

Plan de Gestion



*ZAC Berliet – rue Marius Berliet
Lyon (69)*

28 novembre 2013

www.erm.com



Delivering sustainable solutions in a more competitive world



RAPPORT

BOUYGUES IMMOBILIER

Plan de Gestion

*ZAC Berliet – rue Marius Berliet
Lyon (69)*

Numéro de rapport : R2653-V4
Numéro de projet : GMS 0219060

Ce rapport a été préparé par ERM France S.A. avec toute la compétence, le soin et la diligence raisonnables selon les termes du Contrat avec le client, qui incorpore les Conditions Générales de Fourniture de Services et prend en compte les ressources allouées à ce travail par accord avec le Client.

Nous déclinons toute responsabilité envers le Client et tout tiers pour tout ce qui ne fait pas partie du domaine ci-dessus.

Ce rapport est confidentiel et destiné au Client aussi nous n'acceptons aucune responsabilité de quelque nature que ce soit envers des tiers auxquels ce rapport aurait été communiqué en tout ou en partie. Ces tiers utiliseraient ce rapport à leurs propres risques.

Pour le compte d'ERM France
Représentant légal : Julien Famy

Approuvé par : Benoist Delhalle

Position : Associé

Date : 28 novembre 2013

Environmental Resources Management - ERM

Bureau d'étude à caractère privé

Siège social France : 13, rue Faidherbe 75011 Paris – Tél : 01 53 24 10 30 – Fax : 01 53 24 10 40

Email : ermfrance@erm.com – Internet : www.erm.com

SIRET : 393 898 325 00062 – NAF : 7022 Z

Numéro d'identification au registre du commerce : 393 898 325 RCS PARIS



TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	1
1.1	CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	1
1.2	LIMITATIONS SUR LA ZONE DU FUTUR GROUPE SCOLAIRE	2
2	PRESENTATION DU SITE ET DE SON CONTEXTE	3
2.1	LOCALISATION DU SITE	3
2.2	PRESENTATION DU SITE DANS SA CONFIGURATION ACTUELLE	4
2.3	PROJET IMMOBILIER	4
2.4	HISTORIQUE DU SITE	5
2.5	SITUATION ADMINISTRATIVE DU SITE	7
2.6	GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE	7
2.7	SYNTHESE DES ETUDES ENVIRONNEMENTALES REALISEES SUR LE SITE	8
3	PLAN DE GESTION	16
3.1	METHODOLOGIE	16
3.2	HYPOTHESES RETENUES	16
3.3	CARACTERISATION DES ZONES SOURCE A TRAITER	17
3.4	CONTRAINTES A CONSIDERER POUR LA REHABILITATION	17
3.5	SOLUTIONS ENVISAGEABLES POUR LE TRAITEMENT DES SOLS	18
3.6	SOLUTIONS ENVISAGEABLES POUR LA GESTION DES RISQUES SANITAIRES RESIDUELS	30
4	SCHEMA CONCEPTUEL APRES REHABILITATION	37
4.1	SOURCES DE POLLUTION	37
4.2	IDENTIFICATION DES VOIES DE TRANSFERT	37
4.3	IDENTIFICATION DES CIBLES ET VOIES D'EXPOSITION ASSOCIEES	38
4.4	IDENTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES RESIDUELS POTENTIELS	39

5	<i>ANALYSE PREDICTIVE DES RISQUES RESIDUELS</i>	40
6	<i>MESURES SPECIFIQUES DE CHANTIER</i>	42
6.1	<i>CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE DE SOLS APRES DEMOLITION</i>	42
6.2	<i>DECOUVERTE D'UNE POLLUTION INOPINEE</i>	42
6.3	<i>RECEPTION DES TRAVAUX</i>	43
7	<i>CONCLUSION</i>	45

FIGURES

- Figure 1 : Localisation géographique du site
- Figure 2 : Plan du site dans sa configuration actuelle
- Figure 3 : Vue générale des anomalies dans les sols
- Figure 4 : Schéma conceptuel après réhabilitation du site
- Figure 5 : Cartographie des concentrations maximales mesurées dans les gaz du sol

ANNEXE

- Annexe 1 : Analyse prédictive des Risques Résiduels

La société Bouygues Immobilier participe à un programme de promotion immobilière (4 îlots d'immeubles de logements collectifs et commerces, dont un abritant également une crèche, la majorité des immeubles étant à construire sur deux niveaux de sous-sol), sur un terrain localisé entre les rues Marius Berliet, des Hérideaux, Audibert-et-Lavirotte et Saint Agnan, dans le huitième arrondissement de Lyon (69).

Le projet de l'îlot 1 sera porté par la société Bouygues immobilier. Les autres projets le seront par les sociétés Noaho et SLC.

Ce terrain abrite actuellement plusieurs sociétés d'activités industrielle ou commerciale, des entrepôts et bâtiments inoccupés, ainsi qu'une zone de parkings. Sa superficie totale est d'environ 27 700 m², d'après les informations fournies par Bouygues Immobilier.

Le site a autrefois été exploité par la société BERLIET, pour la fabrication d'automobiles, puis récemment par diverses entreprises, pour des activités de vente et réparation d'automobiles, de location d'automobiles, de mécanique automobile, de carrosserie, d'électricité, de commerce de matériaux plastique, de stockage d'archives ainsi qu'un bowling (certaines de ces activités étant encore en cours à la rédaction du présent rapport).

Au regard de son historique industriel, le site a déjà fait l'objet de plusieurs études environnementales, entre 2011 et 2013.

Ces études ayant mis en évidence la présence d'impacts en différents composés dans les sols et les gaz du sol liés aux activités exercées sur le site, la société Bouygues Immobilier a mandaté ERM pour la réalisation d'un Plan de Gestion (prestation PG) pour les 4 îlots de logements et commerces, comprenant les prestations suivantes réalisées conformément à la norme AFNOR NF X 31-620 « qualité du sol – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués » de juin 2011 :

- analyse des enjeux sanitaires (prestation A320) ;
- identification des différentes options de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts / avantages (prestation A330).

Le présent rapport présente les résultats de ces prestations.

Le projet de réaménagement de la zone constituant l'ancien site BERLIET comprend également la réalisation d'un groupe scolaire (coin sud-est du site BERLIET, voir plan présenté en page 5 ci-après). Les mesures de gestion concernant ce groupe scolaire doivent faire l'objet d'un Plan de Gestion spécifique élaboré par le Grand Lyon.

Le Grand Lyon a demandé à la société Bouygues Immobilier de lui restituer le tènement terrassé jusqu'à 1,3 m de profondeur par rapport au niveau actuel du sol. Par conséquent, les mesures spécifiques de gestion de ces déblais ont été incluses au présent Plan de Gestion, à l'exclusion de toute autre mesure de gestion visant à traiter les sources de contamination résiduelle ou rendre le site compatible avec son usage futur (ces points étant traités dans le plan de gestion du Grand Lyon). Par conséquent aucun calcul de risque sanitaire n'a porté sur ce futur aménagement.

Le site, au regard de son historique industriel et du projet de réaménagement de celui-ci, a fait l'objet des études environnementales suivantes :

- une *étude historique*, réalisée en 2010 par la société BURGEAP (cf. RLy.3824 du 30/12/2010) ;
- un *diagnostic de pollution des sols*, réalisé en 2011 par la société BURGEAP (cf. rapport RSSPCE0101a du 03/03/2011) ;
- un *diagnostic complémentaire de la qualité environnementale du site*, réalisé en 2011 par la société BURGEAP (cf. rapport RSSPCE00598 du 02/09/2011) ;
- un *second diagnostic complémentaire de la qualité environnementale du site*, réalisé en 2012 par la société BURGEAP (cf. rapport RSSPCE01491 du 27/04/2012) ;
- une *Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) dans le cadre de l'aménagement d'un groupe scolaire*, réalisée en 2012 par la société BURGEAP (cf. rapport RSSPCE01598-01 du 09/05/2012) ;
- un *diagnostic complémentaire et proposition de plan de gestion du futur groupe scolaire*, réalisés en 2013 par la société BURGEAP (cf. rapport RSSPCE02921-01 du 05/07/2013) ;
- un *diagnostic complémentaire*, réalisé en 2013 par ERM (cf. rapport R2654, novembre 2013).

Les éléments descriptifs du site, de son historique, ainsi que les données environnementales présentées aux paragraphes suivants sont issus de ces documents.

2.1

LOCALISATION DU SITE

Le site est localisé entre les rues Marius Berliet, des Hérideaux, Audibert-et-Lavirotte et Saint Agnan, dans le huitième arrondissement de Lyon (69).

Les abords immédiats du site sont constitués par :

- au nord : la rue Marius Berliet, séparant le site de logements collectifs ;
- à l'ouest, la rue Audibert-et-Lavirotte, séparant le site de commerces de proximité et de logements collectifs ;
- au sud, la rue des Hérideaux, séparant le site de logements collectifs ;
- à l'est, la rue Saint-Agnan, puis des logements collectifs.

La *Figure 1* présente la localisation géographique du site.

2.2

PRESENTATION DU SITE DANS SA CONFIGURATION ACTUELLE

Le site, d'une superficie d'environ 27 700 m², se compose des parcelles cadastrales 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 77, 78, 79, 80, 82 et 83, de la section BY. Il présente une topographie en légère pente vers le sud.

Au nord-ouest du site, la parcelle 64 comporte un bâtiment ayant abrité une concession automobile comportant ateliers, showroom et bureaux, ainsi qu'une société de location d'automobiles. Ce bâtiment n'est aujourd'hui plus exploité pour ces activités. Seule une salle de sport subsiste en rez-de-chaussée, au niveau de son extrémité nord-ouest.

Au nord du site, la parcelle 66 comporte un bâtiment recouvrant la totalité de son emprise, accueillant actuellement un bowling.

L'extrémité est du site (parcelle 68) correspond à une halle abritant des archives de la commune de Lyon.

Au sud, les parcelles 73, 77 et 78, elles aussi entièrement bâties, abritent actuellement un atelier de mécanique automobile (partie sud-ouest) et une entreprise d'électricité (partie nord-ouest). La partie est, aujourd'hui inoccupée, a abrité récemment une carrosserie automobile.

Le bâtiment occupant les parcelles 83 et 69 (sud du site) comportent un magasin de vente de matériaux de construction en matière plastique (partie sud) et des bureaux et un hangar actuellement inoccupés (partie nord).

Les parcelles 65, 67, 70, 72, 74, 79, 80 et 82 (ouest, sud-ouest et centre du site) correspondent quant à elles à des voiries et parkings.

La *Figure 2* présente le site dans sa configuration actuelle.

2.3

PROJET IMMOBILIER

Le projet immobilier envisagé à ce jour sur le site se compose de 7 bâtiments / groupements de bâtiments de logements et commerces (dont un sans niveau de sous-sol, bâtiment 2M, et le restant sur 2 niveaux de sous-sol) répartis sur 4 îlots. Le bâtiment de l'îlot 4 (extrémité sud du site) abritera également une crèche.

Ce projet sera complété par la réalisation d'une voie nouvelle nord-sud, une voie nouvelle est-ouest ainsi que des espaces verts.

Le plan ci-après présente la configuration envisagée pour ce projet.



Plan de masse du projet immobilier envisagé

Les îlots 1 à 4 font l'objet, dans le cadre du réaménagement du site, d'un même Plan de Gestion.

Le groupe scolaire fera quant à lui l'objet d'un Plan de Gestion spécifique porté par le Grand Lyon.

2.4

HISTORIQUE DU SITE

L'historique du site, effectué en 2010 par la société BURGEAP, a été réalisé sur la base des sources d'information suivantes :

- base de données BASOL (sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif) ;

- base de données Basias (inventaire historique de sites industriels et activités de service) ;
- société FILYING, propriétaire partiel du site ;
- service des Installations Classées de la Préfecture du Rhône ;
- archives départementales du Rhône.

Le site est enregistré par Basias (réf. RHA6900530) pour des activités de mécanique industrielle (1929) puis de mécanique automobile (1965), pour l'entreprise S.A. des AUTOMOBILES BERLIET.

La fiche de recensement Basias précise que les produits utilisés ou générés par l'activité du site étaient des hydrocarbures de type carburant : fuel, essence, acétylène.... Il est également mentionné la présence de résidus provenant de la décomposition du carbure de Calcium, largement étendus d'eau et décantés en bassin.

Les données issues de la consultation des archives départementales du Rhône réfèrent à un avis de classement / dossier de régularisation de « *l'usine B des établissements BERLIET déjà autorisée par l'arrêté préfectoral du 2 mai 1929 pour l'activité de station d'essais moteurs à combustion (rubrique n°299-2b - 2ème classe)* » (document non daté).

Ce dossier a permis de recenser et localiser les installations et activités suivantes :

- station d'essais moteurs à combustion ;
- moulage moteurs et groupes (comportant emploi et dépôt de liquides inflammables – dont notamment deux réservoirs enterrés de 2m³ d'essence et 40 m³ de gasoil -, et application de peinture par pulvérisation) ;
- traitement thermique (comportant des activités de trempé, revenu, recuit des métaux, charge d'accumulateurs, emploi d'alcool et de matières abrasives ainsi qu'un dépôt de charbon) ;
- dépôts enterrés de liquides inflammables (50 m³ de fioul lourd et 50 m³ de fioul domestique), dépôts d'acétylène et de propane (activités « Cour école technique » et « cour B ») ;
- dépôt de chaux, plâtre, ciment ;
- atelier d'Etudes Véhicules spéciaux (comportant notamment un banc d'essais moteurs et un atelier de charge d'accumulateurs) ;
- mécano-soudure (chaudronnerie et tôlerie) ;
- montage d'organes (comportant application de peinture, rivetage, atelier de charge d'accumulateurs, emploi et dépôt de liquides

inflammables : rinçant orange 200L, diluant synthétique 200L, peinture 800kg, White-spirit 200L) ;

- d'autres ateliers de montage, de charge d'accumulateurs, d'emploi de liquides inflammables, une étuve de séchage de peinture, un dépôt d'acétylène dissous et une chaufferie (énergie non précisée).

Plus récemment, la société de location d'automobiles implantée sur la partie nord du site disposait d'une station-service interne composée de 4 cuves enterrées simple enveloppe d'un volume cumulé de 15 m³, pour le stockage des carburants, ainsi qu'un poste de distribution.

2.5 SITUATION ADMINISTRATIVE DU SITE

La consultation de la Préfecture du Rhône effectuée en 2010 par la société BURGEAP dans la cadre de son étude historique a permis de mettre en évidence que le la société AUTOMOBILES BERLIET avait fait l'objet d'un récépissé de déclaration en 1965 pour un dépôt de méthanol sur le site.

Le courrier de réponse de la Préfecture précisant cette situation ne fait pas mention des activités ayant fait l'objet d'un arrêté préfectoral en 1929. Selon la Préfecture du Rhône, aucune cessation d'activité n'a été enregistrée à ce jour.

2.6 GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

D'après la carte géologique de Lyon (BRGM, n°698), le secteur d'étude est situé sur la plaine de l'Est lyonnais. Il s'agit d'une plaine entièrement couverte par les formations glaciaires, fluvio-glaciaires et fluviales ne laissant guère deviner les molasses miocènes sous-jacentes remplissant le fossé d'effondrement rhodanien.

Liées à chacun des stades de retrait du glacier würmien, d'importantes nappes alluviales fluvioglaciaires remplissent toutes les anciennes vallées ou dépressions de la région. Des terrasses accompagnent également les stades de retrait du glacier : elles sont le prolongement des nappes fluvioglaciaires avec lesquelles la limite est parfois arbitraire.

La formation affleurant au droit du site correspond à la Terrasse de Guillotière des alluvions fluviales wurmiennes, notée F_{X5V} sur la carte géologique de Lyon (carte BRGM n°698 au 1/50 000).

Les investigations réalisées sur le site ont montré que ces alluvions étaient constituées de sables parfois limoneux, comportant de nombreux graviers et galets. Cette formation est, au droit du site, surmonté d'un horizon de

remblais globalement sablo-graveleux, recoupé jusqu'à des profondeurs comprises entre 1 et 3 m (profondeur moyenne : 1,5 m).

Les principaux aquifères présents sur la zone de l'étude sont les nappes des couloirs de l'Est lyonnais. Chacun des couloirs est parcouru par une nappe aquifère profonde, peu abondante et parfois cloisonnée en amont, homogène et abondante à l'aval où elle rejoint la nappe rhodanienne (secteur de l'étude). D'après la carte géologique de Lyon, le sens d'écoulement supposé des eaux souterraines au droit du site est orienté vers le Sud-ouest. Le niveau statique de ces eaux souterraines est établi à environ 10 m de profondeur au droit du site.

2.7

SYNTHESE DES ETUDES ENVIRONNEMENTALES REALISEES SUR LE SITE

Entre 2011 et 2013, la société BURGEAP a mené 4 campagnes d'investigations des sols, des gaz du sol et des eaux souterraines au droit du site. Celles-ci ont permis la réalisation, sur l'ensemble des zones alors accessibles du site, de :

- 56 sondages (S1 à S10, S11a, S11b, S12 à S26, S28, S29, S31 à S34, S37 à S53, S54 à S59) pour prélèvements et analyses de sols, à des profondeurs comprises entre 1 et 6 m ;
- 11 piézairs¹ (PZA1 à PZA7) de 3 m de profondeur, pour prélèvements et analyses de gaz du sol ;
- 3 piézomètres de 12,5 m (S18/PZ18) et 13,8 m de profondeur (PZ1 et PZ2), pour prélèvements et analyses d'eau souterraine.

L'ensemble de ces analyses a été effectué par le laboratoire EUROFINS.

En 2013, un diagnostic environnemental complémentaire a été réalisé par ERM sur les milieux sols, gaz du sol et eau souterraine. Ce diagnostic a consisté en la réalisation de :

- 22 sondages (S60 à S81) pour prélèvements et analyses de sols, à des profondeurs comprises entre 6 et 7 m ;
- 6 nouveaux piézairs (Pair1/S66, Pair2/S73, Pair3/S70, Pair4/S69, Pair5/S63 et Pair6/S74) de 6 m de profondeur, pour prélèvements et analyses de gaz du sol au niveau des futurs sous-sols du projet ;
- 4 piézomètres complémentaires (PZ4 à PZ7) ajoutés au réseau existant, et la réalisation de prélèvements d'eau pour analyses dans l'ensemble des ouvrages du site (7 piézomètres).

Les paragraphes suivants présentent, par milieu, les principaux résultats de ces investigations.

¹ Ouvrage destiné au prélèvement de gaz du sol

2.7.1

Milieu Sol

Les investigations réalisées ont principalement mis en évidence des anomalies de concentration en métaux dans les remblais du site, ainsi que des anomalies ponctuelles en hydrocarbures, représentées par des concentrations supérieures aux critères d'acceptation en ISDI et/ou (pour les métaux) aux valeurs du bruit de fond géochimique français pour les sols ordinaires.

Ces anomalies se traduisent par les gammes de concentrations présentées dans le tableau suivant (minima et maxima des concentrations supérieures aux seuils d'acceptation en ISDI et/ou bruit de fond géochimique).

Substances	Concentrations supérieures aux seuils d'acceptation en ISDI et/ou bruit de fond géochimique (minima et maxima)	Critères ISDI (*) / valeurs hautes du bruit de fond (**)	Nombre d'échantillons présentant un dépassement	Nombre total d'échantillons analysés pour la substance concernée	Nombre de sondages
Sondages réalisés par Burgeap (2011 - 2013)					
Hydrocarbures C10-C40	562 à 2 900 mg/kg	500 mg/kg *	9	environ 200	56
arsenic sur sol brut	26,6 à 79,4 mg/kg	25 mg/kg **	7	26	56
cadmium sur sol brut	0,86 à 1,89 mg/kg	0,45 mg/kg **	6	26	56
chrome sur sol brut	98,8 à 119 mg/kg	90 mg/kg **	2	26	56
cuivre sur sol brut	46,8 à 544 mg/kg	20 mg/kg **	11	26	56
mercure sur sol brut	0,22 à 4,98 mg/kg	0,1 mg/kg **	14	33	56
nickel sur sol brut	215 à 349 mg/kg	60 mg/kg **	2	26	56
zinc sur sol brut	177 à 1 680 mg/kg	100 mg/kg **	5	26	56
arsenic sur lixiviat de sol	0,55 à 0,73 mg/kg	0,5 mg/kg *	2	69	56
antimoine sur lixiviat de sol	0,068 à 0,10 mg/kg	0,06 mg/kg *	4	69	56
mercure sur lixiviat de sol	0,012 à 0,182	0,01 mg/kg *	3	69	56
plomb sur lixiviat de sol	0,7 à 0,82 mg/kg	0,5 mg/kg *	3	69	56
sélénium sur lixiviat de sol	0,125 à 2,45 mg/kg	0,1 mg/kg *	2	69	56
molybdène sur lixiviat de sol	0,62 à 0,84 mg/kg	0,5 mg/kg *	2	69	56
phénol sur lixiviat de sol	1,01 à 5,05 mg/kg	1 mg/kg *	4	69	56
fraction soluble et chlorures + sulfates	diverses	divers	4	69	56
Sondages réalisés par ERM (2013)					
Hydrocarbures C10-C40	850 mg/kg	500 mg/kg *	1	51	22
PCB	3,6 mg/kg	1 mg/kg *	1	27	22
arsenic sur lixiviat de sol	0,52 mg/kg	0,5 mg/kg *	1	47	22
antimoine sur lixiviat de sol	0,09 mg/kg	0,06 mg/kg *	1	47	22
fraction soluble et chlorures + sulfates	diverses	divers	2	47	22

Tableau 1 : Gammes de valeurs des anomalies mesurées dans les sols

Les anomalies en hydrocarbures mises en évidence sont détaillées dans le tableau en page suivante.

