

**ANNEXE 7 : ANALYSE DE RISQUES RESIDUELS
PROSPECTIVE**



ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS (ARR) PROSPECTIVE (SELON LA NORME NFX 31-620)

Opération « Chemin du littoral » à Marseille (13 016)
Annexe 7 du plan de gestion



Certification de service des prestataires dans le
domaine des sites et sols pollués
Et établissement d'Attestations réglementaires
**AGENCES LYON, MARSEILLE, PARIS ET
METZ**
www.lne.fr

Aix en Provence, le 24 novembre 2020

KAUFMAN & BROAD

Adresse : 35, quai du Lazaret -
Le silo d'Arenc - CS 30010
13304 MARSEILLE Cedex 02

Destinataire : Mme MENICUCCI Elisabeth
M. RAVEL Arnaud

Téléphone : 04 96 17 23 82

Portable : 06 07 96 68 88

Email : emenicucci@ketb.com
aravel@ketb.com

ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS (ARR) PROSPECTIVE OPERATION « CHEMIN DU LITTORAL » A MARSEILLE (13 016)

Rapport d'EODD Ingénieurs Conseils

IDENTIFICATION		MAITRISE DE LA QUALITE	
		Responsable de projet	Supervision
N° Contrat	P02549.23	J. VIDAL 24/11/2020	A. CHAPOY 24/11/2020
Indice	1		
Révision	24/11/2020		
Nb de pages (hors annexes)	39	Rédacteur(trice) principal(e)	
Nb d'annexes	3	S. SAFARI	

Vos contacts et interlocuteurs pour le suivi de ce dossier :



Technopôle de l'environnement
Arbois-Méditerranée
Domaine du Petit Arbois
Avenue Louis Philibert
13100 Aix en Provence
SIRET : 383 812 666 00147
☎ : 04.88.14.80.96

Responsable de projet : J.VIDAL j.vidal@eodd.fr
Responsable d'affaire / Superviseur : A. CHAPOY a.chapoy@eodd.fr

www.eodd.fr

SOMMAIRE

1. CONTEXTE	5
1.1 CONTEXTE ET DEMANDE	5
1.2 CADRE NORMATIF ET REGLEMENTAIRE	5
2. SCHEMA CONCEPTUEL (ETAT FUTUR, SUR SITE)	6
2.1 PROJET D'AMENAGEMENT	7
2.2 ETAT DES MILIEUX RESIDUEL	8
2.3 VECTEURS DE TRANSFERT	8
2.4 VOIES D'EXPOSITION	9
2.5 INVENTAIRE DES CIBLES	9
2.6 SYNTHESE DU SCHEMA CONCEPTUEL	10
3. SELECTION DES SUBSTANCES « TRACEURS DU RISQUE » ET CONCENTRATIONS RETENUES	12
3.1 MODALITES DE SELECTION DES SUBSTANCES	12
3.2 INHALATION D'AIR INTERIEUR	12
3.2.1 Substances retenues	12
3.2.2 Concentrations retenues	12
3.3 INHALATION D'AIR EXTERIEUR	15
3.3.1 Substances retenues	15
3.3.2 Concentrations retenues	15
4. VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE	17
5. EVALUATION DES EXPOSITIONS	19
5.1 DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS L'AIR AMBIANT	19
5.1.1 Transfert vers l'air intérieur des commerces et logements sur R-1	19
5.1.2 Transfert vers l'air extérieur	21
5.2 QUANTIFICATION DE L'EXPOSITION	23
5.3 PARAMETRES D'EXPOSITION	23
6. CARACTERISATION DES RISQUES	25
6.1 METHODOLOGIE DE QUANTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES	25
6.1.1 Méthodologie appliquée	25
6.1.2 Quantification des risques pour les effets à seuil	25
6.1.3 Quantification des risques pour les effets sans seuils	25
6.2 NIVEAUX DE RISQUES SANITAIRES	26
6.3 EVALUATION DES INCERTITUDES	28
7. SYNTHESE NON TECHNIQUE ET RECOMMANDATIONS	29
7.1 CONCLUSIONS	29
7.2 RECOMMANDATIONS	30
8. ANNEXES	31

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : ILLUSTRATION DU PROJET D'AMENAGEMENT (SOURCE : KAUFMAN & BROAD)	7
FIGURE 2 : PLAN PROJET (SOURCE : KAUFMAN & BROAD)	7
FIGURE 3 : SCHEMA CONCEPTUEL – ETAT FUTUR, SUR SITE	11

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES DU SCHEMA CONCEPTUEL	10
TABLEAU 2 : CONCENTRATIONS RETENUES DANS LES SOLS ET LES GAZ DU SOL POUR LA MODELISATION DANS L'AIR AMBIANT INTERIEUR	14
TABLEAU 3 : CONCENTRATIONS RETENUES POUR LA MODELISATION DANS L'AIR AMBIANT EXTERIEUR	16
TABLEAU 4 : SYNTHESE DES VTR INHALATION	18
TABLEAU 5 : SYNTHESE DES PARAMETRES D'ENTREE – DEGAZAGE VERS L'AIR INTERIEUR DU R-1	20
TABLEAU 6 : SYNTHESE DES CONCENTRATIONS D'EXPOSITION MODELISEES DANS L'AIR AMBIANT DU R-1 ET DES LOGEMENTS OU COMMERCES SUS-JACENTS	21
TABLEAU 7 : SYNTHESE DES PARAMETRES D'ENTREE – DEGAZAGE VERS L'AIR EXTERIEUR	22
TABLEAU 8 : SYNTHESE DES CONCENTRATIONS D'EXPOSITION MODELISEES DANS L'AIR EXTERIEUR	22
TABLEAU 9 : PARAMETRES D'EXPOSITION	24
TABLEAU 10 : PRESENTATION DES NIVEAUX DE RISQUES POUR LES DIFFERENTS SCENARIOS – EMPLOYES	26
TABLEAU 11 : PRESENTATION DES NIVEAUX DE RISQUES POUR LES DIFFERENTS SCENARIOS – ADULTE RESIDENT	26
TABLEAU 12 : PRESENTATION DES NIVEAUX DE RISQUES POUR LES DIFFERENTS SCENARIOS – ENFANT RESIDENT	26

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : CALCULS DES RISQUES SANITAIRES	32
ANNEXE 2 : EVALUATION DES INCERTITUDES	43
ANNEXE 3 : LIMITES DE L'ETUDE	54

1. CONTEXTE

1.1 CONTEXTE ET DEMANDE

La société KAUFMAN & BROAD est porteuse d'un projet immobilier composé de 8 bâtiments sur 1 ou 2 niveaux de sous-sols, sis chemin du littoral à Marseille (13).

KAUFMAN & BROAD, dans sa démarche de promoteur, a pour mission de vérifier la faisabilité du projet au regard des développements prévus, et a missionné EODD Ingénieurs Conseils pour l'accompagner sur la problématique des sites et sols pollués au sens de la note ministérielle du 19 avril 2017 et conformément à la norme NF X31-620.

C'est dans ce cadre qu'EODD Ingénieurs Conseils a été mandaté pour réaliser un diagnostic de pollution des sols comprenant les missions INFOS et DIAG puis dans un second temps, un diagnostic de pollution complémentaire et un plan de gestion selon la norme NF X31-620.

Le diagnostic environnemental réalisé en deux temps, sur les milieux sols, eaux souterraines et gaz du sol ont mis en évidence la présence de composés volatils dans le sous-sol.

Aussi, dans le cadre de la reconversion du site, il convient de s'assurer de la maîtrise des sources et des impacts en lien avec la pollution résiduelle du site, conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués.

Le présent rapport, qui constitue l'annexe 7 du plan de gestion, expose les résultats de l'Analyse des Risques Résiduels (ARR) prospective à partir des résultats des campagnes de prélèvement des sols, des gaz du sol et des eaux souterraines réalisée par EODD en novembre 2019 et février et septembre 2020.

1.2 CADRE NORMATIF ET REGLEMENTAIRE

La présente mission a été réalisée selon les référentiels suivants :

- à la circulaire du 8 février 2007 relative aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués et ses annexes/documents guides révisés le 19 avril 2017 ;
- la norme NFX 31-620 2 - Qualité du sol « *Prestation de services relatives aux sites et sols pollués (études, ingénierie, réhabilitation de sites pollués et travaux de dépollution)* ».

Notre intervention s'inscrit dans le domaine de prestation *A320- Analyse des enjeux sanitaires* selon la codification de la norme NFX31-620 2 concernant les prestations de services relatives aux sites et sols pollués.

Pour information, les prestations demandées sont codifiées par cette norme de la façon suivante :

Prestations demandées	Prestations normées	Prestation globale	Prestations élémentaires
ARR prospective	Analyse des enjeux sanitaires	-	A320

2. SCHEMA CONCEPTUEL (ETAT FUTUR, SUR SITE)

L'objet du schéma conceptuel est de représenter de façon synthétique tous les scénarios d'exposition directe ou indirecte pour les futurs usagers résidents et salariés. Il identifie les enjeux sanitaires et environnementaux à considérer dans la gestion du site et traduit le concept « source-vecteur-cible ».

Le schéma conceptuel a été établi sur la base des hypothèses décrites ci-après concernant les mesures de maîtrise des pollutions (traitement des PPC décrit dans le plan de gestion), le projet, les vecteurs de transfert, les voies d'expositions et les cibles.

- **Mesures de maîtrise des sources de pollution et gestion des déblais tel que décrit dans le Plan de gestion de la pollution** (selon NFX 31-620 ; P04249.02 du 23/11/2020) à savoir purge et élimination des terres caractérisées comme sources de pollution concentrée ;
- **Revalorisation possible des futurs déblais issus des terrassements des infrastructures en remblais sous voirie ou espace-verts ;**
- **Usage futur :**
 - Commerce en RDC sur R-1 ;
 - Logement et commerce en RDC sur 2 niveaux de parkings ;
 - Espaces extérieurs.
- **Usages non inclus dans le projet :**
 - Implantation d'établissements accueillant des populations sensibles au sens de la circulaire du 8 février 2007 (crèche, école maternelle, primaire, collège / lycée, établissement d'accueil des enfants handicapés) ;
 - Réalisation de forages ou puits captant les eaux souterraines de la nappe superficielle, de même que toute utilisation de ces eaux souterraines, à l'aplomb du site ;
 - Aménagement de jardins potagers et de plantation d'arbres fruitiers/à baies en pleine terre ;
- **Dispositifs constructifs / aménagements particuliers :**
 - Couverture systématique des sols (dallage, enrobé ou apport de terre végétale sur une épaisseur de 30 cm tassée couplée à un grillage avertisseur).
 - Mise en place de canalisations pour l'amenée d'eau potable en matériaux non perméables et non poreux ou installées dans le sous-sol après décaissement préalable des terres polluées en place et avec remblaiement par des matériaux sains.

2.1 PROJET D'AMENAGEMENT

KAUFMAN & BROAD projette l'aménagement de 8 bâtiments sur 1 ou 2 niveaux de sous-sols. Les sous-sols seront occupés par des parkings et le RDC par un usage mixte commerces et logements.

Des espaces paysagers extérieurs sont également prévus au projet. Ce projet est illustré sur la figure suivante.



