3 (0,2-1,1)
Fluoranthène	118	SC3 (0,2-1,1)
Pyrène	83	SC3 (0,2-1,1)
Benzo(a)anthracène	19	SC3 (0,2-1,1)
Chrysène	17	SC3 (0,2-1,1)
Benzo(b)fluoranthène	19	SC3 (0,2-1,1)
Benzo(k)fluoranthène	6,1	SC3 (0,2-1,1)
Benzo(a)pyrène	9,8	SC9 (0,1-1)
Dibenzo(a,h)anthracène	<LQ	-
Indéno(1,2,3,c,d)pyrène	7,1	SC9 (0,1-1)
Benzo(g,h,i)pérylène	7,2	SC9 (0,1-1)
BTEX		
Benzène	1	SC9 (0,1-1)
Toluène	1,4	SC9 (0,1-1)
Ethylbenzène	<LQ	-
m,p-Xylène	0,55	SC9 (0,1-1)
o-Xylène	<LQ	-

¹ Donnée RISC4



Paramètre	Concentrations maximales (mg/kg)	Echantillon concerné
COHV		
1,1-Dichloroéthane	<LQ	-
1,1-Dichloroéthylène	<LQ	-
Dichlorométhane	<LQ	-
Tétrachloroéthylène	<LQ	-
1,1,1-Trichloroéthane	<LQ	-
Tétrachlorométhane	<LQ	-
Trichlorométhane	<LQ	-
Trichloroéthylène	<LQ	-
Chlorure de vinyle	<LQ	-
cis-1,2-Dichloroéthylène	<LQ	-
trans-1,2-Dichloroéthylène	<LQ	-
Métaux		
Arsenic (As)	89	SC6 (1-2)
Cadmium (Cd)	2,1	SC6 (1-2)
Chrome (Cr)	33	SC6 (1-2)
Cuivre (Cu)	1800	SC7 (1-2)
Mercure (Hg)	3,3	SC3 (1,1-2)
Nickel (Ni)	23	SC6 (1-2)
Plomb (Pb)	200	SC9 (0-1,1)
Zinc (Zn)	440	SC6 (1-2)

7.2.4 CONCENTRATIONS PRÉSENTES DANS LES GAZ DU SOL

Deux campagnes d'investigations dans les gaz des sols ont eu lieu :

- Le prélèvement de gaz des sols au droit d'un piézair le 14/11/2024 et analyses des TPH² et BTEX³, naphtalène,
- Le prélèvement de gaz des sols grâce à deux air sous dalle (ASD) le 20/12/2024 et analyse des TPH, BTEX, naphtalène et mercure (le mercure sur l'échantillon ADS1 seulement).

Le Tableau 4 présente les concentrations maximales mesurées en TPH, BTEX, naphtalène et mercure dans les gaz du sol.

Tableau 4 : Concentrations maximales en composés organiques présentes dans les gaz des sols

Paramètre	Concentration maximale mesurée (en mg/m ³)	Echantillon concerné
BTEX		
Benzène	0,071	ASD2 (SC9)
Toluène	0,038	ASD2 (SC9)
Ethylbenzène	0,010	ASD2 (SC9)
m,p-Xylène	0,050	ASD2 (SC9)
o-Xylène	0,014	ASD2 (SC9)
Naphtalène		
Naphtalène	<LQ	-

² Total Petroleum Hydrocarbons

³ Benzène, Toluène, Xylènes et Ethylbenzène



TPH		
HC aliphatiques >C5-C6	<LQ	-
HC aliphatiques >C6-C8	<LQ	-
HC aliphatiques >C8-C10	<LQ	-
HC aliphatiques >C10-C12	<LQ	-
HC aliphatiques >C12-C16	<LQ	-
HC aromatiques >C6-C7 = benzène	0,071	ASD2 (SC9)
HC aromatiques >C7-C8 = toluène	0,038	ASD2 (SC9)
HC aromatiques >C8-C10	0,113	ASD2 (SC9)
HC aromatiques >C10-C12	<LQ	-
HC aromatiques >C12-C16	<LQ	-

LQ : Limite de Quantification du laboratoire

7.3 SCHÉMA CONCEPTUEL RETENU POUR L'ANALYSE DES ENJEUX SANITAIRES

Selon le schéma conceptuel établi dans le chapitre 5.3, la seule voie d'exposition potentielle à retenir est l'Inhalation de vapeurs à l'intérieur du bâtiment industriel.

Les cibles retenues sur site sont les employés du site (adultes).

7.4 EVALUATION DES DANGERS

7.4.1 PRINCIPE DE L'ÉVALUATION 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 1**.

7.4.2 TOXICOLOGIE DES SUBSTANCES

Dans le cadre d'une analyse de risques sanitaires, les éléments suivants sont recherchés :

- L'identification du **potentiel dangereux** des substances : effets toxiques aigus, chroniques, effets cancérigènes, 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 (cancérigènes, 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 cancérigène.

Les informations recueillies en termes de toxicité des substances sont présentées en **Annexe 1**.

► **Choix des VTR**

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'ANSES⁴ 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-EPA⁵, l'ASTDR⁶, ou l'OMS⁷, 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 (cas des VTR proposées par l'US-EPA pour le TCE) ;
- Enfin, si aucune VTR n'est retrouvée dans les quatre bases de données précédentes, choisir la plus récente proposée par Santé Canada⁸, RIVM⁹, l'OEHHA¹⁰ ou l'EFSA¹¹.