Zone	Sondage	Concentrations mesurées	Commentaires	Aménagement futur
Hors zones d'anciennes activités / installations classées connues - actuelle voirie/parking (centre du site)	S3	615 mg/kg, dans les remblais entre 0 et 1 m de profondeur	anomalie non cernée verticalement : pas d'analyse de l'horizon sous-jacent	Bâtiment 1B
Ancienne chaufferie - actuelle voirie/parking	S11	1100 mg/kg, dans les remblais entre 1 et 2 m	horizon sus-jacent présentant une teneur de 244 mg/kg mais anomalie non cernée en profondeur : pas d'analyse de l'horizon sous-jacent	Espaces verts
Hors zones d'anciennes activités / installations classées connues - hangar ayant été occupé par la société de location automobile	S20	626 mg/kg, dans les remblais entre 1 et 2 m	la concentration mesurée entre 2 et 3 m est de 48,9 mg/kg	Bâtiment 1B
Hors zones d'anciennes activités / installations classées connues - ateliers de la concession	S21	562 mg/kg, dans les alluvions entre 1 et 2 m	la concentration mesurée entre 0 et 1 m est de 57,7 mg/kg, et celle mesurée entre 2 et 3 m est inférieure au seuil de quantification du laboratoire	Espaces verts
Hors zones d'anciennes activités / installations classées connues - hangar présent sur la parcelle cadastrale BY69	S29	628 mg/kg, dans les remblais entre 0 et 1 m	anomalies non cernées verticalement : pas d'analyse des horizons sous-jacents	Voirie est-ouest
	S31	1280 mg/kg, dans les remblais entre 1 et 2 m		
"Showroom" de l'ancienne concession automobile (extrémité nord-ouest du site)	S70	850 mg/kg dans les remblais, entre 0,3 et 0,4 m	anomalie localisée : substance non détectée dans le terrain naturel (alluvions) entre 0,7 et 1 m de profondeur	Bâtiment 1A

Tableau 2 : Détail des anomalies en hydrocarbures dans les sols

Note : L'anomalie mesurée en S70 est associée à la présence de BTEX (somme : 130 mg/kg).

Une concentration en BTEX supérieure au critère d'acceptation en ISDI (somme : 7,2 mg/kg) a également été mise en évidence entre 0,3 et 0,4 m de profondeur dans le « Showroom » de l'ancienne concession automobile (S69). L'analyse des terrains sous-jacents entre 0,7 et 1 m sur ce sondage a mis en évidence une concentration inférieure au critère ISDI (somme : 1,2 mg/kg).

La concentration en PCB (7 congénères) de 3,6 mg/kg a été mesurée dans les remblais recoupés entre 0,1 et 0,6 m de profondeur en PZ5 (parkings ouest du site / futur bâtiment 1A). L'horizon de terrains sous-jacent n'a pas été analysé mais cette anomalie présente une étendue latérale limitée : le sondage S6 réalisé par la société BURGEAP à proximité de PZ5 a mis en évidence une

concentration de 0,54 mg/kg entre 0 et 1 m de profondeur et la non détection de ce composé entre 1 et 2 m.

La *Figure 3* présente la localisation de l'ensemble des anomalies présentées ci-avant.

Les investigations réalisées ont également mis en évidence la présence de métaux en concentrations pouvant dépasser les gammes de valeurs couramment observées dans les sols ordinaires définies par l'INRA (mise à jour d'Août 2010) dans les sols superficiels en différents points du site (facteurs non discriminants pour l'élimination de matériaux en ISDI).

En raison des contraintes d'accès liées aux activités et à la configuration du site, deux zones amenées à être excavées pour le projet d'aménagement prévu n'ont pas pu être caractérisées :

- parcelle BY66 (nord du site, îlot 2 et extrémité nord-ouest du groupe scolaire) ;
- parties sud de la parcelle BY69 et sud-ouest de la parcelle BY73 (sud du site, portions des îlots 3 et 4 et de la voirie les séparant).

Ces zones n'ayant pas pu être reconnues, il a été considéré que les remblais susceptibles d'y être présents pouvaient présenter un caractère non inerte, comme il a pu être observé sur l'ensemble des parties investiguées du site. Au droit de ces zones, les volumes de matériaux non inertes ont été estimés sur la base des éléments suivants :

- limitation des matériaux non inertes aux remblais (aucun dépassement des critères d'acceptation en ISDI n'ayant été mesuré dans les terrains naturels sur le site), à savoir sur un horizon d'1,5 m d'épaisseur environ (profondeur moyenne des remblais observée sur l'ensemble du site) ;
- prise en compte de 3 hypothèses considérant que 25%, 50% et 100% de ces matériaux non reconnus présentent un caractère non inerte et nécessitant une gestion particulière adaptée

Le tableau en page suivante présente l'ensemble des volumes de matériaux non inertes (zones d'anomalies en hydrocarbures et PCB et terrains présentant des concentrations en métaux et autres substances sur lixiviat supérieures aux critères d'acceptation en ISDI), par zones (îlots 1 à 4, voiries et groupe scolaire) et considérant les trois hypothèses au droit des zones non investiguées.

Zones		Surface (m ²)	Profondeur (moyenne) de matériaux non inertes (m)	Epaisseur (moyenne) des revêtements de surface sur la zone (m)	Epaisseur des matériaux non inertes (m)	Volume (m ³)	Poids (t) / d.=1,9	Poids total (t)		
								hypothèse 1 : 25% des remblais non reconnus ne sont pas admissibles en ISDI	hypothèse 2 : 50% des remblais non reconnus ne sont pas admissibles en ISDI	hypothèse 3 : 100% des remblais non reconnus ne sont pas admissibles en ISDI
ilot 1										
	1	200	0,7	0,35	0,35	70	133	133	133	133
	2	575	0,8	0,05	0,75	431,25	819	819	819	819
	3	300	2	0,25	1,75	525	998	998	998	998
	zone PCB									
	HCT - S3									
	HCT - S11									
	HCT - S21									
	HCT - S70									
	BTEX - S69									
SOUS-TOTAL ilot 1 (t) :								3 090	3 090	3 090
ilot 2										
	5	240			1,5	360	684	171	342	684
	6	2 350			1,5	3 525	6698	1 674	3 349	6 698
SOUS-TOTAL ilot 2 (t) :								1 845	3 691	7 382
ilot 3										
	9	475	0,65	0,05	0,6	285	542	162	542	542
	10	190	1	0,05	0,95	180,5	343	103	343	343
	11	595	1,5	0,15	1,35	722,25	1372	343	686	1 372
SOUS-TOTAL ilot 3 (t) :								608	1 571	2 257
ilot 4										
	13	825	1,5	0,15	1,35	1 114	2116	529	1 058	2 116
	14	120	1,5	0,1	1,4	168	319	319	319	319
SOUS-TOTAL ilot 4 (t) :								848	1 377	2 435
voies nouvelles										
	4	175	1	0,3	0,7	122,5	233	233	233	233
	8	165	1	0,05	0,95	156,75	298	89	298	298
	12	175	1,5	0,15	1,35	236,25	449	112	224	449
	HCT - S29									
	HCT - S31									
SOUS-TOTAL voies nouvelles (t) :								814	1 135	1 359
Groupe scolaire										
	7a	675			1,5	1012,5	1924	481	962	1 924
	7b	690	1,3	0,5	0,8	552	1049	1 049	1 049	1 049
	15	2 020	1,3	0,2	1,1	2222	4222	4 222	4 222	4 222
	15 : HCT - S44	100	1,3	0,2	1,1	110	209	209	209	209
SOUS-TOTAL groupe scolaire (t) :								5 961	6 441	7 403
TOTAL (t) :								13 167	17 305	23 926

Les lignes en gras correspondent aux mailles au droit desquelles la qualité des terrains n'a pu être examinée lors des investigations.

Tableau 3 : Quantités de matériaux à traiter

2.7.2

Milieu Eau souterraine

Au total, 7 piézomètres ont été implantés sur le site :

- S18/PZ18, installé en 2011 par BURGEAP dans la halle d'archives ;
- PZ2 et PZ3, installés en 2013 par BURGEAP sur les voiries / parkings au sud-ouest du site,
- PZ4 et PZ5, installés en 2013 par ERM sur les parkings au sud-ouest du site,
- PZ6, installé en 2013 par ERM au droit de l'ancienne carrosserie, au sud-est du site,
- PZ7, installé en 2013 par ERM au droit de l'ancienne concession automobile (piézomètre amont du site).

Les analyses de laboratoire réalisées en 2011 (PZ18) et 2013 (PZ18, PZ2, PZ3 à PZ7) pour les hydrocarbures, les BTEX, les COHV, les HAP voire les composés phénoliques (uniquement en 2013 / diagnostic de BURGEAP) ont mis en évidence :

- la présence de tétrachloroéthylène, détecté dans tous les ouvrages et à chaque campagne d'analyses, en concentrations comprises entre 0,8 et 5,7 µg/L. En octobre 2013, cette substance s'accompagne sur certains ouvrages de traces de trichloroéthylène (PZ5 : 0,5 µg/L et PZ7 : 0,6 µg/L), voire de trichlorométhane (PZ2 : 0,8 µg/L et PZ5 : 0,8 µg/L).

Les concentrations en tri+tétrachloroéthylène mesurées restent cependant inférieures au seuil de potabilité défini par l'arrêté du 2007 défini pour la somme de ces deux paramètres (10 µg/L) ;

- la présence, en 2013, d'hydrocarbures :
 - mai 2013 (diagnostic BURGEAP) : 0,083 µg/L en PZ18,
 - octobre 2013 (diagnostic ERM) : 70 µg/L en PZ4, 10 µg/L en PZ2 et 9 µg/L en PZ6 ;

Ces concentrations sont inférieures à la limite de qualité des eaux brutes (eaux destinées à la production d'eau potable) définie par l'arrêté du 2007 (1000 µg/L) ;

- des concentrations inférieures aux limites de quantification du laboratoire pour l'ensemble des autres composés recherchés.

2.7.3

Milieu Gaz du sol

Au total, 9 piézairs ont été installés successivement sur le site objet de la présente étude :

- PZA9, PZ10 et PZA11 (mai 2013) ;

- Pair1 à Pair6 (octobre 2013).

Deux campagnes de prélèvements et analyses ont été effectuées sur ces ouvrages :

- mai 2013 : hydrocarbures, naphthalène, BTEX, COHV et mercure, ainsi que le MTBE ou les phénols (analyses ciblées), sur les ouvrages (PZA9, PZA10 et PZA11) ;
- octobre 2013 : hydrocarbures, naphthalène, BTEX et COHV sur les 9 ouvrages.

Ces campagnes d'analyses ont mis en évidence des impacts les gaz su sol en :

- hydrocarbures (C5-C12) ;
- trichloroéthylène et tétrachloroéthylène ;
- benzène.

Les résultats d'analyses illustrant ces impacts sont présentés dans le tableau 4 en page suivante, et localisés sur la *Figure 5*.

Piézair	Localisation	Substance	Concentrations maximales mesurées (en µg/m³)	date
PZA9	voiries / parkings, ouest du site (futurs espaces vers de l'îlot 1)	Benzène	4,17	22/05/2013
		TCE	84,9	
		PCE	233,85	
PZA10	hangar société de location automobile (futur bâtiment 1B)	TCE	91,67	22/05/2013
		PCE	318,75	
		hydrocarbures C5-C12	350,0	15/10/2013
PZA11	voiries / parkings, ouest du site (futur bâtiment 1A)	Benzène	6,56	22/05/2013
		TCE	500,0	15/10/2013
		PCE	2 500,0	
		hydrocarbures C5-C12	4687,5	22/05/2013
Pair1 (S66)	voiries / parkings, ouest du site (futur bâtiment 2)	TCE	1,43	15/10/2013
		PCE	20,0	
Pair2 (S73)	ancienne concession auto. (futur bâtiment 1A)	TCE	119	15/10/2013
		PCE	500,0	
		hydrocarbures C5-C12	8 333	
Pair3 (S70)	ancienne concession auto. (futur bâtiment 1A)	TCE	883	15/10/2013
		PCE	1 250,0	
		hydrocarbures C5-C12	1 833,33	
Pair4 (S69)	ancienne concession auto. (futur bâtiment 1A)	TCE	774,65	15/10/2013
		PCE	1 309,86	
		hydrocarbures C5-C12	2 000,0	
Pair5 (S63)	voiries / parkings, centre du site (futur bâtiment 4)	TCE	11 428,57	15/10/2013
		PCE	1 523,81	
		Benzène	8,57	
		hydrocarbures C5-C12	7 942,86	
Pair6 (S74)	parcelle BY73, sud du site (proximité futur bâtiment 4)	TCE	67,31	15/10/2013
		PCE	1 057,69	
		hydrocarbures C5-C12	788,46	

Tableau 4 : Détail des anomalies dans les gaz du sol

Les investigations de sols réalisées sur le site n'ont pas mis en évidence de source sol de pollution susceptible d'être clairement considérée à l'origine de ces impacts.

Les campagnes successives d'analyses (ouvrages PZA9, PZA10 et PZA11 uniquement) n'ont pas montré de tendance d'évolution des concentrations au droit des ouvrages prélevés, celles-ci pouvant présenter de légères hausses voire des baisses selon les ouvrages.

3.1

METHODOLOGIE

Conformément à la méthodologie de gestion des sites et sols pollués (circulaires du 8 Février 2007), les mesures proposées visent à identifier l'ensemble des options envisageables pour le site, compte tenu de la typologie des impacts identifiés.

Chaque option est évaluée sur la base des critères d'appréciation suivants

- les approches techniques, leur efficacité attendue et les coûts associés ;
- la gestion des risques environnementaux ;
- les aspects de développement durable et de bilan environnemental dans le cadre du réaménagement du site ;
- le contexte sociopolitique.

Les mesures de gestion doivent être définies sur la base du bilan coûts/avantages optimal en fonction de l'usage retenu (logements et locaux d'activités) en veillant à privilégier :

- dans un premier temps, les actions sur les sources de pollution, identifiées comme étant les zones les plus concentrées en polluants ; et
- dans un second temps, la désactivation des voies de transfert (mesures de confinement, dispositions constructives, restrictions d'usage par exemple) concernant les zones de contamination résiduelle.

3.2

HYPOTHESES RETENUES

Les paragraphes suivants présentent les mesures de gestion envisageables proposées, en considérant les éléments suivants :

- un usage résidentiel et commercial, avec la présence d'une crèche dans un des immeubles à construire ;
- la maîtrise des risques environnementaux liés au site ;
- le bilan coûts/avantages pour les solutions envisageables, incluant la pertinence technique ;
- la dynamique de l'aménagement du site : le projet s'insère dans une dynamique d'aménagement du huitième arrondissement de Lyon, visant notamment à développer les logements et les services de proximité.

3.3

CARACTERISATION DES ZONES SOURCE A TRAITER

Sur la base des investigations réalisées sur le site, les zones source sol de pollution à traiter sont :

- les 8 zones d'anomalies en hydrocarbures et/ou BTEX ;
- la zone d'anomalie en PCB ;
- les remblais non inertes devant être excavés pour la réalisation du projet d'aménagement.

La présence généralisée de composés volatils (tri+tetrachloroéthylène, hydrocarbures voire benzène) a également été mise en évidence dans les gaz du sol. On considérera donc qu'un impact « diffus » existe au droit du site et devra également faire l'objet de mesures de gestion.

3.4

CONTRAINTES A CONSIDERER POUR LA REHABILITATION

Les éléments principaux à considérer pour l'élaboration de ce Plan de Gestion sont détaillés ci-après :

- les 4 îlots, les nouvelles voiries ainsi que le groupe scolaire constitueront 4 chantiers indépendants conduits par 4 maîtres d'ouvrages distincts ;
- le phasage de réalisation du démarrage des chantiers d'aménagement des différents îlots est à la rédaction du présent rapport, le suivant :
 - îlot 1 : janvier 2015 ;
 - îlot 4 : mai 2015 ;
 - îlot 3 : janvier 2016 ;
 - îlot 2 : janvier 2017 ;
- l'immeuble actuellement en place au droit de la parcelle BY66 (îlot 2) et abritant le bowling ne sera démoli que lorsque le bâtiment 1A sera terminé (pour transfert du bowling sans arrêt de son activité) ;
- le tènement du futur groupe scolaire doit être livré au Grand Lyon décapé sur 1,3 m de profondeur par rapport au niveau du sol actuel (aucune mesure de gestion / traitement des sources présentes sur cette zone n'est étudiée dans le présent Plan de Gestion : seule les mesures de gestion des déblais ainsi générés y sont étudiées) ;
- seuls les chantiers d'aménagement de l'îlot 1 et de décapage du groupe scolaire seront réalisés sous la maîtrise d'ouvrage de Bouygues Immobilier.

Dans le cadre du plan de gestion, trois scénarios de gestion des terrains impactés sont étudiés pour un bilan coûts/avantages :

- **scénario 1** : scénario de base fondé sur l'excavation et élimination en installations de stockage de déchets des zones d'anomalies concentrées dans les sols et des déblais du projet immobilier, par la comparaison stricte des résultats aux critères d'acceptation fixés par l'arrêté du 28/10/2010 ;
- **scénario 2** : variante basée sur le traitement en biocentre des zones d'anomalies concentrées en hydrocarbures ou BTEX dans les sols, et d'un criblage sur site des déblais non inertes du projet immobilier avant élimination en installation de stockage de déchets ;
- **scénario 3** : seconde variante, comprenant un criblage et un tri des matériaux non inertes au droit d'une plateforme multimodale.

Des solutions de traitement sur site auraient pu être étudiées pour les zones d'anomalies en hydrocarbures et PCB. Cependant, considérant le fait que la majeure partie de ces matériaux recoupe les besoins en terrassement du projet, de telles solutions n'ont pas été jugées comme pertinentes.

Les trois scénarios envisagés, présentés en détail dans les sections 4.5.2, 4.5.3 et 4.5.4, comportent également des mesures de gestion communes, présentées à la section 4.5.1.

3.5.1

Mesures générales de gestion applicables aux scénarios 1, 2 et 3

Au regard de la conservation sur site de matériaux superficiels susceptibles de contenir des teneurs en métaux supérieures aux valeurs de bruit de fond géochimique défini par l'INRA, et de la présence de composés chlorés dans les eaux souterraines, les mesures de gestion de chaque scénario comprendront les dispositions communes suivantes, en plus des mesures spécifiques présentées aux sections 4.5.2, 4.5.3 et 4.5.4 :

- recouvrement des sols par au moins 30 cm de terre végétale d'apport, au droit des espaces verts et, plus généralement de toute zone en dehors de l'emprise des bâtiments ou voiries. Ce recouvrement permettra de s'affranchir de tout risque lié à un contact direct entre des sols susceptibles de présenter des teneurs résiduelles en différents composés, et les futurs usagers du site ;
- remblaiement des tranchées des canalisations d'adduction d'eau par des matériaux d'apport sains. ceci permettra de s'affranchir de tout

risque de perméation d'éventuelles substances résiduelles dans les canalisations d'eau potable du site (si en polyéthylène) ;

- interdiction de plantation de potager ou d'arbre fruitier sur le site, afin de s'affranchir de tout risque de bio accumulation de substances résiduelles dans des plantes susceptibles d'être consommées ;
- interdiction d'exploitation de la nappe. Au regard du passif industriel du site et de la présence de traces de composés chlorés voire d'hydrocarbures dans les eaux souterraines au droit du site, cette mesure constitue une précaution d'usage.

3.5.2 *Scénario 1 : Elimination des matériaux non inertes en installations de stockage de déchets non dangereux*

Les investigations réalisées sur le site ont mis en évidence des anomalies (représentées par terrains présentant des dépassements des critères d'acceptation en ISDI pour ces paramètres) en métaux sur lixiviat, hydrocarbures, voire PCB dans les sols. D'après les résultats des analyses de laboratoire réalisées et des hypothèses présentées ci-après, l'essentiel de ces anomalies a été mesuré dans les remblais présents sur le site, dans le premier mètre de profondeur.

L'estimation des volumes de matériaux à éliminer en filière spécialisée au regard de leur caractère non inerte a été élaborée de la manière suivante :

- les zones d'anomalies en hydrocarbures et PCB ont été mises en évidence au droit de sondages localisés, et essentiellement dans le premier mètre de profondeur. Ces anomalies n'ont pas pu être cernées latéralement, voire verticalement dans certains cas. Toutefois, au regard de leur localisation par rapport aux sources potentielles historiques de pollution, aux autres sondages et/ou des concentrations mesurées, il a été estimé un volume approximatif de 100 m³ pour chacune de ces anomalies (représentant en moyenne une surface de 10 m x 10 m, sur 1 m de profondeur) ;
- les mailles représentatives de sols présentant un caractère non inerte vis-à-vis des métaux et autres substances sur lixiviat de sol ont quant à elles été définies sur la base :
 - de la localisation des sondages présentant des anomalies de concentrations par rapport à ceux n'en présentant pas, et ;
 - de la configuration du projet immobilier et des futures zones de terrassement.

Le scénario 1 se base sur une élimination de l'ensemble des zones d'anomalie en hydrocarbures, BTEX et PCB ainsi que des déblais non inertes générés par les chantiers de réaménagement du site en ISDND.

Le surcoût unitaire prévisionnel estimatif (hors maîtrise d'œuvre) de l'élimination de matériaux en ISDND est de 55 € / tonne. Ce surcoût est basé sur le retour de centres agréés. Pour l'estimer, nous avons retranché 10 €/tonne au prix unitaire communiqué par les centres. En effet, selon notre expérience et celle de Bouygues Immobilier 10 €/tonne représente un prix de marché à Lyon pour la gestion des déblais non inertes hors site.

Le tableau en page suivante présente le détail du scénario 1 et les coûts estimatifs associés à sa mise en œuvre.