Figure 1 : Illustration du projet d'aménagement (source : Kaufman & Broad)

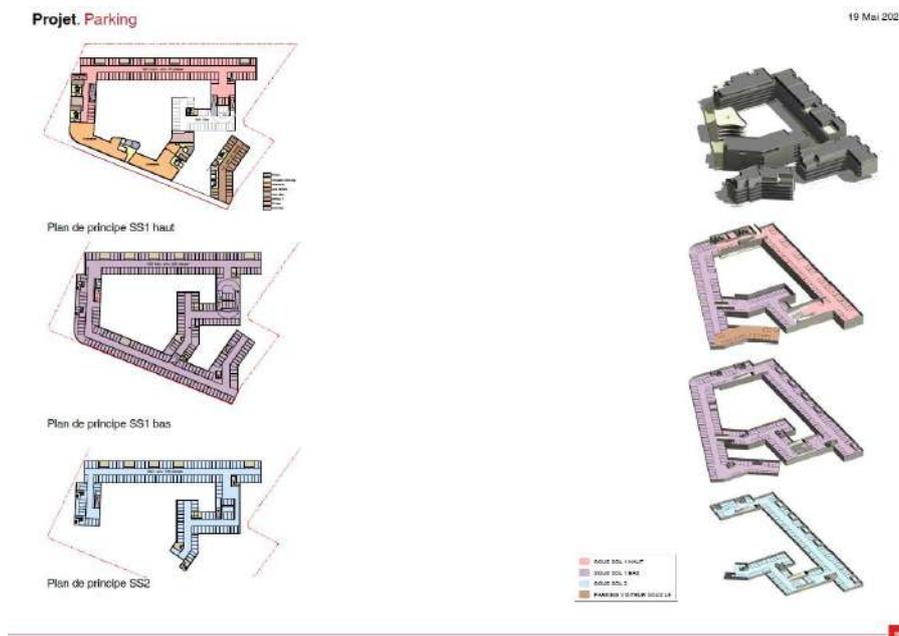


Figure 2 : Plan projet (source : Kaufman & Broad)

2.2 ETAT DES MILIEUX RESIDUEL

Les investigations réalisées ont permis de caractériser les différents milieux sols, eaux souterraines et gaz du sol.

- **Sols** : Impacts par des hydrocarbures C10-C40, des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et Polychlorobiphényles (PCBs) au sein des remblais. Le plan de gestion a permis d'identifier les points de pollution concentrée (PPC) qui feront l'objet d'une élimination hors site.

Les sols présents au droit des futures infrastructures du parking en R-2 seront terrassés pour les besoins du projet. Une partie des déblais sera réutilisée sur site dans le cadre d'un besoin identifié pour le projet d'aménagement, selon des critères précisés dans le plan de gestion. Le reste des déblais sera évacué hors site en filière adaptée.

Après élimination des PPC hydrocarbonés tels que décrit dans le plan de gestion, les impacts résiduels seront essentiellement dans les sols de surface (entre environ 0 et 2 m) présentant des anomalies de concentration en métaux (dont en Mercure potentiellement volatil), en Hydrocarbures et en HAP au droit des futurs espaces vert, le reste des matériaux étant évacués dans le cadre du projet (création d'un R-2).

- **Eaux souterraines (PZ1 à PZ3)** :
 - Absence de composés volatils dans la nappe (analyse des hydrocarbures C5-C40, des HAP et des métaux).
 - Traces de composés des HAP (peu à pas volatils) ;
- **Gaz du sol – PZA1 localisé au droit du sondage S9** : hydrocarbures volatils quantifiés dans les gaz du sol à savoir : HC aromatiques C6-C10 et HC aliphatiques C10-C12.

2.3 VECTEURS DE TRANSFERT

Le vecteur de transfert retenu dans le cadre du projet d'aménagement est le vecteur « air » au vu de la présence de composés volatils dans les sols au droit du projet ;

Les vecteurs de transfert non retenus sont :

- le vecteur envol de poussières depuis les sols superficiels au droit des espaces verts en extérieurs, puisque ces derniers seront systématiquement recouverts (30 cm de terres saine) ;
- la bioaccumulation des substances polluants dans les végétaux destinés à la consommation humaine, la culture de potagers sur site en pleine terre n'étant pas inclus dans le projet ;
- le transfert par perméation à travers les canalisations d'amenée d'eau potable, les réseaux d'amenée d'eau potable allant être constitués de matériaux non poreux/non perméables aux polluants volatils ou installés soit en aérien dans les sous-sols, soit après décaissement préalable des terrains en place, et avec remblaiement par des matériaux sains ;
- le transfert hors site via les eaux souterraines étant donné l'absence de source dans la nappe au droit du site.

2.4 VOIES D'EXPOSITION

La voie d'exposition retenue est l'inhalation de composés volatils provenant des sols et des gaz du sol à l'aplomb du site, en intérieur (logements et commerces) et en extérieur ;

Les voies d'exposition non prises en compte sont :

- L'ingestion de sol et l'inhalation de poussières au droit des espaces verts en extérieur qui seront recouverts ;
- L'ingestion de végétaux en l'absence de jardin potager et/ou arbre fruitier/à baie en pleine terre sur le site ;
- L'ingestion et l'adsorption d'eau, en l'absence d'usage des eaux souterraines au droit du site et compte tenu des hypothèses prises en compte concernant les éventuels réseaux d'amenée d'eau potable (en matériaux non poreux/non perméables ou mise en place dans des terrains sains ou en aérien dans les sous-sols).

2.5 INVENTAIRE DES CIBLES

Au regard du projet d'aménagement envisagé, les cibles retenues pour l'évaluation du risque par inhalation de polluants volatils sont les suivantes :

- Adultes salariés travaillant dans un commerce en RDC sur 1 ou 2 niveaux de sous-sol et fréquentant le parking en sous-sol ainsi que les espaces extérieurs ;
- Adultes et enfants résidents dans un logement en RDC sur 1 ou 2 niveaux de sous-sol et fréquentant le parking en sous-sol ainsi que les espaces extérieurs ;

Aucun usage sensible n'est recensé sur le site dans le cadre du projet d'aménagement.

A noter également les éléments suivants :

- L'exposition par inhalation en air intérieur est menée pour le niveau de parking en R-1. En effet, la nappe étant présente à 3 m de profondeur (radier du R-1 / toit du R-2) au droit du site, et aucun composé volatil n'ayant été quantifié au sein des 3 piézomètres, le vecteur de transfert de composés volatils depuis la nappe n'est pas retenu ;
- Les usagers (adultes et enfants) fréquentant les commerces ne sont pas étudiés dans la présente étude considérant leur durée d'exposition sur le site plus faible que celle des employés et des résidents ;
- Les futurs travailleurs en phase chantier ne sont pas considérés comme cible compte tenu d'une exposition non chronique (limitée à la durée du chantier) et étant donné qu'ils doivent être équipés de moyens de protection adaptés à l'intervention sur sites pollués (cf. guide de l'INRS relatif à la protection des travailleurs sur les chantiers de réhabilitation des sites pollués).

2.6 SYNTHÈSE DU SCHEMA CONCEPTUEL

Le tableau suivant reprend l'ensemble des hypothèses retenues :

Sources	Situation	Vecteur de transfert	Milieux d'exposition	Voies d'exposition	Cibles
Sols Gaz du sol	Sur site	Dégazage / volatilisation	Commerces et logements en RDC sur 1 ou 2 niveaux de sous-sol Espaces extérieurs	Inhalation de composés volatils	Adultes salariés Adultes et enfants résidents

Tableau 1 : Caractéristiques du schéma conceptuel

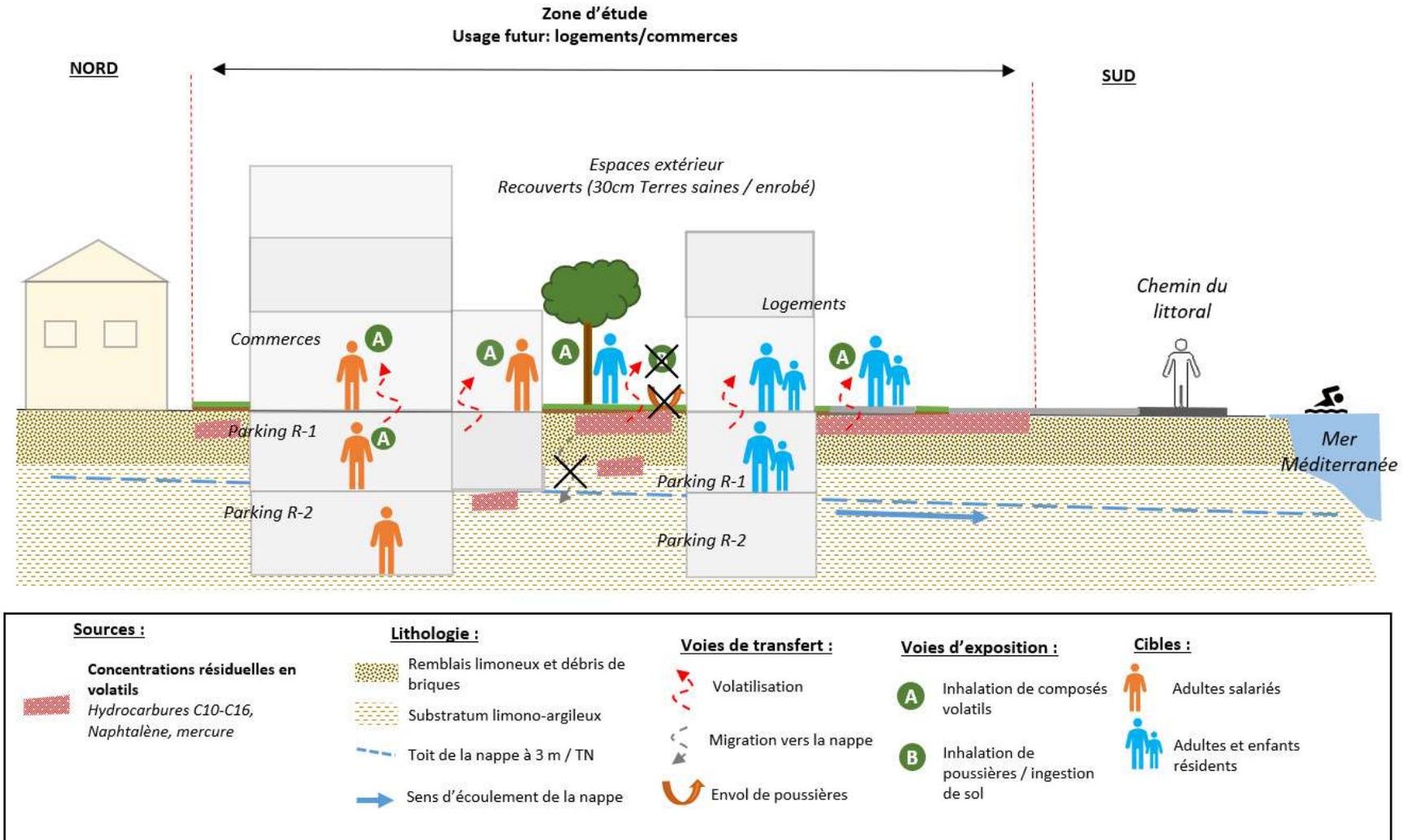


Figure 3 : Schéma conceptuel – Etat futur, sur site

3. SELECTION DES SUBSTANCES « TRACEURS DU RISQUE » ET CONCENTRATIONS RETENUES

3.1 MODALITES DE SELECTION DES SUBSTANCES

Les substances « traceurs du risque » ont été sélectionnées parmi les polluants retrouvés lors des différents diagnostics menés sur site.

Les critères principaux de sélection des substances sont :

- La concentration dans les milieux (anomalies de concentration) ;
- La toxicité reconnue des substances ;
- L'existence d'une valeur toxicologique de référence (VTR) pour la voie d'exposition par inhalation ;
- Les possibilités de transferts dans les différents compartiments environnementaux et d'exposition des populations.

3.2 INHALATION D'AIR INTERIEUR

3.2.1 SUBSTANCES RETENUES

Au regard des résultats d'analyses, les substances « traceurs du risques » vis-à-vis de l'inhalation de substances sous forme gazeuse à l'intérieur des futurs bâtiments du site sont les substances volatiles susceptibles de dégazer vers l'air ambiant et effectivement mises en évidence dans les sols et les gaz du sol :

- le mercure ;
- les hydrocarbures aliphatiques >C10-C16 et aromatiques >C10-C16.

3.2.2 CONCENTRATIONS RETENUES

Le milieu gaz des sols est considéré comme un milieu intégrateur des pollutions volatiles. Les modélisations à partir des gaz du sol permettent par ailleurs de s'affranchir, vis-à-vis des milieux sol et eau souterraine, d'une première étape de modélisation souvent majorante¹, visant à établir la concentration dans les gaz du sol à la source, sur la base d'une relation d'équilibre entre les différentes phases du sol.

