



www.lne.fr

200101.12-RN004-ARR-Est

4 juin 2021

Brownfields

**SITE SAINT LOUIS SUCRE
336 RUE DE LYON
13015 MARSEILLE**

ANALYSE DES RISQUES RÉSIDUELS PRÉDICTIVE PRESTATION A320

BG Ingénieurs Conseils SAS

13 rue des Emeraudes - F-69006 Lyon

Siège social: Immeuble METROSUD, 1, bd Hippolyte Marques - 94200 Ivry sur Seine - SAS au capital de 1 516 800 €

RCS Lyon 2007B04453 - SIRET 303.559.249.00121 - Code APE 7112B

T +33 4 72 56 36 00 – F +33 4 72 56 36 01 – lyon@bg-21.com – www.bg-21.com

FR 493 035 592 49 TVA

n INGENIOUS SOLUTIONS



SITE SAINT LOUIS SUCRE
336 RUE DE LYON
13015 MARSEILLE

ANALYSE DES RISQUES RÉSIDUELS PRÉDICTIVE PRESTATION A320

VERSION	a	b	c
DOCUMENT	200101.12-RN004-ARR- Est		
DATE	4 juin 2021		
ELABORATION	 Xavier ESTRAT (Chef de projet)		
VISA	Benoît Maréchal (Superviseur)		
COLLABORATION			
DISTRIBUTION	Brownfields		



TABLE DES MATIÈRES		Page
1.	Introduction	7
2.	Analyse des risques résiduels prédictive (A320)	7
2.1	Description du projet d'aménagement	7
2.2	Objectifs de l'ARR	7
2.3	Méthodologie de l'évaluation des risques sanitaires	8
2.4	Schéma conceptuel	9
2.4.1	Sources de pollution	9
2.4.2	Voies de transfert	9
2.4.3	Cibles	10
2.5	Données d'entrée	11
2.5.1	Paramètres d'exposition des cibles	11
2.5.2	Caractéristiques du sous-sol	11
2.5.3	Paramètres de transfert et accumulation à l'intérieur des bâtiments	12
2.5.4	Paramètres de transfert dans l'air extérieur	12
2.6	Sélection des substances	12
2.7	Valeurs toxicologiques de référence et excès de risque unitaire	14
2.8	Comparaison aux valeurs de gestion	16
2.9	Résultats des calculs de risques	17
2.10	Évaluation des incertitudes	18
2.10.1	Exhaustivité des données	18
2.10.2	Configuration des bâtiments	19
2.10.3	Choix des substances retenues	19
2.10.4	Paramètres d'exposition	19
2.10.5	Modèle utilisé pour le transfert de vapeurs à l'intérieur des bâtiments	19
2.10.6	Toxicité des substances	20
2.10.7	Additivité des risques	20
2.11	Synthèse de l'analyse des risques résiduels	21
2.12	Restrictions d'usage et dispositions constructives	21
3.	Conclusion	21

TABLEAUX

Tableau 1 : Récepteurs, voies de transfert et milieu d'exposition pris en compte dans l'ARR	10
Tableau 2 : Paramètres d'exposition pris en compte dans les calculs des risques	11
Tableau 3 : Paramètres du sol considérés dans les calculs de risques	11
Tableau 4 : Paramètres considérés dans les calculs de risques à l'intérieur	12
Tableau 5 : Paramètres considérés dans les calculs de risques à l'extérieur	12
Tableau 6 : description des zones du site ciblées par les prélèvements d'air des sols en mars 2021.	13
Tableau 7 : Concentrations maximales retenues dans les gaz des sols pour l'ARR, en µg/m ³	14
Tableau 8 : Valeur de référence pour l'air ambiant intérieur	17
Tableau 9 : Comparaison des concentrations maximales modélisées en air intérieur aux valeurs de gestion	17



ANALYSE DES RISQUES RÉSIDUELS PRÉDICTIVE- SITE SAINT LOUIS SUCRE - MARSEILLE (15E)

4

Tableau 10 : Quotients de danger et excès de risque individuels calculés	18
Tableau 11 : Quotients de danger et excès de risque individuels calculés	19

FIGURES

Figure 1 : schéma conceptuel du site

Figure 2 : localisation des points de prélèvement des gaz du sol

ANNEXES

Annexe 1 : plan du projet d'aménagement

Annexe 2 : valeurs toxicologiques retenues

Annexe 3 : paramètres physico-chimiques retenus

Annexe 4 : équations utilisées pour les calculs de transfert et de risques

Annexe 5 : détail des calculs de risques

Résumé non technique



ANALYSE DES RISQUES RÉSIDUELS PRÉDICTIVE- SITE SAINT LOUIS SUCRE - MARSEILLE (15E)

5

Dans le cadre de l'acquisition du site Saint Louis Sucre (SLS) sis au 336 Rue de Lyon à Marseille 15e (13), BROWNFIELDSD a fait réaliser un diagnostic de pollution du site en mars 2021, qui s'inscrit dans la démarche de cessation d'activités et dans la procédure de Tiers Demandeur, sur le périmètre concerné par la reconversion du site, excluant l'emprise de l'atelier de sucre liquide conservé par Saint Louis Sucre.

Ce diagnostic a servi de base à l'établissement d'un plan de gestion, définissant les mesures de gestion à mettre en œuvre pour traiter les sources de pollution identifiées et assurer la compatibilité du site avec l'usage futur projeté, à savoir tertiaire, comprenant des bureaux, du commerce de gros (entrepôts logistiques) et un éventuel centre de formation, sans création de logements sur site.

Aussi, préalablement à toute construction, BROWNFIELDSD a fait réaliser une évaluation des risques sanitaires prédictive, intégrant l'état prévisionnel du site après mise en œuvre des mesures de gestion décrite dans le plan de gestion susmentionné, afin de s'assurer de la compatibilité sanitaire du sous-sol à l'échelle globale du site, avec les hypothèses d'aménagements envisagées.

En première approche, l'analyse des risques sanitaires a été menée sur la base de l'état actuel du site, en considérant le scénario le plus défavorable, à savoir la création de bâtiment de plain-pied à usage de bureaux. Cette étude conclut à la compatibilité du site avec ce scénario d'aménagement.

Cette analyse repose sur des hypothèses fortes et pénalisantes quant à la qualité de l'air des sols au droit des aménagements prévus. La compatibilité du site devra être contrôlée à l'issue des travaux de réhabilitation, par des prélèvements d'air du sol sur les zones réhabilitées.

Les conclusions de l'analyse des risques résiduels ne sont valables qu'avec l'application et le respect de restrictions d'usages et dispositions constructives qui complètent cette étude.

Glossaire

AEP	Alimentation en Eau Potable
ANSES	Agence Nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ATSDR	<i>Agency for Toxic Substances and Disease Registry</i>
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BTEX	Benzène, Toluène, Éthylbenzène, Xylènes
BTEXN	Benzène, Toluène, Éthylbenzène, Xylènes, Naphtalène
COT	Carbone Organique Total
COHV	Composés Organo Halogénés Volatils
DJE	Dose journalière d'exposition
DJT	Dose journalière tolérable
EFSA	Autorité Européenne de Sécurité des Aliments
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ERI	Excès de Risque Individuel
ERU	Excès de Risque Unitaire
EQRS	Évaluation quantitative des risques sanitaires
ESR	Évaluation Simplifiée des Risques
FS	Fraction Soluble
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCT	Hydrocarbures
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
InVS	Institut de Veille Sanitaire
ISDI	Installation de Stockage des Déchets Inertes
MEDAD	Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable
MS	Matière Sèche
NF	Norme Française
NGF	Nivellement général de France
OEHHA	<i>Office of Environmental Health Hazard Assessment</i>
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OQAI	Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur
PCB	Polychlorobiphényles
PID	<i>Photo-Ionisation Detector</i> (Détecteur par Photo-Ionisation)
QD	Quotient de Danger
RIVM	Institut National de Santé Publique et de l'Environnement (Pays-Bas)
TN	Terrain Naturel (niveau de la surface du sol)
TPH	<i>Total Petroleum Hydrocarbons</i>
TPHCWG	<i>Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group</i>
USEPA	Agence Américaine de l'environnement
VGAI	Valeurs Guides de qualité de l'Air Intérieur
VTR	Valeur Toxicologique de Référence

1. Introduction

Dans le cadre de l'acquisition du site Saint Louis Sucre (SLS) sis au 336 Rue de Lyon à Marseille 15^e (13), Brownfields a fait réaliser un diagnostic de pollution du site en mars 2021, qui s'inscrit dans la démarche de cessation d'activités et dans la procédure de Tiers Demandeur, sur le périmètre concerné par la reconversion du site, excluant l'emprise de l'atelier de sucre liquide conservé par Saint Louis Sucre.

Ce diagnostic a servi de base à l'établissement d'un plan de gestion, définissant les mesures de gestion à mettre en œuvre pour traiter les sources de pollution identifiées et assurer la compatibilité du site avec l'usage futur projeté, à savoir tertiaire, comprenant des bureaux, du commerce de gros (entrepôts logistiques) et un éventuel centre de formation, sans création de logements sur site.

Aussi, préalablement à toute construction, il est nécessaire de réaliser une évaluation des risques sanitaires prédictive, intégrant l'état prévisionnel du site après mise en œuvre des mesures de gestion décrites dans le plan de gestion susmentionné, afin de s'assurer de la compatibilité sanitaire du sous-sol, sur les différents secteurs du site, avec les aménagements projetés.

Le présent rapport, qui s'appuie sur le plan de gestion référencé 200101.12.02-RN003, daté du 3 juin 2021, présente l'évaluation préalable des risques sanitaires sur la base des hypothèses d'aménagements actuellement envisagés par Brownfields.

La prestation réalisée et présentée dans ce document s'apparente à l'élément de mission correspondant à la prestation codifiée de la norme NF X 31-620, parties 2 et 3 (décembre 2018) suivante :

§ Analyse des enjeux sanitaires : A320 (Démarche d'évaluation des risques sanitaires)

2. Analyse des risques résiduels prédictive (A320)

L'analyse des risques résiduels (ARR) prédictive constitue l'analyse des enjeux sanitaires selon la norme NF X 31-620-2 de décembre 2018 et procède par le biais d'une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS). Celle-ci a pour objectif d'évaluer les risques sanitaires liés à l'exposition chronique des futurs utilisateurs (Travailleurs) du site vis-à-vis des substances traceurs de pollution demeurant présentes de manière résiduelle une fois les mesures définies dans plan de gestion mises en œuvre, et ainsi valider la compatibilité sanitaire du site vis-à-vis des usages identifiés (Commerces, bureaux, entrepôts logistiques, centre de formation) et du projet d'aménagement envisagé. Pour cela, l'état résiduel est défini de manière prévisionnelle dans l'étude présentée ci-après.

La démarche de l'étude est conforme aux méthodologies nationales en vigueur.

2.1 Description du projet d'aménagement

Le projet d'aménagement porté par BROWNFIELDS sur le terrain du site Saint Louis Sucre, sis 336 rue de Lyon, à Marseille 15^e, prévoit la création de 4 pôles d'activités, au sein desquels différents types de constructions, à usage principalement tertiaire, seront réalisés. Les 4 pôles envisagés sont les suivants:

- § Pôle d'activités multi-utilisateurs,
- § Pôle artisans "B to B",
- § Pôle services
- § Pôle distribution urbaine

Aucun plan de masse précis du projet n'est actuellement disponible, les choix d'implantations du bâti n'étant pas encore définis.