- SCENARIO 1 -

Zones		Poids total (t)		
		hypothèse 1 : 25% des remblais non reconnus ne sont pas admissibles en ISDI	hypothèse 2 : 50% des remblais non reconnus ne sont pas admissibles en ISDI	hypothèse 3 : 100% des remblais non reconnus ne sont pas admissibles en ISDI
îlot 1	1	133	133	133
	2	819	819	819
	3	998	998	998
	zone PCB	190	190	190
	HCT - S3	190	190	190
	HCT - S11	190	190	190
	HCT - S21	190	190	190
	HCT - S70	190	190	190
	SOUS-TOTAL îlot 1 :	2 900	2 900	2 900
îlot 2	5	171	342	684
	6	1 674	3 349	6 698
	SOUS-TOTAL îlot 2 :	1 845	3 691	7 382
îlot 3	9	162	542	542
	10	103	343	343
	111	343	686	1 372
	SOUS-TOTAL îlot 3 :	608	1 571	2 257
îlot 4	13	529	1 058	2 116
	14	319	319	319
	SOUS-TOTAL îlot 4 :	848	1 377	2 435
voies nouvelles	4	233	233	233
	8	89	298	298
	12	112	224	449
	HCT - S29	190	190	190
	HCT - S31	190	190	190
	SOUS-TOTAL voies nouvelles (t) :	814	1 135	1 359
Groupe scolaire	7a	481	962	1 924
	7b	1 049	1 049	1 049
	15	4 222	4 222	4 222
	15 : HCT - S44	209	209	209
	SOUS-TOTAL groupe scolaire :	5 961	6 441	7 403
TOTAL (t)		12 977	17 115	23 736

Les lignes en grisé correspondent aux mailles au droit desquelles la qualité des terrains n'a pas pu être reconnue

	Coûts d'évacuation des matériaux en ISDND (scénario 1)		
	hypothèse 1	hypothèse 2	hypothèse 3
MONTANTS* (€ HT)	715 000	945 000	1 310 000
MAILLAGE COMPLEMENTAIRE EN PHASE TRAVAUX (€ HT)	60 000	60 000	60 000
TRANCHEES ADDUCTION D'EAU (€ HT)	20 000	20 000	20 000
MONTANT TOTAL SCENARIO 1 (€ HT)	795 000	1 025 000	1 390 000

* : surcoût d'élimination en ISDND : 55 €/t

Tableau 5 : Présentation du Scénario 1

Ainsi, le scénario 1 prévoit l'élimination en ISDND d'environ 13 170 à 23 930 tonnes de matériaux non inertes, répartis de la manière suivante :

- environ 1 730 tonnes de terrains impactés par des hydrocarbures, BTEX voire des PCB correspondant aux 7 zones d'anomalies mises en évidence au droit ou à proximité des futurs immeubles / futures voiries ;
- environ 5 690 à 15 000 tonnes de déblais des futurs immeubles / voiries ;
- environ 5 960 à 7 400 tonnes de déblais du futur groupe scolaire.

La mise en œuvre du scénario 1 peut se faire dans le cadre des opérations de terrassements courants du projet immobilier, par la réalisation d'un tri des déblais du projet immobilier par zonage, établi sur la base des résultats des investigations de sol.

Le plan présenté en *Figure 3* présente la configuration des mailles / zones devant faire l'objet de mesures spécifiques.

Les terrains non inertes situés dans l'emprise des terrassements courants pourront être excavés durant les mêmes phases que les terrains inertes. Ils seront orientés vers une ISDND à leur sortie du site.

Seuls les terrains présentant des anomalies en hydrocarbures ou PCB feront l'objet d'une excavation spécifique, indépendamment des besoins liés aux terrassements courants.

L'impact environnemental de ce scénario est essentiellement porté par les éléments suivants :

- mise en installation de stockage de 13 170 à 23 930 tonnes de terres ;
- impact carbone faible, peu différent des besoins des terrassements courants, caractérisé par l'élimination des matériaux non inertes en ISDND, installation(s) susceptible(s) d'être un peu plus éloignée(s) du site producteur qu'une ISDI.

Le surcoût unitaire prévisionnel de cette solution (hors maîtrise d'œuvre) est le suivant :

- élimination en ISDND : surcoût de 55 € / tonne.

3.5.3

Scénario 2 : Traitement des anomalies en hydrocarbures / PCB en Biocentre et optimisation des évacuations de matériaux non inertes

Pour ce scénario, l'estimation des volumes de matériaux devant faire l'objet de mesures de gestion spécifiques correspond à celle effectuée pour le scénario 1, à savoir :

- les zones d'anomalies localisées en hydrocarbures, BTEX et PCB ;
- les mailles représentatives de futurs déblais présentant un caractère non inerte vis-à-vis des métaux et autres substances sur lixiviat de sol.

A la différence du scénario 1, ce scénario prévoit :

- le traitement des zones d'anomalies en hydrocarbures et BTEX en Biocentre, au lieu de l'élimination de ces matériaux en ISDND ;
- un criblage des déblais non inertes à excaver dans le cadre des travaux de réaménagement du site avant leur élimination en ISDND (à l'exception de la zone d'anomalie en PCB, éliminés en ISDND sans criblage préalable). au regard de la granulométrie des terrains superficiels recoupés sur le site, un gain de 30% sur les éliminations en ISDND pourrait être assuré par le criblage.

Les surcoûts unitaires prévisionnels de ces solutions (hors maîtrise d'œuvre) sont les suivants :

- traitement en Biocentre : surcoût de 40 € / tonne ;
- élimination en ISDND : surcoût de 55 € / tonne ;
- opérations de criblage : coût de 2 500 € / jour, pour une cadence de 400 m³ / jour.

Les surcoûts de traitement en Biocentre ont été évalués sur la base du retour du centre le plus proche de la zone de l'étude (BIOGENIE, Château-Gaillard (01)), et sur la base des retours d'expérience d'ERM.

Les coûts et cadences de criblage ont été obtenues auprès d'entreprises de dépollution habituées à l'utilisation de cette technique et compétentes en la matière.

Le tableau en page suivante présente le détail du scénario 2 et les coûts estimatifs associés à sa mise en œuvre.

- SCENARIO 2 -

Zones	Poids total (t)			Matériaux traités en Biocentre (t)	Matériaux à excaver pouvant être criblé et éliminés en ISDND (t)	Matériaux éliminés en ISDND sans criblage (t)
	hypothèse 1 : 25% des remblais non reconnus ne sont pas admissibles en ISDI	hypothèse 2 : 50% des remblais non reconnus ne sont pas admissibles en ISDI	hypothèse 3 : 100% des remblais non reconnus ne sont pas admissibles en ISDI			
îlot 1	1	133	133		133	
	2	819	819		819	
	3	998	998		998	
	zone PCB	190	190			190
	HCT - S3	190	190	190		
	HCT - S11	190	190	190		
	HCT - S21	190	190	190		
	HCT - S70	190	190	190		
SOUS-TOTAL îlot 1 :		2 900	2 900	760	1950	190
îlot 2	5	171	342		171 à 684	
	6	1 674	3 348		1 674 à 6 696	
	SOUS-TOTAL îlot 2 :	1 845	3 691		1 845 à 7 382	
îlot 3	9	162	542		542	
	10	103	343		343	
	11	343	686		343 à 1 372	
SOUS-TOTAL îlot 3 :		608	1 571		608 à 2 257	
îlot 4	13	529	1 058		529 à 2 116	
	14	319	319		319	
	SOUS-TOTAL îlot 4 :	848	1 377		848 à 2 435	
voies nouvelles	4	233	233		233	
	8	89	298		298	
	9	112	224		112 à 449	
	HCT - S29	190	190	190		
	HCT - S31	190	190	190		
SOUS-TOTAL voies nouvelles :		814	1 135	380	434 à 979	
Groupe scolaire	7a	481	962		962	
	7b	1 049	1 049		1 049	
	15	4 222	4 222		4 222	
	15 : HCT - S44	209	209	209		
SOUS-TOTAL groupe scolaire :		5 961	6 441	209	5 752 à 7 194	
TONNAGE TOTAL, hors criblage				1 349	11 437 à 22 197	190
Criblage préalable à l'évacuation				0	-30%	0

Les lignes en gris correspondent aux mailles au droit desquelles la qualité des terrains n'a pas pu être reconnue

Traitement en Biocentre et élimination en ISDND avec criblage préalable (Scénario 2)					
	Traitement en Biocentre	Elimination en ISDND avec criblage préalable / hypothèse 1	Elimination en ISDND avec criblage préalable / hypothèse 2	Elimination en ISDND avec criblage préalable / hypothèse 3	Elimination en ISDND sans criblage préalable
TONNAGE TOTAL des matériaux à évacuer, après criblage (t)	1 349	8 006	10 903	15 538	190
COÛTS DE CRIBLAGE* (t)	0	40 000	55 000	75 000	0
MONTANTS ASSOCIÉS À L'ÉLIMINATION DES MATÉRIAUX* (€ HT)	80 000	480 000	655 000	930 000	11 000
MAILLAGE COMPLÉMENTAIRE EN PHASE TRAVAUX (€ HT)	60 000				
TRANCHEES ADDUCTION D'EAU (€ HT)	20 000				
MONTANT TOTAL SCENARIO 2 (€ HT)	hypothèse 1	651 000			
	hypothèse 2	826 000			
	hypothèse 3	1 101 000			

*: Biocentre: 40€ / t; ISDND: 55 € / T; criblage: 2500 €/jour pour une cadence de 400 m³/jour

Tableau 6 : Présentation du Scénario 2

Ainsi, le scénario 2 prévoit :

- le traitement en Biocentre d'environ 1 350 tonnes de terrains impactés par des hydrocarbures, voire des BTEX correspondant aux 6 zones d'anomalies mises en évidence au droit ou à proximité des futurs immeubles / futures voiries (1 140 tonnes), ainsi qu'une 7^{ème} zone d'anomalie présente au droit du futur groupe scolaire (210 tonnes) ;
- l'élimination en ISDND de 190 tonnes de terrains impactés par des PCB ;
- le criblage avant élimination en ISDND d'environ 11 450 à 22 200 tonnes de déblais non inertes des futurs immeubles / voiries.

La mise en œuvre du scénario 2 peut également se faire dans le cadre des opérations de terrassements courants du projet immobilier.

Les besoins, en termes d'excavation, sont identiques à ceux du scénario 1.

L'organisation du chantier nécessitera cependant la mise en place d'une zone de criblage, accueillant les engins nécessaires au criblage (crible, pelle mécanique et chargeuse) et les produits criblés en attente d'évacuation.

La mise en place d'un crible nécessite la réalisation de démarches administratives préalables, consistant en une déclaration de chantier, voire une demande d'autorisation. La réalisation de ces démarches devra être prise en compte dans le planning de réalisation des travaux.

L'impact environnemental du scénario 2 est essentiellement porté par les éléments suivants :

- mise en installation de stockage d'environ 8 000 à 15 500 tonnes de terres ;
- impact carbone plus important que dans le cadre du scénario 1, porté par :
 - les opérations de criblage des matériaux sur site ;
 - les transferts de terres sur site liés aux opérations de réemploi.
 - l'élimination des matériaux non inertes en ISDND, installation(s) susceptible(s) d'être plus éloignée(s) du site qu'une ISDI.

3.5.4

Scénario 3 : Traitement des anomalies en hydrocarbures / PCB en Biocentre et orientation des matériaux non inertes vers une plateforme multimodale

Comme pour les précédents scénarios, l'estimation des volumes de matériaux devant faire l'objet de mesures de gestion spécifiques est basée sur la configuration :

- des zones d'anomalies localisées en hydrocarbures et PCB ;
- des mailles représentatives de sols présentant un caractère non inerte vis-à-vis des métaux et autres substances sur lixiviat de sol.

Ce scénario est similaire au scénario 1 (exutoire unique pour l'ensemble des matériaux évacués du site) mais diffère de celui-ci par une orientation des terres vers une plateforme multimodale de tri.

Une plateforme multimodale correspond à une installation de tri de terres pour réorientation en filières. Les terres orientées vers ces installations y sont préparées et triées pour être regroupées en lots spécifiques destinés à être orientés vers des installations de traitement (Biocentre par exemple), de stockage (ISDND, ISDD) ou de valorisation. Les opérations de préparation des terres peuvent inclure un criblage visant à séparer les matériaux non inertes de ceux inertes.

Le surcoût unitaire prévisionnel de l'élimination de matériaux en plateforme multimodale (hors maîtrise d'œuvre) est de 45 € / tonne.

Ce surcoût a été estimé sur la consultation de prestataires et les retours d'expérience d'ERM.

Le tableau en page suivante présente le détail du scénario 1 et les coûts estimatifs associés à sa mise en œuvre.

- SCENARIO 3 -

Zones		Poids total (t)		
		hypothèse 1 : 25% des remblais non reconnus ne sont pas admissibles en ISDI	hypothèse 2 : 50% des remblais non reconnus ne sont pas admissibles en ISDI	hypothèse 3 : 100% des remblais non reconnus ne sont pas admissibles en ISDI
îlot 1	1	133	133	133
	2	819	819	819
	3	998	998	998
	zone PCB	190	190	190
	HCT - S3	190	190	190
	HCT - S11	190	190	190
	HCT - S21	190	190	190
	HCT - S70	190	190	190
	SOUS-TOTAL îlot 1 :	2 900	2 900	2 900
îlot 2	5	171	342	684
	6	1 674	3 349	6 698
	SOUS-TOTAL îlot 2 :	1 845	3 691	7 382
îlot 3	9	162	542	542
	10	103	343	343
	11	343	686	1 372
	SOUS-TOTAL îlot 3 :	608	1 571	2 257
îlot 4	13	529	1 058	2 116
	14	319	319	319
	SOUS-TOTAL îlot 4 :	848	1 377	2 435
voies nouvelles	4	233	233	233
	8	89	298	298
	12	112	224	449
	HCT - S29	190	190	190
	HCT - S31	190	190	190
	SOUS-TOTAL voies nouvelles (t) :	814	1 135	1 359
Groupe scolaire	7a	481	962	1 924
	7b	1 049	1 049	1 049
	16	4 222	4 222	4 222
	16 : HCT - S44	209	209	209
	SOUS-TOTAL groupe scolaire :	5 961	6 441	7 403
TOTAL (t)		12 977	17 115	23 736

Les lignes en grisé correspondent aux mailles au droit desquelles la qualité des terrains n'a pas pu être reconnue

	Evacuation des matériaux en plateforme de tri (scénario 3)		
	hypothèse 1	hypothèse 2	hypothèse 3
MONTANTS* (€ HT)	585 000	770 000	1 070 000
MAILLAGE COMPLEMENTAIRE EN PHASE TRAVAUX (€ HT)	60 000	60 000	60 000
TRANCHEES ADDUCTION D'EAU (€ HT)	20 000	20 000	20 000
MONTANT TOTAL SCENARIO 3 (€ HT)	665 000	850 000	1 150 000

* : surcoût d'élimination en plateforme de tri : 45 €/t

Tableau 7 : Présentation du scénario 3

Ainsi, le scénario 3 prévoit l'élimination en plateforme de tri d'environ 13 170 à 23 930 tonnes de matériaux non inertes, répartis de la manière suivante :

- environ 1 730 tonnes de terrains impactés par des hydrocarbures, BTEX voire des PCB correspondant aux 7 zones d'anomalies mises en évidence au droit ou à proximité des futurs immeubles / futures voiries ;
- environ 5 690 à 15 000 tonnes de déblais des futurs immeubles/voiries.
- environ 5 960 à 7 400 tonnes de déblais du futur groupe scolaire.

La mise en œuvre du scénario 3 peut également se faire dans le cadre des opérations de terrassements courants du projet immobilier.

Les besoins, en termes d'excavation, sont identiques à ceux du scénario 1.

L'impact environnemental du scénario 3 est essentiellement porté par les éléments suivants :

- mise en installation de stockage d'une quantité non définie à ce jour (maximum de 23 930 tonnes) de terres ;
- impact carbone le plus important et porté par :
 - les transferts de terres sur site liés aux opérations de réemploi,
 - le transport des matériaux non inertes. Une première fois en entrée de plateforme, puis une seconde fois en sortie de plateforme.

3.5.5

Comparaison des scénarios 1, 2 et 3

Le tableau en page suivante présente de manière synthétique les avantages et inconvénients de chacun des scénarios.

Options de gestion		Catégories du bilan	Faisabilité technique / délais	Coût	Impact environnemental lié à la mise en œuvre de l'option	Risques résiduels
1	Élimination des zones d'anomalies en HCT et PCB et des déblais non inertes en ISDND		Bonne <u>Avantages :</u> - délais additionnels de l'ordre des travaux de terrassement, - 1 seule technique appliquée à tous les matériaux à traiter, - pas de nuisance additionnelle par rapport au chantier d'aménagement, - pas d'incertitude sur les coûts; <u>Inconvénients :</u> - coûts conséquent.	Elevé (Coût élevé lié à l'élimination de l'ensemble des matériaux directement en filière agréée hors site) 795 k€ à 1,39 M€ HT	Modéré - surcharge des ISDND, - empreinte carbone faible, potentiellement liée uniquement à l'allongement des distances du site à l'ISDND, par rapport à une ISDI, - pas d'autres nuisances environnementales additionnelles par rapport aux travaux d'aménagement)	Faible (élimination des déblais non inertes et sources de pollution organique dans les sols)
2	Traitement des zones d'anomalies en HCT en Biocentre, Élimination de la zone d'anomalie en PCB en ISDND, et des déblais non inertes en ISDND, avec criblage préalable des remblais		Modérée <u>Avantages :</u> - Optimisation des quantités de matériaux éliminés en ISDND (préservation de leur capacité de stockage), - coûts optimisés ; <u>Inconvénients :</u> - ajout d'installations de criblage au chantier d'aménagement, - variation possible du pourcentage de refus au criblage prévisionnel, - augmentation des nuisances de chantier.	Modéré (Coût optimisé par le criblage sur site) 651 k€ à 1,10 M€ HT	Modéré - optimisation des matériaux éliminés en ISDND et revalorisation d'une partie d'entre eux, - empreinte carbone faible, similaire à celle du scénario 1, - pas d'autres nuisances environnementales additionnelles par rapport aux travaux d'aménagement)	Faible (élimination des déblais non inertes et sources de pollution organique dans les sols)
3	Élimination des zones d'anomalies en HCT et PCB et des déblais non inertes en plateforme de tri		Bonne <u>Avantages :</u> - délais additionnels de l'ordre des travaux de terrassement, - 1 seule technique appliquée à tous les matériaux à traiter, - pas de nuisance additionnelle par rapport au chantier d'aménagement, <u>Inconvénients :</u> - traçabilité des matériaux valorisés par la plateforme.	Modéré (Coût optimisé par la gestion plateforme) 675 k€ à 1,15 M€ HT	Important - optimisation des matériaux éliminés en ISDND et revalorisation d'une partie d'entre eux, - empreinte carbone importante, liée à la multiplication des transports de terres (vers la plateforme et depuis celle-ci vers les filières de traitement/valorisation ultimes), - incertitude sur la traçabilité des matériaux revalorisés.	Faible (élimination des déblais non inertes et sources de pollution organique dans les sols)

Tableau 6 : Bilan coûts –avantages des solutions de gestion envisagées pour les sols

3.5.6

Bilan coûts - avantages

Le tableau suivant compare les trois scénarios en fonction de leurs coûts, et de différents critères tels que la maîtrise des risques pour l'usage, les données techniques de réalisation ou les impacts environnementaux. Cette comparaison permet d'apprécier la pertinence des solutions de gestion étudiées.

Critères :	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Maitrise des risques pour l'usage - Risques résiduels	++	++	++
Coûts de dépollution	- - -	+	+
Aspects environnementaux / Impact carbone	+	+	- -
Technique et organisation (durée, contraintes,...)	++	+	++
Critères sociopolitiques	0	-	0
TOTAL	++	++++	+++

+ : apport positif

- : apport négatif

0 : apport nul

Tableau 7 : Bilan coûts - avantages des solutions de gestion des sols

3.5.7

Solution retenue

Le bilan coût avantage suggère que les scénarios 2 et 3 seraient plus avantageux que le scénario 1 essentiellement sur la base du coût. Cela reste cependant à pondérer notamment pour le scénario 2 avec les contraintes de gestion du chantier. Contraintes qui restent difficiles à apprécier aujourd'hui sans un planning et phasage précis de réalisation de l'ensemble des Ilots.

Le choix final s'effectuera avec la prise en considération des contraintes spécifiques aux chantiers lorsque celles-ci seront mieux définies.

3.6

SOLUTIONS ENVISAGEABLES POUR LA GESTION DES RISQUES SANITAIRES RESIDUELS

Les investigations réalisées sur le site n'ont pas permis de définir une origine (source sol ou eau souterraine) pour les anomalies mesurées dans les gaz du sol au droit des piézaires du site. Au regard du caractère relativement diffus de l'impact et des différences de concentrations des composés détectés, l'efficacité prévisionnelle de solutions de traitement in situ ne peut être assurée. C'est pourquoi l'évaluation de mesures de traitement in situ n'a pas été envisagée.

Les risques sanitaires résiduels sont portés par le phénomène potentiel d'intrusion de vapeur dans les futurs bâtiments lié à la présence dans les gaz du sol d'hydrocarbure volatils, de benzène et solvants chlorés (voir Schéma conceptuel).

Pour se prémunir de ce phénomène des solutions actives ou passives peuvent être envisageables.

Le projet d'aménagement prévoit des sous-sols pour l'intégralité des bâtiments à l'exception du bâtiment M. Au regard de leur usage (parkings de stationnement), les sous-sols seront équipés de systèmes de ventilation mécanique.

La première mesure de gestion étudiée, dite solution A, consiste à :

- ventiler de manière adaptée les sous-sols existants, le taux de renouvellement d'air étant augmenté par rapport au taux initialement prévu, et déterminé par les résultats de l'Analyse de Risques Résiduelles Prédictive ;
- réaliser sous le bâtiment sans sous-sol (bâtiment 2M) un vide sanitaire ventilé, avec un taux de renouvellement d'air déterminé par les résultats de l'Analyse de Risques Résiduelles Prédictive.