7.4.3 PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DES SUBSTANCES

Les propriétés physico-chimiques des différentes substances sélectionnées sont également répertoriées en **Annexe 1**. Quelques propriétés sont à remarquer :

⁴ ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail : <http://www.anses.fr>

⁵ US-EPA : United States – Environmental Protection Agency – <http://epa.gov/iris/>

⁶ ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Etats-Unis) – <http://atsdr.cdc.gov/>

⁷ OMS : Organisation Mondiale de la Santé

⁸ Santé Canada : <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl1-lsp1/index-fra.php>

⁹ RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Institut national de la santé publique et de l'environnement (Pays-Bas) <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701025.pdf>

¹⁰ OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment (antenne californienne de l'US-EPA) <http://www.oehha.ca.gov/risk/ChemicalDB.index.asp>

¹¹ EFSA : European Food Safety Authority – <http://www.efsa.europa.eu/fr/>



➤ 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)
Trichloroéthylène	69 (élevée)
Hydrocarbures aliphatiques C16-C35	$5,8 \cdot 10^{-3}$ (faible)

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
Trichloroéthylène	0,422 (assez élevée)
Hydrocarbures aliphatiques C16-C35	6400 (très 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
Trichloroéthylène	2,7	111-170
Hydrocarbures aliphatiques C16-C35	8,9	10^9

7.4.4 SÉLECTION DES SUBSTANCES

➤ Principes de sélection des substances

En première approche, tous les composés détectés dans les sols et les gaz du sol sont retenus.

Puis, 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).

➤ **Composés non retenus en l'absence d'impact**

Substances non quantifiées

Les substances qui n'ont pas été détectées dans les sols et les gaz du sol ne sont pas retenues dans le cadre de l'EQRS, les limites de quantification usuelles ayant été respectées par le laboratoire. Cela concerne dans les sols :

- Fraction C10-C12
- Dibenzo(a,h)anthracène
- Ethylbenzène
- o-Xylène
- COHV

Dans les gaz des sols:

- Naphtalène
- HC aliphatiques >C5-C6
- HC aliphatiques >C6-C8
- HC aliphatiques >C8-C10
- HC aliphatiques >C10-C12
- HC aliphatiques >C12-C16
- HC aromatiques >C10-C12
- HC aromatiques >C12-C16

➤ **Absence de propriétés volatiles**

Cas des métaux : les métaux, à l'exception du mercure dans certaines conditions, ne disposent pas de propriétés volatiles. Ils ne seront donc pas retenus dans la suite de l'étude.

Cas du mercure : le mercure a présenté une anomalie de concentration dans les sols au droit de SC3. Les analyses en mercure dans les gaz du sol au droit de ce point sont toutefois inférieures à la limite de quantification du laboratoire. Les anomalies en mercure identifiées dans les sols ne sont donc pas susceptibles d'engendrer un dégazage vers l'air ambiant. Le mercure ne sera donc pas retenu dans la suite de l'étude.

Cas des HAP : la plupart des HAP disposent de faibles propriétés volatiles hormis le naphtalène. Ce composé a été recherché dans les gaz du sol au droit de la plus forte anomalie en HAP relevée dans les sols et n'a pas été détecté. Nous considérerons donc que les HAP détectés dans les sols ne sont pas en mesure d'engendrer un dégazage significatif vers l'air ambiant. Nous ne retiendrons pas ces composés dans la suite de l'étude.

➤ **Composés détectés dans plusieurs milieux**

Les hydrocarbures et les BTEX ont été détectés à la fois dans les sols et les gaz du sol. Nous retiendrons en première approche les concentrations retenues dans les gaz du sol. Elles sont en effet jugées plus réalistes car permettent de s'affranchir d'une étape de modélisation. Ce choix sera discuté dans le cadre de l'analyse des incertitudes.



➤ Absence de valeurs toxicologiques de référence

Les coupes d'hydrocarbures présentant plus de 16 atomes de carbones ne disposent pas de VTR relatives à l'inhalation. Les hydrocarbures HC > C16 ne seront pas retenus dans l'évaluation du risque lié à cette voie d'exposition.

7.4.5 CONCENTRATIONS RETENUES

Les concentrations retenues correspondent aux concentrations maximales présentes dans les gaz des sols présentées dans le Tableau 5. Ces choix seront discutés en incertitudes.

Tableau 5 : Concentrations retenues dans les gaz des sols

Paramètre	Concentration maximale mesurée (en mg/m3)	Echantillon concerné
BTEX		
Benzène	0,071	ASD2 (SC9)
Toluène	0,038	ASD2 (SC9)
Ethylbenzène	0,010	ASD2 (SC9)
m,p-Xylènes (Somme m,p-Xylène et o-Xylène)	0,064	ASD2 (SC9)
TPH		
HC aromatiques >C8-C10	0,113	ASD2 (SC9)

7.5 EVALUATION DES EXPOSITIONS

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.