Le programme d'aménagement actuellement envisagé est présenté en **Annexe 1**.

2.2 Objectifs de l'ARR

L'objectif de cette étude est de vérifier que les expositions des futurs usagers du site sont acceptables au regard de la qualité du sous-sol à l'issue des travaux tels qu'envisagés selon le scénario de gestion

décrit dans le plan de gestion BG Ingénieurs Conseils référencé 200101.12.02-RN003, daté du 3 juin 2021.

Les textes du ministère en charge de l'environnement publiés le 19 avril 2017 fixent les niveaux de risques acceptables, soit :

- § 10^{-5} pour les risques cancérogènes cumulatifs (cela signifie 1 cancer supplémentaire sur 100 000 personnes), et
- § 1 pour les effets toxiques (cela signifie que le rapport dose reçue/dose de référence doit être inférieur ou égal à 1).

En outre, les valeurs de gestion doivent être respectées pour les polluants et les milieux d'exposition qui en disposent.

Les points clefs de l'ARR sont le schéma conceptuel et l'évaluation quantitative des risques sanitaires.

2.3 Méthodologie de l'évaluation des risques sanitaires

La réalisation de l'EQRS respecte les principes suivants :

- § **Le principe de précaution** (Loi du 2 Février 1995) : Le manque de certitude, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable.
- § **Le principe de proportionnalité** : Il doit y avoir cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude, l'importance de la pollution et son incidence prévisible.
- § **Le principe de spécificité** : Il doit y avoir pertinence de l'étude par rapport à l'usage et aux caractéristiques du site et de son environnement.
- § **Le principe de transparence** : Le choix des hypothèses, des outils à utiliser, du degré d'approfondissement de l'étude nécessaire relève du jugement et du savoir-faire de l'évaluateur face à chaque cas d'étude particulier. Ces choix doivent être expliqués par l'évaluateur et cohérents afin que la logique du raisonnement puisse être suivie et discutée par les différentes parties intéressées et que l'objectif de transparence des termes de la conclusion de l'étude soit respecté.

L'EQRS nécessite plusieurs étapes. Elle est considérée comme un processus itératif intégrant les données collectées à chaque étape :

1. Identification et caractérisation des dangers dus à la présence de substances dangereuses sur le site. L'existence d'un risque résulte de la présence simultanée d'une source de pollution (substances chimiques dans les sols), d'une voie de transfert et d'une cible (l'homme).

2. Évaluation des voies d'exposition pour les récepteurs identifiés en considérant l'usage du site. L'évaluation de l'exposition consiste à déterminer les voies de transfert du polluant vers la cible, ainsi qu'à estimer la fréquence, la durée et l'importance de l'exposition.

3. L'estimation des expositions - Différents types de données relatives au site sont nécessaires pour le calcul de l'exposition. Seront ainsi définis et présentés différents paramètres spécifiques au site, par exemple :

- § les populations concernées;
- § les usages futurs du site et les aménagements à considérer ;
- § les caractéristiques du site favorisant la mobilité des polluants ou l'exposition des populations.

Cette étape doit s'appuyer sur le schéma d'aménagement futur du site.

4. La caractérisation des risques sanitaires qui consiste à calculer la dose journalière d'exposition ou la dose reçue pour chaque substance et pour chaque voie d'exposition et qui la compare avec le niveau de risque acceptable défini par les textes ministériels.

2.4 Schéma conceptuel

Les données disponibles sur les milieux représentatives de la situation actuelle sont utilisées pour déterminer, de manière prévisionnelle l'état final du site afin d'élaborer le schéma conceptuel du site.

L'élaboration du schéma conceptuel d'exposition consiste à :

- § identifier les substances à retenir et présentes sur site, les propriétés physico-chimiques des substances et les milieux concernés ;
- § identifier les usages et les populations ;
- § évaluer les modes de transfert des pollutions résiduelles vers les milieux d'exposition ;
- § identifier les points d'exposition et les voies d'exposition pour les populations potentiellement exposées.

Le schéma conceptuel caractérisant un risque lié à une pollution des sols comporte :

- § des sources de contamination, des substances à retenir et présentes sur site, et les milieux concernés ;
- § des voies de transfert des pollutions résiduelles vers les milieux d'exposition ;
- § des cibles exposées aux polluants.

Le schéma conceptuel est basé sur les hypothèses d'aménagement envisagé selon les éléments de description fournis par Brownfields tel que représenté en **Annexe 1**. Les éléments du schéma conceptuel sont détaillés dans les sous chapitres ci-après.

2.4.1 Sources de pollution

Le schéma conceptuel d'exposition potentiel considère :

- § **Les gaz des sols.** Les gaz des sols intègrent les remontées de vapeurs depuis les sols et les eaux souterraines.

Les sols de surface non recouverts et destinés à accueillir des espaces verts d'agrément ne sont pas pris en compte, bien que ces derniers présentent des anomalies récurrentes en métaux. En effet, il est considéré l'imposition d'une disposition constructive consistant à recouvrir les terres du site par des matériaux d'apport sains externes au site, sur une épaisseur de 0,3 m constatée après compactage, pour tous les espaces dont les sols ne sont pas surmontés d'un revêtement. Les autres surfaces seront recouvertes par un revêtement de surface (Dalle béton, enrobé, bâtiments,...).

2.4.2 Voies de transfert

Compte-tenu des hypothèses d'aménagement portées à notre connaissance, il est considéré pour l'évaluation des risques que les bâtiments implantés sur l'emprise du projet seront tous construits directement sur les sols, sans sous-sol ni vide sanitaire.

Le schéma conceptuel d'exposition potentiel considère uniquement la voie de transfert de substances volatiles depuis les sols sous-jacents, au travers des infrastructures, jusqu'à l'air ambiant des lieux de vie fréquentés (Bâtiments à usage tertiaire) et espaces extérieurs associés.

Il n'est pas pertinent de considérer les voies de transfert suivantes :

- § Dilution et diffusion à travers la nappe (aucun usage des eaux souterraines n'est recensé au droit du site et il ne sera pas autorisé) ;
- § Contamination des eaux potables par perméation (aucun impact en polluants susceptibles de contaminer les eaux de distribution (composés volatils) n'est mis en évidence dans les sols du site, conduisant à ne pas considérer cette voie de transfert) ;
- § Contact direct avec les sols non recouverts (pose de revêtement en surface dans les zones minéralisées et apport de terres extérieures au droit des futurs espaces verts).
- § Contamination des eaux de surface via les eaux souterraines, dans la mesure où aucun usage sensible des eaux de surface (ruisseau des Aygaldes) n'est identifié (Irrigation, baignade, pêche).

Les voies de transfert considérées sont donc le dégazage des composés volatils vers l'air ambiant, la dispersion atmosphérique dans l'air extérieur et l'accumulation des vapeurs à l'intérieur des bâtiments. Le milieu d'exposition est donc l'air ambiant et la voie d'exposition retenue est l'inhalation de vapeurs provenant du dégazage du sous-sol.

2.4.3 Cibles

Le schéma conceptuel considère les cibles suivantes :

§ Futurs usagers sur site :

§ Travailleurs.

L'ensemble du schéma conceptuel est synthétisé dans le tableau ci-après et présenté graphiquement en **Figure 1**.

Cibles	Voie d'exposition potentielle à prendre en compte	Voie considérée dans le schéma conceptuel	Justification
Futurs travailleurs	Inhalation de vapeurs en intérieur	Oui	Présence résiduelle de composés volatils dans les sols au droit des futurs bâtiments, mesurée sur prélèvements de gaz des sols
	Inhalation de vapeurs en extérieur	Oui	Exposition par inhalation de vapeur en extérieur, mesurée sur prélèvements de gaz des sols
	Inhalation de poussières à l'extérieur des bâtiments	Non	Les espaces verts seront implantés sur des matériaux rapportés dépourvus de pollution résiduelle. Les potagers et vergers ne seront pas autorisés.
	Ingestion accidentelle de sol	Non	
	Contact cutané avec le sol	Non	Voie d'exposition non prise en compte dans une évaluation quantitative des risques sanitaires du fait de l'absence de procédures établies pour la construction de valeurs toxicologiques de référence pour la voie cutanée (circulaire DGS du 31/10/2014).
	Ingestion d'eau souterraine	Non	L'utilisation des eaux souterraines ne sera pas autorisée. Aucun usage effectif recensé sur le site.
Ingestion d'eau potable provenant du réseau AEP et risque de perméation	Non	Canalisations d'eau potable non perméables aux composés volatils ou mise en place au sein de terres d'apport saines (après décaissement des terrains en place).	

Tableau 1 : Récepteurs, voies de transfert et milieux d'exposition pris en compte dans l'ARR

À ce stade, une seule configuration de bâtiments est prévue dans le cadre du projet, à savoir le cas de bâtiment de plain-pied, sans parking en sous-sol, ni vide-sanitaire.

2.5 Données d'entrée

Lorsque cela était possible, les données spécifiques au site ont été considérées ou évaluées. Lorsque les paramètres étaient inconnus, les valeurs conseillées ou proposées par défaut par les logiciels de calcul de risque ou par les organismes de référence (INERIS, US-EPA, RIVM), correspondant généralement à des configurations sécuritaires, ont été utilisées.

2.5.1 Paramètres d'exposition des cibles

Les données présentées ci-après sont celles prises en compte pour l'étude du scénario d'exposition le plus défavorable, à savoir pour une configuration de bâtiment de plain-pied.

Les paramètres d'exposition sont définis pour les populations cibles retenues dans le tableau ci-après. Dans une approche sécuritaire, les cibles considérées sont celles pour lesquelles les expositions sont les plus importantes, à savoir les résidents adultes et enfants, l'exposition des travailleurs étant plus réduite par rapport à ces deux populations.

Paramètres	Unité	Valeur	Référence
Travailleurs			
Durée de vie	an	70	INERIS 2001 et USEPA 1991
Fréquence d'exposition annuelle	j/an	220	Durée maximale considérée
Durée d'exposition (bureaux/bât à usage tertiaire)	an	42	Hypothèse conservatrice : durée d'exposition définie par convention à 42 ans pour un travailleur – Appliquée à l'ensemble des travailleurs
Temps passé en intérieur (bureaux/bât à usage tertiaire)	h/j	9	Temps moyen passé à l'intérieur pour un travailleur, incluant une pause d'1h dans les locaux pour la prise du déjeuner.
Temps passé en extérieur (bureaux/bât à usage tertiaire)	h/j	2	Hypothèse conservatrice du temps passé en extérieur pour un travailleur.

Tableau 2 : Paramètres d'exposition pris en compte dans les calculs des risques

Les hypothèses d'exposition sont, en première approche, très sécuritaires. Elles permettent de considérer les situations les plus défavorables.