La seconde mesure de gestion étudiée, dite solution B, consiste en :

- la mise en œuvre d'une membrane imperméable en PEHD² sous radier et en périphérie des voiles enterrés.

Pour l'appréciation de ces mesures, les concentrations maximales en chaque substance ayant été mesurées dans les gaz du sol sur l'ensemble du site ont été considérées comme potentiellement présentes au droit de chaque futur bâtiment.

Les solutions A et B sont présentées dans les sections 4.6.1 et 4.6.2 suivantes, et sont comparées selon un bilan coûts – avantages en section 4.6.3.

3.6.1

Solution A : Ventilation forcée des sous-sols

Au regard de leur usage de parkings souterrains, l'ensemble des sous-sols prévus sous les bâtiments doivent déjà être pourvus de systèmes de ventilation mécanique pour le renouvellement d'air et le désenfumage des lieux.

² PEHD : Polyéthylène Haute Densité

D'après les informations transmises par le Bureau Veritas à la société Bouygues Immobilier, le renouvellement d'air des futurs sous-sols est réalisé par phases de 2 heures, 2 fois par jour à une vitesse de 300 m³/heure/véhicule, ce qui correspond à un taux de renouvellement d'air journalier de initialement prévu d'environ 15 volumes/jour (soit 0,6 volume/heure).

La prise en compte des préconisations du ministère en charge de l'environnement (MEDDE) concernant l'implantation d'établissements sensibles³ et l'Analyse prédictive des Risques Résiduels réalisée dans le cadre du présent Plan de Gestion (cf. section 5 ci-après) ont permis de définir qu'un taux de renouvellement minimum d'1 volume / heure devra être respecté.

Un tel taux de renouvellement pourrait être assuré par l'adaptation des durées journalières de fonctionnement des équipements prévus, sans redimensionnement de ceux-ci.

A la rédaction du présent rapport de Plan de Gestion, aucun sous-sol n'est prévu sous le bâtiment 2M (îlot 2). De manière à assurer une protection similaire aux bâtiments avec sous-sols, la réalisation d'un vide sanitaire ventilé sera rendu nécessaire pour ce bâtiment.

Ce vide sanitaire devra être pourvu d'une dalle de béton à sa base, de manière à limiter les transferts de gaz. La hauteur sous plafond de ce vide devra être au moins égale à 1 m et il devra faire l'objet d'une ventilation forcée assurant un taux de renouvellement d'air d'un minimum de 2 volumes / heure.

La solution de sur-ventilation présente une solution durable et générant peu de travaux supplémentaires par rapport à ceux prévus pour la construction des bâtiments.

Au droit des bâtiments pourvus de sous-sols, la mise en œuvre de cette solution A ne générera pas de surcoût pour la réalisation des travaux d'aménagement.

Au droit du bâtiment 2M, la mise en place d'un vide sanitaire ventilé (pour un renouvellement d'air de 2 volumes / heure) d'un mètre de profondeur aurait un coût estimatif de l'ordre de 170 000 € (considérant un coût estimatif de l'ordre de 210 €/m² pour la mise en place du vide sanitaire et un coût d'environ 20 000 € pour le système de ventilation).

³ La crèche à réaliser sur l'îlot 4 constitue un établissement sensible. Les logements présentent également un usage sensible.

3.6.2

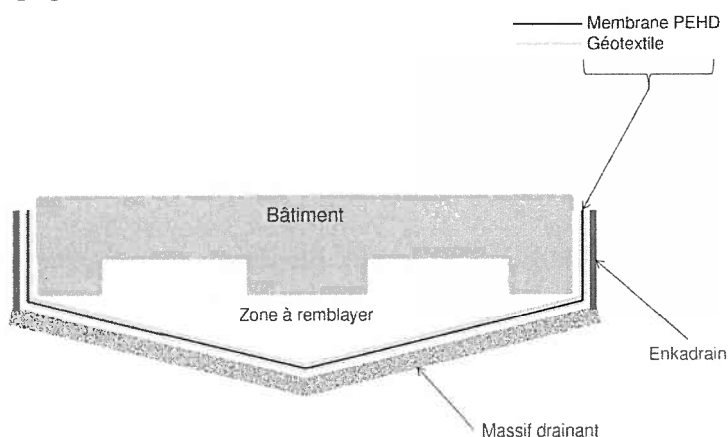
Solution B : membrane imperméable sous radier et en périphérie des voiles enterrés

Cette solution consiste en une étanchéisation des fondations des bâtiments (dalles de béton et murs extérieurs des sous-sols) au moyen d'une membrane PEHD, consistant en la réalisation d'une étanchéité de cuvelage, par l'extérieur des ouvrages.

La mise en place d'une membrane nécessite les dispositions constructives suivantes, visant à garantir son intégrité et son efficacité :

- couche de forme drainante sous bache, constituée de graviers roulés, sur environ 30 cm d'épaisseur ;
- dispositif anti poinçonnement, constitué de géotextiles placés sous et sur la membrane ;
- pente de l'ordre de 5‰ à appliquer à la membrane, afin de permettre au gaz de s'évacuer naturellement vers les côtés des bâtiments et ainsi éviter toute accumulation sous ceux-ci ;
- respect d'un espace suffisant entre la membrane et les fondations du bâtiment pour garantir sa planéité au regard des fondations, cages d'ascenseurs (etc.). Cet espace pourra être remblayé par des matériaux d'apport ou des matériaux issus du site ;
- thermo-soudure des différentes pièces de la membrane entre-elles ;
- étanchéisation des points de rupture dans la membrane (passages de tuyauteries par exemple) ;
- voiles de drainage (type Enkadrain par exemple) autour des murs enterrés des fondations.

Le schéma en page suivante présente ce dispositif.



Au regard de sa complexité technique, cette solution devra être intégrée aux travaux de réalisation des fondations, et ce dès le stade de la conception. En

effet, sa mise en application est complexe et doit être effectuée avec soin et précision, afin notamment d'éviter que des défauts d'étanchéité viennent nuire à l'efficacité du système.

Par ailleurs, vu sa configuration, la compatibilité technique de ce procédé avec les besoins géotechniques liés à la réalisation des fondations des bâtiments devrait être confirmée.

Le coût de mise en place du procédé de membrane étanche pourrait être de l'ordre de 150 €/m².

En considérant que la surface des murs des 2 niveaux de sous-sol pourraient, pour chaque bâtiment, représenter une surface de l'ordre de 50 % de l'emprise au sol du bâtiment, le montant total de la mise en œuvre du procédé de membrane étanche pourrait être de l'ordre de 2,77 M€ (cf. détail dans le tableau ci-dessous).

Bâtiment / sous-sol	Emprise approximative (m ²)	Surface approximative de murs des sous-sols (m ²)	Coûts de mise en œuvre associés (€ HT)
1A	4400	2200	990 000
1B	1800	900	405 000
2LNOP	3100	1550	697 500
2M	700	150*	127 500
3	1500	750	337 500
4	950	475	213 750
Montant total :			2 771 250

* : bâtiment sans sous-sol / membrane sur murs des fondations sur 1 m

Tableau 7 : Coûts de mise en œuvre du procédé membrane étanche

Il est également important de préciser qu'il n'existe à ce jour pas de retour d'expérience sur la pérennité de ce procédé, ce qui permet d'émettre des réserves quant à l'étanchéité et l'efficacité du procédé à long terme.

3.6.3

Comparaison des scénarios A et B

Le tableau en page suivante présente de manière synthétique les avantages et inconvénients de chacun des scénarios.

Options de gestion		Catégories du bilan	Faisabilité technique / délais	Coût	Impact environnemental lié à la mise en œuvre de l'option	Risques résiduels
A	Ventilation forcée des sous-sols et des vides sanitaires		Bonne Avantages : - pas de travaux supplémentaires sur les bâtiments pourvus de sous-sol, - coûts optimisés ; Inconvénients : - nécessité de création d'un vide sanitaire ventilé sous le bâtiment M sans sous-sol.	Faible (lié à la mise en place d'un vide sanitaire ventilé sous le bâtiment sans sous-sol) (170 k€ HT)	Modéré - empreinte carbone additionnelle liée aux travaux complémentaires sous le bâtiment sans sous-sol, - nuisances environnementales additionnelles du chantier, liées à l'allongement de la durée de celui-ci.	Faible (procédé bien connu et maîtrisé, taux de ventilation adaptables)
		Mise en place d'un procédé de membrane étanche PEHD	Contraignante Avantages : - isolation des bâtiments des gaz du sol sous-jacents, - sur-ventilation non nécessaire ; Inconvénients : - mise en œuvre technique du procédé, - évolution de l'intégrité du matériau dans le temps mal connue à ce jour, - coût prohibitif.	Très important (lié à la mise en place du procédé) (2,77 M€ HT)	Modéré - empreinte carbone additionnels liés à la fabrication et au transport sur site des matériaux du procédé, et à sa mise en place, - nuisances environnementales additionnelles du chantier, liées à l'allongement de la durée de celui-ci.	Faible à Modéré (bonne efficacité à court terme mais efficacité à long terme mal connue)

Tableau 9 : Bilan coûts –avantages des solutions de gestion des risques sanitaires résiduels envisagés

3.6.4

Bilan coûts - avantages

Le tableau suivant compare les trois scénarios en fonction de leurs coûts, et de différents critères tels que la maîtrise des risques pour l'usage, les données techniques de réalisation ou les impacts environnementaux. Cette comparaison permet d'apprécier la pertinence des solutions de gestion des risques sanitaires résiduels étudiées.

Critères :	Scénario A	Scénario B
Maîtrise des risques pour l'usage - Risques résiduels	++	+
Coûts de dépollution	++	---
Aspects environnementaux / Impact carbone	+	+
Technique et organisation (durée, contraintes,...)	++	-
Critères sociopolitiques	-	-
TOTAL	++++++	---

+ : apport positif

- : apport négatif

0 : apport nul

Tableau 10 : Bilan coûts - avantages des solutions de gestion des risques sanitaires résiduels

3.6.5

Solution retenue

Le bilan coût avantage montre clairement que le scénario A (ventilation forcée des sous-sols et vides sanitaires) est le plus avantageux, en termes de maîtrise des risques résiduels (des incertitudes subsistant sur certains paramètres techniques de l'autre solution envisagée) comme en termes de coût.

Ainsi, la **solution A** est retenue pour la gestion des risques sanitaires résiduels du site. Le coût estimatif prévisionnel de la mise en œuvre de cette solution est de 170 000 €.

L'établissement d'un schéma conceptuel a été réalisé conformément aux recommandations du guide « Schéma conceptuel et modèle de fonctionnement », édité par le Ministère en charge de l'environnement le 8 février 2007, sur la base des résultats des investigations menées sur le site et des solutions de gestion retenues (voir sections précédentes).

Le schéma conceptuel a pour objectif de réaliser le bilan factuel d'un site, et permet de préciser les relations entre :

- les sources de pollution ;
- les différentes voies de transfert et leurs caractéristiques ;
- les enjeux ou cibles à protéger.

Si la combinaison de ces trois éléments (source - vecteur - cible) n'est pas réalisée, la pollution ne présente pas de risques sanitaires. Dans le cas contraire, une évaluation quantitative des risques est nécessaire pour établir si la pollution est compatible avec l'usage du site tel qu'il est prévu.

4.1

SOURCES DE POLLUTION

L'identification et la caractérisation des sources reposent sur les différentes campagnes de prélèvements et analyses de sols réalisées entre 2011 et 2013 sur le site, et sur la mise en œuvre des mesures de gestion présentées ci-avant. Les impacts résiduels à considérer après réhabilitation sont les suivants :

- présence ponctuelle de métaux dans les sols superficiels, en concentrations pouvant être supérieures aux valeurs de bruit de fond géochimiques définies par l'INRA⁴ ;
- anomalies résiduelles en trichloroéthylène, tetrachloroéthylène, voire hydrocarbures ou benzène dans les gaz du sol.

4.2

IDENTIFICATION DES VOIES DE TRANSFERT

Les voies de transfert caractérisent les déplacements possibles des substances depuis le milieu sol vers les différents milieux considérés.

Le tableau ci-après présente les principales voies de transfert possibles dans chacun des milieux d'exposition sélectionnés, en cohérence avec

⁴ Information sur les éléments traces dans les sols en France, état au 18 août 2010

l'aménagement actuel et l'aménagement futur du site, et la justification de leur prise en compte ou non.

Milieu pris en compte	Voie de transfert potentielle	Prise en compte de la voie de transfert	Justification
Sol	Migration verticale	Oui	Perméabilité relativement élevée des terrains
Eau souterraine	Migration latérale	Non	Absence d'impact mesuré dans les eaux souterraines au droit du site
Air ambiant	Envol de poussières	Non	Recouvrement de l'ensemble du site par des bâtiments, des revêtements de surface voire de la terre végétale d'apport (pour les futurs espaces verts).
	Intrusion de vapeurs	Oui	Présence de trichloroéthylène, tetrachloroéthylène voire d'hydrocarbures dans les gaz du sol au droit du site.

Tableau 8 : Voies de transfert potentielles des sources de pollution

4.3

IDENTIFICATION DES CIBLES ET VOIES D'EXPOSITION ASSOCIEES

Le paragraphe suivant présente les récepteurs (cibles) potentiels susceptibles d'être affectés directement ou indirectement par les sources de pollution via les voies de transfert mises en évidence.

Les récepteurs potentiels identifiés par ERM sont les futurs usagers du site, à savoir :

- les habitants des logements, adultes et enfants, susceptibles d'utiliser également les espaces extérieurs (cible 1) ;
- les usagers de la crèche (enfants) ainsi que le personnel de celle-ci (cible 2) ;
- les personnes travaillant dans les commerces présents dans les immeubles (cible 3) ;
- les usagers (habitants et autres) des sous-sols des immeubles (cible 4).

4.3.1

Voies d'exposition

Les points d'exposition correspondent aux points de contact entre la source de pollution et les récepteurs potentiels.

Compte tenu des voies de transfert identifiées, les voies d'exposition associées ont été identifiées. Le tableau ci-après reprend l'ensemble des voies

d'exposition possibles pour les cibles actuelles et futures, au regard des voies de transfert considérées, et la justification de leur prise en compte ou non.

Voie d'exposition	Cible	Prise en compte de la voie d'exposition	Justification
Inhalation de substances volatiles	1, 2, 3 et 4	Oui	Compte tenu de la présence de composés volatil dans les gaz du, l'inhalation de substances volatiles doit être considérée.

Tableau 9 : Voies d'exposition potentielles aux sources de pollution

4.4

IDENTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES RESIDUELS POTENTIELS

Sur la base des éléments décrits dans les paragraphes précédents, les risques d'exposition résiduelle recensés sur le site sont liés à :

- l'inhalation de substances volatiles.

Ce risque potentiel est à considérer pour l'ensemble des futurs usagers du site.

La *Figure 4* présente de manière graphique le schéma conceptuel après réhabilitation du site.

Le schéma conceptuel après réhabilitation du site a mis en évidence l'existence d'un risque résiduel pour les futurs usagers du site lié à l'inhalation de vapeurs de composés organiques ayant migré depuis les sols dans l'air ambiant des futurs bâtiments / espaces extérieurs.

Au regard de ce schéma conceptuel, une Analyse Prédictive des Risques Résiduels (ApRR) a été réalisée dans le cadre du présent Plan de Gestion. Les résultats de cette ApRR sont détaillés en *Annexe 1* et présentés de manière synthétique dans les paragraphes suivants.

Impact résiduel pris en compte

Les concentrations maximales ayant été mesurées pour chaque paramètre sur l'ensemble du site ont été considérées comme potentiellement présentes au droit de chaque futur bâtiment.

Scénario d'exposition

En s'appuyant sur les informations transmises par Bouygues Immobilier, les scénarios suivants ont été étudiés :

- Résidents (adultes et enfants) vivant à l'intérieur des logements présentant deux niveaux de sous-sol et passant du temps à l'extérieur et dans les parkings sous-souterrains ;
- Résidents (adultes et enfants) vivant à l'intérieur des logements sans niveau de sous-sol et passant du temps à l'extérieur (futur bâtiment 2M uniquement) ;
- Enfants et personnels usagers de la crèche située dans un bâtiment de l'îlot 4 présentant deux niveaux de sous-sol et passant du temps à l'extérieur et dans les parkings sous-souterrains ;
- Employés et clients des commerces situés dans des immeubles avec deux niveaux de sous-sol et passant du temps à l'extérieur et dans les parkings sous-souterrains (selon les données fournies par Bouygues Immobilier, le bâtiment M, seul nouveau bâtiment sans niveau de sous-sol sera à usage résidentiel. Le scénario « commerce » n'a de ce fait pas été considéré pour ce dernier) ; et
- Employés des bureaux aménagés dans l'ancienne halle conservée à l'angle nord-est du site.

Le détail des paramètres d'exposition considérés pour ces scénarios est présenté dans le corps de l'ApRR (*Annexe 1*).

Résultats de l'ApRR

L'évaluation quantitative des risques liés à ces expositions, associée à la solution de gestion des risques sanitaires résiduels retenue (solution A : mise en place de ventilation forcée dans les sous-sols et mise en place d'un vide sanitaire ventilé pour le bâtiment sans niveau de sous-sol), permet d'effectuer les recommandations suivantes pour les dispositions constructives à prévoir pour les futurs bâtiments :

- bâtiments abritant logements, commerces et crèche bâtis sur deux niveaux de sous-sol : mise en place d'une ventilation mécanique assurant un taux de renouvellement d'air d'au minimum 1 volume/heure ;
- bâtiment sans sous-sol abritant logements et commerces : mise en place d'un vide sanitaire pourvu d'une dalle de béton à sa base (de 20 cm d'épaisseur) d'1 m de hauteur sous plafond, avec ventilation mécanique assurant un taux de renouvellement d'air d'un minimum de 2 volumes/ heure.

Les quotients de danger et excès de risque individuels calculés sont présentés ci-dessous.

Bâtiments avec sous-sol :

	Adulte		Enfant		Somme ERI
	QD	ERI	QD	ERI	
Logements	3.10^{-1}	1.10^{-6}	4.10^{-1}	3.10^{-7}	2.10^{-6}
Parking	3.10^{-2}	1.10^{-7}	3.10^{-2}	2.10^{-8}	1.10^{-7}
Extérieur	7.10^{-4}	3.10^{-9}	2.10^{-3}	1.10^{-9}	4.10^{-9}
Total	3.10^{-1}	1.10^{-6}	4.10^{-1}	4.10^{-7}	2.10^{-6}

Niveau acceptable : $QD < 1$ et $ERI < 10^{-5}$.

Bâtiment 2M, sur vide sanitaire :

	Adulte		Enfant		Somme ERI
	QD	ERI	QD	ERI	
Logements	5.10^{-1}	2.10^{-6}	7.10^{-1}	6.10^{-7}	3.10^{-6}
Extérieur	7.10^{-4}	3.10^{-9}	2.10^{-3}	1.10^{-9}	4.10^{-9}
Total	5.10^{-1}	2.10^{-6}	7.10^{-1}	6.10^{-7}	3.10^{-6}

Niveau acceptable : $QD < 1$ et $ERI < 10^{-5}$.

Aucune disposition constructive n'est préconisée pour la partie de la halle devant être conservée pour y abriter des bureaux, au regard des résultats de l'ApRR.

6.1

CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE DE SOLS APRES DEMOLITION

Au droit des zones non reconnues que représentent la parcelle occupée par le bowling (nord du site) et la zone de l'atelier de mécanique d'automobiles de collection et de l'entreprise de fourniture de matériaux plastiques (sud du site), il conviendra d'effectuer une reconnaissance de sols après démolition du bâti, afin de lever les hypothèses présentées à la section 2.7.1 sur les terrains devant faire l'objet de mesures de gestion spécifiques.

Ces investigations consisteront en la réalisation :

- de prélèvements de sols aux profondeurs des terrassements prévus (à minima), pour analyses de laboratoire pour les composés constituant les critères d'acceptation en ISDI, ainsi que les COHV, voire métaux ou tout autre composé qui serait jugé pertinent au regard des observations de terrain ;
- de prélèvements de gaz du sol pour analyses de laboratoire pour les hydrocarbures, le naphthalène, les BTEX, les COHV (et tout autre composé pertinent le cas échéant).

Elles permettront notamment de définir les quantités de sols devant faire l'objet d'une gestion adaptée, et confirmer ou mettre à jour les résultats de l'ApRR présentée en section 5.

A ce stade, il paraît raisonnable d'envisager les reconnaissances suivantes :

- zone nord (bowling) :
 - environ 8 à 10 sondages de sols ;
 - environ 2 points de prélèvement des gaz du sol ;
- zone sud (atelier de mécanique automobile et entreprise de matériaux plastiques) :
 - environ 5 à 6 sondages de sols ;
 - environ 2 points de prélèvement des gaz du sol.

6.2

DECOUVERTE D'UNE POLLUTION INOPINEE EN COURS DE CHANTIERS

En cas de découverte d'une pollution inopinée durant la réalisation des travaux de terrassement, des mesures adéquates devront être prises afin d'assurer une gestion adaptée de la contamination mise en évidence, tant sur

la maîtrise des risques que sur la gestion des déchets que constituent les terres excavées et évacuées hors site.

En cas de découverte d'indices organoleptiques significatifs d'une pollution (couleur, texture, odeur, anomalie gazeuse mesurée au détecteur par photo-ionisation,...) au droit d'une zone n'ayant pas été reconnue comme impactée lors des études environnementales un protocole de gestion devra être mis en œuvre dans le cadre d'une mission de maîtrise d'œuvre de dépollution. Il pourrait être le suivant :

- purge de la source sol mise en évidence pour traitement / élimination en filière spécialisée agréée ;
- réalisation, après purge de la source, de prélèvement(s) de réception pour analyses de laboratoire selon les composés détectés ;
- mise à jour, le cas échéant, de l'analyse des risques sanitaires en fonction des résultats des analyses de réception (voire mesures de gestion complémentaires si ces analyses ne s'avéraient pas concluantes).