Dans ce cadre, dans la mesure du possible, la prise en considération des résultats des mesures gaz du sol est considérée comme plus réaliste que celle des teneurs sols et eaux souterraines, et intégratrice des contributions respectives en provenance de ces milieux.

Cette approche est conforme à la méthodologie nationale qui préconise l'utilisation de mesures directes au plus près du point d'exposition :

¹ Les modélisations de transfert des polluants vers l'air ambiant à partir de données sols conduisent à surestimer des niveaux de risques et à orienter la suite de la démarche vers des mesures de gestion surdimensionnées

Extrait de l'annexe 2 de la note aux préfets du 08/02/2007, reprise dans la Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 : « *la mesure directe de la qualité des milieux est à privilégier. Ceci vaut en particulier lorsque des polluants susceptibles d'émettre des vapeurs toxiques (pollutions par des hydrocarbures chlorés par exemple) sont en cause. En effet, les modélisations empiriques utilisées pour évaluer de manière prédictive la diffusion des polluants dans les lieux confinés peuvent conduire à estimer les niveaux de pollution des milieux qui ne reflètent pas la réalité, et orienter la suite de la démarche vers des actions de gestion inutiles ou inefficaces* ».

Ainsi, au regard des données disponibles sur la qualité des milieux au droit de la zone d'étude, les concentrations mesurées dans les milieux suivants sont retenues :

- **Commerce et logement en RDC sur 1 niveau de sous-sol :**
 - Dans le cas de la présente étude, le piézair (PZa1) a été réalisé au droit de sols impactés par des hydrocarbures (Sondage S9) et du futur bâtiment possédant qu'un seul niveau de parking. Les concentrations mesurées dans les gaz du sol au droit de ce piézair étant représentatives d'un signal sol plus dégradé que le signal sol effectivement résiduel sous ce niveau de parking ; retenir ces valeurs reste majorant.
 - En l'absence de quantification du mercure et des hydrocarbures aliphatiques >C12-C16 dans les gaz du sol et par principe de prudence scientifique², les limites de quantification (LQ) obtenues pour ces substances dans les gaz du sol ont été retenues, compte-tenu de la présence de ces substances dans les sols. Aussi le risque calculé pour chacune de ces substances doit être considéré comme un risque théorique mais non représentatif.

- **Commerces et logements en RDC sur 2 niveaux de sous-sol :**

Le terrassement de deux niveaux de sous-sol permet d'éliminer l'ensemble des impacts volatils sous les bâtiments.

² Cf. guide d'évaluation des Risques sanitaires dans les études d'impact des ICPE – Substances chimiques – INERIS 2013

Substances	Commerces et logements en RDC sur 1 niveau de sous-sol Concentrations retenues dans les gaz du sol	Source Gaz du sol (Piézair PZA1)	Commerces et logements en RDC sur 1 niveau de sous-sol Concentrations retenues dans les sols	Source sols
	mg/m ³		mg/kg MS	
METAUX				
Mercure	5,20E-05	LQ gaz car quantifié dans les sols	1,75E-02*	Concentration maximale résiduelle sous le R-1
HCT				
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12**	2,86E-02	Piézair PZA1	7,2	Concentration maximale résiduelle sous le R-1
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16**	2,60E-02	LQ gaz car quantifié dans les sols	20,0	
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	3,64E-03	Piézair PZA1	-/-	
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	1,69E-02	Piézair PZA1	-/-	
Hydrocarbures aromatiques >C8-C10	3,51E-02	Piézair PZA1	-/-	
Hydrocarbures aromatiques >C10-C12**	-/-		1,31E+01	Concentration maximale résiduelle sous le R-1
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16**	2,60E-02	LQ gaz car quantifié dans les sols	3,52E+01	

*7% du mercure mesuré dans les sols est considéré comme volatil (1^{ère} approche – 100% étudié en incertitudes)

**Non différenciés dans les sols. La concentration en C10-C12 et C12-C16 est attribuée aux 2 types de fractions aliph./arom. Puis l'indice de risque le plus élevé (QD) sera retenu.

Tableau 2 : Concentrations retenues dans les sols et les gaz du sol pour la modélisation dans l'air ambiant intérieur

3.3 INHALATION D'AIR EXTERIEUR

3.3.1 SUBSTANCES RETENUES

Au regard des résultats d'analyses, les substances « traceurs du risques » vis-à-vis de l'inhalation de substances sous forme gazeuse au droit des espaces extérieurs sont les substances volatiles susceptibles de dégazer vers l'air ambiant et effectivement mises en évidence dans les sols au droit du site :

- le mercure ;
- le naphthalène ;
- les hydrocarbures aliphatiques >C5-C16 et aromatiques >C6-C16.

3.3.2 CONCENTRATIONS RETENUES

Les points de pollution concentrée dans les sols (PPC) étant traités dans le cadre des mesures décrites dans le plan de gestion de la pollution (suppression des PPC), les concentrations retenues dans les sols pour les calculs de risques sont représentatives de la qualité résiduelle des sols (ARR prédictive) puisqu'il est étudié le reemploi des futurs déblais en remblais sur site.

De plus, il est à noter que :

- Pour les fractions d'hydrocarbures C10-C12 et C12-C16 mesurées dans les sols, l'analyse réalisée au laboratoire ne permet pas de différencier les fractions aliphatiques ou aromatiques. Dans ce cadre, les calculs de risques menés à partir de ces concentrations sols ont été réalisés successivement pour chaque type de fraction, en considérant la totalité de la concentration mesurée dans les sols, puis le résultat le plus pénalisant (QD) est retenu pour le calcul de l'indice de risque cumulé (QD cumulé) ;
- Il est considéré en première approche que 7% de la concentration en mercure mesurée dans les sols est volatil³. Ce point fera cependant l'objet d'une discussion dans le cadre de l'évaluation des incertitudes ;
- Les HAP peu volatils quantifiés dans les sols et les eaux souterraines (fluorène, acénaphthylène et acénaphène) ne sont pas retenus dans la présente étude ;

Les données d'entrées retenues pour la modélisation des concentrations d'exposition en extérieur sont présentées dans le tableau page suivante.

³ Données techniques issues de l'Archive of Environmental Contamination and Toxicology, 1990

Substances	Espaces extérieurs Concentrations retenues dans les sols	Source sols
	mg/kg MS	
METAUX		
Mercure	6,30E-03*	Moyenne C° sols
HAP		
Naphtalène	7,08E-01	Moyenne C° sols
HCT		
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12**	1,31E+01	Moyenne C° sols
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16**	2,78E+01	
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	-/-	
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	-/-	
Hydrocarbures aromatiques >C8-C10	-/-	
Hydrocarbures aromatiques >C10-C12**	1,31E+01	Moyenne C° sols
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16**	2,78E+01	

*7% du mercure mesuré dans les sols est considéré comme volatil (1^{ère} approche – 100% étudié en incertitudes)

**Non différenciés dans les sols. La concentration en C10-C12 et C12-C16 est attribuée aux 2 types de fractions aliph./arom. Puis l'indice de risque le plus élevé (QD) sera retenu.

Tableau 3 : Concentrations retenues pour la modélisation dans l'air ambiant extérieur

4. VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE

En ce qui concerne les relations dose/effets des substances, deux types de valeurs toxicologiques de référence (VTR) sont distinguées :

- pour les substances à effet à seuil, les effets néfastes apparaissent à partir d'une certaine concentration d'exposition. Les VTR recherchées correspondent à des RfD (« reference dose ») pour l'ingestion, ou RfC (« reference concentration ») pour l'inhalation, qui représentent des niveaux d'exposition sans risque appréciable d'effets néfastes pour l'homme ;
- pour les substances à effet sans seuil, il n'existe pas de niveau sans risque. Les valeurs d'Excès des Risques Unitaires (ERU) font la relation entre le niveau d'exposition et le risque de développer l'effet cancérigène. Elles sont définies pour la voie orale (ERUo) et/ou pour l'inhalation (ERUi).

Les recommandations de la note d'information du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués ont été prises en compte, notamment « de retenir par défaut les VTR de l'Anses lorsqu'elles sont disponibles ».

Les VTR des substances retenues sont présentées à la page suivante.

Substances	N° CAS	Substances à seuil		Organe cible	Facteur de sécurité	Substances sans seuil		Type de cancer
		Inhalation (mg/m ³)	Organisme de référence et date de mise à jour			Inhalation (mg/m ³) ⁻¹	Organe de référence et date de mise à jour	
		Exposition chronique				Exposition chronique		
METAUX								
Mercure	7439-97-6	3.00E-05	OEHHA 2008 (choix INERIS 2018)	Système neurologique	300	-	-	-
HAP								
Naphtalène	91-20-3	3.70E-02	ANSES 2013 (choix ANSES 2018)	Système respiratoire	250	5.60E-03	ANSES 2013 (choix ANSES 2018)	Système respiratoire
HCT								
Fraction aliphatique >C10-C12	-	1.00E+00	RIVM 2001 / TPHCWG 1997	Système hépatique	1000	-	-	-
Fraction aliphatique >C12-C16	-	1.00E+00	RIVM 2001 / TPHCWG 1997	Système hépatique	1000	-	-	-
Fraction aromatique >C6-C7	-	4.00E-01	RIVM 2001 / TPHCWG 1997	Poids	1000	-	-	-
Fraction aromatique >C7-C8	-	4.00E-01	RIVM 2001 / TPHCWG 1997	Poids	1000	-	-	-
Fraction aromatique >C8-C10	-	2.00E-01	RIVM 2001 / TPHCWG 1997	Poids	1000	-	-	-
Fraction aromatique >C10-C12	-	2.00E-01	RIVM 2001 / TPHCWG 1997	Poids	1000	-	-	-
Fraction aromatique >C12-C16	-	2.00E-01	RIVM 2001 / TPHCWG 1997	Poids	1000	-	-	-

Tableau 4 : Synthèse des VTR inhalation

5. EVALUATION DES EXPOSITIONS

5.1 DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS L'AIR AMBIANT

5.1.1 TRANSFERT VERS L'AIR INTERIEUR DES COMMERCES ET LOGEMENTS SUR R-1

L'évaluation de l'exposition aux composés volatils dans les commerce et logement situés sur 1 niveau de parking est effectuée à l'aide du logiciel Modul'ERS, version 1.0.142⁴, produit par l'INERIS dans le cadre des programmes d'appui de l'institut pour le Ministère en charge de l'Environnement. Le modèle de transport des gaz estime les émissions à l'intérieur du bâtiment depuis une source « gaz du sol », « sol » ou « eaux souterraines » située sous celui-ci.

Le modèle de dégazage des sols est basé sur les équations de Johnson et Ettinger⁵. Il combine un modèle de transport par diffusion et convection à travers les sols avec un modèle simple de transport à travers les fondations d'un bâtiment. En l'absence d'information sur le mode de construction du bâtiment (dalle portée ou dallage indépendant), la modélisation du transfert des polluants volatils dans les bâtiments a été réalisée avec le modèle Johnson et Ettinger (approche sécuritaire pour un bâtiment neuf).

Les calculs présentés dans l'analyse des risques sont basés sur un taux de transfert de 10%, correspondant à un facteur empirique pris en compte dans les modèles hollandais HESP et CSOIL. Une étude a été réalisée par l'INERIS concernant le transfert de vapeurs du sous-sol ou du vide sanitaire vers l'air intérieur (rapport n° INERIS DRC-05-57278-DESP/R03a en date du 15/04/2005). Celle-ci indique notamment que ce facteur de 10% correspond à la moyenne de données empiriques, comprises entre un minimum de 0 et un maximum de 0,68, avec un 95^{ème} centile de 0,39 et s'interroge sur la représentativité de ce facteur étant donné la variabilité importante mesurée.