2.5.2 Caractéristiques du sous-sol

Lors du calcul de risques, il est nécessaire de connaître les caractéristiques du sous-sol. La lithologie rencontrée sur site est relativement homogène et comprend :

- § Remblais sablo-graveleux, entre la surface et jusqu'à 3m de profondeur ;
- § Limons sableux à graveleux avec passages argileux, entre 3m et jusqu'à une vingtaine de mètres à proximité du ruisseau des Ayalades ;

Au vu de ces caractéristiques, et par choix sécuritaire, les sols ont été assimilés à des sables, type de sol le plus défavorable, défini dans les outils de calcul de risque.

Les valeurs des paramètres caractéristiques des sables sont données ci-après :

Les caractéristiques du sous-sol		Explications des paramètres
Porosité totale du sol (-)	0,375	Paramètre spécifique au sable correspond à la classification internationalement acceptée SCS (US Soil Conservation Soil)
Teneur en eau résiduelle (-)	0,054	
Perméabilité aux vapeurs (cm ²)	5.10 ⁻⁸	
Profondeur de la source gaz (m)	0.1	Valeur sécuritaire en considérant la source volatile directement sous le bâtiment.

Tableau 3 : Paramètres du sol considérés dans les calculs de risques

2.5.3 Paramètres de transfert et accumulation à l'intérieur des bâtiments

Dans le cas présent, la configuration du bâtiment prise en compte correspond à un bâtiment de plain-pied sans vide sanitaire, ni parking en sous-sol. Dans une démarche sécuritaire, l'usage pris en compte en première approche est un usage de type bureau/local social, plus pénalisant que celui de type entrepôt logistique, ce dernier type de bâtiment présentant des caractéristiques dimensionnelles plus favorables à une atténuation des teneurs en polluants volatils dans l'air ambiant et donc réduisant l'expositions des utilisateurs.

Les paramètres pris en compte pour les calculs de risques à l'intérieur des bâtiments prévus dans le projet sont présentés ci-après :

Paramètres des bâtiments considérés		Explications des paramètres
Profondeur des sols sous les bâtiments (m)	0,1	Contamination considérée en deçà des matériaux drainants sous dalle, approche sécuritaire
Épaisseur de la dalle (cm)	15	Valeur fournie par BROWNFIELDS
Différence de pression entre le sol et le bâtiment (g/cm.s ²)	40	Donnée sécuritaire conseillée par le modèle Johnson et Ettinger pour les bâtiments sans ventilation mécanique
Fraction des fissures de la dalle béton/radier (-)	0,002	Valeur sécuritaire selon le modèle Johnson et Ettinger pour un bâtiment de plain-pied
Surface (m ²)	9	Surface minimale de la plus petite pièce prévue au niveau du projet (Bureau) - Donnée BROWNFIELDS
Hauteur de la pièce (m) – cas d'un bureau	2,5	Valeur fournie par BROWNFIELDS
Taux de ventilation (bureau) (vol/h)	0,25	Valeur minimale et sécuritaire pour la ventilation d'un bureau

Tableau 4 : Paramètres considérés dans les calculs de risques à l'intérieur

2.5.4 Paramètres de transfert dans l'air extérieur

Pour les calculs de risques, il est nécessaire de déterminer la superficie des terrains impactés, ainsi que la profondeur de la source.

Les paramètres pris en compte dans les calculs de risques à l'extérieur sont présentés ci-après :

Paramètres à l'extérieur de bâtiments		Explications des paramètres
Longueur maximale parallèle au vent (m)	100	Valeur estimée d'après les hypothèses d'aménagement actuelles
Profondeur de la source (cm)	30	Valeur sécuritaire, en considérant une couche de surface "saine" de 30 cm. Valeur habituelle pour les calculs des risques
Vitesse du vent (m/s)	2,25	Correspond à une valeur conservatoire
Hauteur de la zone de mélange (m)	1,5 (Travailleur)	Valeur sécuritaire

Tableau 5 : Paramètres considérés dans les calculs de risques à l'extérieur

2.6 Sélection des substances

Les substances prises en compte dans les calculs de risque présentés dans les chapitres suivants concernent l'ensemble des substances volatiles détectées à des concentrations supérieures aux limites de quantification des méthodes analytiques dans les sols, les eaux souterraines et/ou dans les gaz du

sol. Si un composé n'a pas été détecté dans les sols, les eaux souterraines ni dans les gaz des sols, celui-ci n'a pas été retenu.

L'EQRS est réalisée à partir des concentrations des gaz du sol, qui intègrent le dégazage des composés volatils depuis les sols et les eaux souterraines. Cette approche est couramment utilisée dans le cadre de l'EQRS et permet de disposer de données pertinentes dans le milieu air des sols et de s'affranchir des incertitudes liées aux calculs de volatilisation. Lorsqu'un composé a été détecté dans les sols et/ou les eaux souterraines mais que sa concentration est inférieure au seuil de quantification dans le milieu gaz des sols, la valeur du seuil de quantification des gaz du sol est retenue.

Lorsque la répartition entre les hydrocarbures aromatiques et aliphatiques ou entre les différentes fractions d'hydrocarbures n'est pas disponible, la concentration détectée en laboratoire a été appliquée pour chacune des fractions et seule la plus pénalisante a été retenue (démarche sécuritaire).

La concentration retenue est la valeur maximale disponible parmi l'ensemble du jeu de données représentatif de l'état résiduel prévisionnel du site. *Ces prélèvements ne couvrent pas les zones sources de pollution qui seront traitées conformément au plan de gestion.*

Actuellement, l'état résiduel du site est donc défini à partir des données issues des 8 ouvrages mis en place sur l'emprise du projet, au droit des sources potentielles de pollution identifiées et des 3 prélèvements d'air sous dalle réalisés sous le bâtiment principal de production, lors des investigations de mars 2021, implantés sur des zones pouvant être amenées à accueillir des bâtiments ou des espaces extérieurs dans le cadre du futur projet d'aménagement.

Dans une approche sécuritaire, et en l'absence d'éléments précis sur la configuration des aménagements, en particulier sur la localisation des bâtiments et des espaces extérieurs, les données ont été considérées à l'échelle globale du terrain.

Les teneurs retenues pour les calculs de risques, issues de la campagne de mars 2021 sont détaillées dans les tableaux suivants.

La **Figure 2** hors texte, illustre la localisation des points de prélèvement des gaz du sol pris en compte pour définir l'état résiduel du site après la mise en œuvre du plan de gestion.

Les points de prélèvement gaz pris en compte pour l'étude sanitaire sont détaillés dans le tableau suivant :

Point de prélèvement	Zone ciblée
PG1	SPC 2 – ancienne zone des cuves de mazout
PG2	Secteur sud-ouest du bâtiment principal de production
PG3	Secteur nord-est du bâtiment principal de production
PG4	Secteur sud-est du bâtiment principal de production
PG5	SPC 11- ancien secteur SOMEDITH
PG6	SPC 11- ancien secteur SOMEDITH
PG7	SPC 12 – zone de stockage des huiles usagées
PG8	Secteur sud-est du site, proximité de SPC 6 (stockage d'encres)
ASD1	Sous-sol du bâtiment principal de production – zone épuration
ASD2	Sous-sol du bâtiment principal de production – zone "bas produits"
ASD3	Sous-sol du bâtiment principal de production – zone "Hauts produits"

Tableau 6 : description des zones du site ciblées par les prélèvements d'air des sols en mars 2021

Les teneurs prises en compte pour les calculs de risques sanitaires sous les futurs bâtiments et sur les espaces extérieurs correspondent **aux teneurs maximales en polluants volatils mesurées sur l'intégralité du site**. Elles sont détaillées dans le tableau suivant pour chaque composé retenu :

	Composé	Teneur considérée	Origine de la donnée
BTEX-N	Benzène	17 µg/m ³	Point de prélèvement PG4
	Toluène	97.8 µg/m ³	Point de prélèvement ASD2
	Éthylbenzène	4.8 µg/m ³	Point de prélèvement ASD2
	Xylènes	14.3 µg/m ³	Point de prélèvement PG1
	Naphtalène	81.5 µg/m ³	Point de prélèvement ASD2
COHV	Tétrachloroéthylène	67 µg/m ³	Point de prélèvement PG7
	Trichloroéthylène	5.1 µg/m ³	Point de prélèvement PG7
	1.1.1-trichloroéthane	27 µg/m ³	Point de prélèvement PG7
	Tétrachlorométhane	0.9 µg/m ³	Point de prélèvement PG5
	Chloroforme	24 µg/m ³	Point de prélèvement ASD1
HCT	fraction C5 - C6 aliphatiques	41 µg/m ³	Seuil de quantification, mars 2021
	fraction C6 - C8 aliphatiques	187 µg/m ³	Point de prélèvement ASD2
	fraction C8 - C10 aliphatiques	538 µg/m ³	Point de prélèvement ASD2
	fraction C10-C12 aliphatiques	803 µg/m ³	Point de prélèvement PG7
	fraction C12-C16 aliphatiques	217 µg/m ³	Point de prélèvement PG7
	fraction C7 - C8 aromatiques	187 µg/m ³	Point de prélèvement ASD2
	fraction C8 - C10 aromatiques	538 µg/m ³	Point de prélèvement ASD2
	fraction C10-C12 aromatiques	803 µg/m ³	Point de prélèvement PG7
fraction C12-C16 aromatiques	217 µg/m ³	Point de prélèvement PG7	

Tableau 7 : Concentrations maximales retenues dans les gaz des sols pour l'ARR, en µg/m³

Il convient de noter que, pour les HAP, seul le naphtalène a été retenu comme traceur, au vu de sa volatilité et de sa toxicité pour la voie considérée.

En ce qui concerne le mercure, il n'est pas retenu, considérant qu'il n'est pas considéré comme un traceur de pollution des anciennes activités. La valeur maximale mesurée sur site en mars 2021 est de 2.3 mg/kg MS, correspondant à la valeur haute des anomalies naturelles modérées définies dans le cadre du programme INRA-ASPITET et la valeur moyenne de 0.37 mg/kg.

2.7 Valeurs toxicologiques de référence et excès de risque unitaire

L'ensemble des substances caractérisant les sources de contamination a fait l'objet d'une recherche de données physico-chimiques et toxicologiques.

Suivant les mécanismes toxiques mis en jeu, deux types d'effets sont distingués généralement :

- Effets à seuil : un effet survient au-delà d'une dose administrée. Cette famille concerne principalement les effets non-cancérogènes, voire les cancérogènes non génotoxiques.
- Effets sans seuils : un effet apparait quelle que soit la dose. Cette famille concerne principalement les effets cancérogènes génotoxiques.

L'évaluation de la relation dose-réponse a pour objectif d'identifier la relation entre la dose d'exposition et l'apparition probable d'un effet sanitaire lié à une exposition répétée. Cette évaluation aboutit à l'élaboration des valeurs toxicologiques de référence (VTR).

Les **VTR pour les effets sanitaires sans seuil** représentent la probabilité de survenue d'un effet cancérigène pour une exposition vie entière à une unité de dose de la substance cancérigène. Elles sont souvent exprimées par :

- Excès de Risque Unitaire (ERU) : voie orale en inverse de dose ingérée (mg/kg.j^{-1}), et voie inhalation en ($\mu\text{g/m}^3\text{-}^{-1}$) ou par
- Excess Lifetime Cancer Risk (CR) : correspond à la quantité de substance induisant un excès de risque cancérigène exprimée en mg/kg/j pour la voie orale et mg/m^3 pour la voir par inhalation.