La réalisation, durant les phases de terrassement, de mesures in situ des gaz du sol et de l'air ambiant au moyen de dispositifs spécifiques de terrain (détecteur par photo-ionisation, ampoules colorimétriques type Dräger,...) permettra d'effectuer les contrôles en direct en cas de doutes sur la présence d'anomalies en composés volatils dans les sols.

En fonction des résultats de ces analyses de terrain au droit d'une zone de pollution inopinée, des mesures spécifiques (port d'EPI adaptés tels que protection respiratoire par exemple) pourront s'avérer nécessaires pour la protection des travailleurs intervenant sur la zone (pour prélèvements de sols et/ou purge de celle-ci).

6.3

RECEPTION DES TRAVAUX

Une fois les travaux de terrassement achevés, il conviendra de procéder à la réalisation de prélèvements et analyses de sol et de gaz du sol visant à constituer la réception des travaux finis et les données d'entrée de l'Analyse des Risques Résiduels finale.

Ces analyses comprendront les composés suivants :

- pour les sols : les hydrocarbures, CAV, HAP, COHV, ainsi que toute autre analyse pertinente le cas échéant (prévisionnel d'environ 40 analyses) ;

- pour les gaz du sol : les hydrocarbures, CAV, naphtalène, COHV, ainsi que toute autre analyse pertinente le cas échéant (prévisionnel d'environ 20 analyses).

La société Bouygues Immobilier participe à un programme de promotion immobilière (4 flots d'immeubles de logements collectifs et commerces, dont un abritant également une crèche, la majorité des immeubles étant à construire sur deux niveaux de sous-sol), sur un terrain localisé entre les rues Marius Berliet, des Hérideaux, Audibert-et-Lavirotte et Saint Agnan, dans le huitième arrondissement de Lyon (69).

Ce terrain abrite actuellement plusieurs sociétés d'activités industrielle ou commerciale, des entrepôts et bâtiments inoccupés, ainsi qu'une zone de parkings. Sa superficie totale est d'environ 27 700 m², d'après les informations fournies par Bouygues Immobilier.

Le site a autrefois été exploité par la société BERLIET, pour la fabrication d'automobiles, puis récemment par diverses entreprises, pour des activités de vente et réparation d'automobiles, de location d'automobiles, de mécanique automobile, de carrosserie, d'électricité, de commerce de matériaux plastique, de stockage d'archives ainsi qu'un bowling (certaines de ces activités étant encore en cours à la rédaction du présent rapport).

Au regard de son historique industriel, le site a fait l'objet de plusieurs études environnementales, entre 2011 et 2013, celles-ci ayant notamment mis en évidence :

- des anomalies ponctuelles en hydrocarbures, voire BTEX ou PCB dans les sols ;
- la présence de terrains superficiels (remblais presque exclusivement) non inertes dans l'emprise des zones à terrasser pour le réaménagement du site ;
- la présence de composés chlorés, d'hydrocarbures voire de benzène dans les gaz du sol au droit de l'ensemble du site.

Au regard de ces éléments, un Plan de Gestion a été élaboré, pour maîtriser les impacts liés aux activités historiques du site et ainsi le rendre compatible avec son usage futur. Ce Plan de Gestion présente les solutions de réhabilitation envisageables et évalue les différentes options sur la base d'un bilan coûts/avantages. Il comprend une Analyse prédictive des Risques Résiduels qui établit la pertinence des options de gestion proposées propres à rendre le site compatible avec son usage futur.

Les problématiques sols, relevant de la gestion de déblais dans le cadre du réaménagement du site, et gaz du sol, relevant des risques sanitaires résiduels, ont été différenciées pour chacune faire l'objet d'un bilan coûts - avantages spécifique.

Deux mesures de gestion des sols ont ainsi été jugées envisageable, il s'agit des :

- **Scénario 2 :** traitement des zones d'anomalie en hydrocarbures et BTEX en Biocentre (élimination de la zone d'anomalie en PCB en ISDND), et criblage avant élimination en ISDND des terrains superficiels non inertes devant être excavés pour les besoins du réaménagement du site ;
- **Scénario 3 :** élimination de l'ensemble des zones d'anomalies en hydrocarbures, BTEX et PCB, ainsi que les déblais non inertes générés par les travaux de réaménagement vers une plateforme de tri de déchets.

Pour la maîtrise des risques sanitaires, la solution de gestion retenue (**solution A**), consiste à :

- assurer un taux de renouvellement d'air d'un minimum d'1 volume/heure dans les sous-sol par l'intermédiaire des dispositif de ventilation initialement prévus ;
- réaliser, sous le bâtiment 2M, un vide sanitaire ventilé permettant d'assurer un taux de renouvellement d'air d'un minimum de 2 volumes / heure (au regard de cette préconisation, il pourrait s'avérer judicieux d'envisager la réalisation d'un niveau de sous-sol au droit de ce bâtiment).

Les coûts relatifs à la mise en œuvre de ces options de gestion sont les suivants (hors AMO/MOE) :

Options	Coûts associés
Scénario 2 (sols)	651 k€ à 1,10 M€
<i>OU</i>	
Scénario 3 (sols)	665 k€ à 1,15 M€
<i>+</i>	
Solution A (risques résiduels)	170 k€

En complément des options de gestion présentées, les mesures complémentaires suivantes devront être respectées :

- recouvrement des sols par au moins 30 cm de terre végétale d'apport, au droit des espaces verts et, plus généralement de toute zone en dehors de l'emprise des bâtiments ou voiries. Ce recouvrement permettra de s'affranchir de tout risque lié à un contact direct entre des

sols susceptibles de présenter des teneurs résiduelles en différents composés, et les futurs usagers du site ;

- remblaiement des tranchées des canalisations d'adduction d'eau par des matériaux d'apport sains. ceci permettra de s'affranchir de tout risque de perméation d'éventuelles substances résiduelles dans les canalisations d'eau potable du site (si en polyéthylène) ;
- interdiction de plantation de potager ou d'arbre fruitier sur le site, afin de s'affranchir de tout risque de bio accumulation de substances résiduelles dans des plantes susceptibles d'être consommées ;
- interdiction d'exploitation de la nappe. Au regard du passif industriel du site et de la présence de traces de composés chlorés voire d'hydrocarbures dans les eaux souterraines au droit du site, cette mesure constitue une précaution d'usage.

L'ensemble de la mise en œuvre des options de gestion présentées ci-dessus permettront de maîtriser les impacts résiduels en contrôlant les voies d'exposition par inhalation. Le schéma conceptuel, après mise en œuvre de l'ensemble des mesures de gestion, est présenté sur la *Figure 6*.

Les travaux relatifs à la mise en œuvre des mesures de gestion mais aussi des terrassements courants devront faire l'objet de mesures spécifiques, notamment en cas de découverte d'une pollution inopinée.

Par ailleurs, des analyses de réception devront être réalisées après travaux, afin de constituer les données d'entrée de l'Analyse des Risques Résiduels finale.

-oOo-

Nous tenons à remercier la société Bouygues Immobilier de nous avoir donné l'opportunité de réaliser cette étude. Pour toute question relative à ce dossier, nous vous prions de joindre les intervenants ci-dessous désignés.

Pour ERM France,

Rédacteur :
Simon Dubost
Chef de Projet

Vérificateur :
Nicholas Sharp
Associé

Approbateur :
Benoist Delhalle
Associé

FIGURE 1

Localisation géographique du site

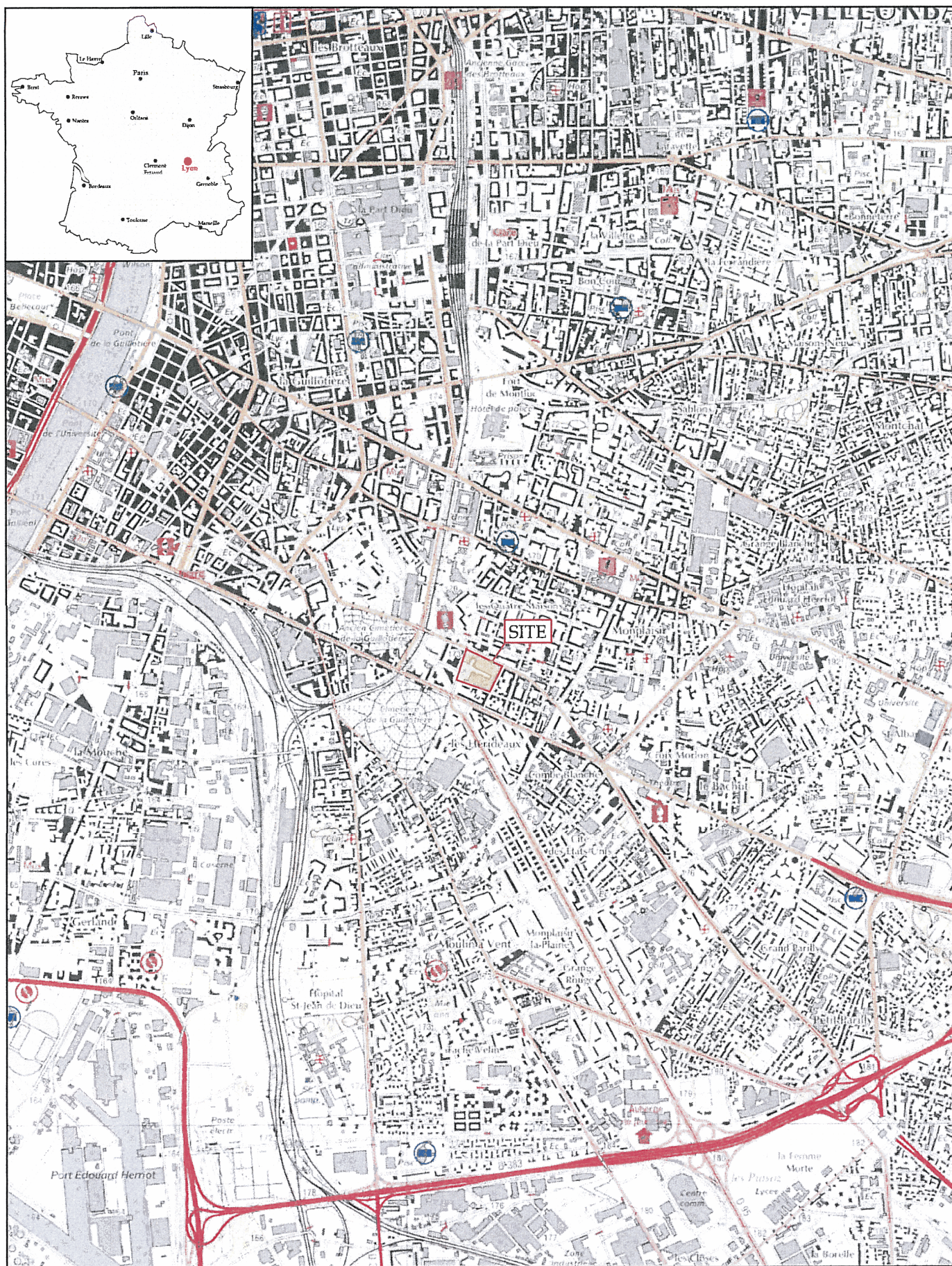


Figure 1 : Localisation générale du site

0 1000 m



ERM France
Bureau de Lyon
3 allée du Moulin Berger
69130 Ecully
Tél.: 04 37 42 30 50
Fax: 04 37 42 05 26

Projet : ZAC BERLIET
Client : BOUYGUES IMMOBILIER
Lieu : LYON (69008), FRANCE

Source : IGN n° 2031 O

Date : 07/11/13

Fichier : 0219060-01.cdr



FIGURE 2

Plan du site dans sa configuration actuelle



FIGURE 3

Vue générale des anomalies dans les sols



FIGURE 4

Schéma conceptuel après réhabilitation du site

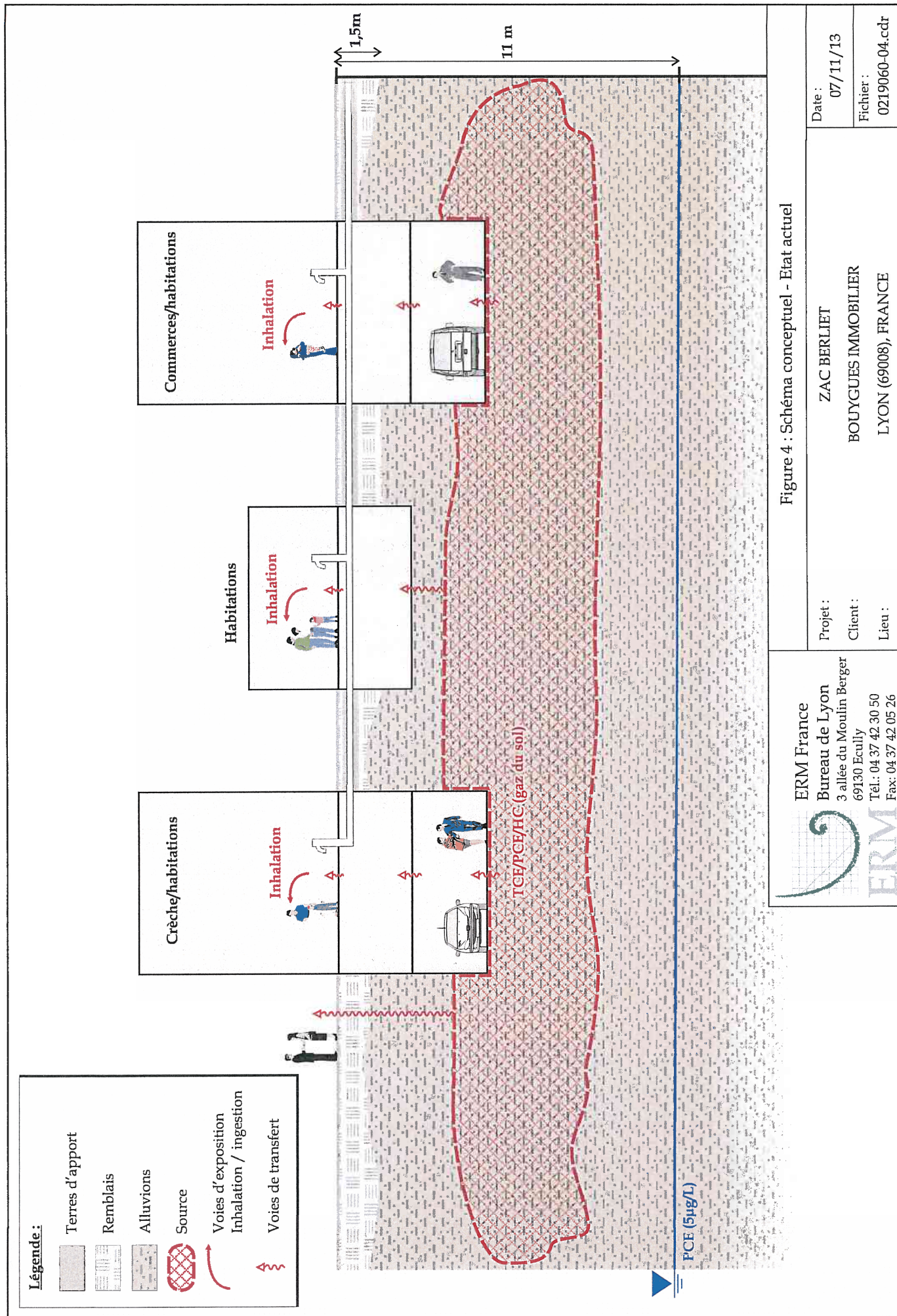


Figure 4 : Schéma conceptuel - Etat actuel

ERM France
Bureau de Lyon
3 allée du Moulin Berger
69130 Ecully
Tél.: 04 37 42 30 50
Fax: 04 37 42 05 26

Projet : ZAC BERLIET
Client : BOUYGUES IMMOBILIER
Lieu : LYON (69008), FRANCE

Date : 07/11/13
Fichier : 0219060-04.cdr

FIGURE 5

Cartographie des concentrations maximales mesurées dans
les gaz du sol

ANNEXE 1

Analyse prédictive des Risques Résiduels



Analyse prédictive des risques résiduels

*ZAC Berliet – rue Marius Berliet
Lyon (69)*

Rapport. R2653– Annexe 1

7 novembre 2013

www.erm.com

RAPPORT PROVISOIRE

BOUYGUES IMMOBILIER

Analyse prédictive des risques résiduels

*ZAC Berliet – rue Marius Berliet
Lyon (69)*

Novembre 2013

Numéro de projet : GMS 0219060

Numéro de rapport : R2653 / Annexe 1

Au nom et pour le compte de ERM

Approuvé par : Benoist Delhalle

Poste : Associé

Date : 7 novembre 2013

Le présent rapport a été préparé par ERM France avec toute la compétence, le soin et la diligence raisonnables, dans le cadre des termes du contrat avec le client, qui incorporent nos termes et conditions commerciaux généraux, et en tenant compte des ressources consacrées à cette étude par accord avec le client.

Nous rejetons toute responsabilité envers le client et envers les tiers en ce qui concerne les questions ne touchant pas à l'étude mentionnée ci-dessus.

Le présent rapport est confidentiel à l'intention exclusive du client et nous n'acceptons aucune responsabilité, de quelque nature que ce soit, envers des tiers auxquels il serait divulgué en tout ou en partie. Les tiers s'appuyant sur les conclusions de ce rapport le feront à leurs propres risques.

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	2
1.1	APPROCHE GENERALE	2
1.2	SCHEMA CONCEPTUEL ET SCENARIOS CONSIDERES	2
2	CARACTERISATION DE LA SOURCE	4
2.1	SUBSTANCES RETENUES	4
2.2	CONCENTRATIONS SOURCE ET PROFONDEUR DE LA SOURCE	4
3	CARACTERISATION DES TRANSFERTS	6
3.1	MODELISATION DE L'INTRUSION DE VAPEURS	6
3.2	PARAMETRES RETENUS	7
4	EVALUATION DE L'EXPOSITION	10
4.1	METHODOLOGIE	10
4.2	PARAMETRES D'EXPOSITION RETENUS	10
5	EVALUATION DE LA TOXICITE	12
5.1	PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE (VTR)	12
5.2	QUANTIFICATION DES RISQUES	14
6	RESULTATS DE L'EQRS	18
6.1	BATIMENTS PRESENTANT DEUX NIVEAUX DE SOUS-SOL	18
7	ANALYSE DES INCERTITUDES	21
7.1	PREAMBULE	21
7.2	ANALYSE QUALITATIVE	21
7.3	ANALYSE QUANTITATIVE	25

ANNEXES :

Annexe 1A Paramètres physico-chimiques

Annexe 1B Détails des calculs de risques

TABLE DES ACRONYMES

Abréviation	Nom complet
Substances chimiques - Composés organiques	
COHV	Composés organiques halogénés volatils
PCE	Perchloroéthylène, composé de la famille des COHV (ou tétrachloroéthylène)
TCE	Trichloroéthylène, composé de la famille des COHV
HCT	Hydrocarbures totaux
Termes génériques	
BRGM	Bureau des Ressources Géologiques et Minières
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
Termes relatifs à l'étude de risques	
CI	Concentration inhalée
EQRS	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
QD	Quotient de Danger (substances toxiques)
ERI	Excès de Risque Individuel (substances cancérogènes)
VTR	Valeur Toxicologique de Référence

1

INTRODUCTION

1.1

APPROCHE GENERALE

La méthodologie adoptée en France pour l'EQRS (méthodologie mise à jour le 8 février 2007 par le Ministère en charge de l'environnement) est basée sur le schéma classique « source – transfert – cible ». Elle comporte quatre étapes fondamentales :

- 1) l'établissement d'un modèle conceptuel propre au site, spécifiant les sources, les voies d'exposition et de transfert et les récepteurs ou cibles potentiel(le)s (*ce schéma conceptuel est présenté en section 3 du Plan de Gestion*);
- 2) la détermination de la toxicité des substances auxquelles sont exposés les récepteurs potentiels ;
- 3) l'estimation de l'exposition des récepteurs, par l'évaluation des concentrations d'exposition ; et
- 4) l'évaluation des risques potentiels par comparaison des concentrations d'exposition à des limites acceptables.

Les principes de précaution et de proportionnalité ont été observés au cours de la présente étude. Conformément au principe de spécificité, les données propres au site ont été utilisées lorsqu'elles étaient disponibles.

1.2

SCHEMA CONCEPTUEL ET SCENARIOS CONSIDERES

Cette évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) constitue une annexe du rapport ERM « *Plan de Gestion – ZAC Berliet – rue Marius Berliet, Lyon (69)* », rapport R2653, ERM, 7 novembre 2013.

Conformément au schéma conceptuel présenté à la section 4 et en Figure 4 de ce Plan de Gestion, l'exposition par inhalation des futurs usagers du site aux composés volatils mis en évidence sur site dans les gaz du sol lors des phases d'investigations successives a été évaluée.

La voie d'exposition par contact direct avec les sols pollués (ingestion de sols, inhalation de poussières) n'a pas été prise en compte du fait de la présence d'une couche de terre d'apport et/ou de bitume sur les espaces extérieurs et de la présence d'une dalle en béton sous-jacente aux bâtiments sur le reste du site, empêchant tout contact avec les sols impactés.

Les voies d'exposition par contact direct avec les eaux souterraines (ingestion d'eau, contact cutané, ingestion de légumes auto-produits arrosés avec l'eau

de la nappe) n'ont pas été étudiées : selon les informations mises à notre disposition aucun usage d'eau souterraine n'est prévu au droit du site.