Concernant les caractéristiques des sols contenant la pollution, des sols de types limons sableux ont été retenus (perméabilité, porosité, teneur en eau). En effet, sur site, la présence de remblais limoneux a été observée, confirmée par une analyse granulométrique. Cependant, considérant la présence ponctuelle de cailloutis dans les sols de surface et la profondeur de l'analyse granulométrique (1,8-2,8 m), il a été retenu de manière sécuritaire, une lithologie limono-sableuse (plus perméable donc majorante pour les calculs de transferts de gaz).

Les tableaux ci-après synthétisent les paramètres d'entrée du logiciel Modul'ERS.

⁴ Il s'agit du numéro de version de la plateforme

⁵ Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into buildings (1991) et du guide de l'utilisateur de l'US EPA de 2004

Paramètre	Unité	R-1	Source
		Valeur	
Sols contenant la pollution			
Porosité totale	cm ³ /cm ³	0,387	Valeur J&E pour des Limons sableux
Teneur en eau	cm ³ /cm ³	0,103	
Distance entre la source sol et la base du bâtiment	m	0,1	Hypothèse sols pollués dans les sols présents sous la couche de forme de la dalle
Couche de forme sous dallage			
Porosité totale	cm ³ /cm ³	0,375	Johnson et Ettinger pour des sables
Teneur en eau	cm ³ /cm ³	0,054	
Epaisseur	cm	10	Couche de forme minimale prévue sous le dallage
Perméabilité intrinsèque des sols sous dallage	cm ²	9,92E-12	D'après Johnson et Ettinger pour le type de sol sableux (couche de forme sous dallage)
Perméabilité à l'air relative	-	0,998	
Bâtiment : bureau d'un commerce en RDC de plain-pied			
Surface	m ²	6550	Surface totale du parking d'après les plans projet K&B
Hauteur	m	2,5	Données client
Taux de renouvellement de l'air	h ⁻¹	0,5	Taux de ventilation sécuritaire (faible) par défaut en l'absence de donnée projet
Epaisseur de la dalle	m	0,13	Hypothèse sécuritaire (pas de donnée projet)
Profondeur de la surface inférieure de la dalle par rapport à la surface du sol	m	0,13	Epaisseur choisie égale à la dalle (majorant)
Dépression entre l'intérieur du bâtiment et le sol	kg.m ⁻¹ .s ⁻²	4	Valeur sécuritaire conseillée par le modèle de Johnson et Ettinger

Tableau 5 : Synthèse des paramètres d'entrée – dégazage vers l'air intérieur du R-1

Le tableau suivant synthétise pour les composés volatils étudiés, les concentrations d'exposition modélisées dans le niveau de parking souterrain puis les commerces et logements sus-jacents à partir des concentrations mesurées dans les gaz du sol du piézair PZA1.

Substances	Concentrations retenues dans les gaz du sol (mg/m3)	Concentrations modélisées à partir des gaz du sol dans l'air intérieur du R-1 (mg/m ³)	Concentrations modélisées retenues dans l'air intérieur du RDC (mg/m ³)
METAUX			
Mercuré	5,20E-05	1,79E-08	1,79E-09
HCT			
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	2,86E-02	1,00E-05	1,00E-06
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	2,60E-02	9,09E-06	9,09E-07
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	3,64E-03	1,27E-06	1,27E-07
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	1,69E-02	5,91E-06	5,91E-07
Hydrocarbures aromatiques >C8-C10	3,51E-02	1,23E-05	1,23E-06
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16	2,60E-02	9,09E-06	9,09E-07

Tableau 6 : Synthèse des concentrations d'exposition modélisées dans l'air ambiant du R-1 et des logements ou commerces sus-jacents

5.1.2 TRANSFERT VERS L'AIR EXTERIEUR

L'évaluation de l'exposition aux composés volatils en extérieur est effectuée à l'aide du logiciel Modul'ERS, version 1.0.142, produit par l'INERIS dans le cadre des programmes d'appui de l'institut pour le Ministère en charge de l'Environnement.

La concentration dans l'atmosphère extérieure est modélisée à partir du calcul du flux d'émission d'une source sol et l'estimation des concentrations dans l'air à hauteur des voies respiratoires des cibles. La modélisation du dégazage vers l'air extérieur a été réalisée à partir des teneurs dans les sols.

Le tableau ci-après synthétise les paramètres d'entrée du logiciel MODUL'ERS spécifiques aux cas étudiés (espaces verts extérieurs du site principal et parking du site du MESS).

Paramètre	Unité	Espaces extérieurs	Source
Zone de circulation « boîte »			
Longueur	m	70	Plus grande longueur au droit des espaces verts (plans projet)
Hauteur	m	1	Hauteur des voies respiratoires - valeur recommandée pour des enfants (sécuritaire pour des adultes)
Vitesse du vent	m/s	2	Valeur prise par défaut, faible donc sécuritaire
Zone non saturée			
Porosité totale	cm ³ /cm ³	0,375	Johnson et Ettinger pour des limons sableux (correspondant à la lithologie du site)
Teneur en eau	cm ³ /cm ³	0,163	Valeur obtenue à partir de la moyenne des teneurs en matière sèche disponibles dans les échantillons de sols du site
COT	-	0,018	Moyenne des valeurs en COT dans les sols du site (analyses laboratoire)
Distance entre la source sol et le terrain naturel	m	0,3	Epaisseur de la couverture
Couverture			
Epaisseur	m	0,3	Epaisseur de terre végétale mise en place (cf.mesures constructives)
Porosité totale	cm ³ /cm ³	0,387	Données Johnson et Ettinger pour limons sableux (Terre Végétale en couverture)
Teneur en eau	cm ³ /cm ³	0,103	

Tableau 7 : Synthèse des paramètres d'entrée – dégazage vers l'air extérieur

Le tableau page suivante synthétise les concentrations d'exposition en extérieur modélisées à partir des sols pour les composés volatils étudiés.

Substances	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	Concentrations modélisées à partir des sols dans l'air extérieur (mg/m ³)
METAUX		
Mercuré	6,30E-03	7,55E-07
HAP		
Naphtalène	7,08E-01	6,20E-05
HCT		
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	1,31E+01	4,22E-02
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	2,78E+01	1,95E-02
Hydrocarbures aromatiques >C10-C12	1,31E+01	4,93E-03
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16	2,78E+01	1,99E-03

Tableau 8 : Synthèse des concentrations d'exposition modélisées dans l'air extérieur

5.2 QUANTIFICATION DE L'EXPOSITION

Dans le cadre d'une exposition par inhalation, celle-ci est quantifiée par le biais de la concentration moyenne inhalée. Les concentrations moyennes inhalées sont déterminées suivant la formule ci-dessous :

$$CIk = \left(\sum_i (Cik \times tik) \right) \times \frac{Tk \times Fk}{Tm}$$

Avec :

- CIk : concentration moyenne inhalée pour le milieu k ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- Cik : concentration de polluant dans l'air inhalé pendant le temps ti ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour le milieu k ;
- tik : fraction de temps d'exposition à la concentration Cik pendant la journée ;
- Tk : durée d'exposition au milieu k (années) ;
- Fk : fréquence d'exposition au milieu k (jours/an) ;
- Tm : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours).

Pour les effets à seuil des substances, Tm est égale à Tk. Pour les effets sans seuil des polluants, Tm sera assimilée à la durée de la vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans).

5.3 PARAMETRES D'EXPOSITION

Le tableau page suivante présente les paramètres d'exposition des différents récepteurs étudiés.

Paramètres	Unité	Adultes employés des commerces		Adultes résidents (logements)		Enfants résidents (logements)	
Durée d'exposition	an	42	Assimilée à la durée de cotisation pour l'obtention de la retraite. Prise égale à 42 ans quel que soit le type de travail effectué.	30	Assimilée à la durée de présence potentielle dans un même logement	6	Enfant assimilé à un individu d'âge inférieur à 6 ans
Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée	an	70	Correspond à la durée de la vie entière (valeur par défaut)	70	Correspond à la durée de la vie entière (valeur par défaut)	70	Correspond à la durée de la vie entière (valeur par défaut)
Fréquence d'exposition	j/an	220	<u>Jours travaillés</u> : correspondant au nombre de jours classique d'un temps plein.	365	Correspond à tous les jours de l'année (approche sécuritaire)	365	Correspond à tous les jours de l'année (approche sécuritaire)
Taux d'exposition à l'intérieur du parking en R-1	h/j	0,5 (toute l'année)	Correspond à l'exposition journalière des adultes salariés dans le parking	1	Correspond à une exposition journalière dans le parking extérieur toute l'année	1	Correspond à une exposition journalière dans le parking extérieur toute l'année
Taux d'exposition à l'intérieur	h/j	8	Correspond à un temps de travail de 8 h par jour	20	Correspond à l'occupation du logement par un adulte isolé	20	Correspond à l'occupation du logement par un enfant isolé
Taux d'exposition au droit des espaces extérieurs	h/j	1	Correspond à une exposition 1h par jour été comme hiver	2	Correspond à une exposition 2h par jour été comme hiver	2	Correspond à une exposition 2h par jour été comme hiver

Tableau 9 : Paramètres d'exposition

6. CARACTERISATION DES RISQUES

6.1 METHODOLOGIE DE QUANTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES

6.1.1 METHODOLOGIE APPLIQUEE

Afin de quantifier le risque sanitaire que génèrent l'usage futur et les pollutions résiduelles au droit du site, EODD a considéré l'additivité des risques induits par chacune des substances (approche sécuritaire pour les quotients de danger QD qui rappellent le, doivent être additionnés uniquement pour les substances ayant le même mécanisme d'action toxique sur le même organe cible).

6.1.2 QUANTIFICATION DES RISQUES POUR LES EFFETS A SEUIL

Pour les effets à seuils, la possibilité de survenue d'un effet toxique chez la cible s'exprime par un quotient de risque QD, défini tel que :

$$QD_{inh} = \frac{CI}{RfC}$$

Lorsque cet indice, pour le même effet, pour le même organe cible et le même mécanisme d'action, est inférieur à 1, la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable (terme utilisé dans la terminologie de l'INERIS, dans son sens non statistique). Au-delà de 1, la possibilité d'apparition d'un effet toxique ne peut plus être exclue.

Bien que l'indice de risque ne représente pas une probabilité, il faudra considérer que la possibilité de survenue d'un effet toxique sera fonction de la somme des indices de risque liés aux différentes voies d'administration du polluant et aux différentes substances à seuil d'effet.

Un risque inacceptable sera donc défini par une somme des QD supérieure à 1.

6.1.3 QUANTIFICATION DES RISQUES POUR LES EFFETS SANS SEUILS

$$ERI_{inh} = CI \times ERU_{inh}$$

Aux faibles expositions, l'hypothèse est faite d'une relation linéaire entre l'effet et l'exposition, l'ERU est donc constant pour chaque substance.

L'ERI représente la probabilité d'occurrence que la cible a de développer l'effet associé à la substance pendant sa vie du fait de l'exposition considérée.

La possibilité supplémentaire de développer l'effet par rapport à l'exposition de fond étant exprimée sous la forme d'une probabilité, un ERI global, pour chaque scénario d'exposition défini initialement, pourra être calculé en faisant :

- pour chaque substance, la somme des risques liés à chacune des voies d'exposition qui concernent l'individu du scénario considéré,
- la somme des risques liés à chacune des substances cancérigènes du site ou issues du site,
- la somme des risques liés aux différentes durées d'exposition (chronique) qui peuvent concerner un individu.

Un risque inacceptable sera donc défini par une somme des ERI supérieure à 10^{-5} .

6.2 NIVEAUX DE RISQUES SANITAIRES

Les tableaux suivants présentent la synthèse des niveaux de risque toxiques et cancérigènes calculés sur la base des concentrations effectivement retenues au chapitre 3, pour les différents scénarios d'exposition étudiés.