Les **VTR pour les effets sanitaires à seuil** sont construites à partir de l'effet critique qui intervient au-delà d'une dose. Elles représentent les quantités maximales pouvant être administrées sans effet sur la santé et sont exprimées en masse de substance par mètre cube d'air ambiant ($\mu\text{g/m}^3$ ou mg/m^3) pour une exposition par inhalation et en masse de substance par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/j) pour une exposition par voie orale (dont notamment la dose de référence RFD de l'US EPA, limite maximale raisonnable MRL de l'ATSDR ou les doses journalières du RIVM, de l'OMS ou de Santé Canada).

L'ensemble des substances a fait l'objet d'une recherche de données physico-chimiques et toxicologiques.

Principe de sélection des VTR

La sélection des VTR a été réalisée conformément à la note d'information de la DGS du 31 octobre 2014 relative notamment 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. Cette note stipule en effet :

- qu'en l'absence de VTR dans l'une des 8 bases de données de référence (ANSES, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA ou EFSA), il n'est pas pertinent de procéder à l'évaluation des risques basée sur une VTR alternative dont la validité est difficile à garantir ; il sera toutefois nécessaire de mettre en parallèle la valeur mesurée à des valeurs guides comme celles de l'OMS et à des valeurs réglementaires et proposer des mesures de surveillance ainsi que des mesures techniques de réduction des émissions.
- que si une seule VTR n'est disponible dans l'une des 8 bases de données de référence, la valeur peut être utilisée si elle correspond bien à l'exposition auxquelles la population est confrontée.
- que s'il existe plusieurs VTR dans les bases de données de référence, la procédure de sélection la suivante est recommandée :
 - § Sélection des VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données.
 - § A défaut, les VTR sélectionnées lors d'une expertise nationale sous réserve que l'expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente (notamment expertise INERIS dans le cadre de l'établissement des valeurs d'analyse de la situation, R1, R2 et R3).
 - § En absence de VTR construites par l'ANSES, la VTR retenue sera la valeur la plus récente parmi les 3 bases de données suivantes : US-EPA, ATSDR ou OMS
 - § En absence de VTR proposées par l'une des 4 bases de données précédentes, la VTR retenue sera la valeur la plus récente parmi les bases de données suivantes : Santé Canada, RIVM, OEHHA et EFSA.
- que le recours à une valeur provisoire est proscrit pour la quantification des risques, cependant elle peut constituer un élément d'appréciation pour la discussion tout comme les DNEL (Derived No Effect Level) pour les effets à seuil, ou les DMEL (Derived Minimal Effect Level) pour les effets sans seuils élaborées dans le cadre de la réglementation REACH.

De plus, s'il existe des effets à seuil et sans seuil pour une même substance, il conviendra de retenir les deux VTR et faire les deux évaluations de risque.

Toutefois, et exceptionnellement, s'il semble discutable de choisir la VTR la plus récente, la VTR retenue devra être sélectionnée en cohérence avec les expositions (étude exploitée : même voie et durée

d'exposition que l'application à l'homme qui en est faite), et fera l'objet d'une explication claire de la méthode appliquée et des résultats obtenus.

Les valeurs toxicologiques retenues sont présentées dans l'**Annexe 2**.

Les paramètres physico-chimiques sont présentés dans l'**Annexe 3**.

2.8 Comparaison aux valeurs de gestion

Outre la mise en œuvre de calculs de risque, les teneurs calculées dans l'air ambiant sont comparées aux valeurs de gestion relatives à l'air ambiant.

Conformément à la méthodologie nationale des sites et sols pollués d'avril 2017, les valeurs de référence pour l'air ambiant sont les suivantes :

- Les valeurs réglementaires en vigueur (décret 2011-1727 du 2 décembre 2011 du ministère en charge de l'environnement qui réglemente le benzène et le formaldéhyde) ;
- Les valeurs élaborées par le HCSP qui sont, suivant les cas, des valeurs cibles, des valeurs repères de qualité d'air ou des valeurs d'action rapide ;
- Les valeurs élaborées par l'ANSES. Dans la mesure où elles sont élaborées en tenant compte des seules caractéristiques toxicologiques intrinsèques de chaque substance, le processus peut conduire à des valeurs repères inférieures aux concentrations usuellement observées dans l'air des habitations. Pour relativiser une telle approche, il sera tenu compte des données issues de référentiels de qualité de l'air telles que celles de l'OQAI en comparant au percentile 90 ;
- À défaut de telles valeurs, les seuils R1 établis initialement dans le cadre de la démarche de diagnostics des établissements accueillant des enfants et adolescents qui constituent désormais des valeurs d'analyse de la situation (version de novembre 2018)

Les valeurs de référence retenues sont présentées dans le tableau ci-après.

Composé	Valeur, mg/m ³	Référence
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES		
Naphtalène	0.01	HCSP (2012), VGAI ANSES (2009)
HYDROCARBURES TOTAUX		
HCT C5-C6 aliphatiques	18.4	R1, VTR chronique effets à seuil (TPHCWG, 1999)
HCT C6-C8 aliphatiques	18.4	
HCT C8-C10 aliphatiques	1	
HCT C10-C12 aliphatiques	1	
HCT C12-C16 aliphatiques	1	
HCT C7-C8 aromatiques	0.26	
HCT C8-C10 aromatiques	0.2	
HCT C10-C12 aromatiques	0.2	
HCT C12-C16 aromatiques	0.2	
COMPOSES AROMATIQUES VOLATILS		
Benzène	0.002	Décret 2011-1727
Toluène	20	VGAI (ANSES, 2018)
Ethylbenzène	1.5	VGAI (ANSES, 2016)
Xylènes totaux	0.18	R1, VTR chronique effets à seuil (Santé Canada 2010)
COMPOSES ORGANOHALOGENES VOLATILS (COHV)		
Tétrachloroéthylène	0.25	HCSP, 2010
Trichloroéthylène	0.01	HCSP, 07/2020
1.1.1-trichloroéthane	1.0	OEHHA, 2005

Composé	Valeur, mg/m ³	Référence
Tétrachlorométhane	0.110	ANSES (2017)
Chloroforme	0.063	ANSES, 2008

Tableau 8 : Valeur de référence pour l'air ambiant intérieur

Le tableau suivant présente la comparaison des teneurs calculées dans l'air ambiant avec les valeurs de gestion.

Composé	Concentration maximale modélisée en air intérieur au sein des logements (µg/m ³)	Valeur de gestion (µg/m ³)	Référence
Benzène	0.05	2	Décret 2011-1727 du 2 décembre 2011
Toluène	0.265	20 000	VGAI ANSES (2018)
Ethylbenzène	0.013	1 500	VGAI ANSES (2016)
Xylènes totaux	0.04	200	R1, INERIS (2018)
Naphtalène	0.21	10	HCSP (2012), VGAI ANSES (2009)
Tétrachloroéthylène	0.18	250	HCSP, 2010
Trichloroéthylène	0.014	10	HCSP, 07/2020
1.1.1-trichloroéthane	0.07	1000	OEHHA, 2005
Tétrachlorométhane	0.002	110	ANSES (2017)
Chloroforme	0.07	63	ANSES, 2008
Hydrocarbures aliphatiques C5-C6	0.11	18 000	R1, INERIS (2018)
Hydrocarbures aliphatiques C6-C8	0.51	18 000	R1, INERIS (2018)
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	1.5	1 000	R1, INERIS (2018)
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	2.2	1 000	R1, INERIS (2018)
Hydrocarbures aliphatiques C12-C16	0.6	1 000	R1, INERIS (2018)
Hydrocarbures aromatiques C7-C8	0.51	200	R1, INERIS (2018)
Hydrocarbures aromatiques C8-C10	1.5	200	R1, INERIS (2018)
Hydrocarbures aromatiques C10-C12	2.2	200	R1, INERIS (2018)
Hydrocarbures aromatiques C12-C16	0.6	200	R1, INERIS (2018)

Tableau 9 : Comparaison des concentrations maximales modélisées en air intérieur aux valeurs de gestion

Ce tableau révèle que les teneurs maximales modélisées dans l'air ambiant des futurs bâtiments sont conformes aux valeurs de référence pour l'ensemble des traceurs qui en disposent.

2.9 Résultats des calculs de risques

Les équations utilisées pour les calculs de transfert et de risques sont jointes en **Annexe 4**.

Le détail des calculs de risques est présenté en **Annexe 5**. Les niveaux de risques calculés sont synthétisés dans les tableaux ci-après. Les quotients de danger présentés cumulent d'une part, les effets des substances, en première approche, ainsi que l'exposition à l'intérieur des bâtiments et à l'extérieur. Les excès de risque individuel présentés cumulent les effets des substances et l'exposition à l'intérieur des bâtiments et à l'extérieur.

Résultats des calculs pour un bâtiment de plain-pied à usage tertiaire avec espaces extérieurs

Effets à seuil (quotient de danger QD, cumulé)	Effets sans seuil (excès de risque individuel ERI, cumulé)
Travailleur	
0.027	$5.3 \cdot 10^{-7}$

Tableau 10 : Quotients de danger et excès de risque individuels calculés

Les résultats des calculs montrent des niveaux de risque pour les effets à seuil et sans seuil inférieurs aux niveaux de référence (de 1 pour les effets à seuil et 10^{-5} pour les effets sans seuil) pour l'ensemble du terrain, sur la base d'hypothèses sécuritaires.

La fraction aromatique C₁₀-C₁₂ des hydrocarbures est le traceur de pollution qui contribue le plus aux niveaux de risque calculés pour les effets à seuil, à hauteur d'environ 30%, suivis de la fraction aromatique C₈-C₁₀ (20%) et du naphthalène (15 %). Pour les effets sans seuil, c'est le naphthalène qui contribue exclusivement au niveau de risque calculé (100 %).

2.10 Évaluation des incertitudes

La quantification des risques sanitaires repose sur des modèles de transfert reconnus et prend en compte un certain nombre de paramètres, mesurés ou évalués à partir de données issues de mesures sur site, en laboratoire ou provenant de la bibliographie.

L'impact des choix effectués sur les résultats des calculs des risques est évalué par la suite en fonction de la variabilité et des incertitudes des paramètres et des hypothèses retenus.

Autant que possible, les données correspondant au secteur d'étude et aux observations ont été utilisées. Néanmoins pour certains paramètres, en l'absence de données disponibles, les valeurs retenues sont issues des recommandations des organismes de référence (US-EPA, INERIS) ou des modèles utilisés.

Seuls les paramètres avec une influence modérée à importante sont considérés pour l'analyse des incertitudes.

2.10.1 Exhaustivité des données

A ce stade, une partie de l'emprise du site Saint Louis Sucre devant accueillir les futurs aménagements n'a pas fait l'objet d'investigations dans les gaz du sol, il s'agit du secteur nord et du quart sud-ouest. Néanmoins, il faut relever qu'aucune source de pollution n'a été mise en évidence lors des diagnostics sur ces zones, qu'aucun composés volatils n'a été quantifié dans les sols du site et dans les eaux souterraines et que de fait, il n'y a pas de suspicion de la présence de ce type de composés sur ces secteurs. Ainsi, les données sont considérées comme représentative de la globalité du site.