7.5.1 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 :

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

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

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

F : fréquence d'exposition (jour/an)

D_{exp} : durée d'exposition en années (unité : an) ; 6 ans / enfant et 30 ans / adulte

P : poids corporel (unité : kgpc) ; 15 kg / enfant, ou 70 kg / adulte

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

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



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

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

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_{exp} : durée d'exposition (unité : an) ; 6 ans / enfant et 40 ans / adulte

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

7.5.2 EVALUATION LIÉE À 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.

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 et extérieur, à partir des sols ou de l'air du sol, a été réalisée à partir équations de *Johnson & Ettinger (1991)* utilisées avec une source de pollution infinie et du modèle VOLASOIL (transfert via un vide sanitaire).

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 2**.

► Valeurs des paramètres

Les paramètres permettant d'estimer les concentrations dans l'air intérieur et 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.



► Valeurs des paramètres d'exposition des cibles

Les cibles retenues sont les employés (adultes). Le choix des cibles sera étudié en incertitudes.

Tableau 6 : Valeur des paramètres d'exposition pour les cibles étudiées

Paramètre	unité	Cible Employé (adulte)	
Dexp	Durée d'exposition	An	42
Tm	Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	An	70
Tm	Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non cancérigène)	An	42
Fexp	Fréquence d'exposition	Jr/an	220
P	Poids corporel	Kg	70
T _{INT}	Taux d'exposition en intérieur	-	8h/24h

La durée d'exposition correspond à la totalité de la vie professionnelle.

La fréquence d'exposition correspond au nombre de jours travaillés par an.

Les taux d'exposition correspondent à la durée quotidienne de présence en intérieur, en considérant que l'employé est présent 8 heures par jour en intérieur du bâtiment (exposition majorante).

► Valeurs des paramètres de modélisation

Les paramètres utilisés pour la modélisation sont synthétisés dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Valeur des paramètres pour la modélisation du dégazage

Paramètre	unité	Valeur	Origine de la valeur
Caractéristiques des terrains superficiels en place			
Porosité totale	cm ³ /cm ³	0,30	Valeur par défaut pour des graves ('Gravel' - US EPA)
Contenu en eau	cm ³ /cm ³	0,03	Valeur par défaut pour des graves ('Gravel' - US EPA)
Fraction de carbone organique	mg/mg sol	0,002	Valeur RISC4
Densité du sol	g/cm ³	1,66	Valeur par défaut pour un Sable ('Sand' - US EPA)
Caractéristiques de la source résiduelle pour les expositions en intérieur			
Profondeur de la source sous dallage	m	0,1	Profondeur minimale mesurée
Epaisseur de la zone source	m	1,1	Epaisseur maximale mesurée
Caractéristiques de la construction : hangar industriel			
Superficie considérée	m ²	1 300	Mesuré depuis le géoportail
Hauteur	m	3,65	Hauteur minimale mesurée
Volume	m ³	4 745	Superficie x Hauteur
Périmètre	m	145	Mesuré depuis le géoportail
Taux de ventilation du bâti (par jour)	échange/jour	20	Valeur classique pour un usage industriel
Epaisseur de la dalle	m	0,1	Epaisseur minimale constatée lors des investigations
Différence de pression entre le sol et l'intérieur du bâtiment	g/cm.s ²	40	Valeur par défaut du logiciel VOLASOIL
Perméabilité des sols sous le bâtiment	cm ²	1,00E-05	Valeur par défaut pour des graves ('Gravel' - US EPA)
Taux de fissures de la dalle	-	1,00E-05	Valeur par défaut pour un bâtiment de plain-pied sans vide sanitaire
Porosité du dallage	cm ³ /cm ³	0,12	Valeur par défaut US EPA
Teneur en eau du dallage	cm ³ /cm ³	0,07	Valeur par défaut US EPA



Ces choix seront discutés en incertitudes.

7.5.3 RESULTATS DES CONCENTRATIONS MODELISEES DANS L'AIR AMBIANT

Les concentrations modélisées dans l'air ambiant depuis les gaz des sols sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 8 : Concentrations modélisées dans l'air ambiant

Paramètre	Concentration modélisée dans l'air ambiant (en mg/m3)
Benzène	7,36E-04
Toluène	3,91E-04
Ethylbenzène	9,23E-05
m,p-Xylènes (Somme m,p-Xylène et o-Xylène)	5,73E-04
HC aromatiques >C8-C10	1,28E-03

7.6 CARACTÉRISATION 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 cancérigènes et les substances non cancérigènes.

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.

7.6.1 PRINCIPES DE L'ÉVALUATION

► **Calcul de risque pour les substances à seuil**

Pour les substances non cancérigènes ou à seuil, la possibilité de survenue d'un effet toxique chez l'homme est représentée par un Quotient de Danger (QD), calculé comme suit :

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

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

→ La note ministérielle du 19 avril 2017 (et le guide associé) 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 sans seuil (cancérogènes)**

L'effet sans seuil 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_i**

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

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 du guide méthodologique associé à la note ministérielle du 19 avril 2017 indiquent que le niveau de risque acceptable correspond à un ERI inférieur à la valeur de 10⁻⁵.