- **Commerce en RDC sur niveau de sous-sol :**

	Adultes employés	
	QD	ERI
Inhalation de substances volatiles à l'intérieur des commerces	1,47E-05	0,00E+00
Inhalation de substances volatiles à l'intérieur du parking au R-1	9,19E-06	0,00E+00
Inhalation de substances volatiles au droit des espaces extérieurs	2,48E-03	5,23E-09
Somme	2,49E-03	5,23E-09
Valeur de référence	<1	<10-5

Tableau 10 : Présentation des niveaux de risques pour les différents scénarios – employés

- **Logements en RDC sur niveau de sous-sol :**

	Adultes résidents	
	QD	ERI
Inhalation de substances volatiles en intérieur des logements	6,10E-05	0,00E+00
Inhalation de substances volatiles à l'intérieur du parking au R-1	3,05E-05	0,00E+00
Inhalation de substances volatiles au droit des espaces extérieurs	7,38E-03	1,24E-08
Somme	7,47E-03	1,24E-08
Valeur de référence	<1	<10-5

Tableau 11 : Présentation des niveaux de risques pour les différents scénarios – adulte résident

	Enfants résidents	
	QD	ERI
Inhalation de substances volatiles en intérieur des logements en RDC sur niveau de sous-sol	6,10E-05	0,00E+00
Inhalation de substances volatiles à l'intérieur du parking au R-1	3,05E-05	0,00E+00
Inhalation de substances volatiles au droit des espaces extérieurs	7,38E-03	2,48E-09
Somme	7,47E-03	2,48E-09
Valeur de référence	<1	<10-5

QD : quotient de danger / ERI : excès de risque individuel

Tableau 12 : Présentation des niveaux de risques pour les différents scénarios – enfant résident

Les indices de risques calculés pour les différents scénarios d'exposition étudiés sont inférieurs aux valeurs définies par le ministère en charge de l'Environnement, au regard des hypothèses considérées et des teneurs retenues mesurées dans les gaz du sol et les sols.

Pour les scénarios étudiés et les paramètres retenus, la qualité résiduelle du sous-sol est compatible avec l'usage projeté. L'étude des incertitudes menée en Annexe 2 et résumée au chapitre 6.3 du présent rapport doit permettre de confirmer les résultats de ces calculs de risques au vu de la sensibilité du choix d'un certain nombre de paramètres.

A fortiori, au regard des scénarios d'exposition retenus pour les calculs de risques (adultes employés), les conclusions sont également valables pour les usagers enfants et adultes fréquentant les commerces à des fréquences d'exposition bien inférieures à celles des employés et résidents du site ainsi que pour les personnes résident, travaillant sur les bâtiments présentant 2 niveaux de parking souterrains.

A noter que les substances qui contribuent le plus aux indices de risque sont :

- pour le quotient de danger (QD), pour environ 1/3, les hydrocarbures aliphatiques >C10-C12 (33 à 40%) et aliphatiques >C12-C16 (23 à 32%) ainsi que le mercure (32 à 36%) ;
- pour l'excès de risque individuel (ERI), seul le naphtalène contribue au risque cancérogène (seul composé présentant une VTR sans seuil pour l'inhalation).

6.3 EVALUATION DES INCERTITUDES

Au vu des nombreuses hypothèses nécessairement retenues dans le cadre de l'évaluation des risques sanitaires, des imprécisions et incertitudes existent. **Celles-ci font l'objet d'une évaluation afin de pouvoir nuancer le propos et conclure sur la fiabilité de l'étude** (cf. Annexe 2).

Cette évaluation des incertitudes met en évidence le caractère sécuritaire des calculs réalisés en première approche. Cependant, certains choix dans les paramètres retenus peuvent amener une sous-estimation potentielle des résultats sans remise en cause des conclusions.

C'est le cas du choix de retenir les concentrations moyennes analysées dans les sols du site et non les concentrations maximales.

A noter que dans le cadre de la réception des travaux du site, il est préconisé de réaliser des prélèvements de gaz du sol sur plusieurs points répartis sur le site, au droit des sols qui resteront en place dans le cadre du projet d'aménagement (sols en contact avec le futur niveau de sous-sol) et sols réemployer sous voirie ou espace vert.

Il conviendra également de :

- **prendre en considération, dans le cadre du projet d'aménagement, un certain nombre de dispositifs permettant d'assurer la compatibilité sanitaire, comprenant notamment le respect :**
 - des mesures de maîtrise des sources de pollution prises en compte dans la présente ARR et décrites dans le plan de gestion ;
 - des usages non inclus dans le projet, à savoir :
 - la réalisation de forages ou puits captant les eaux souterraines de la nappe superficielle, de même que toute utilisation de ces eaux souterraines, à l'aplomb du site ;
 - l'implantation d'établissements⁶ accueillant des populations sensibles au sens de la circulaire du 8 février 2007 (crèche, école maternelle, primaire, collège / lycée, établissement d'accueil des enfants handicapés) ;
 - l'aménagement de jardins potagers et de plantation d'arbres fruitiers/à baies en pleine terre ;
 - des dispositifs constructifs et aménagements particuliers pris en compte dans la présente ARR (recouvrement des sols de surface en extérieur par 30 cm de terres saines ou par une structure de voirie).

⁶ La future garderie n'est pas considérée comme un établissement accueillant des populations sensibles au sens de la circulaire du 8 février 2007, du fait de la faible fréquence d'exposition des enfants ayant accès à cette garderie (quelques jours dans l'année)

7. SYNTHÈSE NON TECHNIQUE ET RECOMMANDATIONS

7.1 CONCLUSIONS

La société KAUFMAN & BROAD est porteuse d'un projet immobilier sis chemin du littoral à Marseille (13).

KAUFMAN & BROAD, dans sa démarche de promoteur, a pour mission de vérifier la faisabilité du projet au regard des développements prévus, et a missionné EODD Ingénieurs Conseils pour l'accompagner sur la problématique des sites et sols pollués au sens de la note ministérielle du 19 avril 2017 et conformément à la norme NF X31-620.

C'est dans ce cadre qu'EODD Ingénieurs Conseils a été mandaté pour réaliser un diagnostic de pollution des sols comprenant les missions INFOS et DIAG puis dans un second temps, un diagnostic de pollution complémentaire et un plan de gestion selon la norme NF X31-620.

Le diagnostic environnemental réalisé en trois temps, sur les milieux sols, eaux souterraines et gaz du sol ont mis en évidence la présence de composés volatils dans le sous-sol.

Le présent rapport, qui constitue l'annexe 5 du plan de gestion, expose les résultats de l'Analyse des Risques Résiduels (ARR) prospective à partir des résultats des campagnes de prélèvement des sols, des gaz du sol et des eaux souterraines réalisée par EODD en novembre 2019 et février 2020.

Dans le cadre de l'ARR prospective, les hypothèses suivantes ont été considérées :

- Mesures de maîtrise des sources de pollution et de gestion des déblais, tel que décrit dans le Plan de gestion de la pollution (selon NFX 31-620) :
 - Elimination hors site des Points de Pollution Concentrées (PPC) dans les sols ;
 - Réemploi possible du reste des déblais selon critères de réemploi détaillés au plan de gestion et sous condition de mise en œuvre des dispositions constructives ;
- Usage futur :
 - Adultes salariés travaillant dans un commerce en RDC sur un niveau de sous-sol et fréquentant le parking en sous-sol ainsi que les espaces extérieurs ;
 - Adultes et enfants résidents dans un logement en RDC sur 1 ou 2 niveaux de sous-sol et fréquentant le parking en sous-sol ainsi que les espaces extérieurs ;
- Usages non inclus dans le projet :
 - implantation d'établissements⁷ accueillant des populations sensibles au sens de la circulaire du 8 février 2007 (crèche, école maternelle, primaire, collège / lycée, établissement d'accueil des enfants handicapés) ;
 - réalisation de forages ou puits captant les eaux souterraines de la nappe superficielle, de même que toute utilisation de ces eaux souterraines, à l'aplomb du site ;
 - aménagement de jardins potagers et de plantation d'arbres fruitiers/à baies en pleine terre ;
- Voies d'exposition retenues : exposition des futurs usagers par inhalation de composés volatils en intérieur et en extérieur ;

⁷ La future garderie n'est pas considérée comme un établissement accueillant des populations sensibles au sens de la circulaire du 8 février 2007, du fait que la fréquence d'exposition des enfants ayant accès à cette garderie est considérée non significative (quelques jours dans l'année)

- Mesures constructives :
 - couverture systématique des sols (dalle béton, enrobé ou apport de terre végétale sur une épaisseur de 30 cm compactée couplée à un grillage avertisseur) ;
 - mise en place de canalisations pour l'amenée d'eau potable en matériaux non perméables et non poreux ou installées dans le sous-sol après décaissement préalable des terres polluées en place et avec remblaiement par des matériaux sains.

La modélisation des concentrations d'exposition par inhalation de composés gazeux a été effectuée à l'aide du logiciel Modul'ERS, version 1.0.142⁸, produit par l'INERIS dans le cadre des programmes d'appui de l'institut pour le ministère en charge de l'Environnement et à partir des teneurs retenues en composés volatils mesurées dans les sols et les gaz du sol.

L'évaluation de l'exposition par inhalation de composés volatils (en intérieur et en extérieur) a démontré que **l'usage futur projeté est compatible en termes de risques sanitaires avec l'état des milieux résiduels.**

7.2 RECOMMANDATIONS

Compte tenu de ces résultats, EODD recommande :

- Pendant les travaux de terrassements des PPC et des déblais non inertes issus du projet :
 - d'assurer les contrôles sur les différents milieux (*a minima* sur les sols et les gaz du sol avec *a minima* la spéciation aliphatiques/aromatiques des hydrocarbures) en cours et en fin de chantier de terrassement ;
 - de réaliser des mesures de gaz du sol en plusieurs points du site à l'issue des travaux d'aménagement afin de vérifier les teneurs résiduelles en polluants volatils sur le site ;
 - de rédiger le rapport de fin de travaux, témoignant de la bonne mise en œuvre du rapport et comprenant la fourniture d'une ARR de fin de travaux ;
- De mettre à jour la présente analyse des risques sanitaires résiduels en cas de modification des hypothèses prises en compte (concentrations retenues pour les modélisations, type et/ou épaisseur de la couverture prévue en extérieur, épaisseur des dallages, taux de renouvellement de l'air, etc.) ;
- De mettre en place, dans le cadre du réaménagement du site, des dispositifs réglementaires permettant de garantir dans le temps la mémoire et la pérennité des mesures de gestion mises en œuvre comme par exemple des servitudes et restrictions d'usage.

⁸ Il s'agit du numéro de version de la plateforme

8. ANNEXES

ANNEXE 1 : CALCULS DES RISQUES SANITAIRES	32
ANNEXE 2 : ÉVALUATION DES INCERTITUDES	43
ANNEXE 3 : LIMITES DE L'ÉTUDE	54

ANNEXE 1 : CALCULS DES RISQUES SANITAIRES

A partir des données gaz du sol du PZA1
Exposition en intérieur (commerce en RdC)

Adultes employés

Substances	Concentration d'exposition en intérieur	DJA inh substances à seuil	DJA inh substances sans seuil	RfC	ERU	QD inh air intérieur	ERI inh air intérieur
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	(mg/m ³) ⁻¹		
METAUX							
Mercure	1,45E-07	2,91E-08	1,75E-08	3,00E-05	-	9,71E-04	-
HAP							
Naphtalène	2,35E-06	4,72E-07	2,83E-07	3,70E-02	5,60E-03	1,28E-05	1,59E-09
HCT							
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	1,10E-04	2,20E-05	1,32E-05	1,00E+00	-	2,20E-05	-
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	9,98E-05	2,00E-05	1,20E-05	1,00E+00	-	2,00E-05	-
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	1,40E-05	2,81E-06	1,68E-06	4,00E-01	-	7,02E-06	-
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	6,48E-05	1,30E-05	7,82E-06	4,00E-01	-	3,26E-05	-
Hydrocarbures aromatiques >C8-C10	1,35E-04	2,71E-05	1,62E-05	2,00E-01	-	1,35E-04	-
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16	9,98E-05	2,00E-05	1,20E-05	2,00E-01	-	1,00E-04	-
					Somme	1,28E-03	1,59E-09
					Valeur de référence	<1	<10-5

A partir des données gaz du sol**Exposition en intérieur (parking R-1)****Adultes employés**