De plus, la démarche appliquée pour la sélection des valeurs retenues pour les calculs de risques, visant à retenir les teneurs maximales mesurées sur site, pour caractériser l'ensemble du terrain, constitue une approche sécuritaire vis-à-vis du manque de données sur les gaz du sol de certains secteurs du site, sur lesquels aucune source de pollution n'est identifiée où suspecter à ce jour.

2.10.2 Configuration des bâtiments

Les calculs de risques présentés au chapitre 2.9, au-dessus sont basés sur une configuration de bâtiment de plain-pied, correspondant à des bureaux, considérée comme la plus pénalisante vis-à-vis des risques sanitaires, par rapport à une configuration de bâtiment de type entrepôt logistique, dont la configuration (pièce de volume plus important) contribue à une atténuation des teneurs en composés volatils dans l'air ambiant du bâtiment.

Les calculs de risques sanitaires pour ce type de configuration de bâtiment, en prenant en compte les teneurs maximales indiquées dans le tableau 7, une hauteur de plafond de 4m et une surface minimale de pièce de 2500 m², conduisent aux niveaux de risques présentés dans le tableau suivant :

Effets à seuil (Quotient de danger QD, cumulé)	Effets sans seuil (Excès de risque individuel ERI, cumulé)
Travailleur	
0.0025	5.5 10 ⁻⁸

Tableau 11 : Quotients de danger et excès de risque individuels calculés

Ces niveaux de risques sont inférieurs d'un facteur 10 environ à ceux calculés dans le tableau 10, en considérant un bâtiment à usage de bureaux.

2.10.3 Choix des substances retenues

Les traceurs de pollution du site détectés dans les gaz du sol, les sols ou les eaux souterraines ont été retenus. Les calculs ont été réalisés sur la base des concentrations mesurées dans les gaz du sol afin de disposer des teneurs pertinentes dans ce milieu et minimiser les incertitudes liées aux calculs de volatilisation. Lorsqu'un composé a été détecté dans les sols et/ou les eaux souterraines, c'est la concentration mesurée dans le milieu gaz qui a été retenue, y compris lorsque la concentration mesurée dans l'air des sols est inférieure à la limite de quantification analytique, auquel cas c'est cette limite qui est considérée pour déterminer la concentration à retenir comme donnée d'entrée.

En ce qui concerne les HAP (16 substances), seul le naphtalène a été retenu comme traceur de cette famille en raison de sa volatilité et toxicité pour la voie inhalation supérieures aux autres composés. Les autres composés n'ont pas été retenus car les teneurs les plus élevées mesurées en HAP totaux dans les sols ne dépassent pas 37 mg/kg MS.

2.10.4 Paramètres d'exposition

Les paramètres d'exposition sont principalement le temps d'exposition en heures par jour à l'intérieur ou en extérieur et le nombre d'années de présence. Le temps passé en intérieur pour les travailleurs est basé sur la réglementation du travail (8h/j et pause de 1h pour la prise de repas). La durée d'exposition de 2 h par jour en extérieur est conservatrice.

Enfin, le scénario étudié suppose que les travailleurs seront exposés 220 jours par an, pendant 42 ans, au sein des locaux de travail. Ces temps d'exposition sont donc maximaux et pleinement sécuritaires en première approche.

Les paramètres retenus permettent donc de considérer les expositions les plus défavorables. En conséquence, les résultats des calculs de risques sont susceptibles d'être surestimés par rapport à la situation réelle.

2.10.5 Modèle utilisé pour le transfert de vapeurs à l'intérieur des bâtiments

Les paramètres avec une influence modérée à importante sont les suivants (selon le guide d'utilisation du modèle Johnson and Ettinger "*User's guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings, USEPA, 2004*"): les caractéristiques du sol, la différence de pression entre le sol et le bâtiment et le taux de ventilation. Les paramètres considérés dans les calculs sont jugés sécuritaires.

§ Les caractéristiques du sol

Les paramètres des sols retenus correspondent à des sables. Ceci constitue une approche sécuritaire compte tenu de la présence de fractions limoneuses à argileuses plus fines, mais elles permettent de rendre compte de la variabilité rencontrée sur le site, aux diverses profondeurs.

D'une manière générale, pour les paramètres liés aux propriétés des sols, les valeurs données issues de la classification des sols internationalement acceptée SCS (US Soil Conservation Soil) habituellement utilisées dans les études de risques ont été prises en compte : porosité totale, porosité à l'eau, porosité à l'air, perméabilité de vapeur.

§ Le gradient de pression

Le gradient de pression de 40 g/cm.s^2 considère que la différence de pression est due au vent et à la différence de température. Ce paramètre est considéré constant dans l'année et donc ne tient pas compte de périodes calmes, par exemple l'été quand les fenêtres peuvent être ouvertes, et de ce fait peut induire une surestimation des risques.

§ Taux de ventilation

Le taux de renouvellement d'air retenu dans le bâtiment est de $0,25 \text{ vol/h}$ pour les locaux à usage de bureau (assimilé à des logements), soit une ventilation naturelle du bâtiment, cette valeur pouvant être considérée comme sécuritaire, étant donné les systèmes mécaniques de ventilation existant dans les bâtiments à usage tertiaire, pouvant conduire à des taux supérieurs à $0,5 \text{ vol/h}$. Dans ce cas, les niveaux de risque seraient alors réduits à minima d'un facteur 2.

Les paramètres considérés dans cette évaluation des risques sanitaires sont donc raisonnablement majorant et sécuritaires.

§ Profondeur de la source gaz du sol

Dans une approche sécuritaire, il a été considéré que la source gaz était située directement sous les bâtiments à 0.1 m de profondeur sous la dalle. En réalité, les prélèvements de gaz du sol ont été réalisés à des profondeurs de l'ordre de 1.5 m de profondeur. La prise en compte de cette profondeur plus réaliste pour la localisation de la source gaz contribue à atténuer les QD et ERI.

De fait, il ressort que l'approche conduit à surévaluer modérément le niveau de risque calculé. (Ex. : Le QD pour l'exposition des travailleurs passe de 0.028 à 0.011 avec une profondeur de 1.5 m).

2.10.6 Toxicité des substances

La sélection des VTR a été réalisée en s'appuyant avec les dispositions de la circulaire DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence. Pour rappel, la sélection des VTR s'appuie en premier lieu sur les valeurs élaborées par l'ANSES. En l'absence de telles valeurs, par défaut, la sélection effectuée repose sur l'expertise nationale concernant le choix des valeurs pertinentes pour les établissements sensibles, document de l'INERIS de novembre 2018 " *Mise à jour des choix de VTR dans le cadre de diagnostics de sols dans les établissements accueillant des enfants et des adolescents, Choix des valeurs permettant la construction des seuils R1, R2 et R3*", document référencé - DRC-18-173500-10929A.

2.10.7 Additivité des risques

En première approche, pour les effets à seuil, les quotients de danger ont été additionnés sans prendre en compte les mécanismes d'action toxique et les organes cibles ni s'assurer qu'il s'agit des mêmes. Aussi, la démarche mise en œuvre est volontairement conservatrice.

2.11 Synthèse de l'analyse des risques résiduels

L'analyse des risques résiduels prédictive mise en œuvre en prenant en compte des hypothèses et des paramètres sécuritaires ou raisonnablement majorants montre que la qualité actuelle du sous-sol en place, conduit à des niveaux de risques acceptables pour un usage tertiaire des bâtiments de plain-pied, étant donné que les niveaux de risque calculés sont inférieurs aux seuils de référence (10^{-5} pour les effets sans seuil et 1 pour les effets à seuil).

D'autre part, les teneurs maximales modélisées dans l'air ambiant des locaux sont conformes aux valeurs de gestion disponibles.

En conséquence, l'état résiduel prévisionnel du sous-sol est jugé compatible avec les usages futurs et les aménagements projetés.

La validité de ces conclusions sera vérifiée à l'issue des travaux de réhabilitation prévus dans le plan de gestion, en intégrant les teneurs résiduelles en traceurs de pollution volatils dans l'air des sols effectivement mesurées sur les zones réhabilitées.

2.12 Restrictions d'usage et dispositions constructives

Ces conclusions ne sont valables qu'avec l'application des restrictions d'usages et dispositions constructives mentionnées ci-après :

- § Interdiction d'utilisation des eaux souterraines ;
- § Interdiction de réalisation de jardins potagers ou de vergers ;
- § Mise en place de revêtement de surface étanche (type enrobé, béton,...) ou d'un recouvrement d'une minima 30 cm de terre végétale sur les espaces verts extérieurs, avec vérification de sa qualité environnementale et de sa compatibilité avec l'usage des espaces extérieurs ;

Par ailleurs, en cas d'excavation ou d'affouillement, le risque éventuel présenté par le niveau de pollution résiduelle devra être pris en compte afin de définir de manière adéquate et adaptée les dispositions et précautions particulières vis-à-vis des travailleurs et de respecter la législation en vigueur pour la gestion des terres excavées.

3. Conclusion

Dans le cadre de l'acquisition du site Saint Louis Sucre (SLS) sis au 336 Rue de Lyon à Marseille 15e (13), BROWNFIELDS a fait réaliser un diagnostic de pollution du site en mars 2021, qui s'inscrit dans la démarche de cessation d'activités et dans la procédure de Tiers Demandeur, sur le périmètre concerné par la reconversion du site, excluant l'emprise de l'atelier de sucre liquide conservé par Saint Louis Sucre.

Ce diagnostic a servi de base à l'établissement d'un plan de gestion, définissant les mesures de gestion à mettre en œuvre pour traiter les sources de pollution identifiées et assurer la compatibilité du site avec l'usage futur projeté, à savoir tertiaire, comprenant des bureaux, du commerce de gros (entrepôts logistiques) et un éventuel centre de formation, sans création de logements sur site.

Aussi, préalablement à toute construction, BROWNFIELDS a fait réaliser une évaluation des risques sanitaires prédictive, intégrant l'état prévisionnel du site après mise en œuvre des mesures de gestion décrite dans le plan de gestion susmentionné, afin de s'assurer de la compatibilité sanitaire du sous-sol à l'échelle globale du site, avec les hypothèses d'aménagements envisagés.

En première approche, l'analyse des risques sanitaires a été menée sur la base de l'état actuel du site, en considérant le scénario le plus défavorable, à savoir la création de bâtiment de plain-pied à usage de bureaux. Cette étude conclut à la compatibilité du site avec ce scénario d'aménagement.

Cette analyse repose sur des hypothèses fortes et pénalisantes quant à la qualité de l'air des sols au droit des aménagements prévus. La compatibilité du site devra être contrôlée à l'issue des travaux de réhabilitation, par des prélèvements d'air du sol sur les zones réhabilitées.



**ANALYSE DES RISQUES RÉSIDUELS PRÉDICTIVE- SITE SAINT LOUIS SUCRE - MARSEILLE
(15E)**

22

Les conclusions de l'analyse des risques résiduels ne sont valables qu'avec l'application et le respect de restrictions d'usages et dispositions constructives qui complètent cette étude.