7.6.2 RÉSULTATS DE LA CARACTÉRISATION DES RISQUES – CIBLE EMPLOYÉS

➤ **Niveaux de risques calculés pour l'inhalation de vapeurs**

Le détail des contributions des sols aux risques sanitaires calculé pour la voie d'inhalation de vapeurs est donné dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Résultats de la caractérisation des risques générés par les sols pour l'inhalation de vapeurs

AIR INTERIEUR	QD ADULTE	ERI ADULTE
Hydrocarbures		
Indice aromatique >nC8-nC10	1,28E-03	-
BTEX		
Benzène	1,48E-02	1,42E-07
Toluène	4,13E-06	-
Ethylbenzène	1,24E-05	2,78E-08
Xylènes	5,76E-04	-
TOTAL	1,67E-02	1,70E-07



En première approche, les risques calculés sur la base des concentrations maximales mesurées lors sur les gaz des sols pour les Cibles employés adultes sont :

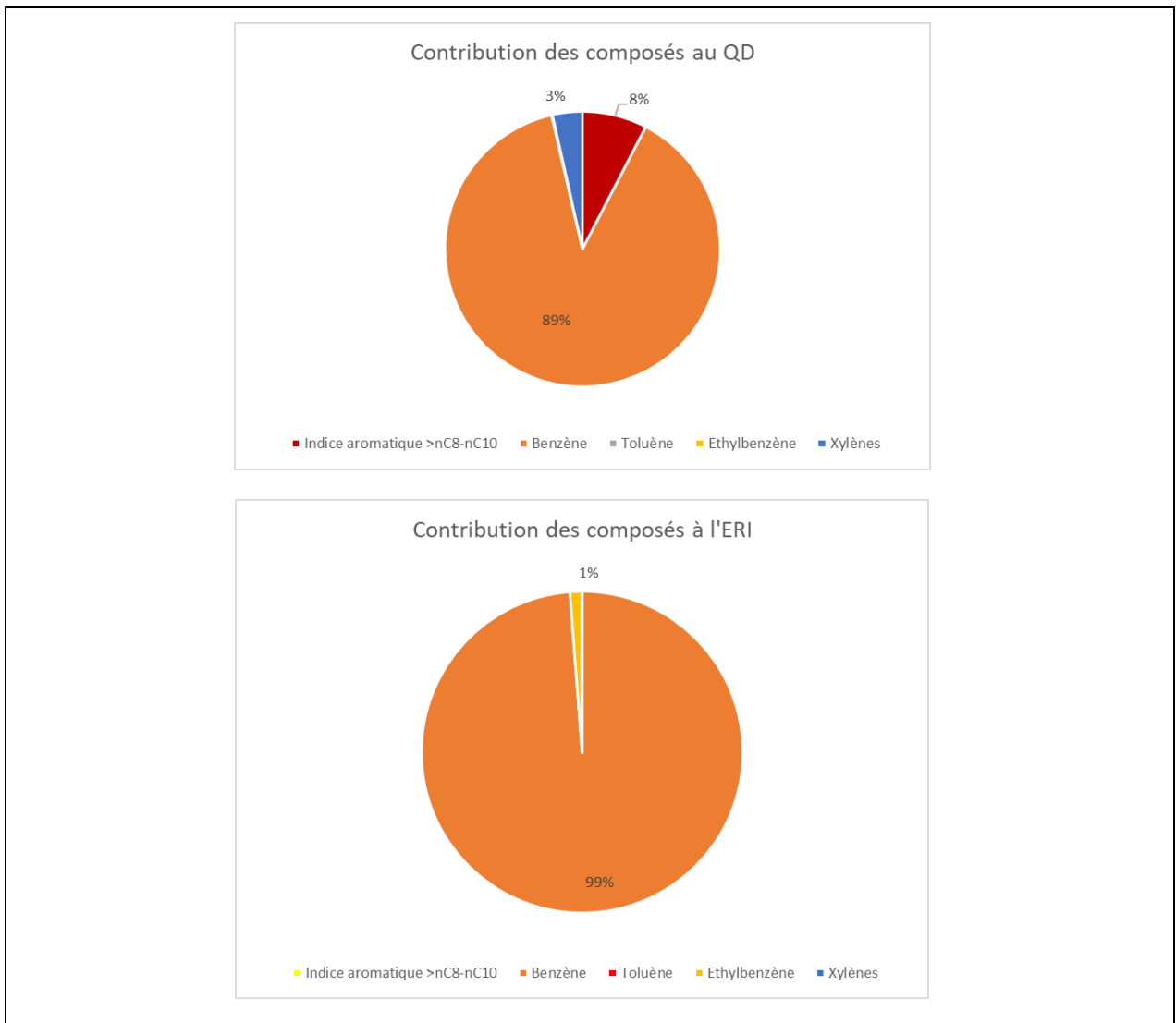
Risques à seuil (toxiques) : **QD TOTAL = $1,67 \times 10^{-2} < 1$** Risques sans seuil : **ERI TOTAL = $1,7 \times 10^{-7} < 10^{-5}$**

→ Les résultats mettent en évidence des risques toxiques et cancérigènes cumulés inférieurs aux limites retenues. En première approche, les risques sanitaires sont acceptables, en l'état et pour les hypothèses retenues.

➤ **Contribution des substances et des voies d'exposition aux risques totaux**

Les contributions respectives des substances et des voies d'exposition aux risques totaux sont illustrées dans la Figure 8 qui montre :

- Pour les risques à seuil, la substance tirant les risques est le benzène (89% du QD_{TOTAL}),
- Pour les risques sans seuil, le benzène caractérise majoritairement le risque (99% de l'ERI_{TOTAL}).