Substances	Concentration d'exposition en intérieur	DJA inh substances à seuil	DJA inh substances sans seuil	RfC	ERU	QD inh air intérieur	ERI inh air intérieur
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	(mg/m ³) ⁻¹		
METAUX							
Mercure	1,79E-08	2,25E-10	1,35E-10	3,00E-05	-	7,49E-06	-
HCT							
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	1,00E-05	1,26E-07	7,53E-08	1,00E+00	-	1,26E-07	-
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	9,09E-06	1,14E-07	6,85E-08	1,00E+00	-	1,14E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	1,27E-06	1,59E-08	9,57E-09	4,00E-01	-	3,99E-08	-
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	5,91E-06	7,42E-08	4,45E-08	4,00E-01	-	1,86E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C8-C10	1,23E-05	1,54E-07	9,27E-08	2,00E-01	-	7,72E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C10-C12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-01	-	0,00E+00	-
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16	9,09E-06	1,14E-07	6,85E-08	2,00E-01	-	5,71E-07	-
Somme						9,19E-06	
Valeur de référence						<1	<10-5

A partir des données gaz du sol

Exposition en intérieur (parking R-1)

Adultes résidents

Substances	Concentration d'exposition en intérieur	DJA inh substances à seuil	DJA inh substances sans seuil	RfC	ERU	QD inh air intérieur	ERI inh air intérieur
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	(mg/m ³) ⁻¹		
METAUX							
Mercuré	1,79E-08	7,46E-10	3,20E-10	3,00E-05	-	2,49E-05	-
HCT							
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	1,00E-05	4,17E-07	1,79E-07	1,00E+00	-	4,17E-07	-
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	9,09E-06	3,79E-07	1,62E-07	1,00E+00	-	3,79E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	1,27E-06	5,29E-08	2,27E-08	4,00E-01	-	1,32E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	5,91E-06	2,46E-07	1,06E-07	4,00E-01	-	6,16E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C8-C10	1,23E-05	5,13E-07	2,20E-07	2,00E-01	-	2,56E-06	-
Hydrocarbures aromatiques >C10-C12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-01	-	0,00E+00	-
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16	9,09E-06	3,79E-07	1,62E-07	2,00E-01	-	1,89E-06	-
Somme						3,05E-05	
Valeur de référence						<1	<10-5

A partir des données gaz du sol**Exposition en intérieur (parking R-1)****Enfants résidents**

Substances	Concentration d'exposition en intérieur	DJA inh substances à seuil	DJA inh substances sans seuil	RfC	ERU	QD inh air intérieur	ERI inh air intérieur
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	(mg/m ³) ⁻¹		
METAUX							
Mercuré	1,79E-08	7,46E-10	6,39E-11	3,00E-05	-	2,49E-05	-
HCT							
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	1,00E-05	4,17E-07	3,57E-08	1,00E+00	-	4,17E-07	-
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	9,09E-06	3,79E-07	3,25E-08	1,00E+00	-	3,79E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	1,27E-06	5,29E-08	4,54E-09	4,00E-01	-	1,32E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	5,91E-06	2,46E-07	2,11E-08	4,00E-01	-	6,16E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C8-C10	1,23E-05	5,13E-07	4,39E-08	2,00E-01	-	2,56E-06	-
Hydrocarbures aromatiques >C10-C12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-01	-	0,00E+00	-
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16	9,09E-06	3,79E-07	3,25E-08	2,00E-01	-	1,89E-06	-
Somme						3,05E-05	
Valeur de référence						<1	<10-5

A partir des données gaz du sol
Exposition en intérieur (commerce en RdC)

Adultes employés

Substances	Concentration d'exposition en intérieur	DJA inh substances à seuil	DJA inh substances sans seuil	RfC	ERU	QD inh air intérieur	ERI inh air intérieur
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	(mg/m ³) ⁻¹		
METAUX							
Mercure	1,79E-09	3,60E-10	2,16E-10	3,00E-05	-	1,20E-05	-
HCT							
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	1,00E-06	2,01E-07	1,21E-07	1,00E+00	-	2,01E-07	-
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	9,09E-07	1,83E-07	1,10E-07	1,00E+00	-	1,83E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	1,27E-07	2,55E-08	1,53E-08	4,00E-01	-	6,38E-08	-
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	5,91E-07	1,19E-07	7,12E-08	4,00E-01	-	2,97E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C8-C10	1,23E-06	2,47E-07	1,48E-07	2,00E-01	-	1,24E-06	-
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16	9,09E-07	1,83E-07	1,10E-07	2,00E-01	-	9,13E-07	-
Somme						1,47E-05	0,00E+00
Valeur de référence						<1	<10-5

A partir des données gaz du sol
Exposition en intérieur (logements en RdC)
Adultes résidents

Substances	Concentration d'exposition en intérieur	DJA inh substances à seuil	DJA inh substances sans seuil	RfC	ERU	QD inh air intérieur	ERI inh air intérieur
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	(mg/m ³) ⁻¹		
METAUX							
Mercure	1,79E-09	1,49E-09	6,39E-10	3,00E-05	-	4,97E-05	-
HCT							
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	1,00E-06	8,33E-07	3,57E-07	1,00E+00	-	8,33E-07	-
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	9,09E-07	7,58E-07	3,25E-07	1,00E+00	-	7,58E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	1,27E-07	1,06E-07	4,54E-08	4,00E-01	-	2,65E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	5,91E-07	4,93E-07	2,11E-07	4,00E-01	-	1,23E-06	-
Hydrocarbures aromatiques >C8-C10	1,23E-06	1,03E-06	4,39E-07	2,00E-01	-	5,13E-06	-
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16	9,09E-07	7,58E-07	3,25E-07	2,00E-01	-	3,79E-06	-
Somme						6,10E-05	0,00E+00
Valeur de référence						<1	<10-5

A partir des données gaz du sol
Exposition en intérieur (logement en RDC)
Enfants résidents

Substances	Concentration d'exposition en intérieur	DJA inh substances à seuil	DJA inh substances sans seuil	RfC	ERU	QD inh air intérieur	ERI inh air intérieur
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	(mg/m ³) ⁻¹		
METAUX							
Mercure	1,79E-09	1,49E-09	1,28E-10	3,00E-05	-	4,97E-05	-
HCT							
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	1,00E-06	8,33E-07	7,14E-08	1,00E+00	-	8,33E-07	-
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	9,09E-07	7,58E-07	6,49E-08	1,00E+00	-	7,58E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	1,27E-07	1,06E-07	9,07E-09	4,00E-01	-	2,65E-07	-
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	5,91E-07	4,93E-07	4,22E-08	4,00E-01	-	1,23E-06	-
Hydrocarbures aromatiques >C8-C10	1,23E-06	1,03E-06	8,79E-08	2,00E-01	-	5,13E-06	-
Hydrocarbures aromatiques >C10-C12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-01	-	0,00E+00	-
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16	9,09E-07	7,58E-07	6,49E-08	2,00E-01	-	3,79E-06	-
					Somme	6,10E-05	
					Valeur de référence	<1	<10-5

A partir des concentrations moyennes sol

Exposition en extérieur							
Adultes employés							
Substances	Concentration d'exposition en extérieur	DJA inh substances à seuil	DJA inh substances sans seuil	RfC	ERU	QD inh air extérieur	ERI inh air extérieur
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	(mg/m ³) ⁻¹		
METAUX							
Mercure	1,06E-06	2,66E-08	1,59E-08	3,00E-05	-	8,86E-04	-
HAP							
Naphtalène	6,20E-05	1,56E-06	9,34E-07	3,70E-02	5,60E-03	4,21E-05	5,23E-09
HCT							
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	4,22E-02	1,06E-03	6,36E-04	1,00E+00	-	1,06E-03	-
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	1,95E-02	4,90E-04	2,94E-04	1,00E+00	-	4,90E-04	-
Hydrocarbures aromatiques >C10-C12	4,93E-03	1,24E-04	7,43E-05	2,00E-01	-	6,19E-04	-
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16	1,99E-03	5,00E-05	3,00E-05	2,00E-01	-	2,50E-04	-
Somme						2,48E-03	5,23E-09
Valeur de référence						<1	<10-5

A partir des concentrations moyennes sol

Exposition en extérieur							
Adultes résidents							
Substances	Concentration d'exposition en extérieur	DJA inh substances à seuil	DJA inh substances sans seuil	RfC	ERU	QD inh air extérieur	ERI inh air extérieur
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	(mg/m ³) ⁻¹		
METAUX							
Mercure	7,55E-07	6,29E-08	2,70E-08	3,00E-05	-	2,10E-03	-
HAP							
Naphtalène	6,20E-05	5,17E-06	2,21E-06	3,70E-02	5,60E-03	1,40E-04	1,24E-08
HCT							
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	4,22E-02	3,52E-03	1,51E-03	1,00E+00	-	3,52E-03	-
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	1,95E-02	1,63E-03	6,96E-04	1,00E+00	-	1,63E-03	-
Hydrocarbures aromatiques >C10-C12	4,93E-03	4,11E-04	1,76E-04	2,00E-01	-	2,05E-03	-
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16	1,99E-03	1,66E-04	7,11E-05	2,00E-01	-	8,29E-04	-
					Somme	7,38E-03	1,24E-08
					Valeur de référence	<1	<10-5

A partir des concentrations moyennes sol

Exposition en extérieur							
Enfants résidents							
Substances	Concentration d'exposition en extérieur	DJA inh substances à seuil	DJA inh substances sans seuil	RfC	ERU	QD inh air extérieur	ERI inh air extérieur
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	(mg/m ³) ⁻¹		
METAUX							
Mercuré	7,55E-07	6,29E-08	5,39E-09	3,00E-05	-	2,10E-03	-
HAP							
Naphtalène	6,20E-05	5,17E-06	4,43E-07	3,70E-02	5,60E-03	1,40E-04	2,48E-09
HCT							
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	4,22E-02	3,52E-03	3,01E-04	1,00E+00	-	3,52E-03	-
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	1,95E-02	1,63E-03	1,39E-04	1,00E+00	-	1,63E-03	-
Hydrocarbures aromatiques >C10-C12	4,93E-03	4,11E-04	3,52E-05	2,00E-01	-	2,05E-03	-
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16	1,99E-03	1,66E-04	1,42E-05	2,00E-01	-	8,29E-04	-
					Somme	7,38E-03	2,48E-09
					Valeur de référence	<1	<10-5

ANNEXE 2 : EVALUATION DES INCERTITUDES

Conformément à la méthodologie de l'évaluation des risques sanitaires, la discussion des incertitudes est une étape nécessaire pour interpréter les résultats et permettre une gestion optimale des risques.

Elle a pour objectif d'apprécier dans quelle(s) mesure(s) et selon quelle sensibilité, l'ensemble des différentes hypothèses, facteurs ou termes de calcul pris en compte dans l'étude peuvent influencer l'évaluation des risques.

Ainsi, les hypothèses et paramètres déterminants sont discutés dans cette annexe afin d'apprécier la sensibilité et de vérifier leur influence sur les résultats de l'analyse des risques.

Certains éléments d'incertitude étant difficilement quantifiables, seul un jugement qualitatif sera rendu dans ce cas-là.

1 Caractérisation des sources de pollution

1.1 Stratégie d'investigations

Les investigations réalisées en novembre 2019 ; février 2020 et septembre 2020 par EODD ont été dimensionnées de manière à :

- définir les modalités de gestion des futurs déblais générés par le projet via la caractérisation des sols au droit des futurs bâtiments prévus sur 2 niveaux de sous-sols, conformément l'arrêté en vigueur relatif aux ISDI⁹ ;
- compléter l'état des connaissances sur la qualité des sols au droit du site afin de :
 - Circonscrire les zones de pollution avérée (récolte des données d'entrée au plan de gestion de la pollution) ;
 - Caractériser la qualité de la nappe au droit du site par l'implantation de 3 piézomètres ;
 - Caractériser le dégazage effectif des polluants volatils présents dans les sols au droit de la partie de bâtiment prévue sur un seul niveau de sous-sol (la plus vulnérable) afin de s'affranchir d'une première étape de modélisation souvent majorante (modélisation à partir des teneurs dans les sols).