Responsables de la prestation

Benoît MARECHAL Superviseur BG Ingénieurs Conseils (Agence de Lyon) 13 rue des Émeraudes 69006 LYON Tel. 04 72 56 57 70 Mob. 06 81 59 83 39 benoit.marechal@bg-21.com	Xavier ESTRAT Chef de Projet BG Ingénieurs Conseils (Rattaché à l'agence de Lyon) 20 allée Turcat-Méry 13008 MARSEILLE Tel. 04 91 25 29 26 Mob. 06 75 44 28 49 xavier.estrat@bg-21.com
---	--

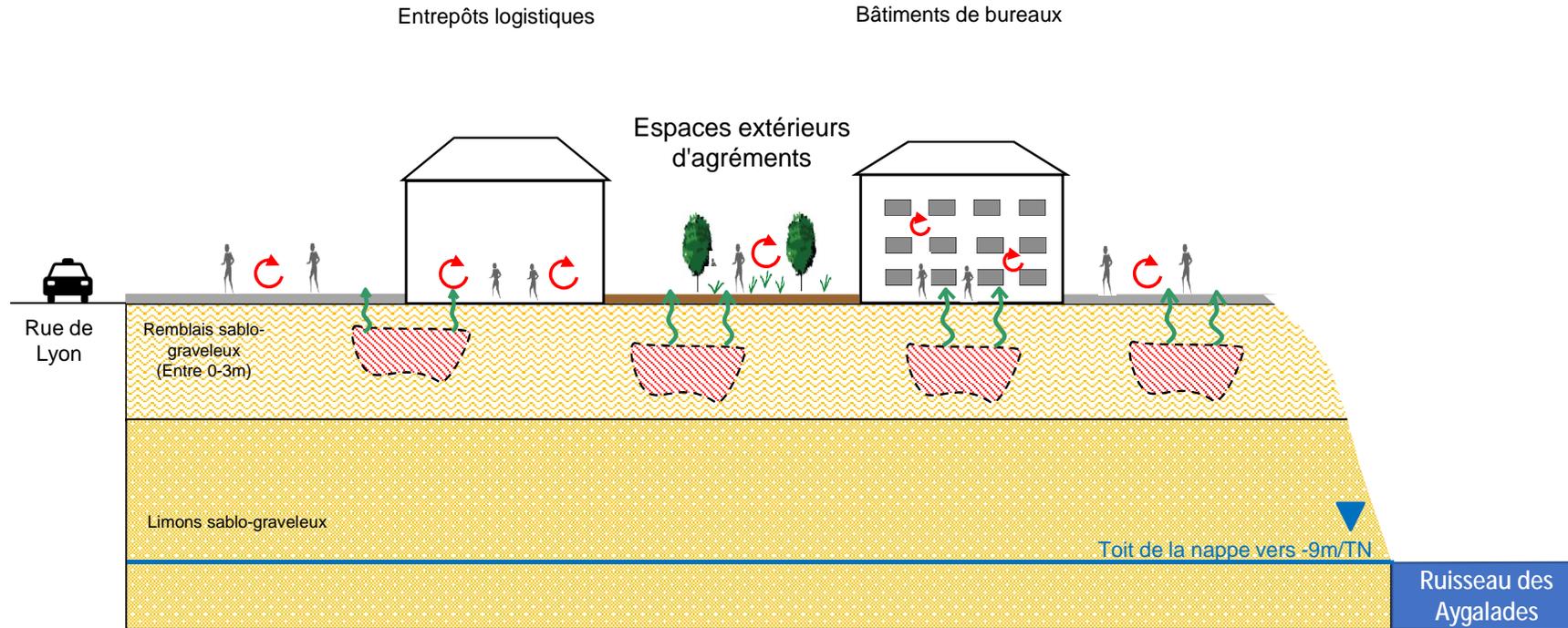
FIGURES

Figure 1 : schéma conceptuel du site

Figure 2 : localisation des points de prélèvement des gaz du sol

EST

OUEST



Remontée de vapeurs depuis les sols vers l'atmosphère

Inhalation de vapeur

Source résiduelle après réhabilitation

Revêtement de surface

Matériaux de surface rapportés

Projet No.	200101.12.02-RN004	BG	BG Ingénieurs Conseils SAS 13 rue des Émeraudes 69006 LYON	Schéma conceptuel d'exposition	Figure 1
Version	1				
Date	JUIN 2021	BROWNFIELDS Saint Louis Sucre - Marseille (15e)			
Dessinateur	EST				
VISA	MCA				



synthèse des investigations

- Sondages Apave (2008)
- Sondages BG (2021)
- ◆ Airs sous dalle BG (2021)
- ▲ piezairs BG (2021)
- ▲ Piézomètres

SITE

- emprise du site

IGN

- ▨ bâtiments (source IGN)
- parcelles cadastrales (source IGN)

Projet n°	200101.12	Auteur	Est		BG ingénieurs conseils	Titre : Plan de localisation des investigations réalisées en mars 2021 sur le site Saint Louis Sucre	Figure
Note n°	RN004	Date	04/06/2021				
Client	BROWNFIELDS	Version	1				
							2

ANNEXES

Annexe 1 : plan du projet d'aménagement

Annexe 2 : valeurs toxicologiques retenues

Annexe 3 : paramètres physico-chimiques retenus

Annexe 4 : équations utilisées pour les calculs de transfert et de risques

Annexe 5 : détail des calculs de risques

Annexe 1 :

Plan du projet d'aménagement

PLAN D'AMÉNAGEMENT : DESSERTES ET ACCÈS



EXISTANT : ACCÈS POIDS LOURDS
SERVITUDE SNEF

AXE PRINCIPAL

DÉPLACEMENT DE L'ACCÈS EXISTANT EN FACE DE LA
TRAVERSE MARDIROSSAN

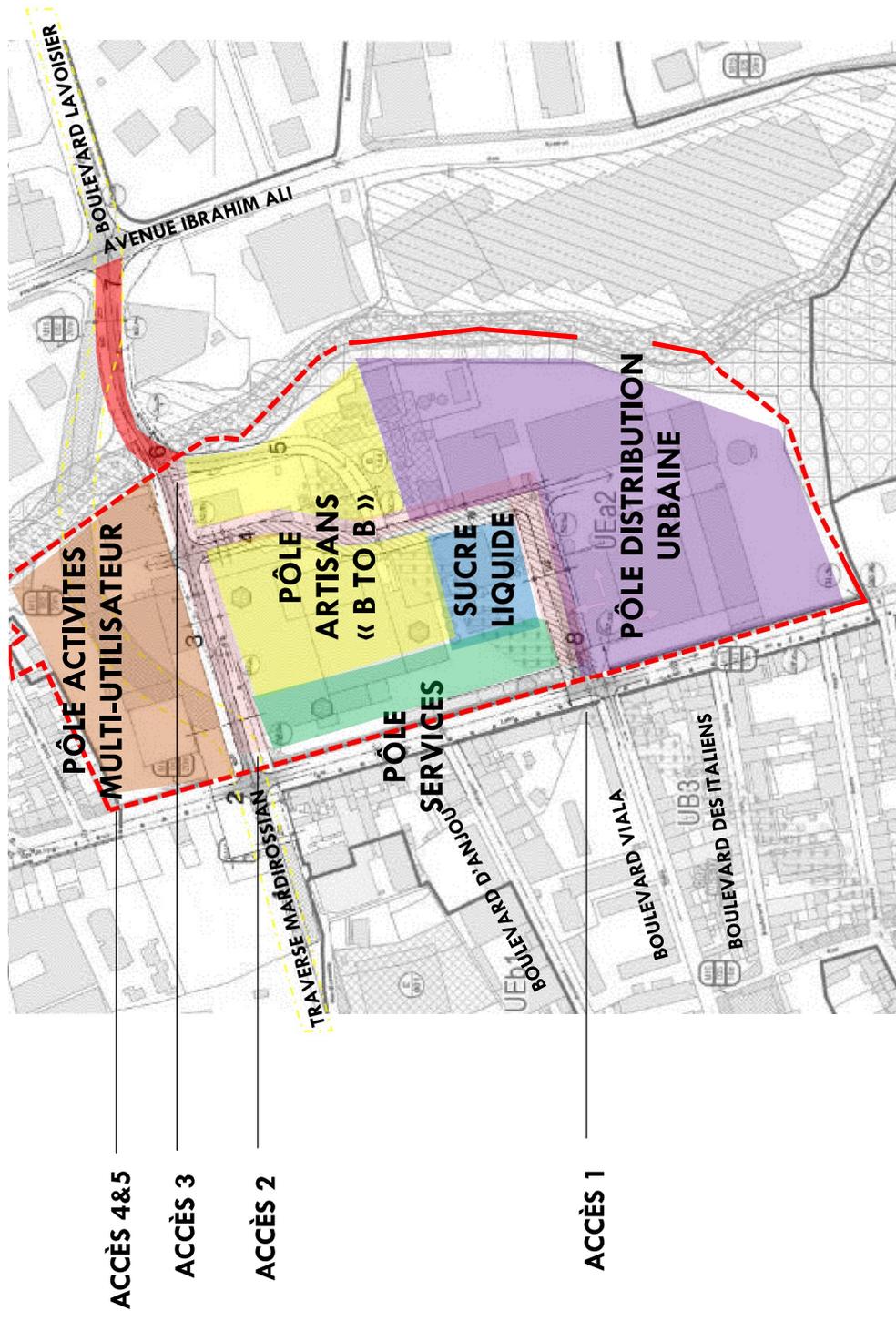
AXE SECONDAIRE

4 ACCES EXISTANTS RUE DE LYON
VÉHICULES LÉGERS

TRACÉ DU TRAMWAY T3
ÉLARGISSEMENT RUE DE LYON À CONFIRMER

UN SITE ACCESSIBLE DEPUIS LA RUE DE LYON ET LES ARNAVAUX, ET CRÉATION D'UNE DESSERTE INTERNE

PLAN D'AMÉNAGEMENT : PROGRAMME



PROPOSITION OUVERTE, SOUMISE AUX DEMANDES À VENIR ET AUX DISCUSSIONS AVEC LES COLLECTIVITÉS

Annexe 2 :