	KOMORI CHAMBON – La Voulte-sur-Rhône (07)	Référence	54277253
	Figure 8 : Contribution des substances aux risques calculés pour les employés	Source :	DEKRA



7.6.3 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.

Ce chapitre permettra d'apprécier la sensibilité des paramètres et de vérifier l'influence sur le résultat du calcul.

7.6.3.1 SCÉNARIO D'EXPOSITION

➤ Usage du site retenu

Le site à l'étude est un site industriel de fabrication de machines à impression d'emballage agroalimentaires.

En se basant sur l'usage actuel du site qui sera conservé après la vente du bâtiment, ces choix sont réalistes.

➤ Voies d'exposition retenues

L'inhalation de vapeurs de polluants en atmosphère intérieure est la seule voie d'exposition retenue au droit du site, ce qui est réaliste au vu de la configuration de la zone d'étude (cf. schéma conceptuel).

Ce scénario d'exposition est conforme au scénario retenu qui correspond à la configuration actuelle et future du site (aucun changement d'usage n'est prévu).

En effet, les autres voies d'exposition ont été exclues (sols totalement recouverts, canalisation en AEP en aérien en intérieur du bâtiment, pas d'utilisation des eaux souterraines sur site).

Ces choix apparaissent réalistes.

➤ Cibles retenues

Les cibles retenues (adultes et employés) sont considérées comme un profil d'exposition réaliste vis-à-vis de l'usage actuel. Ces choix apparaissent réalistes compte tenu de la configuration du site.

➤ Profondeur de la source résiduelle

La profondeur minimale retenue de la source de pollution dans l'air sous dalle correspond à l'épaisseur minimale de la dalle béton observée lors des prélèvements, soit 10 cm de profondeur. Cette hypothèse apparaît majorante, car au droit de certains sondages, la dalle mesurait plutôt 20 cm d'épaisseur

➤ Epaisseur de la source résiduelle

Notre modélisation tient compte d'une « source infinie » (c'est-à-dire ne s'atténuant pas dans le temps). Dans cette configuration, l'épaisseur de la source n'a pas d'incidence sur le résultat (les risques calculés seront inchangés si l'on considère une source de 10 cm ou de 10 m d'épaisseur).

7.6.3.2 CHOIX DES SUBSTANCES ET CONCENTRATIONS RETENUES

➤ Choix des substances

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



Cette approche est réaliste compte tenu des pollutions en présence et des voies d'exposition retenues.

Les composés non détectés (teneurs inférieures aux limites de quantification) n'ont pas été retenus. Cette démarche reste réaliste au regard des limites de quantification proposées par le laboratoire, conformes aux exigences actuelles.

Toutefois, les calculs ont été refaits en considérant les concentrations en HAP mesurées dans les sols, en plus des teneurs mesurées dans les gaz des sols. Ils sont présentés dans le tableau ci-dessous :

AIR INTERIEUR	QD ADULTE	ERI ADULTE
HAP		
(à partir des valeurs mesurées dans les sols)		
Naphtalène	9,76E-02	1,21E-05
Acénaphthylène	-	4,98E-07
Acénaphène	-	4,61E-07
Fluorène	1,24E-03	3,92E-08
Phénanthrène	1,65E-02	5,32E-07
Anthracène	7,46E-06	1,77E-08
Fluoranthène	3,99E-04	1,26E-08
Pyrène	2,30E-04	5,47E-09
Benzo(a)anthracène	-	1,38E-08
Chrysène	-	5,24E-10
Benzo(b)fluoranthène	-	4,35E-11
Benzo(k)fluoranthène	-	8,34E-12
Benzo(a)pyrène	2,77E-04	3,66E-10
Bibenzo(a,h)anthracène	-	-
Benzo(g,h,i)pérylène	-	1,13E-13
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	-	3,58E-10
Hydrocarbures		
(à partir des valeurs mesurées dans les gaz des sols)		
Indice aromatique >nC8-nC10	1,28E-03	-
BTEX		
(à partir des valeurs mesurées dans les gaz des sols)		
Benzène	1,48E-02	1,42E-07
Toluène	4,13E-06	-
Ethylbenzène	1,24E-05	2,78E-08
Xylènes	5,76E-04	-
TOTAL	1,33E-01	1,39E-05

Les risques calculés sur la base des concentrations maximales mesurées dans les sols en HAP et dans les gaz des sols pour les Cibles employés adultes sont :

Risques à seuil (toxiques) : **QD TOTAL = 1,33 x 10⁻¹ < 1** Risques sans seuil : **ERI TOTAL = 1,39 x 10⁻⁵ > 10⁻⁵**

→ Les résultats mettent en évidence des risques toxiques cumulés inférieurs aux limites retenues. Les risques cancérigènes cumulés sont eux supérieurs aux limites retenues.

Les risques sanitaires ne seraient pas acceptables, en intégrant les concentrations en HAP mesurées dans les sols.



Cette hypothèse apparait majorante puisque les teneurs mesurées dans les gaz des sols sont plus représentatives de la qualité de l'air ambiant que les concentrations dans les sols (on s'affranchit d'une modélisation des sols vers les gaz des sols). De plus, les HAP autres que le naphthalène (qui n'est pas détecté dans les gaz du sol) ne sont pas volatils.