Les investigations menées sur les sols ont donc principalement consisté à caractériser les futurs déblais au droit du futur bâtiment. Peu de sondages ont été réalisés au droit dans les zones des futurs espaces verts.

A noter que les investigations de terrain étant la plupart du temps ponctuelles dans l'espace, les résultats sont donnés sous réserve d'une variabilité ou hétérogénéité qui peut, comme souvent dans le milieu souterrain, être relativement importante. Ces incertitudes sont difficiles à quantifier.

⁹ Installation de Stockage de Déchets Inertes : critères d'admissibilité fixés dans l'arrêté du 12/12/14

1.2 Méthode de forage et de prélèvement

Les sols ont été prélevés au droit de fouilles réalisées à la pelle mécanique. Cette méthode d'investigation des sols peut induire une sous-estimation des composés volatils dans les échantillons de sols prélevés en raison du « brassage » des sols.

Qualification de l'hypothèse : <i>sous-estimation potentielle</i>	Influence du paramètre : <i>modérée</i>
--	--

Les précautions prises pour limiter les biais associés aux méthodes de forage et de prélèvement sont :

- le nettoyage du matériel de forage et de prélèvement pour éviter les pollutions croisées ;
- le mode de conservation (échantillons stockés en glacières de terrain réfrigérées) et de transport des échantillons (acheminés au laboratoire dans les 24h) ;
- l'équipement du piézaires : utilisation d'un tube PEHD ;
- le prélèvements de gaz du sol a été réalisé comme suit :
 - utilisation de pompes bas débit d'environ 0,25 l/min afin de faciliter l'adsorption des composés sur les supports de prélèvements ;
 - absence de saturation des supports de prélèvements assurant la représentativité des concentrations adsorbées en zone de mesure des supports de prélèvements).

Ce protocole de prélèvement des gaz du sol permet de limiter les biais de mesures et d'assurer une représentativité des résultats d'analyses.

1.3 Analyses en laboratoire

Les analyses ont été réalisées par un laboratoire accrédité par le COFRAC.

Cette certification ainsi que les normes et standards internes suivies par le laboratoire impliquent des contrôles qui garantissent la qualité des analyses et donc permettent de réduire les incertitudes associées.

Qualification de l'hypothèse : <i>réaliste</i>

2 Scénarios d'exposition étudiés

Compte tenu du caractère potentiellement volatil des sources de pollution, les récepteurs sont susceptibles d'être exposés par inhalation de composés sous forme gazeuse issus du dégazage des sols, des gaz du sol et des eaux souterraines.

Les voies d'exposition non prises en compte sont :

- L'ingestion de sol et l'inhalation de poussières au regard du recouvrement des sols par des voiries ou par 30 cm de terres saines (pas de sol à nu) dans le cadre du projet futur pris en compte dans le cadre de cette étude ;
- L'ingestion de végétaux en l'absence de jardin potager et/ou arbre fruitier/à baie en pleine terre dans le projet d'aménagement ;
- L'ingestion et l'adsorption d'eau, en l'absence d'usage des eaux souterraines au droit du site et compte tenu des hypothèses prises en compte concernant les éventuels réseaux d'amenée d'eau potable (en matériaux non poreux/non perméables ou mise en place dans des terrains sains ou en aérien dans les sous-sols).

Seule la voie d'exposition par inhalation des futurs usagers en intérieur ainsi qu'au droit des espaces extérieurs a ainsi été retenue pour les calculs de risques.

Qualification de l'hypothèse : réaliste	Influence du paramètre : forte
--	---------------------------------------

A noter par ailleurs la prise en compte de l'additivité des voies d'exposition pour chacun des récepteurs étudiés sans prise en considération des organes cibles concernés.

Qualification de l'hypothèse : réaliste à majorant	Influence du paramètre : forte
---	---------------------------------------

3 Choix des substances et milieux sources (sol, gaz du sol ou eaux souterraines)

3.1 Choix des milieux

Le milieu gaz des sols est considéré comme un milieu intégrateur des pollutions volatiles issues des sols et des eaux souterraines. Dans ce cadre, la prise en considération des résultats des mesures gaz du sol est considérée comme plus réaliste que celle des teneurs sols et eaux souterraines, et intégratrice des contributions respectives en provenance de ces milieux.

Le dégazage effectif des polluants volatils présents dans les sols au droit de la partie de bâtiment prévue sur un seul niveau de sous-sol (la plus vulnérable) a ainsi été quantifié par la réalisation d'un piézair afin de s'affranchir d'une première étape de modélisation souvent majorante (modélisation à partir des teneurs dans les sols).

Qualification de l'hypothèse : réaliste	Influence du paramètre : forte
--	---------------------------------------

La qualité résiduelle des sols (après suppression des PPC¹⁰) a été retenue pour le reste les zones extérieures. Il s'agit d'une approche majorante, les modèles de transfert des gaz passant par une étape de modélisation supplémentaire à savoir le transfert des gaz depuis les sols vers les gaz du sol puis le transfert depuis les gaz du sol vers l'air ambiant du sous-sol.

Qualification de l'hypothèse : <i>majorante</i>	Influence du paramètre : <i>forte</i>
--	--

Les eaux souterraines n'ont pas été retenus dans les calculs de risques, aucun composé volatil n'ayant été identifié dans ce milieu au droit des 3 piézomètres du site (campagne de février 2020).

Une seule campagne de mesures de gaz du sol a été réalisée, ce qui pourrait s'avérer non conservatoire.

Qualification de l'hypothèse : <i>potentiellement non conservatoire nécessité de mise en œuvre d'une nouvelle campagne de mesures de la qualité des gaz du sol post travaux de dépollution / terrassement pour valider la représentativité du signal dans les gaz du sol</i>	Influence du paramètre : <i>Modérée</i>
---	--

3.2 Choix des substances par milieux

L'ensemble des substances volatiles quantifiées dans les gaz du sol et dans les sols et possédant une VTR pour la voie d'exposition par inhalation, a été retenu pour l'évaluation des risques sanitaires.

Qualification de l'hypothèse : <i>réaliste</i>	Influence du paramètre : <i>forte</i>
---	--

3.3 Caractéristiques des substances retenues

Les transferts de polluants d'un compartiment de l'environnement à l'autre dépendent des caractéristiques intrinsèques des polluants. Celles-ci sont susceptibles de varier d'une base de données à l'autre, d'une étude à l'autre. Les valeurs prises en compte sont :

- celles proposées par défaut par le modèle de modélisation, a priori réalistes ou majorantes ;
- celles proposées sur les bases de données officielles de l'INERIS.

Qualification de l'hypothèse : <i>réaliste à majorante</i>	Influence du paramètre : <i>forte</i>
---	--

¹⁰ PPC : Point de Pollution Concentrée tel que défini dans le Plan de Gestion

4 Concentrations retenues

> Choix des concentrations résiduelles dans les gaz du sol :

Les concentrations mesurées dans le piézair PZa1 implanté au droit de sols impactés par des hydrocarbures (Sondage S9) et caractérisé comme point de pollution concentrée devant être purgé du site ont été retenues. Elles sont représentatives du dégazage dans cette zone.

En l'absence de quantification du mercure et des hydrocarbures aliphatiques >C12-C16 dans les gaz du sol et par principe de prudence scientifique¹¹, les limites de quantification (LQ) obtenues pour ces substances dans les gaz du sol ont été retenues, compte-tenu de la présence de ces substances dans les sols. Aussi le risque calculé pour chacune de ces substances doit être considéré comme un risque théorique mais non représentatif.

Qualification de l'hypothèse : réaliste à sécuritaire	Influence du paramètre : modérée
--	---

> Choix des concentrations moyennes dans les sols pour l'exposition en extérieur :

Dans le cadre de leur réemploi, les terres allant être brassées ; EODD a estimé que les concentrations moyennes résiduelles est plus réaliste que les concentrations maximales.

Néanmoins, un calcul de sensibilité a été mené sur ce choix.

Il apparaît qu'en considérant non pas les concentrations moyennes mais les concentrations maximales résiduelles mesurées dans les sols du site, les indices de risques calculés restent inférieurs aux seuils de risques (QD et ERI). Le choix des concentrations moyennes ou des concentrations maximales mesurées dans les sols du site a une faible influence sur les résultats des calculs de risques.

Qualification de l'hypothèse : réaliste	Influence du paramètre : Faible
--	--

	Adultes employés			Adultes résidents	
	QD	ERI		QD	ERI
Inhalation de substances volatiles à l'intérieur des commerces	1,47E-05	0,00E+00	Inhalation de substances volatiles en intérieur des logements	6,10E-05	0,00E+00
Inhalation de substances volatiles à l'intérieur du parking au R-1	9,19E-06	0,00E+00	Inhalation de substances volatiles à l'intérieur du parking au R-1	3,05E-05	0,00E+00
Inhalation de substances volatiles au droit des espaces extérieurs	6,23E-03	1,55E-08	Inhalation de substances volatiles au droit des espaces extérieurs	2,98E-02	3,68E-08
Somme	6,24E-03	1,55E-08	Somme	2,99E-02	3,68E-08
Valeur de référence	<1	<10-5	Valeur de référence	<1	<10-5

> Fraction de mercure volatil dans les sols :

En première approche, le mercure mesuré dans les sols a été retenu en considérant 7 % de la concentration comme volatile. Un calcul de risques est donc réalisé **en considérant 100 % de la concentration moyenne résiduelle en mercure comme étant volatile** (hypothèse plus pénalisante). Les résultats de ces calculs de risques sont présentés ci-après.

¹¹ Cf. guide d'évaluation des Risques sanitaires dans les études d'impact des ICPE – Substances chimiques – INERIS 2013

	Adultes employés			Adultes résidents	
	QD	ERI		QD	ERI
Inhalation de substances volatiles à l'intérieur des commerces	1,47E-05	0,00E+00	Inhalation de substances volatiles en intérieur des logements	6,10E-05	0,00E+00
Inhalation de substances volatiles à l'intérieur du parking au R-1	9,19E-06	0,00E+00	Inhalation de substances volatiles à l'intérieur du parking au R-1	3,05E-05	0,00E+00
Inhalation de substances volatiles au droit des espaces extérieurs	2,48E-03	5,23E-09	Inhalation de substances volatiles au droit des espaces extérieurs	5,28E-03	1,24E-08
Somme	2,49E-03	5,23E-09	Somme	5,37E-03	1,24E-08
Valeur de référence	<1	<10-5	Valeur de référence	<1	<10-5

En considérant que 100% de la concentration moyenne résiduelle en mercure mesuré dans les sols est volatiles (au lieu de 7%), les résultats des calculs de risques montrent que les indices de risques calculés restent inférieurs aux seuils de risques (QD et ERI). Cette hypothèse sécuritaire a une influence modérée sur les résultats des calculs de risques.

Qualification de l'hypothèse : Sécuritaire	Influence du paramètre : Modérée
---	---

5 Valeurs toxicologiques de référence (VTR)

L'évaluation de la toxicité des substances a été réalisée à partir des valeurs toxicologiques de référence (VTR) disponibles dans les bases de données consultées. Ces VTR sont données :

- Pour une voie d'exposition (inhalation) ;
- Pour une durée d'exposition (chronique).

EODD a retenu les VTR soit sur la base des constructions ou sélections de VTR réalisées par les organismes nationaux (INERIS, ANSES), soit conformément à la note d'information du 31 octobre 2014.

Qualification de l'hypothèse : réaliste, répondant à l'état de l'art

6 Choix du programme de modélisation du transfert des composés gazeux vers l'air ambiant

La modélisation des transferts des composés volatils vers l'air ambiant des futurs bâtiments a été réalisée à l'aide du logiciel Modul'ERS, version 1.0.142¹², produit par l'INERIS dans le cadre des programmes d'appui de l'institut pour le Ministère en charge de l'Environnement. Le modèle de transport des gaz estime les émissions à l'intérieur du bâtiment depuis une source « gaz du sol », « sol » ou « eaux souterraines » située sous celui-ci.