Valeurs toxicologiques retenues

Composés	N° CAS	Valeurs toxicologiques de référence						Commentaire
		Effets à seuil		Effets sans seuil		Effet critique		
		RIC µg/m ³	Source	Effet critique	ERU inh* (µg/m ³ ·1)		ERU inh Source	
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES								
Naphtalène	91-20-3	3.70E-02	ANSES (2013)	Lésions de l'épithélium respiratoire et olfactif	5.60E-06	ANSES (2013)	Neuroblastomes de l'épithélium olfactif	
Acénaphthène	208-96-8	-	-	-	1.10E-06	INERIS, 2003 FET	-	
Acénaphthène	83-32-9	-	-	-	1.10E-06	INERIS, 2003 FET	-	
Fluorène	86-73-7	-	-	-	1.10E-06	INERIS, 2003 FET	-	
Phénanthrène	85-01-8	-	-	-	1.10E-06	INERIS, 2003 FET	-	
Anthracène	120-12-7	-	-	-	1.10E-06	INERIS, 2003 FET	-	
Fluoranthène	206-44-0	-	-	-	1.10E-06	INERIS, 2003 FET	-	
Pyène	129-00-9	-	-	-	1.10E-06	INERIS, 2003 FET	-	
Benzo[<i>a</i>]anthracène	56-55-3	-	-	-	1.10E-04	INERIS, 2003 FET	-	
Chrysène	218-01-9	-	-	-	1.10E-05	INERIS, 2003 FET	-	
Benzo[<i>b</i>]fluoranthène	205-99-2	-	-	-	1.10E-04	INERIS, 2003 FET	-	
Benzo[<i>k</i>]fluoranthène	207-08-9	-	-	-	1.10E-04	INERIS, 2003 FET	-	
Benzo[<i>a</i>]pyrène	50-32-8	-	-	-	1.10E-03	OEHA, 2002	Tumeurs du tractus respiratoire	
Dibenz[<i>a,h</i>]anthracène	53-70-3	-	-	-	1.10E-03	INERIS, 2003 FET	-	
Benzo[<i>a</i>]héliopyrène	191-24-2	-	-	-	1.10E-05	INERIS, 2003 FET	-	
Indéno[1,2,3- <i>c,d</i>]pyrène	193-39-5	-	-	-	1.10E-04	INERIS, 2003 FET	-	
HYDROCARBURES TOTAUX		18.4	TPWG, 1996					
fraction C5-C6 aliphatiques		1.84E+01	TPHCWG (1997)	-	-	-	-	
fraction C6-C8 aliphatiques		1.84E+01	TPHCWG (1997)	-	-	-	-	
fraction C8-C10 aliphatiques		1.00E+00	TPHCWG (1997)	-	-	-	-	
fraction C10-C12 aliphatiques		1.00E+00	TPHCWG (1997)	-	-	-	-	
fraction C12-C16 aliphatiques		1.00E+00	TPHCWG (1997)	-	-	-	-	
fraction C5-C7 aromatiques		2.00E-03	Dicret 2011	-	-	-	-	
fraction C7-C8 aromatiques		2.00E-01	TPHCWG (1997)	-	-	-	-	
fraction C8-C10 aromatiques		2.00E-01	TPHCWG (1997)	-	-	-	-	
fraction C10-C12 aromatiques		2.00E-01	TPHCWG (1997)	-	-	-	-	
fraction C12-C16 aromatiques		2.00E-01	TPHCWG (1997)	-	-	-	-	
COMPOSES AROMATIQUES VOLATILS								
Benzène	71-43-2	9.75E-03	ATSDR (2007)	Diminution du taux de lymphocyte	2.60E-05	ANSES (2014)	Leucémies aiguës	
Toluène	108-88-3	1.90E+01	ANSES (2016)	Effets neurologiques (troubles de la vision des couleurs)	-	-	-	
Ethylbenzène	100-41-4	1.50E+00	ANSES (2016)	Rein	2.50E-06	OEHA (2007)	Adénome du tube rénal ou carcinome	
Xylènes totaux	1330-20-7	1.80E-01	Santé Canada, 2010	Système nerveux	-	-	-	
1,3,5-triméthylbenzène	108-67-8	6.00E-02	US EPA (2016)	Système nerveux	-	-	-	
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS								
1,2-dichloroéthane	107-06-2	4.00E-01	ATSDR (2001)	Hépatique	3.40E-06	ANSES (2009)	Augmentation des incidences des tumeurs des glandes mammaires	
1,1-dichloroéthène	75-35-4	2.00E-01	OMS (2003)	Hépatique	-	-	-	
cis-1,2-dichloroéthène	156-59-2	6.00E-02	RIVM, 2007	-	-	-	-	
trans-1,2-dichloroéthène	156-60-5	6.00E-02	RIVM, 2007	-	-	-	-	
1,2-dichloropropane	78-87-5	4.00E-03	US EPA (1991)	Hyperplasie de la muqueuse nasale	1.00E-05	OEHA (1999)	-	
tétrachloroéthylène	127-18-4	4.00E-01	ANSES (2019)	Neurologique	2.60E-07	ANSES (2017)	Adénomes et carcinomes hépatocellulaires	
trichlorométhane	56-23-5	1.10E-01	ANSES (2017)	Hépatocarcinomes	4.20E-05	OEHA, 2011	ERU cancérogène - sélection ANSES (octobre 2013) IANSES (octobre 2013) ne retient pas la VTR chronique IEPA 2012 IINERIS sélection la VTR de l'OMS (2012) VTR à seuil par IANSES	
1,1,1-trichloroéthane	71-55-6	1.00E+00	OEHA (2008)	Changement histopathologique du foie	-	-	-	
trichloroéthylène	79-01-6	3.20E+00	ANSES (2018)	Immunotoxicité, malformations	1.00E-06	ANSES (2018)	tumeurs testiculaires	
chloroforme	67-66-3	6.30E-02	ANSES (2008)	Prolifération cellulaire dans les tubes rénaux proximaux et au niveau hépatique	2.30E-05	US EPA, 2001	La VTR a été établie pour des effets cancérogènes	
chlorure de vinyle	75-01-4	5.60E-02	RIVM, 2001	Polymorphisme des cellules du foie	3.80E-06	ANSES (2012)	Angiosarcomes hépatiques et tumeurs hépatocellulaires	
bromoforme	75-25-2	-	-	-	1.00E-06	USEPA 2011	-	
hexachlorobutadiène	87-68-3	-	-	-	2.20E-05	USEPA, 1987	-	
dichlorométhane	75-09-2	4.00E-01	OEHA, 2000	-	1.00E-06	OEHA, 2009	-	
METALLS								
Mercure volatil	7439-97-6	3.00E-05	OEHA 2008	Système nerveux	-	-	-	
Dioxines - Furanes								
Dioxines (2,3,7,8- TCDD)	1746-01-6	4.00E-08	OEHA (2003)	Divers : augmentation de la mortalité, amaigrissement, effets système hépatique, pulmonaire et circulatoire	38	OEHA (2003)	cancer hépatique	
PCB								
PCBs (somme de 6)	1336-36-3	5.00E-04	RIVM (2001)	-	0.0001	USEPA	-	

RIC : Valeur toxicologique de référence par inhalation, effet à seuil
 ERU : Excès de Risque Unitaire, effet sans seuil
 - : non défini
 US-EPA Agence Américaine de Protection de l'Environnement
 ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry
 RIVM National Institute of Public Health and the Environment
 TPHCWG Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group
 OEHA Office of Environmental Health Hazard Assessment

à prendre en compte dans la discussion

Classement cancérogène US EPA

Classe A: Substance cancérogène pour l'homme. Preuves suffisantes chez l'homme

Classe B1/B2 : Probablement cancérogène pour l'homme. Preuves limitées chez l'homme/ Preuves non adéquates chez l'homme et preuves suffisantes chez l'animal

Classe C: Cancérogène possible pour l'homme. Preuves inadéquates chez l'homme et preuves limitées chez l'animal

Classe D: substance non classifiable quant à sa cancérogénicité pour l'homme Preuves insuffisantes chez l'homme et l'animal

Classement

Catégorie 1 :

Catégorie 2 :

Catégorie 3 :

Annexe 3 :

Paramètres physico-chimiques retenus

Paramètre	N° CAS	Masse molaire	Constante d'Henry	Coefficient de diffusion dans l'air	Coefficient de diffusion dans l'eau	Solubilité		Koc/Kd	
Abréviation		M	H	D ^{air}	D ^{eau}	S	Source	Koc	
Unité		g/mol	-	cm ² /s	cm ² /s	mg/l		-	source
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES									
Naphtalène	91-20-3	128.2	2.00E-02	0.059	7.50E-06	32	Ineris	1 250	Ineris
Acénaphylène	208-96-8	152.2	4.67E-03	0.044	7.50E-06	16.1	Risc	2 770	Risc
Acénaphthène	83-32-9	154.2	6.24E-03	0.0421	7.69E-06	3.7	Ineris	4 578	Ineris
Fluorène	86-73-7	166.2	3.91E-03	0.0363	7.88E-06	1.98	Ineris	7 707	Ineris
Phénanthrène	85-01-8	178.2	1.23E-03	0.0517	5.90E-06	1.2	Ineris	14 125	Ineris
Anthracène	120-12-7	178.2	2.14E-03	0.0324	7.74E-06	0.07	Ineris	25 700	Ineris
Fluoranthène	206-44-0	202.3	3.40E-04	0.0302	6.35E-06	0.27	Ineris	38 000	Ineris
Pyrène	129-00-0	202.3	4.51E-04	0.0272	7.24E-06	0.16	Ineris	38 000	Ineris
Benzo(a)anthracène	56-55-3	228	1.37E-04	5.10E-02	9.00E-06	0.0057	Ineris	176 900	Ineris
Chrysène	218-01-9	228.3	4.00E-05	2.48E-02	6.21E-06	0.06	Ineris	133 000	Ineris
Benzo(b)fluoranthène	205-99-2	252.3	4.55E-03	2.26E-02	5.56E-06	0.001	Ineris	1 230 000	risc
Benzo(k)fluoranthène	207-08-9	252.3	1.70E-05	2.26E-02	5.56E-06	0.0008	Ineris	550 000	Ineris
Benzo(a)pyrène	50-32-8	252.3	1.64E-05	4.30E-02	9.00E-06	0.0038	Ineris	5 000 000	Ineris
Dibenzo(ah)anthracène	53-70-3	278.4	4.66E-07	2.02E-02	5.18E-06	0.0005	Ineris	1 400 000	risc
Benzo(ghi)peryène	191-24-2	276.3	1.10E-05	4.90E-02	5.56E-06	0.00026	Ineris	1 580 000	Ineris
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	193-39-5	276.3	1.23E-05	1.90E-02	5.66E-06	0.0008	Ineris	1 600 000	Ineris
HYDROCARBURES TOTAUX									
fraction C5-C6 aliphatiques	0	81	3.40E+01	1.00E-01	1.00E-05	36	Risc	794	Risc
fraction C6-C8 aliphatiques	0	100	5.10E+01	1.00E-01	1.00E-05	5.4	Risc	3 980	Risc
fraction C8-C10 aliphatiques	0	130.0	8.20E+01	1.00E-01	1.00E-05	0.43	Risc	31 600	Risc
fraction C10-C12 aliphatiques	0	160	1.30E+02	1.00E-01	1.00E-05	0.034	Risc	251 100	Risc
fraction C12-C16 aliphatiques	0	200	5.40E+02	1.00E-01	1.00E-05	0.00076	Risc	5 011 000	Risc
fraction C5-C7 aromatiques	0	78	2.30E-01	1.00E-01	1.00E-05	1800	Risc	79	Risc
fraction C7-C8 aromatiques	0	92	2.70E-01	1.00E-01	1.00E-05	520	Risc	251	Risc
fraction C8-C10 aromatiques	0	120.0	4.90E-01	1.00E-01	1.00E-05	65	Risc	1 580	Risc
fraction C10-C12 aromatiques	0	130.0	1.40E-01	1.00E-01	1.00E-05	25	Risc	2 510	Risc
fraction C12-C16 aromatiques	0	150.0	5.40E-02	1.00E-01	1.00E-05	5.8	Risc	5 010	Risc
COMPOSES AROMATIQUES VOLATILS									
Benzène	71-43-2	78	2.28E-01	8.80E-02	9.80E-06	1800	Ineris	60	Ineris
Toluène	108-88-3	92.1	2.72E-01	8.70E-02	8.60E-06	515	Ineris	100	Ineris
Ethylbenzène	100-41-4	106.2	3.23E-01	7.50E-02	7.80E-06	169	Risc	242	Ineris
Xylènes totaux	1330-20-7	106.2	2.93E-01	8.50E-02	9.90E-06	169	Ineris	236	Ineris
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS									
1,2-dichloroéthane	107-06-2	99	4.80E-02	1.04E-01	9.90E-06	8520	Risc	17	Risc
1,1-dichloroéthène	75-35-4	96.9	1.07E+00	9.00E-02	1.04E-05	2250	Risc	59	Risc
cis-1,2-dichloroéthène	156-59-2	96.93	1.67E-01	7.36E-02	1.13E-05	3500	Risc	36	Risc
trans 1,2-dichloroéthylène	156-60-5	96.9	3.85E-01	7.07E-02	1.19E-05	6300	Risc	53	Risc
1,2-dichloropropane	78-87-5	112.99	1.17E-01	7.82E-02	8.73E-06	2800	Ineris	68	Ineris
tétrachloroéthylène	127-18-4	165.8	7.54E-01	7.20E-02	8.20E-06	200	Risc	247	Ineris
tétrachlorométhane	56-23-5	153.8	1.25E+00	7.80E-02	8.80E-06	793	Risc	174	Risc
1,1,1-trichloroéthane	71-55-6	133.4	7.05E-01	7.80E-02	8.80E-06	1330	Risc	110	Risc
trichloroéthylène	79-01-6	131.4	4.22E-01	7.90E-02	9.10E-06	1070	Ineris	111	Ineris
chloroforme	67-66-3	119.4	1.50E-01	1.04E-01	1.00E-05	7920	Risc	40	Risc
chlorure de vinyle	75-01-4	62.5	1.11E+00	1.06E-01	1.23E-06	2760	Risc	19	Risc
bromoforme	75-25-2	252.73	2.19E-02	1.49E-02	1.03E-05	3100	USEPA (1996)	32	INERIS
hexachlorobutadiène	87-68-3	260.8	3.34E-01	5.61E-02	6.16E-06	3.23	USEPA (1996)	53 700	USEPA (1996)
METAUX									
Mercure volatil	7439-97-6	200.6	4.67E-01	3.07E-02	6.30E-06	0.06	Risc	13.22	Risc
Dioxines - Furanes									
Dioxines (2,3,7,8- TCDD)	1746-01-6	322	0.001	1.30E-02	5.80E-06	2.65E-05	Risc	4.17E+05	Risc
PCB									
PCBs (somme de 6)	1336-36-3	292	0.00107	0.0175	8.00E-06	7.00E-02	Risc	530000	Risc