➤ **Concentrations retenues**

Les concentrations retenues sont les teneurs maximales mesurées sur l'ensemble des campagnes de prélèvements de gaz des sols (air sous dalle et piézair). Ce choix apparait réaliste mais aurait pu être plus représentatif en augmentant le nombre de prélèvements.

7.6.3.3 TOXICITÉ DES COMPOSÉS

➤ **Cumul des indices de risques des différentes voies d'exposition et des différents composés**

L'ensemble des QD a été sommé. Or, la sommation est justifiée pour les composés sans seuil uniquement, car on parle de cancer (en général) quels que soient la cause ou le mécanisme.

Pour les composés à seuil, ce n'est justifié qu'en première approche. Cependant, dans le cas présent, une approche par substance ou par organe cible ne modifie pas la conclusion de l'étude, les risques à seuil cumulés étant déjà inférieurs à la limite considérée.

➤ **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).

En cas de difficulté à choisir parmi différentes valeurs toxicologiques de référence, la démarche à adopter selon la Note d'information du 30/10/2014 sur le choix des VTR, consiste à retenir en premier lieu les VTR bâties par l'Anses, puis celles ayant fait l'objet d'un consensus, et enfin la VTR la plus récente parmi celles proposées. Les VTR ont été choisies selon ces prescriptions.

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 avons privilégié les VTR issues d'études sur l'homme afin de réduire les incertitudes sur ce paramètre. Nous avons également retenu les VTR proposées par des organismes reconnus pour leur compétence dans ce domaine.

Il s'agit notamment de l'Anses (France), l'USEPA (base de données IRIS) et de l'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) aux Etats Unis, de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) et du RIVM aux Pays bas.

En l'absence de VTR pour une voie d'exposition et/ou pour un certain type d'effet, nous avons choisi de ne pas dériver les valeurs manquantes (notamment pour la voie inhalation) conformément aux recommandations ministérielles.



7.6.3.4 PARAMÈTRES 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**

La durée d'exposition a été estimée à 42 ans pour la cible « employé ». Cette hypothèse est majorante car on considère qu'un employé travaille au même endroit toute sa vie.

La fraction de temps passée à l'intérieur est de 8 heures par jour.

Ce choix est majorant car il considère que les cibles sont toute la journée en intérieur.

7.6.3.5 PARAMÈTRES RELATIFS À LA MODÉLISATION

➤ **Modèle 1D**

Pour modéliser l'exposition, on a considéré que les impacts résiduels en polluants étaient présents au droit de la totalité de la zone d'étude, à l'intérieur et à l'extérieur. On considère donc que les cibles étudiées sont exposées simultanément à la totalité des pollutions résiduelles maximales présentes sur site.

Dans la réalité, les pollutions résiduelles attendues seront hétérogènes, avec certains composés présentant des concentrations moins importantes que celles retenues pour caractériser les risques.

Cette approche est inhérente au modèle à Une Dimension et est majorante.

➤ **Incertitudes liées au modèle utilisé**

L'émission de polluants sous forme gazeuse depuis les sols a été estimée avec le modèle *Johnson & 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 d'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 *Johnson & Ettinger* constitue une approche majorante, en particulier pour l'évaluation du risque sans seuil.

➤ Caractéristiques du bâtiment

Les dimensions du bâtiment sont les dimensions réelles mesurées (sur site pour la hauteur sous plafond et sur le géoportail pour la superficie et périmètre du bâtiment).

En raison de la configuration du bâtiment (pas de cloisons intérieures, hauteur du bâtiment comprise entre 3,65 et 6 m), cette hypothèse apparaît réaliste.

En cas de modification du bâtiment ultérieur, (cloisonnement d'un atelier par exemple) les calculs de risques ont été refaits en considérant un atelier de 10m x10 m et 3,65 m de hauteur sous plafond.

Les risques obtenus sont présentés ci-dessous :

AIR INTERIEUR	QD ADULTE	ERI ADULTE
Hydrocarbures		
Indice aromatique >nC8-nC10	1,63E-03	-
BTEX		
Benzène	1,83E-02	1,76E-07
Toluène	5,11E-06	-
Ethylbenzène	1,50E-05	3,37E-08
Xylènes	6,92E-04	-
TOTAL	2,07E-02	2,10E-07

En cas de cloisonnement d'un atelier de 10 m x 10 m, les risques calculés sur la base des concentrations maximales mesurées lors sur les gaz des sols pour les Cibles employés adultes sont :

Risques à seuil (toxiques) : **QD TOTAL = $2,07 \times 10^{-2} < 1$** Risques sans seuil : **ERI TOTAL = $2,10 \times 10^{-7} < 10^{-5}$**

→ Les résultats mettent en évidence des risques toxiques et cancérogènes cumulés inférieurs aux limites retenues. En première approche, les risques sanitaires sont acceptables, en l'état et pour les hypothèses retenues.

➤ Hauteur de respiration

La hauteur de respiration retenue est de 1,5 m ; il s'agit de la valeur communément retenue pour ce type de modélisation. Elle est bien adaptée à une cible adulte mais apparaît trop haute pour un enfant.

➤ Caractéristiques des sols en place

La lithologie retenue (graves) a été définie sur la base des observations de terrain ; ces données se veulent donc représentatives des terrains en place.