Les modélisations réalisées dans la version de MODUL'ERS utilisée prennent en considération une source infinie, qui ne s'épuise pas au cours du temps au fur et à mesure de sa volatilisation.

Qualification de l'hypothèse : majorante

¹² Il s'agit du numéro de version de la plateforme

> Transfert vers l'air intérieur du premier niveau de sous-sol :

En l'absence d'information sur le mode de construction du bâtiment, la modélisation du transfert des polluants volatils dans le bâtiment sur un seul niveau de sous-sol depuis le sous-sol a été réalisé avec le modèle Johnson et Ettinger¹³ de Modul'ERS (dallage indépendant - transport diffusif dans le sol et convectif à travers la dalle de fondation).

Il combine un modèle de transport par diffusion et convection à travers les sols avec un modèle simple de transport à travers les fondations d'un bâtiment. En l'absence d'information sur le mode de construction du bâtiment (dalle portée ou dallage indépendant), **il s'agit d'une approche sécuritaire dans le cadre de la construction d'un bâtiment neuf**. Dans le cadre d'une étude interne EODD de comparaison des modèles de transfert J&E et VOLASOIL, les résultats ont démontré le caractère plus pénalisant du modèle de transfert J&E.

Le modèle Johnson et Ettinger prend en compte les phénomènes de diffusion et de convection, suivant les principales hypothèses ci-dessous :

- les polluants sous forme de vapeur pénètrent dans le bâtiment au travers de la fissure périphérique de la dalle (fissure de retrait) ;
- le transport convectif des polluants se fait principalement dans la zone d'influence du bâtiment (et devient rapidement nul dès qu'on s'éloigne du bâtiment) ;
- le transport entre la source de contamination et la zone d'influence du bâtiment est essentiellement diffusif ;
- toutes les vapeurs émises sous le bâtiment vont entrer à l'intérieur du bâtiment, à moins que les sols et les murs soient complètement étanches à la vapeur ;
- le polluant est réparti de manière homogène au niveau de la zone de contamination ;
- le modèle ne prend pas en compte les processus de transformation des polluants (biodégradation, hydrolyse...) ;
- la perméabilité de la couche de sol en contact avec la dalle et les murs est considérée comme homogène ;
- la ventilation du bâtiment et le différentiel de pression entre l'intérieur du bâtiment et le sol sont considérés comme constants.

Qualification de l'hypothèse : réaliste à majorante

7 Caractéristiques des milieux utilisés dans les modélisations de transfert des composés gazeux vers l'air ambiant (intérieur et extérieur)

7.1 Type de sol (zone non saturée) et profondeur pour la source sol

Concernant les caractéristiques des sols sous la dalle et contenant la pollution, des sols de types limons sableux ont été retenus (perméabilité, porosité, teneur en eau). En effet, sur site, la présence de remblais limoneux a été observée, confirmée par une analyse granulométrique. Cependant,

¹³ Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into buildings (1991) et du guide de l'utilisateur de l'US EPA de 2004

considérant la présence ponctuelle de cailloutis dans les sols de surface et la profondeur de l'analyse granulométrique (1,8-2,8 m), il a été retenu de manière sécuritaire, une lithologie limono-sableuse (plus perméable donc majorante pour les calculs de transferts de gaz).

Pour le scénario de dégazage directement sous la dalle du R-1, il a été pris en compte la présence d'une couche de forme sableuse d'environ 10 cm entre la dalle et les sols pollués (limons sableux). Ce choix est réaliste et sécuritaire car majore les concentrations modélisées dans l'air ambiant. En effet, les couche de sable constitue un horizon à perméabilité élevée entre la dalle et les sols pollués, propice au transfert des gaz.

Concernant le dégazage des sols en extérieur, il a été pris comme hypothèse constructive, la mise en place de 30 cm de terres végétale en couverture, ce qui correspond à une lithologie de sols limono-sableux. Les caractéristiques (teneur en eau, porosité) associées à ce type de sol a ainsi été pris en compte dans les paramètres pour la modélisation du transfert de gaz en extérieur.

Qualification de l'hypothèse : réaliste à majorante	Influence du paramètre : forte
--	---------------------------------------

7.2 COT retenu pour la source sol

Les modélisations ont été réalisées en considérant la moyenne des teneurs en COT disponibles dans les échantillons de sols analysés sur le site à savoir 18000 mg/kg MS (0,018).

Qualification de l'hypothèse : réaliste	Influence du paramètre : non évaluée
--	---

8 Caractéristiques des bâtiments utilisées dans la modélisation du transfert des composés gazeux vers l'air intérieur

8.1 Dimension des pièces

La dimension du parking est issue des plans projets transmis par le client.

Qualification de l'hypothèse : réaliste	Influence du paramètre : Modérée
--	---

8.2 Epaisseur de la dalle

Une épaisseur de dalle de 13 cm a été retenue en l'absence de donnée projet. Il s'agit d'une hypothèse sécuritaire (faible épaisseur).

Qualification de l'hypothèse : sécuritaire	Influence du paramètre : Modérée
---	---

8.3 Taux de ventilation

En l'absence de donnée projet, nous avons retenu un taux de renouvellement de l'air de 0,5 vol/h dans le parking en R-1, **cette hypothèse étant sécuritaire** (faible taux de ventilation).

Qualification de l'hypothèse : Sécuritaire	Influence du paramètre : modérée
---	---

8.4 Taux de transfert du sous-sol vers le rez-de-chaussée

Les calculs présentés dans l'analyse des risques sont basés sur un taux de transfert de 10%, correspondant à un facteur empirique pris en compte dans les modèles hollandais HESP et CSOIL. Une étude a été réalisée par l'INERIS concernant le transfert de vapeurs du sous-sol ou du vide sanitaire vers l'air intérieur (rapport n° INERIS DRC-05-57278-DESP/R03a en date du 15/04/2005). Celle-ci indique notamment que ce facteur de 10% correspond à la moyenne de données empiriques, comprises entre un minimum de 0 et un maximum de 0,68, avec un 95^{ème} centile de 0,39 et s'interroge sur la représentativité de ce facteur étant donné la variabilité importante mesurée.

Un nouveau calcul de risques est donc réalisé pour un taux de transfert des de **68% depuis le sous-sol vers le RDC**, en prenant en compte les concentrations moyennes résiduelles dans les sols. Les résultats de ces calculs sont présentés ci-après.

	Adultes employés			Adultes résidents	
	QD	ERI		QD	ERI
Inhalation de substances volatiles à l'intérieur des commerces	9,99E-05	0,00E+00	Inhalation de substances volatiles en intérieur des logements	4,15E-04	0,00E+00
Inhalation de substances volatiles à l'intérieur du parking au R-1	9,19E-06	0,00E+00	Inhalation de substances volatiles à l'intérieur du parking au R-1	3,05E-05	0,00E+00
Inhalation de substances volatiles au droit des espaces extérieurs	2,48E-03	5,23E-09	Inhalation de substances volatiles au droit des espaces extérieurs	7,38E-03	1,24E-08
Somme	2,58E-03	5,23E-09	Somme	7,82E-03	1,24E-08
Valeur de référence	<1	<10-5	Valeur de référence	<1	<10-5

En considérant un taux de transfert de 68% des gaz depuis l'air ambiant du sous-sol vers le RDC (au lieu de 10%), il apparaît que les résultats des calculs de risques montrent que les indices de risques calculés restent inférieurs aux seuils de risques (QD et ERI). Cette hypothèse sécuritaire a une influence modérée sur les résultats des calculs de risques.

Qualification de l'hypothèse : réaliste (bâtiment neuf)	Influence du paramètre : modérée
--	---

8.5 Rayon de fissures

Les calculs présentés dans l'analyse des risques sont basés sur un rayon de fissures de 0,1 cm, valeur par défaut proposée par la littérature (Johnson et Ettinger, 1991 ; EPA, 2003 ; EPA, 2004 ; Bakker et al. 2008).

Qualification de l'hypothèse : valeur recommandée par la bibliographie	Influence du paramètre : non évaluée
---	---

9 Caractéristiques de l'exposition retenue

On considère que les employés des commerces passeront au total 8h à l'intérieur des bureaux, 220 jours par an, pendant 42 ans. Ces durées correspondent à une personne qui travaillerait toute sa vie active sur le même lieu de travail.

D'après des études statistiques récentes (Publication de la direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques (Dares Analyses – Juillet 2013 – n°047), la durée annuelle effective du travail par salarié à temps complet en 2011 s'établissait en moyenne à 1683 heures (1603 heures pour les femmes et 1741 heures pour les hommes).

Ces valeurs correspondent aux durées de travail hebdomadaires habituelles déclarées par les salariés (supérieures à la durée légale du travail et intégrant les heures supplémentaires « structurelles » ou le travail des cadres en forfait jour avec des durées quotidiennes de travail plus longues).

Par ailleurs, s'il n'était pas rare il y a quelques années ou dizaines d'années de réaliser toute sa vie professionnelle dans la même entreprise, le temps passé aujourd'hui dans un même emploi et une même entreprise s'est considérablement raccourci. A titre d'exemple, la durée moyenne d'un emploi en France (données OCDE – durées moyennes d'ancienneté) se situe actuellement autour de 12 ans.

Qualification de l'hypothèse : réaliste à majorante	Influence du paramètre : forte
--	---------------------------------------

On considère que les employés passeront 0,5 h par jour à l'intérieur du parking R-1 pour déposer et prendre leur véhicule. Cette approche est réaliste à majorante.

Un temps de présence dans le parking de 1 h par jour a été retenu pour les résidents enfants et adultes. Ce temps de présence est sécuritaire.

Concernant les taux d'exposition au droit des espaces extérieurs, les hypothèses retenues à savoir 1h par jour été comme hiver pour les employés et 2h par jour été comme hiver, pour les résidents enfants et adultes, sont considérées comme des hypothèses sécuritaires.

Qualification de l'hypothèse : majorante	Influence du paramètre : forte
---	---------------------------------------

ANNEXE 3 : LIMITES DE L'ETUDE

L'évaluation des risques est une discipline relativement récente dans le domaine des sites et sols pollués et en constante évolution. Elle s'appuie sur une méthodologie, les connaissances scientifiques et techniques et les données propres au site, disponibles au moment de l'étude.

Des modifications de la méthodologie ou des connaissances scientifiques, une évolution du contexte environnemental ou industriel peuvent apparaître à l'issue de l'étude et rendre en partie caduques les interprétations et recommandations du document.

Ces dernières ne sont valables qu'au moment de la réalisation des rapports et de l'évaluation des risques et peuvent être révisées en cas de modification des conditions initiales.

Ce rapport, et notamment les figures, tableaux, annexes, conclusions ou recommandations qui en font partie, forment un tout indivisible. A cet effet, la responsabilité de l'auteur ne pourra être engagée dans le cas d'une interprétation erronée de toute partie extraite du rapport.

ANNEXE 8 : LIMITES DE L'ETUDE

Les conclusions relatives à cette étude sont limitées à l'emprise du site telle que décrite dans le présent document. Elles ne préjugent pas du niveau de pollution qui pourrait exister aux alentours.

Les conclusions de cette étude sont basées sur les informations recueillies auprès des différentes sources qu'elles soient internes ou externes au maître d'ouvrage. Ces informations ont fait l'objet, autant que faire se peut, de vérifications de la part du chargé d'étude mais restent dépendantes des éventuelles erreurs, omissions ou fausses informations.

On ne peut prétendre à un niveau d'information plus important que les moyens mis en œuvre ne le permettent.

Des modifications de la méthodologie ou des connaissances scientifiques, une évolution du contexte environnemental ou industriel peuvent apparaître à l'issue de l'étude et rendre en partie caduques les interprétations et recommandations du document.

Ce rapport, et notamment les figures, tableaux, annexes, conclusions ou recommandations qui en font partie, forment un tout indivisible. A cet effet, la responsabilité de l'auteur ne pourra être engagée dans le cas d'une interprétation erronée de toute partie extraite du rapport.