En s'appuyant sur les informations transmises par Bouygues Immobilier, les scénarios suivants ont donc été étudiés :

- Résidents (adultes et enfants) vivant à l'intérieur des logements présentant deux niveaux de sous-sol et passant du temps à l'extérieur et dans les parkings sous-souterrains ;
- Résidents (adultes et enfants) vivant à l'intérieur des logements sans niveau de sous-sol et passant du temps à l'extérieur (futur bâtiment M uniquement) ;
- Enfants et personnels usagers de la crèche située dans un bâtiment de l'îlot 4 présentant deux niveaux de sous-sol et passant du temps à l'extérieur et dans les parkings sous-souterrains ;
- Employés et clients des commerces situés dans des immeubles avec deux niveaux de sous-sol et passant du temps à l'extérieur et dans les parkings sous-souterrains (selon les données fournies par Bouygues Immobilier, le bâtiment M, seul nouveau bâtiment sans niveau de sous-sol sera à usage résidentiel. Le scénario « commerce » n'a de ce fait pas été considéré pour ce dernier) ; et
- Employés des bureaux aménagés dans l'ancienne halle conservée à l'angle nord-ouest du site.

2.1

SUBSTANCES RETENUES

Les critères de sélection suivants ont été utilisés :

- Evaluation de la toxicité : existence confirmée des effets connus sur la santé humaine (effet cancérigène et non cancérigène), c'est-à-dire, les composés retenus possèdent une VTR spécifique (correspondant à la voie d'exposition identifiée) ;
- Niveau des concentrations retenues : concentrations dans les gaz du sol supérieures aux limites de quantification du laboratoire.

Les substances retenues sont les substances volatiles identifiées dans les gaz du sol lors des phases d'investigations successives, à savoir :

- Les Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV) ;
- Les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) ; et
- Les Hydrocarbures Totaux volatils (fractions C5-C16).

2.2

CONCENTRATIONS SOURCE ET PROFONDEUR DE LA SOURCE

Les concentrations maximales décelées dans les gaz du sol sur l'ensemble du site ont été retenues pour les calculs.

L'aménagement envisagé comprenant des bâtiments avec deux niveaux de sous-sol et un bâtiment sans sous-sol, deux séries différentes de concentrations et de profondeur de source ont été retenues :

- Pour les bâtiments présentant deux niveaux de sous-sol : les concentrations maximales mesurées dans les gaz du sol au droit des piézajirs présents sur site présentant des zones crépinées entre 5 et 6 m de profondeur ont été retenues (Pair1 à Pair6). La profondeur de la source a alors été prise juste sous le radier du dernier niveau de parking, à 5,07 m.
- Pour les bâtiments sans niveau de sous-sol (bâtiment M et halle existante) et les zones extérieures: les concentrations maximales mesurées dans les gaz du sol au droit des piézajirs présents sur site présentant des zones crépinées entre 5 et 6 m de profondeur ont été retenues (Pair1 à Pair6). La profondeur de la source a alors été prise en haut de la zone crépinée, soit 5 m¹.

¹ La prise en considération des concentrations mesurées dans les gaz du sol au droit piézajirs installés sur site présentant des zones crépinées entre 2 et 3 m de profondeur

Il convient de noter qu'aucune donnée relative à la qualité des gaz du sol au droit de l'ancienne halle conservée à l'angle nord-ouest du site n'est disponible. La prise en considération des concentrations maximales observées sur site semble tout de même être une approche conservatrice pour les calculs de risques relatifs à ce bâtiment.

Les concentrations ainsi retenues sont présentées dans le *Tableau 2.1.2* ci-dessous :

Tableau 2.1.2 Concentrations retenues

Paramètres considérés	Concentrations retenues [µg/m³]	Piézair correspondant	Date de prélèvement des gaz du sol
Benzène	8,6	Pair5	Octobre 2013
Toluène	11,4	Pair5	Octobre 2013
Ethylbenzène	119,7	Pair4	Octobre 2013
m-,p-xylènes	63,4	Pair4	Octobre 2013
o-xylène	14,1	Pair4	Octobre 2013
Trichlorométhane	18,1	Pair5	Octobre 2013
1,1,1-Trichloroéthane	57,1	Pair5	Octobre 2013
Tétrachlorométhane	8,6	Pair5	Octobre 2013
Trichloroéthylène	11 428,6	Pair5	Octobre 2013
Tétrachloroéthylène	1 523,8	Pair5	Octobre 2013
Hydrocarbures totaux*			
Hydrocarbures totaux aliphatiques C5-C6	76,2	Pair5	Octobre 2013
Hydrocarbures totaux aliphatiques C>6-C8	6 276,2	Pair5	Octobre 2013
Hydrocarbures totaux aliphatiques C>8-C10	4 516,7	Pair2	Octobre 2013
Hydrocarbures totaux aliphatiques C>10-C12	3 416,7	Pair2	Octobre 2013

* En complément des analyses normées en hydrocarbures volatils C5-C16, des analyses de spéciation aliphatiques/aromatiques semi-quantitatives ont été réalisées sur l'ensemble des échantillons de gaz du sol prélevés entre 5 et 6m de profondeur (hors « Pair4 »). Pour les échantillons présentant les plus fortes concentrations (« Pair3 » et « Pair5 ») et l'ensemble des autres échantillons analysés (hors « Pair3 » qui présente une concentration mineure en hydrocarbures aromatiques C8-C10), seuls des hydrocarbures aliphatiques ont été détectés à des concentrations supérieures à la limite de quantification du laboratoire. L'ensemble des hydrocarbures volatils a donc été considéré comme des fractions aliphatiques.

Les concentrations en m,p-xylènes analysées dans les gaz du sol ne précisant pas la répartition entre ces deux composés, la totalité des teneurs relevées ont été considérées comme étant entièrement dues au p-xylène, hypothèse la plus conservatrice en termes de risques sanitaires.

(PZA9, PZA10 et PZ11) et une profondeur de la source à 2 m (sommet de la zone crépinée) a été étudiée dans l'analyse des incertitudes. Elle s'avère moins pénalisante.

3.1

MODELISATION DE L'INTRUSION DE VAPEURS

La voie de transfert liée au risque d'inhalation des vapeurs est la volatilisation des composés volatils identifiés dans le sol superficiel, et leur migration par diffusion et/ou convection vers la surface, puis leur dilution dans l'air ambiant à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments.

La modélisation de ce transfert est utilisée afin d'estimer les concentrations dans l'air ambiant aux points d'exposition.

Le modèle utilisé pour estimer la remontée de vapeurs à l'intérieur des bâtiments est celui publié par l'US EPA, basé sur les équations de Johnson & Ettinger, publiées en 1991. L'US EPA fournit des évaluateurs de risques avec une feuille de calcul Excel® utilisant ce modèle, sa dernière mise-à-jour datant de Février 2004. Cette feuille de calcul, modifiée par ERM afin d'améliorer la lisibilité et la prise en compte de plusieurs substances simultanément, a été utilisée pour estimer les concentrations à l'intérieur des bâtiments.

Pour les concentrations dans l'air ambiant à l'extérieur des bâtiments, les formules utilisées sont celles dans le logiciel RBCA (*Risk Based Corrective Action*), version 1.3b (mise-à-jour disponible depuis 2004), publié en 1998 par Groundwater Services, Inc. Ces formules ont été intégrées dans une feuille de calcul Excel®.

Ces deux modèles sont communément utilisés pour l'évaluation de risques et sont reconnus par l'administration Française.

Le modèle basé sur les équations de Johnson & Ettinger prend en compte les caractéristiques du sol (porosité, densité, perméabilité etc.), la taille des bâtiments et les paramètres physico-chimiques des substances.

Les équations dans le logiciel RBCA prennent en compte l'étendue de la zone polluée et la direction du vent dominant (sud-sud-ouest/nord-nord-ouest dans le cas présent), la hauteur des voies respiratoires, la vitesse du vent, les caractéristiques du sol (porosité, densité, etc.) et les paramètres physico-chimiques des substances.

La source a été considérée comme infinie dans le temps (c'est-à-dire pas de dégradation), ce qui correspond à une approche conservatrice.

Dans la mesure du possible, les paramètres correspondant aux caractéristiques du site ont été utilisés. A défaut, des valeurs « standard » recommandées par les modèles de calculs ou des valeurs conservatrices ont été utilisées.

3.2.1 Caractéristiques du sous-sol

La géologie du modèle est basée sur les observations de terrain et sur les logs des sondages. Les sondages réalisés en mai 2013 par BURGEAP et en octobre 2013 par ERM au droit du site ont mis en évidence des remblais sablo-graveleux jusqu'à 1,5 m de profondeur puis le terrain naturel composé de sables et graviers jusqu'en fond de sondage (profondeur maximale : 16 m).

Ainsi, d'après la classification de Johnson & Ettinger (J&E, 2004)², le profil retenu a les caractéristiques suivantes:

Profil géologique observé par ERM	Type assimilé (J&E)	Porosité totale (J&E) (cm ³ /cm ³)	Teneur en eau (J&E) (cm ³ /cm ³)	Perméabilité calculée Kv (cm ²)
Sable et graviers	Sable	0,375	0,054	10 ⁻⁷

Une température moyenne du sol de 17 °C, correspondant à la température moyenne des eaux souterraines observée sur site lors de leur prélèvement en octobre 2013, a été retenue.

3.2.2 Caractéristiques des aménagements

Les caractéristiques retenues pour les différents aménagements (futurs bâtiments avec et sans niveau de sous-sol et halle existante) se basent sur les informations fournies par Bouygues Immobilier et sont présentées dans les *Tableau 3.2.2.a*, *Tableau 3.2.2.b*, *Tableau 3.2.2.c* ci-après. En l'absence de données précises sur certaines caractéristiques des futurs bâtiments considérées, des valeurs standards proposées par le modèle Johnson & Ettinger ont été utilisées.

Par ailleurs, certains paramètres constituent des préconisations d'ERM au vu des concentrations observés dans les gaz du sol et leurs potentielles variabilités saisonnières. Il en est notamment ainsi pour :

- Le taux de ventilation des parkings souterrains pour les bâtiments avec sous-sol (« Taux d'échange d'air à l'intérieur (vol/h) ») : 1 vol/h ;
- La considération d'un vide sanitaire avec dalle sous-jacente et d'un taux de renouvellement d'air de 2 vol/h dans ce vide sanitaire.

² Selon le tableau 10 du document "Users's guide for evaluating subsurface vapour intrusion into buildings", US EPA, mise à jour du 22 février 2004

Tableau 3.2.2a *Caractéristiques des différents aménagements retenus – Nouvelles constructions avec niveaux de sous-sol*

Paramètres	Valeur	Source
Profondeur du dallage, Lf (cm)	507	Valeur retenue en fonction de la hauteur des niveaux de sous-sol (2,37 et 2,57 m) et du radier des futurs bâtiments (13 cm) communiqués par Bouygues Immobilier
Epaisseur du dallage, Lcrack (cm)	13	Epaisseur du radier communiqué par Bouygues Immobilier
Longueur, Lbuilding (cm)	1000	valeur standard - modèle Johnson & Ettinger
Largeur, Wbuilding (cm)	1000	valeur standard - modèle Johnson & Ettinger
Hauteur, Hbuilding (cm)	494	Valeur retenue en fonction de la hauteur des niveaux de sous-sol (2,37 et 2,57 m) et du radier des futurs bâtiments (13 cm) communiqués par Bouygues Immobilier
Epaisseur des fissures, Wcrack (cm)	0,1	Valeur standard - modèle Johnson & Ettinger
Taux d'échange d'air à l'intérieur (vol/h)	1	Taux d'échange proposé compte tenu de la présence de composés volatils dans les gaz du sol
Taux de transfert entre le sous-sol et les étages supérieurs	39%	Valeur maximale proposée par Fast et al (1987 ³) – cf. rapport de l'Ineris ⁴) (95 ^{ème} percentile)

Tableau 3.2.2b *Caractéristiques des différents aménagements retenus - Nouvelles constructions sans niveau de sous-sol et avec vide sanitaire*

Paramètres	Valeur	Source
Profondeur du dallage, Lf (cm)	113	Valeur retenue en fonction de la hauteur du vide sanitaire préconisé (1 m) et du radier des futurs bâtiments (13 cm) communiqués par Bouygues Immobilier
Epaisseur du dallage, Lcrack (cm)	13	Epaisseur du radier communiqué par Bouygues Immobilier
Longueur, Lbuilding (cm)	1000	valeur standard - modèle Johnson & Ettinger
Largeur, Wbuilding (cm)	1000	valeur standard - modèle Johnson & Ettinger
Hauteur, Hbuilding (cm)	100	Hauteur du vide sanitaire préconisé

³ Fast, T.J., Kliest, en H., van de Wiel, 1987, De bijdrage van bodemverontreiniging aan de verontreiniging van de lucht in woningen. Report n°6 in de publikatiereeks Milieubeheer, VROM, Leidschendam, table 5.3.2 and text p 47-48.

⁴ Rapport Ineris n°DRC-05-57278-DESP/R03a (avril 2005) : « Etude des modèles d'évaluation de l'exposition et des risques liés aux sols pollués – Modélisation de transfert de vapeurs du sous-sol ou du vide sanitaire vers l'air intérieur ».

Epaisseur des fissures, Wcrack (cm)	0,1	valeur standard - modèle Johnson & Ettinger
Taux d'échange d'air à l'intérieur (vol/h)	2	Taux d'échange proposé compte tenu de la présence de composés volatils dans les gaz du sol
Taux de transfert entre le sous-sol et les étages supérieurs	39%	Valeur maximale proposée par Fast et al (1987 ⁵) - cf. rapport de l'Ineris ⁶) (95 ^{ème} percentile)

Tableau 3.2.2c *Caractéristiques des différents aménagements retenus – Halle existante sans niveau de sous-sol*

Paramètres	Valeur	Source
Profondeur du dallage, Lf (cm)	50	Radier existant
Epaisseur du dallage, Lcrack (cm)	50	Radier existant
Longueur, Lbuilding (cm)	1000	Valeur standard - modèle Johnson & Ettinger
Largeur, Wbuilding (cm)	1000	Valeur standard - modèle Johnson & Ettinger
Hauteur, Hbuilding (cm)	300	Hauteur sous plafond des bureaux envisagés (donnée de Bouygues Immobilier)
Epaisseur des fissures, Wcrack (cm)	0,1	Valeur standard - modèle Johnson & Ettinger
Taux d'échange d'air à l'intérieur (vol/h)	0,8	(*)

(*) Cette valeur est déduite du Décret 84-1093 du Code du Travail (article 232-5-3) et de la Circulaire du 09/08/78 modifiée relative au règlement sanitaire départemental qui définissent des débits par occupant de 18 m³/h pour des bureaux avec interdiction de fumer. Ainsi, en considérant une surface minimale de 10 m² par occupant, un débit de 18 m³/h et une hauteur utile de 2,5 mètres, on obtient un taux de ventilation de 0,8 fois par heure.

3.2.3 Paramètres extérieurs

Les paramètres présentés dans le *Tableau 3.2.c* suivant ont été pris en compte pour le scénario d'inhalation en extérieur :

Paramètres	Valeur sélectionnée	Justification
Hauteur des voies respiratoires (adultes)	150 cm	Valeur communément reconnue pour les adultes
Hauteur des voies respiratoires (enfants)	100 cm	Valeur communément reconnue pour les adultes

⁵ Fast, T.J., Kliest, en H., van de Wiel, 1987, De bijdrage van bodemverontreiniging aan de verontreiniging van de lucht in woningen. Report n°6 in de publikatiereeks Milieubeheer, VROM, Leidschendam, table 5.3.2 and text p 47-48.

⁶ Rapport Ineris n°DRC-05-57278-DESP/R03a (avril 2005) : « Etude des modèles d'évaluation de l'exposition et des risques liés aux sols pollués - Modélisation de transfert de vapeurs du sous-sol ou du vide sanitaire vers l'air intérieur ».

Vitesse du vent	3,6 m/s	Vitesse moyenne du vent à Lyon (septembre 2009- novembre 2013)
Longueur de la source	20 m	Valeur communément retenue

4 EVALUATION DE L'EXPOSITION

4.1 METHODOLOGIE

Dans une EQRS, les concentrations aux points d'exposition (CPOE), c'est-à-dire dans l'air ambiant, sont modélisées à partir des concentrations mesurées. Par la suite, les *Concentrations Inhalées* (CI) sont calculées pour chaque substance. Elles dépendent des paramètres d'exposition humaine et des caractéristiques d'exposition pour chaque scénario (fréquence d'exposition, durée de l'exposition...).

Les équations utilisées pour estimer les CI sont les équations standards présentées dans le guide « La démarche des analyses de risques résiduels » du 8 février 2007.

4.2 PARAMETRES D'EXPOSITION RETENUS

Les paramètres d'exposition couramment utilisés en France sont résumés dans les *Tableau 4. 2* suivant :

Tableau 4. 2a Principaux paramètres d'exposition humaine pour l'inhalation – scénario résidents

Cibles	Paramètre	Donnée retenue
Adultes	Durée de vie	70 ans
	Durée d'exposition	30 ans
	Temps passé dans les logements	14 h/j, 5 j/7 hiver - 23h/j, 2 j/7 hiver 12 h/j, 7 j /7 été, soit 217 jours de 24 h par an
	Temps passé dans les sous-sols	0,5h/j
	Temps passé à l'extérieur	1 h/j, 7j/7 hiver 3h/j, 5j/7 été - 12h/j, 2 j/7 été, soit 50 jours de 24h par an
Enfants	Durée de vie	70 ans
	Durée d'exposition	6 ans
	Temps passé dans les logements	23 h/j, 7 j/7 hiver - 16 h/j, 7 j/7 été

Cibles	Paramètre	Donnée retenue
		soit 296 jours de 24h par an
	Temps passé dans les sous-sols	0,5h/j
	Temps passé à l'extérieur	1 h/j, 7 j/7 hiver - 8 h/j, 7 j/7 été
		soit 68 jours de 24h par an

(*) Les taux de fréquentation retenus (hors parkings souterrains) sont proposés par l'INERIS dans la méthode de calcul des VCI (Valeur de Constat d'Impact) de novembre 2001. Le temps passé dans les parkings souterrains retenu est une durée communément admise.

Tableau 4. 2b Principaux paramètres d'exposition humaine pour l'inhalation – scénario commerces

Cibles	Paramètre	Donnée retenue
	Durée de vie	70 ans
	Durée d'exposition	40 ans
Employés (adultes)***	Temps passé dans les commerces	8h/j, 220j/an**
	Temps passé dans les sous-sols	0,5h/j*
	Temps passé à l'extérieur	1 h/j*
	Durée de vie	70 ans
	Durée d'exposition	6 ans
Clients (enfants)	Temps passé dans les commerces	2h/sem, 52sem/an*
	Temps passé dans les sous-sols	0,5h/sem*
	Temps passé à l'extérieur	0,5h/sem*

* Valeurs communément admises

** Valeurs découlant du code du travail

*** Seuls les employés des commerces ont été considérés, et non les clients adultes. En effet, le temps d'exposition des employés étant supérieur, les risques pour les clients adultes sont nécessairement inférieurs.

Tableau 4. 2c Principaux paramètres d'exposition humaine pour l'inhalation – scénario « crèche »

Cibles	Paramètre	Donnée retenue
	Durée de vie	70 ans
	Durée d'exposition	40 ans
Employés (adultes)***	Temps passé dans la crèche	8h/j, 220j/an**
	Temps passé dans les sous-sols	0,5h/j*
	Temps passé à l'extérieur	1 h/j*
Enfants	Durée de vie	70 ans

Cibles	Paramètre	Donnée retenue
usagers de la crèche	Durée d'exposition	3 ans
	Temps passé dans la crèche	10h/j, 235j/an* (i.e : 5j/sem, 47 sem par an)
	Temps passé dans les sous-sols	0,5h/j*
	Temps passé à l'extérieur	1h/j*

* Valeurs communément admises

** Valeurs découlant du code du travail

*** Seuls les employés de la crèche ont été considérés, et non les clients adultes. En effet, le temps d'exposition des employés étant supérieur, les risques pour les clients adultes sont nécessairement inférieurs.

Tableau 4. 2d Principaux paramètres d'exposition humaine pour l'inhalation - scénario « bureaux » - halle existante

Cibles	Paramètre	Donnée retenue
Employés (adultes)	Durée de vie	70 ans
	Durée d'exposition	40 ans
	Temps passé dans les bureaux	8h/j, 220j/an**
	Temps passé à l'extérieur	1 h/j*

* Valeurs communément admises

** Valeurs découlant du code du travail

5

EVALUATION DE LA TOXICITE

5.1

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE (VTR)

L'évaluation quantitative de la toxicité des substances consiste à établir des doses admissibles ou des paramètres de toxicité afin de caractériser les risques vis-à-vis de la santé humaine. Cette évaluation permet de définir des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR).

Les VTR sont obtenues de sources officielles internationales telles que l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'USEPA (United States Environmental Protection Agency) ou l'INERIS. Les VTR sont relatives aux effets que produisent les substances sur la santé humaine et se distinguent selon l'existence ou non, de seuils pour l'apparition de ces effets, à savoir que les substances toxiques sont classées en deux catégories :

- **Les substances à effet sans seuil** sont des substances pour lesquelles on considère que les effets indésirables liés à cette substance peuvent se produire, même pour une exposition à très faible dose, et pour

lesquelles la probabilité de survenue d'effets indésirables croît linéairement avec la dose. Il s'agit en général de substances ayant des effets cancérigènes ou génotoxiques ;

- **Les substances à effet à seuil** sont les substances pour lesquelles l'effet indésirable survient au-delà d'une certaine dose reçue et c'est la gravité de l'effet qui croît avec la dose plutôt que la probabilité de survenue.

Les bases de données consultées correspondent à celles préconisées dans la Circulaire DGS/SD 7B n° 2006-234 du 30 mai 2006 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des VTR pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact.

Par ailleurs, l'INERIS met régulièrement à jour la fiche toxicologiques de certaines substances et recommande (depuis 2010) des choix de valeurs toxicologiques de référence parmi toutes les bases de données disponibles. Dans ce cas, les recommandations de l'INERIS ont été suivies.