Porosité totale : La valeur prise en compte est celle proposée par défaut pour les formations «graves» dans le modèle Johnson & Ettinger. Dans l'absolu, les valeurs fournies dans le modèle sont sécuritaires au regard des données proposées dans la littérature.



Contenu en eau : La valeur utilisée pour la teneur en eau est issue de la bibliographie (RISC4) pour des sols de type « graves », ce qui apparaît réaliste.

Carbone organique Total : La valeur utilisée pour la teneur en COT est issue de la bibliographie (RISC4) pour des sols de type « graves », ce qui apparaît réaliste.

Perméabilité aux vapeurs : la valeur retenue (10^{-5} cm²) correspond à la valeur par défaut pour des graves.

Les observations de terrain mettent cependant en avant un caractère parfois sablo-graveleux ce qui apparaît être une approche majorante, les sables étant légèrement plus perméables que les graves.

Afin de comparer l'influence de la perméabilité des sols sur les résultats des calculs de risques, ces derniers ont été refaits en considérant une perméabilité de 10^{-6} cm². Les résultats sont présentés ci-dessous.

AIR INTERIEUR	QD ADULTE	ERI ADULTE
Hydrocarbures		
Indice aromatique >nC8-nC10	5,74E-04	-
BTEX		
Benzène	6,72E-03	6,45E-08
Toluène	1,89E-06	-
Ethylbenzène	6,11E-06	1,37E-09
Xylènes	2,90E-04	-
TOTAL	7,56E-03	7,82E-08

En cas de sols moins perméables que les graves, les risques calculés sur la base des concentrations maximales mesurées lors sur les gaz des sols pour les Cibles employés adultes sont :

Risques à seuil (toxiques) : **QD TOTAL = $7,56 \times 10^{-3} < 1$** Risques sans seuil : **ERI TOTAL = $7,82 \times 10^{-8} < 10^{-5}$**

→ Les résultats mettent en évidence des risques toxiques et cancérigènes cumulés inférieurs aux limites retenues. En première approche, les risques sanitaires sont acceptables, en l'état et pour les hypothèses retenues.

7.6.3.6 INFLUENCE SUR LES RISQUES ESTIMÉS

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

Les risques sanitaires sont acceptables en l'état du site actuel et pour un usage industriel.

7.7 CONCLUSION

Les calculs réalisés en l'état actuel du site ont conclu que les risques sanitaires sont inférieurs aux seuils, ils sont donc considérés comme acceptables.

L'analyse des incertitudes a montré que les hypothèses et paramètres retenus étaient globalement réalistes à majorants.



8 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

8.1 CONCLUSIONS

Dans le cadre de la vente d'une parcelle ayant accueilli une activité de peinture cessée en 1990 et dont les installations ont été démantelées sur son site de La-Voulte-sur-Rhône (07), la société KOMORI CHAMBON a confié à DEKRA la réalisation d'études environnementales (rapports n°54193823 du 25/09/2024 et n° 54250103 du 10/12/2024) qui ont mis en évidence des impacts dans les sols et les gaz du sol et ont recommandé la réalisation d'une étude quantitative des risques sanitaires (EQRS).

Aujourd'hui KOMORI CHAMBON souhaite suivre les recommandations et missionne de nouveau DEKRA pour la réalisation de l'EQRS.

Le présent rapport vise à statuer sur la compatibilité sanitaire du site avec son usage.

Impacts identifiés dans les études précédentes :

Dans le milieu sols

Il en ressort la présence :

- d'impacts en HCT et HAP en SC3 et SC9 entre la surface et 1,1 m de profondeur. Ces impacts sont délimités en profondeur. L'extension latérale reste incertaine au droit de ces deux sondages mais les anomalies semblent ponctuelles.
- d'impacts en métaux lourds entre la surface et 2 m de profondeur au niveau de l'ensemble des sondages qui peuvent être expliqués par la mauvaise qualité des remblais (avec notamment la présence de mercure en SC3, composé volatil).

Dans les milieux gaz du sol

Les résultats analytiques sur les gaz du sol au droit ADS1 ont mis en évidence la présence d'anomalies en BTEX et en hydrocarbures aromatiques C8-C10.

Analyse de risques sanitaires (Mission A320)

En l'état actuel du site, les calculs réalisés ont conclu que les risques sanitaires sont inférieurs à la limite considérée, ils sont donc acceptables.

L'analyse des incertitudes a montré que les hypothèses et paramètres retenus étaient globalement réalistes à majorants.

8.2 RECOMMANDATIONS

A l'issue de cette étude, le site apparaît compatible avec son usage industriel. DEKRA recommande de garder en mémoire les pollutions identifiées liées à la mauvaise qualité des remblais au travers d'un dossier de servitudes ou de restriction d'usages.

En cas de changement de configuration du site ou des usages et/ou de mises à jour de contamination non reconnues ou non portées à la connaissance de DEKRA dans le cadre de la présente étude, les conclusions de cette étude pourraient devenir caduques.



9 LIMITES ET INCERTITUDES, JUSTIFICATION DES ECARTS

9.1 AUTRES LIMITES OU INCERTITUDES

Cette étude a été réalisée suivant une méthode généralement employée dans l'industrie et est conforme à la méthodologie nationale des sites et sols pollués.

Les conclusions présentées dans ce rapport sont basées sur les conditions du site telles qu'observées lors de la visite et sur les informations fournies. Les informations obtenues sont supposées être exactes. Cette étude ne peut prétendre à l'exhaustivité.