Annexe 4 :

Équations utilisées pour les calculs de transfert et de risques

1. Calculs des doses journalières d'exposition

Calculs des doses journalières relatives à l'inhalation de vapeurs

Evaluation de la dose journalière d'exposition (DJE) – à partir de la concentration d'exposition et de plusieurs paramètres d'exposition :

$$DJE = C_{POE} \cdot \frac{FE \cdot DE}{T \cdot 365 \text{ j/an}} \cdot \frac{h}{24h}$$

DJE - Dose journalière d'exposition par inhalation de vapeurs (mg/m³)

C_{POE} - Concentration au point d'exposition (mg/m³)

FE – Fréquence d'exposition (jours/an)

h – nombre d'heure d'exposition par jour (heure)

DE – Durée d'exposition (an)

T – Temps moyen considéré pour l'apparition d'un effet néfaste sur la santé : durée d'exposition pour les effets non cancérigènes (T = DE) et durée de la vie de l'individu pour les effets cancérigènes (T = 70 ans)

2. Calculs des quotients de danger et excès de risque Individuel

Les risques potentiels encourus par les récepteurs identifiés seront calculés à partir des concentrations d'exposition et des données toxicologiques de chaque substance retenue pour l'évaluation. Les risques seront calculés pour deux types d'effets sur la santé:

- Les effets à seuils (pour la plus part des effets toxiques, risques toxiques);
- Les effets sans seuil (risques cancérigènes).
- Effets à seuil – quotient de danger QD

$$QD = \sum (DJE_t / DJT)$$

DJE_t – Dose journalière d'exposition pour les effets avec seuil,

DJT – Dose journalière tolérable, spécifique au composé et à la voie d'exposition, valeurs fournies par les bases de données.

- Effets sans seuil – Excès de Risque Individuel (ERI)

$$ERI = \sum (DJE_c \cdot ERU)$$

DJT_c – Dose journalière d'exposition pour les effets sans seuil,

ERU – Excès de risque unitaire, spécifique au composé et à la voie d'exposition, valeurs fournies par les bases de données.

3. Calcul des concentrations d'exposition

Afin de calculer la dose journalière d'exposition liée à l'inhalation de vapeurs, il est nécessaire de calculer une concentration au point d'exposition. Le calcul consiste à déterminer, à partir de la concentration présente dans le sol, la concentration présente dans l'air ambiant et ensuite la concentration à laquelle est exposée les travailleurs ou les usagers futurs du site.

3.1 Transport de vapeurs du sol vers l'air ambiant

$$C_{POE} \text{ (extérieur)} = C_{\text{air sol}} * FA$$

La concentration de vapeur dans la source, dans le gaz du sol, est la suivante:

$$C_{\text{air sol}} = \frac{c_s H \rho_s}{[\theta_{ws} + k_s \rho_s + H \theta_{as}]}$$

$C_{\text{air sol}}$ - concentrations de vapeurs dans l'air du sol, dans la source (mg /m³)

C_s - concentrations dans les sols (mg /kg)

H – constante d'Henry

θ_{ws} – teneur en eau dans les sols (cm³ eau/cm³ de sol)

k_s –coefficient d'absorption sol- eau (g-eau/g-sol)

ρ_s –densité du sol (g/cm³)

θ_{as} – teneur en air dans les sols (cm³ d'ai/cm³ de sol)

Afin de déterminer la concentration au point d'exposition, la concentration de vapeur dans la source est multipliée par un facteur d'atténuation :

$$FA = \frac{1}{1 + \frac{v_{\text{air}} \cdot h_{\text{air}} \cdot h_{\text{sol}}}{D_{\text{sol}}^{\text{eff}} \cdot L}}$$

FA – facteur d'atténuation

v_{air} – vitesse du vent (m/s)

h_{air} – hauteur de la zone de mélange de l'air

h_{sol} – profondeur de la source de pollution dans le sol

L – longueur de la zone source parallèle au vent

$D_{\text{sol}}^{\text{eff}}$ – coefficient de diffusion dans la zone non saturée (m²/s)

$$D_{\text{sol}}^{\text{eff}} = D^{\text{air}} \cdot \frac{f_{as}^{3,33}}{\phi^2} + \frac{D^{\text{eau}}}{H} \cdot \frac{f_{ws}^{3,33}}{\phi^2}$$

D^{air} - coefficient de diffusion dans l'air (m²/s)

D^{eau} - coefficient de diffusion dans l'eau (m²/s)

f_{as} - teneur en air dans la zone non saturée

f_{ws} - teneur en eau dans la zone non saturée

ϕ - porosité du sol

H – constante d'Henry

4. Calculs de la concentration au point d'exposition dans l'air ambiant intérieur, Modèle Johnson et Ettinger, bâtiment de plain-pied ou avec un sous-sol

Le facteur d'atténuation du sol vers l'air ambiant intérieur est donné par la formule suivante (modèle Johnson et Ettinger) :

$$FA = \frac{\left(\frac{D_s^{eff} \cdot A}{Q_b \cdot L_s} \right) \cdot \exp\left(\frac{Q_s \cdot L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \cdot A_{crack}} \right)}{\exp\left(\frac{Q_s \cdot L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \cdot A_{crack}} \right) + \left(\frac{D_s^{eff} \cdot A}{Q_b \cdot L_s} \right) + \left(\frac{D_s^{eff} \cdot A}{Q_s \cdot L_s} \right) \cdot \left[\exp\left(\frac{Q_s \cdot L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \cdot A_{crack}} \right) - 1 \right]} \quad (2)$$

A – Surface du bâtiment (m²)

A_{crack} – Surface des fissures totales (m²)

D_{crack}^{eff} – Coefficient de diffusion effectif à travers les fissures (m²/s)

D_s^{eff} – Coefficient de diffusion effectif du sol (m²/s)

Q_b – Taux de ventilation dans le bâtiment (m³/s)

Q_s – Flux du gaz du sol dans le bâtiment (m³/s)

L_s – Profondeur entre le bâtiment et la source (m)

L_{crack} – Epaisseur des fondations (m)

$$D_s^{eff} = D^{air} \cdot \frac{\phi_{as}^{3.33}}{\phi^2} + \frac{D^{eau}}{H} \cdot \frac{\phi_{ws}^{3.33}}{\phi^2} \quad (3)$$

D^{air} – Coefficient de diffusion dans l'air (m²/s)

D^{eau} – Coefficient de diffusion dans l'eau (m²/s)

φ_{as} – Teneur en air dans la zone non saturée

φ_{ws} – Teneur en eau dans la zone non saturée

φ – Porosité du sol

H – Constante d'Henry

$$D_{crack}^{eff} = D^{air} \cdot \frac{\phi_{acrack}^{3.33}}{\phi^2} + \frac{D^{eau}}{H} \cdot \frac{\phi_{wcrack}^{3.33}}{\phi^2} \quad (4)$$

D^{air} – Coefficient de diffusion dans l'air (m²/s)

D^{eau} – Coefficient de diffusion dans l'eau (m²/s)

φ_{acrack} – Teneur en air dans la zone non saturée

φ_{wcrack} – Teneur en eau dans la zone non saturée

ϕ – Porosité du sol

$$Q_b = l_b \cdot W_b \cdot L_b \cdot ER \quad (5)$$

$$Q_s = \frac{2 \cdot \pi \cdot \Delta P \cdot k_v \cdot X_{crack}}{\mu \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot Z_{crack}}{r_{crack}}\right)} \quad (6)$$

ΔP – Gradient de pression entre la surface du sol et le bâtiment (g/cm-s²)

k_v – Perméabilité du sol au flux de vapeurs (m²)

ER – Taux de renouvellement de l'air (s⁻¹)

l_b, W_b, L_b – Longueur, largeur et hauteur du bâtiment (m)

X_{crack} – Périmètre à l'intérieur du bâtiment (m)

μ – Viscosité de l'air (g/cm-s)

Z_{crack} – Profondeur de fissures au niveau des fondations (m)

r_{crack} – Rayon équivalent des fissures (m)

$$R_{crack} = \eta (A / X_{crack}) \quad (7)$$

η - Fraction des fissures

Annexe 5 :

Détail des calculs de risques