Pour les substances pour lesquelles l'INERIS n'a donné aucune recommandation, le choix des VTR a été réalisé conformément aux principes énoncés par la DGS dans la circulaire du 30 mai 2006, à savoir (dans le cas où il existe plusieurs VTR) :

- pour les substances à effets à seuil, consultation des bases US EPA puis ATSDR puis OMS/IPCS puis Santé Canada puis RIVM et en dernier lieu OEHHA ;
- pour les substances à effets sans seuil, consultation des bases US EPA puis OMS/IPCS puis RIVM puis OEHHA.

Les VTR retenues dans la présente étude pour les voies d'expositions considérées (inhalation de vapeurs et de poussières de sol et ingestion) sont détaillées dans le *Tableau 5.2* ci-dessous :

Tableau 5.2 Valeur Toxicologiques de référence (VTR) retenues

	Effet à seuil (mg/m ³)			Effet sans seuil Effet sans seuil (µg/m ³) ⁻¹		
	Valeur	Source	Année de publication	Valeur	Source	Année de publication
Benzène	3,0 10 ⁻²	US EPA	2003	7,8.10 ⁻⁶	US EPA	2000
Toluène	5,0	US-EPA	2005	-	-	-
Ethylbenzène	1,0	US-EPA	1991	2,5.10 ⁻⁶	OEHHA	2007
p-xylène	1,0 10 ⁻¹	US-EPA	2003	-	-	-
o-xylène	1,0 10 ⁻¹	US-EPA	2003	-	-	-
Trichlorométhane	6,3 10 ⁻²	AFFSET	2009	-	-	-
1,1,1-Trichloroéthane	5,0	US-EPA	2007	-	-	-
Tétrachlorométhane	1,0 10 ⁻¹	US-EPA	2010	6,0 10 ⁻⁶	US-EPA	2010
Tétrachloroéthylène	4,0 10 ⁻²	US EPA	2012	2,6.10 ⁻⁷	US EPA	2012
Trichloroéthylène	2,0 10 ^{-3*}	US EPA	2011	4,1.10 ⁻⁶	US EPA	2011

		Effet à seuil (mg/m ³)		Effet sans seuil	Effet sans seuil (µg/m ³) ⁻¹	
Hydrocarbures totaux aliphatiques C5-C6	1,8 10 ¹	RIVM	2001	-	-	-
Hydrocarbures totaux aliphatiques C>6-C8	1,8 10 ¹	RIVM	2001	-	-	-
Hydrocarbures totaux aliphatiques C>8-C10	1,0	RIVM	2001	-	-	-
Hydrocarbures totaux aliphatiques C>10-C12	1,0	RIVM	2001	-	-	-
Hydrocarbures totaux aliphatiques C>12-C16	1,0	RIVM	2001	-	-	-
Hydrocarbures totaux aromatiques C>7-C8	4,0 10 ⁻¹	RIVM	2001	-	-	-
Hydrocarbures totaux aromatiques C>8-C10	2,0 10 ⁻¹	RIVM	2001	-	-	-
Hydrocarbures totaux aromatiques C>10-C12	2,0 10 ⁻¹	RIVM	2001	-	-	-

* Sur la base de la VTR définie par l'US EPA en 2011, Le Haut Conseil de la santé publique (HCSP) recommande, pour le trichloroéthylène dans l'air intérieur des immeubles d'habitation ou locaux ouverts au public 2 µg/m³ comme valeur repère de qualité d'air

5.2 QUANTIFICATION DES RISQUES

5.2.1 Méthodologie

La caractérisation des risques consiste à comparer les doses journalières d'exposition (DJE) (pour l'exposition par ingestion) ou les concentrations inhalées (CI) (pour l'exposition par inhalation) aux valeurs toxicologiques de référence (VTR), selon le type d'effet.

Le calcul des concentrations moyennes inhalées (CI) et des doses journalières d'exposition (DJE) distingue les substances cancérigènes des substances toxiques.

Les équations utilisées pour estimer les DJE sont les équations standard présentées dans le Guide Méthodologique du Ministère en charge de l'Environnement « *Gestion des sites pollués – Diagnostic approfondi et évaluations détaillées des risques* » du BRGM, version 0, de Juin 2000 et le guide « *La démarche des analyses de risques résiduels* », publié le 8 Février 2007.

5.2.2 Calculs des CI (voie d'exposition par inhalation)

Le calcul des CI distingue les substances cancérigènes des substances toxiques.

Substances toxiques/à effet de seuil

La formule permettant de calculer la CI_{nc} pour un adulte (exprimée en mg/m³) pour les substances à effets à seuils est la suivante :

$$CI_{nc} = C_{POE} \cdot \frac{EF \cdot DE}{T_{nc} \cdot 365}$$

où : C_{nc} est la concentration de polluant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps (mg/m^3),
 EF est la fréquence d'exposition (j/an),
 DE est la durée d'exposition (en années),
 T_{nc} est le temps moyen de prise en compte de l'apparition possible d'un effet néfaste sur la santé (toute la durée d'exposition DE pour les substances à effets à seuil) (en années).

Substances cancérogènes/ à effet sans seuil

La formule permettant de calculer la CI_c pour un adulte (exprimée en mg/m³) pour les substances à effets sans seuil est la suivante :

$$CI_c = C_{POE} \cdot \frac{EF \cdot DE}{T_c \cdot 365}$$

où: C_{POE} est la concentration de polluant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps (mg/m³),
EF est la fréquence d'exposition (j/an),
DE est la durée d'exposition (en années),
 T_c est le temps moyen de prise en compte de l'apparition possible d'un effet néfaste sur la santé (toute la vie de l'individu, soit 70 ans, pour les substances à effets sans seuil), (années).

5.2.3

QD et ERI

Les risques liés à l'inhalation et l'ingestion sont calculés en utilisant respectivement les concentrations inhalées et les doses journalières d'exposition. Pour les substances toxiques, ce risque est exprimé par le Quotient de Danger (QD) (adimensionné) ; pour les substances à effet sans seuil, ce risque est exprimé par l'Excès de Risques Individuels (ERI) (sans dimension).

Substances toxiques/à effet de seuil (QD)

Le Quotient de Danger pour les effets à seuil se calcule selon les équations suivantes (cumul pour l'ensemble des substances toxiques de la zone considérée) :

Pour les risques liés à une inhalation :

$$QD = \sum_{\text{substances}} [CI / VTR]$$

où: VTR est la valeur toxicologique de référence de la substance.

Par conservatisme, les quotients de danger liés à une inhalation pour toutes les substances ont été additionnés, sans faire de distinction entre les organes-cibles.

Le quotient de danger tolérable par individu défini par la circulaire ministérielle du 8 février 2007 est de 1.

Substances à effet sans seuil

Pour les substances à effet sans seuil, l'excès de risque individuel se calcule selon les équations suivantes (cumul pour l'ensemble des substances toxiques de la zone considérée) :

Pour les risques liés à une inhalation ou une ingestion:

$$ERI = \sum_{\text{substances}} [CI \text{ ou } DJE_{\text{sseuil}} \times ERU]$$

où : ERU est l'excès de risque unitaire.

L'excès de risque individuel tolérable par personne, cité par la circulaire ministérielle du 8 février 2007, est de 10^{-5} .

Les indices de risques pour toutes les substances ont été additionnés, sans faire de distinction entre les organes-cibles.

Les résultats des calculs de risques sont résumés ci-dessous (voir l'*Annexe 1B* pour le détail des calculs de risque par substance).

Les valeurs de risque (QD et ERI) relatives aux différents scénarios envisagés sont présentées dans les tableaux suivants :

6.1 BATIMENTS PRESENTANT DEUX NIVEAUX DE SOUS-SOL

6.1.1 Scénario résidentiel

Les valeurs de risque (QD et ERI) relatives au scénario résidentiel, pour les résidents des bâtiments présentant deux sous-sols et du bâtiment M, bâtiment de plein pied équipé d'un vide sanitaire,) sont présentées dans les *Tableau 6.1.1* et *Tableau 6.1.2* suivants :

Tableau 6.1.1a Résultats des calculs de risques pour les logements avec deux niveaux de sous-sol - ventilation mécanique du sous-sol - taux de renouvellement de 1 vol/h

	Adulte		Enfant		Somme ERI
	QD	ERI	QD	ERI	
Logements	3.10^{-1}	1.10^{-6}	4.10^{-1}	3.10^{-7}	2.10^{-6}
Parking	3.10^{-2}	1.10^{-7}	3.10^{-2}	2.10^{-8}	1.10^{-7}
Extérieur	7.10^{-4}	3.10^{-9}	2.10^{-3}	1.10^{-9}	4.10^{-9}
Total	3.10^{-1}	1.10^{-6}	4.10^{-1}	4.10^{-7}	2.10^{-6}

Niveau acceptable : $QD < 1$ et $ERI < 10^{-5}$.

Sur la base des connaissances actuelles et des hypothèses retenues (notamment la mise en œuvre d'une ventilation mécanique générant un taux de ventilation de 1 vol/h dans les parkings souterrains), les calculs mettent en évidence l'absence de risques sanitaires supérieurs au seuil définis par le ministère en charge de l'environnement pour les futurs résidents des logements avec deux niveaux de sous-sol.

Tableau 6.1.1b Résultats des calculs de risques pour les logements se trouvant dans le bâtiment M

	Adulte		Enfant		Somme ERI
	QD	ERI	QD	ERI	
Logements	5.10^{-1}	2.10^{-6}	7.10^{-1}	6.10^{-7}	3.10^{-6}
Extérieur	7.10^{-4}	3.10^{-9}	2.10^{-3}	1.10^{-9}	4.10^{-9}
Total	5.10^{-1}	2.10^{-6}	7.10^{-1}	6.10^{-7}	3.10^{-6}

Niveau acceptable : $QD < 1$ et $ERI < 10^{-5}$.

Sur la base des connaissances actuelles et des hypothèses retenues (notamment la mise en place d'un vide sanitaire de 1 m de hauteur présentant un taux de ventilation de 2 vol/h), les calculs mettent en évidence l'absence de risques sanitaires supérieurs au seuil définis par le ministère en charge de l'environnement pour les futurs résidents des logements individuels sans niveau de sous-sol.

6.1.2 Scénario « crèche » (bâtiment de l'îlot 4)

Les valeurs de risque (QD et ERI) relatives au scénario « crèche » sont présentées dans le *Tableau 6.1.2* suivant :

Tableau 6.1.2 Résultats des calculs de risques pour les usagers de la crèche installée dans un bâtiment avec deux niveaux de sous-sol

	Employé adulte		Enfant (usager)		Somme ERI
	QD	ERI	QD	ERI	
Crèche	1.10^{-1}	6.10^{-7}	1.10^{-1}	6.10^{-8}	6.10^{-7}
Parking	2.10^{-2}	9.10^{-8}	2.10^{-2}	7.10^{-9}	1.10^{-7}
Extérieur	1.10^{-4}	7.10^{-10}	2.10^{-4}	9.10^{-11}	8.10^{-10}
Total	1.10^{-1}	7.10^{-7}	2.10^{-1}	6.10^{-8}	6.10^{-7}

Sur la base des connaissances actuelles et des hypothèses retenues (notamment la mise en œuvre d'une ventilation mécanique générant un taux de ventilation de 1 vol/h dans les parkings souterrains), les calculs mettent en évidence l'absence de risques sanitaires supérieurs au seuil définis par le ministère en charge de l'environnement pour les usagers (employés et enfants usagers) de la future crèche construite sur l'îlot 4.

6.1.3 Scénario « commercial » (bâtiment de l'îlot 4)

Les valeurs de risque (QD et ERI) relatives au scénario commercial, pour les usagers des commerces installés dans des bâtiments présentant deux sous-sols sont présentées dans le *Tableau 6.1.3* suivant :

Tableau 6.1.3 Résultats des calculs de risques pour les usagers des commerces installés dans des bâtiments avec deux niveaux de sous-sol

	Employé adulte		Enfant (usager)		Somme ERI
	QD	ERI	QD	ERI	
Commerces	1.10^{-1}	4.10^{-7}	6.10^{-3}	5.10^{-9}	4.10^{-7}
Parkings	2.10^{-2}	7.10^{-8}	4.10^{-3}	3.10^{-9}	7.10^{-9}
Extérieur	7.10^{-4}	3.10^{-9}	2.10^{-3}	1.10^{-9}	4.10^{-9}
Total	1.10^{-1}	5.10^{-7}	1.10^{-2}	5.10^{-9}	4.10^{-7}

Sur la base des connaissances actuelles et des hypothèses retenues (notamment la mise en œuvre d'une ventilation mécanique générant un taux de ventilation de 1 vol/h dans les parkings souterrains), les calculs mettent en évidence l'absence de risques sanitaires supérieurs au seuil

définis par le ministère en charge de l'environnement pour les usagers (employés et enfants usagers) des futurs commerces installés dans des bâtiments présentant deux niveaux de sous-sol.

6.1.4 Scénario « bureaux » (Halle existante)

Les valeurs de risque (QD et ERI) relatives au scénario « bureaux », pour les employés des bureaux installés dans la halle existante située à l'angle nord-ouest du site sont présentées dans le *Tableau 6.1.4* suivant :

Tableau 6.1.4 Résultats des calculs de risques pour les usagers des bureaux installés dans la halle existante

	Employé adulte	
	QD	ERI
Bureaux	3.10^{-1}	2.10^{-6}
Extérieur	1.10^{-4}	8.10^{-10}
Total	3.10^{-1}	2.10^{-6}

Sur la base des connaissances actuelles et des hypothèses retenues, les calculs mettent en évidence l'absence de risques sanitaires supérieurs au seuil définis par le ministère en charge de l'environnement pour les employés des futurs bureaux installés dans la halle existante située à l'angle nord-ouest du site.

7 ANALYSE DES INCERTITUDES

7.1 PREAMBULE

L'évaluation des risques est un outil d'aide à la décision qui présente, par nature, des incertitudes.

Conformément aux directives du guide méthodologique publié par le ministère français en charge de l'environnement, la réalisation de calculs de risques est accompagnée d'une analyse des incertitudes. L'objectif du présent paragraphe est de proposer une discussion pour mieux apprécier les résultats des calculs présentés ci-avant.

7.2 ANALYSE QUALITATIVE

Le tableau des pages suivantes identifie les paramètres d'entrée des différents modèles utilisés, en distinguant ceux liés à la définition de la source, à la modélisation du transfert et à l'exposition des cibles identifiées. Pour chacun d'entre eux, l'incertitude et la sensibilité l'affectant sont mises en évidence, afin d'évaluer quels sont les paramètres clés dans l'évaluation du risque sanitaire.

Il en résulte sur la base des connaissances actuelles que les hypothèses retenues sont globalement conservatrices.

Les paramètres caractérisés par une sensibilité et incertitudes les plus élevées ont été retenus dans l'analyse quantitative présentée ci-après.

Paramètres	Valeur retenue dans le calcul de risque	Fourchette de valeurs communément retenue	Incertitude	Sensibilité
SOURCE				
Nature de la pollution	Ensemble des composés organiques volatiles détectés dans le sgaz du sol (COHV, HCT volatiles, CAV)	Propre au site	<i>Faible</i> en raison du nombre de composés recherchés.	<i>Moyenne</i> , du fait de la variabilité des propriétés physico-chimiques et toxicologiques des différents composés.
Concentrations retenues	Concentrations maximales observées dans les gaz du sol (de façon conservatrice, les concentrations observées dans les piézaires installés à 6m de profondeur ont été considéré)	Propre au site	<i>Moyenne</i> en raison de la potentielle variabilité saisonnière des concentrations dans les gaz du sol (seule une campagne a été réalisée dans les piézaires installés à 6m de profondeur) Aucune donnée sur la qualité des gaz du sol au droit de la halle existante n'est disponible	<i>Élevée</i> . Une augmentation des concentrations à la source augmente de manière proportionnelle le risque (hors saturation de l'air du sol).
Profondeur de la source par rapport au terrain naturel	<u>Bâtiment sans niveau de sous-sol</u> : 5 m = haut de la crêpine des piézaires <u>Bâtiment avec niveaux de sous-sol</u> : 5,1 m = immédiatement sous le radier du bâtiment	Propre au site	<i>Faible</i> . Immédiatement sous les constructions pour les bâtiments avec sous-sols ; au point haut de prélèvement pour le bâtiment sans sous-sols.	<i>Moyenne</i> . La diminution de la profondeur de la source augmente le taux de transfert entre l'air du sol et l'air au point d'exposition.
VECTEUR				
Caractéristiques du sol				
Porosité totale (n)	Sand : 0,375 cm ³ /cm ³	0,375 – 0,489 cm ³ /cm ³ (*)	<i>Faible à modérée</i> . Valeur estimée sur la base des coupes de sondage –	<i>Moyenne</i> . Une augmentation de la porosité augmente le risque (pour

Paramètres	Valeur retenue dans le calcul de risque	Fourchette de valeurs communément retenue	Incertitude	Sensibilité
Teneur en eau (θ_w)			remblais sablo-graveleux puis alluvions grossières. <i>Faible à modérée.</i> Valeur estimée sur la base des coupes de sondage – remblais sablo-graveleux puis alluvions grossières.	une teneur en eau constante). <i>Moyenne.</i> Une augmentation de la teneur en eau diminue le risque.
Taux de renouvellement d'air (ER)	Sand : $0,054 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ <u>Parkings souterrains :</u> 1 vol.h^{-1} <u>Vide sanitaire :</u> 2 vol.h^{-1}	$0,05 - 0,22 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (*)	<i>Fort.</i> Les valeurs considérées sont des recommandations définies à posteriori au vu des impacts et des aménagements envisagés	<i>Moyenne à élevée.</i> Une diminution de ce paramètre conduit à une augmentation des risques.
Volume du bâtiment ($L_b \times W_b \times H_b$)	$L^*1 : 10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ Bât avec sous-sols : $H : 4,94 \text{ m}$ Vide sanitaire : 1 m	Surface : $80 - >200 \text{ m}^2$ (valeur par défaut = 100 m^2)	<i>Faible.</i> La hauteur et la largeur retenues sont basées sur les valeurs par défaut de Johnson et Ettinger, et correspondent aux dimensions classiques de dalle, sans reprise. La hauteur est correspond à la hauteur sous plafond des 2 niveaux de parking du projet immobilier et du vide sanitaire préconisé	<i>Moyenne à élevée.</i> Le volume du bâtiment, couplé au taux de renouvellement d'air, définit le débit de renouvellement qui influence directement les risques calculés.
Gradient de pression (ΔP)	$20 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$	$0-200 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$ (valeur par défaut = $20 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$)	<i>Faible.</i> Valeur communément considérée se situant dans la gamme des valeurs communément proposées dans la littérature (3 Pa , moyenne des valeurs proposées par Scott [1984] et par Grimsrud et al. [1983], Nazaroff et al. [1985], Put	<i>Moyenne à élevée.</i> Une augmentation du gradient de pression augmente le phénomène de convection et donc les risques calculés.

Paramètres	Valeur retenue dans le calcul de risque	Fourchette de valeurs communément retenue	Incertitude	Sensibilité
Dispersion des vapeurs à l'extérieur				
Vitesse du vent	3,6 m/s	Propre au site	et Meijer [1989], respectivement de 3 à 4 Pa et 2 Pa).	
Hauteur des voies respiratoires	150 cm pour adulte 100 cm pour enfant	Valeur communément admise	Faible. Valeur moyenne mesurée à Lyon (2009-2013)	Moyenne. Une diminution de la vitesse du vent augmente les risques calculés.
Longueur de la zone polluée	20 m	Propre au site	Faible.	Moyenne. Une diminution de la hauteur des voies respiratoires augmente les risques calculés.
CIBLES				
Usagers du site : - futurs résidents - usagers et employés des commerces - usagers et employés de la crèche	Adultes / enfants	Fonction de l'usage futur retenu	Fort Absence d'information sur l'étendue de la source	Élevée. Une augmentation de la longueur de la zone polluée augmente proportionnellement les risques calculés.
			Faible. Les taux d'exposition sont basés sur les données de l'Ineris (usage résidentiel), le code du travail et les pratiques habituellement retenues	Élevée. Les niveaux de risques calculés sont directement proportionnels aux fréquences d'exposition des cibles identifiées.

7.3.1 Concentrations considérées et profondeur de la source

Deux séries de des piézairs ont été installés :

- Des piézairs dont les zones crépinées sont situées entre 2 et 3 m de profondeurs ;
- Des piézairs dont les zones crépinées sont situées entre 5 et 6 m de profondeurs ;

En première approche, les prélèvements de gaz du sol réalisés au droit des piézairs les plus profonds ont été considérés car ils présentaient les plus fortes concentrations.

Dans cette analyse, les concentrations maximales observées dans les piézairs installés à 3 m ont été considérées pour le bâtiment M avec vide sanitaire :

Paramètres considérés	Concentrations retenues [µg/m³]	Piézair correspondant	Date de prélèvement des gaz du sol
Benzène	6,56	PZA11	Mai 2013
Toluène	40,10	PZA11	Mai 2013
Ethylbenzène	17,24	PZA5	Mai 2013
m-,p-xylène	52,19	PZA11	Mai 2013
o-xylène	28,02	PZA11	Mai 2013
1,1,1-Trichloroéthane	10	PZA10	Octobre 2013
Trichloroéthylène	500	PZA11	Octobre 2013
Tétrachloroéthylène	2 500	PZA11	Octobre 2013
Hydrocarbures totaux*			
Hydrocarbures totaux aromatiques C>6-C8	1 526,5	PZA11	Mai 2013
Hydrocarbures totaux aromatiques C>8-C10	1 875	PZA11	Mai 2013
Hydrocarbures totaux aromatiques C>10-C12	1 250	PZA11	Mai 2013

Une profondeur de source à 2 m a été prise en compte.

Le tableau ci-après présente une synthèse des résultats obtenus. Ils mettent en évidence que le choix des concentrations et de la profondeur de la source considérées est globalement sécuritaire.