- Les informations collectées lors des entretiens et des visites du site sont supposées fournies de bonne foi ;
- Le présent rapport et ses annexes constituent un tout indissociable. Une utilisation erronée qui pourrait être faite suite à une diffusion ou reproduction partielle ne saurait engager DEKRA ;
- Des éléments nouveaux mis en évidence lors de l'exécution des travaux, a posteriori de la mission confiée à DEKRA et n'ayant pu être détectés au cours des reconnaissances peuvent rendre caduques certaines des recommandations figurant dans le rapport.

9.2 JUSTIFICATION DES ÉCARTS

Aucun écart aux missions réécrites dans notre offre 2025-B931-5008 n'est à signaler.



ANNEXE 1 : EVALUATION DES DANGERS



Substance	N° CAS	Effet	Voie d'exposition	Organe cible	Valeur*	Source
Benzène	71-43-2	A seuil	Inhalation	Système sanguin	1,00E-02	ANSES, 2008
		Sans seuil	Inhalation	-	1,6E-03	ANSES, 2024
Toluène	108-88-3	A seuil	Inhalation	Système neurologique	1,90E+01	ANSES, 2017
Ethylbenzène	100-41-4	A seuil	Inhalation	Effet ototoxique	1,50E+00	ANSES, 2016
		Sans Seuil	Inhalation		2,50E-03	OEHHA, 2007
		Sans Seuil	Ingestion		1,10E-02	OEHHA, 2007
Xylènes	1330-20-7	A seuil	Inhalation	Système neurologique	1,00E-01	ANSES, 2020
Trichloroéthylène	79-01-6	chronique	Inhalation		3,20E+00	ANSES, 2018
		Sans Seuil	Inhalation		1,00E-09	ANSES, 2018
Tétrachloroéthylène	127-18-4	A seuil	Inhalation		4,00E-01	ANSES, 2017
		Sans Seuil	Inhalation		2,60E-10	ANSES, 2017

* Valeurs exprimées en mg/m³, (mg/m³)¹, mg/kg/j et (mg/kg/j)¹ sauf indication contraire

Substance	Toluène	
N° CAS	108-88-3	
Paramètres physico-chimiques		
Paramètre	Valeur	Référence
Masse Molaire (g/mol)	92,14	HSDB, INCHEM, ATSDR, RAIS, RISC, INERIS
Densité (g/cm ³)	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 (cm ² /s)	0,087	INERIS, RISC, US EPA, RAIS
Coef. de diffusion dans l'eau (cm ² /s)	8,6.10 ⁻⁶	INERIS, RISC, US EPA, RAIS
Coef. de diffusion à travers le PEHD (cm ² /s)	1,2.10 ⁻⁶	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

¹ : valeur pouvant être déterminée par calcul avec Log Kow



Substance	Ethylbenzène	
N° CAS	100-41-4	
Paramètres physico-chimiques		
Paramètre	Valeur	Référence
Masse Molaire (g/mol)	106,2	HSDB, INCHEM, ATSDR, RAIS, RISC
Densité (g/cm ³)	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 (cm ² /s)	0,075	INERIS, RAIS, RISC, US EPA
Coef. de diffusion dans l'eau (cm ² /s)	7,8.10 ⁻⁶	INERIS, RAIS, RISC, US EPA
Coef. de diffusion à travers le PEHD (cm ² /s)	2,1.10 ⁻⁶	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

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 ³)	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 (cm ² /s)	0,072	INERIS, RISC, US EPA, RAIS
Coef. de diffusion dans l'eau (cm ² /s)	8,5.10 ⁻⁶	INERIS, RISC, US EPA
Coef. de diffusion à travers le PEHD (cm ² /s)	1,6.10 ⁻⁶	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

¹ : valeur pouvant être déterminée par calcul avec Log Kow



ANNEXE 2 : DETAIL DES CALCULS



INHALATION DE VAPEURS DANS L'AIR INTERIEUR

BATIMENT DE PLAIN PIED

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 12 (Waitz et al, 1996) et le modèle dit de « Johnson and Ettinger »¹³ (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.

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

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

¹² 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.

¹³ 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



D_{eff} : coefficient de diffusion effectif (cm^2/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_{vs} : concentration de vapeur dans la source (g/cm^3)

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

D_{crack} : coefficient de diffusion effectif dans les fondations (cm^2/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_{crack} : surface de fissures à travers lesquelles les vapeurs rentrent dans le bâtiment (cm^2), correspondant au produit entre le taux de fissuration et la surface du dallage

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

A_B : surface des bâtiments (cm^2)

L_T : distance de la source au dallage (cm)

Q_b : Débit de renouvellement d'air du bâtiment (m^3/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 ΔP : gradient de pression entre le bâtiment et l'extérieur ($g/cm^2 \cdot s^2$)

k_v : perméabilité intrinsèque des sols (cm^2)

μ : 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

π : 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 :

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

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 (θ^{-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,

θ : porosité totale,

θ_{eau} : teneur en eau du sol,

θ_{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)

ρ_b : densité du sol (g/cm³)

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))

θ_a : teneur en air dans les sols (cm³ d'air/ cm³ de sol)

θ_w : teneur en eau dans les sols (cm³ d'eau/ cm³ de sol)

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

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