	Adulte		Enfant		Somme ERI
	QD	ERI	QD	ERI	
Hypothèse initiale	5.10^{-1}	2.10^{-6}	7.10^{-1}	6.10^{-7}	3.10^{-6}
Hypothèse testée	4.10^{-2}	9.10^{-7}	5.10^{-2}	3.10^{-7}	1.10^{-6}
Ecart avec paramètres initiaux (en %)	-92%	-93%	-53%	-63%	-60%

CHEMICAL PROPERTIES

CAS No.	Chemical	Molecular weight, MW (g/mol)	Organic carbon partition coefficient, K_{oc} (cm ³ /g)	Diffusivity in air, D_a (cm ² /s)	Diffusivity in water, D_w (cm ² /s)	Pure component water solubility, S (mg/L)	Henry's law constant at reference temperature, H (unitless)	Henry's law constant reference temperature, T_H (°C)	Normal boiling point, T_b (°K)	Critical temperature, T_c (°K)	Enthalpy of vaporization at the normal boiling point, $\Delta H_{v,b}$ (cal/mol)	Physical state at soil/gw temperature, (S,L,G)	Soil-water partition coefficient, K_d (cm ³ /g)	Enthalpy of vaporization at ave. soil/gw temperature, $\Delta H_{v,rs}$ (cal/mol)	Henry's law constant at ave. soil/gw temperature, H_{TS} (unitless)
71432	Benzene	78.11	6.00E+01	8.80E-02	9.80E-06	1.83E+03	2.25E-01	25	353.25	562.16	7342	L	0.00E+00	8 081	1.39E-01
108883	Toluene	92.14	1.00E+02	8.70E-02	8.60E-06	5.15E+02	2.72E-01	25	383.75	591.79	7930	L	0.00E+00	9 111	1.56E-01
100414	Ethylbenzene	106.16	2.42E+02	7.50E-02	7.80E-06	1.75E+02	3.31E-01	25	409.35	617.20	8501	L	0.00E+00	10 110	1.79E-01
108383	m-Xylene	106.16	1.57E+02	6.95E-02	7.80E-06	1.51E+02	3.06E-01	25	412.25	617.05	8525	L	0.00E+00	10 208	1.64E-01
106423	p-Xylene	106.16	3.17E+02	7.20E-02	8.44E-06	1.77E+02	3.06E-01	25	411.45	616.20	8525	L	0.00E+00	10 200	1.64E-01
95476	o-Xylene	106.16	2.34E+02	8.40E-02	1.00E-05	1.78E+02	2.11E-01	25	417.55	630.30	8661	L	0.00E+00	10 358	1.12E-01
67663	Chloroform	119.38	6.00E+01	1.04E-01	1.00E-05	8.20E+03	1.55E-01	25	334.45	536.40	6988	L	0.00E+00	7 515	9.89E-02
71556	1,1,1-Trichloroethane	133.41	8.10E+01	7.80E-02	8.80E-06	9.50E+02	7.54E-01	25	347.15	545.00	7136	L	0.00E+00	7 840	4.71E-01
56235	Carbon tetrachloride	153.82	7.10E+01	7.80E-02	8.80E-06	8.00E+02	1.17E+00	25	349.85	556.60	7127	L	0.00E+00	7 817	7.35E-01
79016	Trichloroethylene	131.39	1.11E+02	7.90E-02	9.10E-06	1.07E+03	4.21E-01	25	359.85	544.20	7505	L	0.00E+00	8 497	2.52E-01
127184	Tetrachloroethylene	165.80	2.47E+02	7.20E-02	8.20E-06	1.50E+02	7.44E-01	25	394.15	620.20	8288	L	0.00E+00	9 508	4.18E-01
PH Al 5-6	TPH Aliphatic fraction C5-C6	81.00	8.04E+02	1.00E-01	1.00E-05	3.59E+01	3.33E+01	20	324.15	514.00	6927	0.00	0.00E+00	7 374	2.61E-01
PH Al 6-8	TPH Aliphatic fraction C>6-C8	102.00	3.80E+03	1.00E-01	1.00E-05	5.37E+00	4.98E+01	20	369.15	575.47	7902	0.00	0.00E+00	8 910	3.69E-01
PH Al 8-10	TPH Aliphatic fraction C>8-C10	130.00	3.02E+04	1.00E-01	1.00E-05	4.27E-01	7.99E+01	20	423.15	646.57	9139	0.00	0.00E+00	10 888	5.52E-01
Al 10-12	TPH Aliphatic fraction C>10-C12	158.00	2.40E+05	1.00E-01	1.00E-05	3.39E-02	1.22E+02	20	473.15	709.80	10 349	0.00	0.00E+00	12 881	7.87E-01
Al 12-16	TPH Aliphatic fraction C>12-C16	200.00	5.37E+06	1.00E-01	1.00E-05	7.59E-04	5.25E+02	20	533.15	782.38	11 884	0.00	0.00E+00	15 515	3.07E-02
PH Ar 5-7	TPH Aromatic fraction C5-C7	78.11	6.00E+01	8.80E-02	9.80E-06	5.15E+02	2.25E-01	25	353.25	562.16	7342	L	0.00E+00	8 081	1.39E-01
PH Ar 7-8	TPH Aromatic fraction C>7-C8	92.14	1.00E+02	8.70E-02	8.60E-06	5.15E+02	2.72E-01	25	383.75	591.79	7930	L	0.00E+00	9 111	1.56E-01
PH Ar 8-10	TPH Aromatic fraction C>8-C10	117.00	1.58E+03	1.00E-01	1.00E-05	6.46E+01	4.75E-01	20	423.15	646.57	9139	0.00	0.00E+00	10 888	3.28E-01
Ar 10-12	TPH Aromatic fraction C>10-C12	130.00	2.51E+03	1.00E-01	1.00E-05	2.45E+01	1.39E-01	20	473.15	709.80	10 349	0.00	0.00E+00	12 881	8.93E-02
Ar 12-16	TPH Aromatic fraction C>12-C16	154.00	5.01E+03	1.00E-01	1.00E-05	5.75E+00	5.33E-02	20	533.15	782.38	11 884	0.00	0.00E+00	15 515	3.12E-02

BATIMENT AVEC SOUS-SOL		1st Floor											
Intérieur		SOL + EAU		GAZ	ADULT			CHILDREN			SUM		
CAS No.	Chemical	Groundwater bldg. conc., C _{building} (µg/m ³)	Soil bldg. conc., C _{building} (µg/m ³)	Total bldg. conc., C _{building} (µg/m ³)	Soil gas bldg. conc., C _{building} (µg/m ³)	Retained conc. C _{building} (µg/m ³)	Average inhaled indoor, conc. (mg/m ³)	Hazard quotient from vapor intrusion to indoor air, noncarcinogen (unitless)	Incremental risk from vapor intrusion to indoor air, carcinogen (unitless)	Average inhaled indoor, conc. (mg/m ³)	Hazard quotient from vapor intrusion to indoor air, noncarcinogen (unitless)	Incremental risk from vapor intrusion to indoor air, carcinogen (unitless)	ERI
71432	Benzene				1,31E-03	1,31E-03	7,79E-07	2,60E-05	2,60E-09	1,06E-06	3,54E-05	7,10E-10	3,31E-09
108883	Toluene				1,74E-03	1,74E-03	1,03E-06	2,07E-07	1,09E-08	1,41E-06	2,82E-07	2,97E-09	1,39E-08
100414	Ethylbenzene				1,71E-02	1,71E-02	1,02E-05	1,02E-05	1,09E-08	1,39E-05	1,39E-05	2,97E-09	1,39E-08
106423	p-Xylene				8,88E-03	8,88E-03	5,28E-06	5,28E-05	1,09E-08	7,20E-06	7,20E-05	2,97E-09	1,39E-08
95476	o-Xylene				2,11E-03	2,11E-03	1,26E-06	1,26E-05	1,09E-08	1,71E-06	1,71E-05	2,97E-09	1,39E-08
67663	Chloroform				2,95E-03	2,95E-03	1,75E-06	2,78E-05	1,09E-08	2,39E-06	3,80E-05	2,97E-09	1,39E-08
71556	1,1,1-Trichloroethane				8,30E-03	8,30E-03	4,93E-06	9,87E-07	1,09E-08	6,73E-06	1,35E-06	5,19E-10	2,42E-09
56235	Carbon tetrachloride				1,24E-03	1,24E-03	7,40E-07	7,40E-06	1,09E-08	1,01E-06	1,01E-05	4,76E-07	2,22E-06
79016	Trichloroethylene				1,67E+00	1,67E+00	9,92E-04	4,96E-01	1,09E-08	1,35E-03	6,77E-01	8,76E-08	4,08E-07
127184	Tetrachloroethylene				2,13E-01	2,13E-01	1,27E-04	6,35E-04	3,21E-07	1,73E-04	8,66E-04	5,40E-07	2,22E-06
TPH AI 5-6	TPH Aliphatic fraction C5-C6				1,22E-02	1,22E-02	7,28E-06	3,96E-07	3,21E-07	9,93E-06	5,40E-07	8,76E-08	4,08E-07
TPH AI 6-8	TPH Aliphatic fraction C>6-C8				1,01E+00	1,01E+00	5,99E-04	3,26E-05	3,21E-07	8,18E-04	4,44E-05	4,76E-07	2,22E-06
PH AI 8-10	TPH Aliphatic fraction C>8-C10				7,26E-01	7,26E-01	4,31E-04	4,31E-04	3,21E-07	5,88E-04	5,88E-04	4,76E-07	2,22E-06
PH AI 10-12	TPH Aliphatic fraction C>10-C12				5,49E-01	5,49E-01	3,26E-04	3,26E-04	3,21E-07	4,45E-04	4,45E-04	4,76E-07	2,22E-06
en rouge : concentration supérieure au seuil acceptable													
en gras : concentration supérieure à 1/10ème du seuil acceptable													
Rate of transfert underground space to first floor (%)													

Reference conc., RfC (mg/m^3)
3,00E-02
5,00E+00
1,00E+00
1,00E-01
1,00E-01
6,30E-02
5,00E+00
1,00E-01
2,00E-03
2,00E-01
1,84E+01
1,00E+00
1,00E+00

		ADULT						CHILDREN						SUM	
CAS No.	Chemical	Groundwater bldg. conc., C _{soil} (µg/m ³)	Soil bldg. conc., C _{soil} (µg/m ³)	Total bldg. conc., C _{soil} (µg/m ³)	Soil gas bldg. conc., C _{soil} (µg/m ³)	Retained conc., C _{building} (µg/m ³)	Average inhaled outdoor. conc., (mg/m ³)	Hazard quotient from vapor intrusion to outdoor air, noncarcinogen (unitless)	Incremental risk from vapor intrusion to outdoor carcinogen (unitless)						
71432	Benzene		9.03E-06	9.03E-06	9.03E-05	1.35E-05	2.53E-09	8.41E-08	1.69E-12	5.82E-12					
108883	Toluene		1.08E-05	1.08E-05	1.70E-05	1.70E-05	3.32E-09	6.65E-08	1.30E-11	2.22E-11					
108114	Ethylbenzene		1.08E-04	1.08E-04	1.47E-08	1.67E-04	3.00E-08	3.00E-08	6.44E-12						
108123	p-Xylene		5.46E-05	5.46E-05	7.49E-08	8.20E-05	1.53E-08	1.53E-07							
95176	o-Xylene		1.92E-06	1.92E-06	2.62E-09	2.87E-08	5.35E-10	5.35E-10							
67663	Chloroform		2.25E-05	2.25E-05	6.09E-09	3.38E-05	6.30E-09	1.00E-07							
71536	1,1,1-Trichloroethane		5.34E-05	5.34E-05	7.31E-09	3.98E-05	1.49E-08	2.98E-09							
56235	Carbon tetrachloride		8.01E-06	8.01E-06	1.10E-09	1.20E-05	2.24E-08	2.98E-08	1.15E-12	3.97E-12					
79016	Trichloroethylene		1.08E-02	1.08E-02	1.80E-07	1.62E-02	3.02E-06	1.51E-03	1.06E-09	3.66E-09					
127184	TPH Aliphatic fraction C5-C8		1.31E-03	1.31E-03	9.00E-07	1.97E-03	3.67E-07	1.84E-06	1.86E-10	6.41E-10					
PH AI 5-6	TPH Aliphatic fraction C9-C10		9.12E-05	9.12E-05	1.25E-08	1.37E-04	2.55E-08	1.39E-09							
PH AI 6-8	TPH Aliphatic fraction C11-C12		7.52E-03	7.52E-03	1.03E-06	1.37E-02	2.10E-06	1.14E-07							
PH AI 8-10	TPH Aliphatic fraction C13-C14		5.41E-03	5.41E-03	7.41E-07	8.11E-02	1.51E-06	1.51E-06							
PH AI 10-12	TPH Aliphatic fraction C15-C17		4.09E-03	4.09E-03	5.60E-07	6.14E-03	1.14E-06	1.14E-06							
SUM ALL SUBSTANCES									1.52E-03	4.34E-09					
en gras : concentration supérieure au seuil acceptable							target		1.00E-00	1.00E-05					
en rouge : concentration supérieure à 1/10ème du seuil acceptable															

en rouge : concentration supérieure au seuil acceptable
en gras : concentration supérieure à 1/10ème du seuil acceptable

target

1.00E-03
1.00E-05

1.52E-03
1.00E+00

1.26E-09
1.00E-05

4.34E-09
2.22E-11

3.00E-02
5.00E+00
1.00E+00
1.00E+01
6.30E-02
5.00E+00
1.00E+01
2.00E+01
1.84E-01
1.00E+00
1.00E+00

[illegible]

		ADULT						CHILDREN							SUM			
CAS No.	Chemical	Groundwater bdg. conc., C_{gw} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Soil bdg. conc., C_{soil} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Total bdg. conc., C_{total} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Soil gas bdg. conc., C_{sg} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Retained conc., C_{ret} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Average inhaled outdoor, conc., C_{avg} (mg/m^3)	Hazard quotient from vapor invasion to outdoor air, noncarcinogen (unitless)	Incremental risk from vapor invasion to outdoor air, carcinogen (unitless)	Groundwater bdg. conc., C_{gw} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Soil bdg. conc., C_{soil} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Total bdg. conc., C_{total} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Soil gas bdg. conc., C_{sg} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Retained conc., C_{ret} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Average inhaled outdoor, conc., C_{avg} (mg/m^3)	Hazard quotient from vapor invasion to outdoor air, noncarcinogen (unitless)	Incremental risk from vapor invasion to outdoor air, carcinogen (unitless)	ERI
71432	Benzene		8.91E-06	8.91E-06	8.91E-06	8.91E-06	2.24E-10	7.46E-09	9.97E-13	1.32E-09	1.34E-05	1.34E-05	1.34E-05	1.34E-05	3.97E-11	1.32E-09	2.65E-14	1.02E-12
100883	Toluene		1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	2.85E-10	5.90E-11	3.80E-12	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	5.23E-11	1.05E-11	1.01E-13	3.91E-12
100414	Ethylbenzene		1.06E-04	1.06E-04	1.06E-04	1.06E-04	2.66E-09	2.66E-09		1.59E-04	1.59E-04	1.59E-04	1.59E-04	1.59E-04	4.72E-10	4.72E-10		
100423	p-Xylene		5.39E-05	5.39E-05	5.39E-05	5.39E-05	1.35E-08	1.35E-08		8.08E-05	8.08E-05	8.08E-05	8.08E-05	8.08E-05	2.40E-09	2.40E-09		
95176	o-Xylene		1.40E-05	1.40E-05	1.40E-05	1.40E-05	3.51E-10	3.51E-09		5.58E-10	5.58E-10	5.58E-10	5.58E-10	5.58E-10	6.23E-10	6.23E-10		
67663	Chloroform		2.22E-05	2.22E-05	2.22E-05	2.22E-05	8.86E-09	8.86E-09		3.33E-05	3.33E-05	3.33E-05	3.33E-05	3.33E-05	9.89E-11	1.57E-09		
71536	1,1,1-Trichloroethane		5.26E-05	5.26E-05	5.26E-05	5.26E-05	1.32E-09	2.64E-10		7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	2.34E-10	4.69E-11		
56235	Carbon tetrachloride		1.98E-10	1.98E-10	1.98E-10	1.98E-10	2.68E-07	1.34E-04	6.80E-13	1.18E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.18E-05	3.52E-11	3.52E-10	1.81E-14	6.88E-13
79016	Trichloroethylene		1.07E-02	1.07E-02	1.07E-02	1.07E-02	2.68E-07	1.34E-04	1.10E-10	6.27E-10	6.27E-10	6.27E-10	6.27E-10	6.27E-10	4.75E-08	2.37E-05	1.67E-11	6.44E-10
127184	Tetrachlorethylene		1.30E-03	1.30E-03	1.30E-03	1.30E-03	3.25E-08	1.63E-07		1.94E-03	1.94E-03	1.94E-03	1.94E-03	1.94E-03	5.77E-09	2.88E-08	2.92E-12	
TPH AI 5.6	TPH Aliphatic fraction C5-C6		9.00E-05	9.00E-05	9.00E-05	9.00E-05	2.26E-09	1.23E-10		1.35E-04	1.35E-04	1.35E-04	1.35E-04	1.35E-04	4.01E-10	2.18E-11		
TPH AI 6.8	TPH Aliphatic fraction C7-C8		7.41E-03	7.41E-03	7.41E-03	7.41E-03	1.88E-07	1.01E-08		1.11E-02	1.11E-02	1.11E-02	1.11E-02	1.11E-02	3.30E-08	1.79E-09		
TPH AI 8.10	TPH Aliphatic fraction C>8-C10		5.33E-03	5.33E-03	5.33E-03	5.33E-03	1.34E-07	1.34E-07		8.00E-03	8.00E-03	8.00E-03	8.00E-03	8.00E-03	2.37E-08	2.37E-08		
TPH AI 10.12	TPH Aliphatic fraction C>10-C12		4.03E-03	4.03E-03	4.03E-03	4.03E-03	1.01E-07	1.01E-07		6.05E-03	6.05E-03	6.05E-03	6.05E-03	6.05E-03	1.80E-08	1.80E-08		

1,00E+00 1,00E-05

BAIRBHINI AVEC NICKEL-SOL																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Underground																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1st Floor																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Interieur		SOL + EAU			GAZ			ADULT			CHILDREN			SUM																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
C&S No	Chemical	Grandesheres	Self gas	Total	Self gas	Grandesheres	Self gas	Total	Self gas	Grandesheres	Self gas	Total	Self gas	Grandesheres	Self gas	Total	Incremental risk from intrusion to indoor air, carcinogen (unit/yr)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
																		conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)	conc.	Co ₂ eq (kg/m ³)

7 8 9

SUM ALL SUBSTANCES
en **rouge** : concentration supérieure au seuil acceptable
en **gris** : concentration supérieure à 1/10ème du seuil acceptable

RISK CALCULATION - EXTERIEUR

		ADULT					CHILDREN								
CAS No.	Chemical	Groundwater bldg. conc., C _{out} (µg/m ³)	Soil bldg. conc., C _{out} (µg/m ³)	Total bldg. conc., C _{out} (µg/m ³)	Soil gas bldg. conc., C _{out} (µg/m ³)	Retained conc. C _{building} (µg/m ³)	Average inhaled conc. (mg/m ³)	Hazard quotient from vapor intrusion to outdoor air, noncarcinogen (unitless)	Incremental risk from vapor intrusion to outdoor air, carcinogen (unitless)	Groundwater bldg. conc., C _{out} (µg/m ³)	Soil bldg. conc., C _{out} (µg/m ³)	Total bldg. conc., C _{out} (µg/m ³)	Soil gas bldg. conc., C _{out} (µg/m ³)	Retained conc. C _{building} (µg/m ³)	Reference conc., RfC (mg/m ³)
71432	Benzene														3.00E-02
108883	Toluene														5.00E+00
100414	Ethylbenzene														1.00E+00
106423	p-Xylene														1.00E-01
95476	o-Xylene														1.00E-01
67663	Chloroform														6.30E-02
71556	1,1,1-Trichloroethane														5.00E+00
56235	Carbon tetrachloride														1.00E-01
79016	Trichloroethylene														2.00E-03
127184	Tetrachloroethylene														2.00E-01
TPH AI 5-6	TPH Aliphatic fraction C5-C6														1.84E+01
TPH AI 6-8	TPH Aliphatic fraction C>6-C8														1.84E+01
TPH AI 8-10	TPH Aliphatic fraction C>8-C10														1.00E+00
TPH AI 10-12	TPH Aliphatic fraction C>10-C12														1.00E+00
SUM ALL SUBSTANCES								1.36E-04	7.53E-10						
en rouge : concentration supérieure au seuil acceptable							target	1.00E+00	1.00E-05						
en gras : concentration supérieure à 1/10ème du seuil acceptable															

Annexe 1b - Calcul de risques pour l'inhalation de vapeurs -Scénario "bureaux" extérieur

RISK CALCULATION - BATIMENT SANS SOUS-SOL

Intérieur		SOL + EAU		GAZ	ADULT			Reference conc., RFC (mg/m ³)	Unit risk factor, URF (µg/m ³) ⁻¹
CAS No.	Chemical	Groundwater bldg. conc., C _{building} (µg/m ³)	Soil bldg. conc., C _{building} (µg/m ³)	Total bldg conc., C _{building} (µg/m ³)	Soil gas bldg. conc., C _{building} (µg/m ³)	Retained conc. C _{building} (µg/m ³)	Average inhaled indoor. conc. (mg/m ³)	Hazard quotient from vapor intrusion to indoor air, noncarcinogen (unitless)	Incremental risk from vapor intrusion to indoor air, carcinogen (unitless)
1	71432 Benzene				2,30E-03	2,30E-03	4,62E-07	1,54E-05	2,06E-09
2	108883 Toluene				3,04E-03	3,04E-03	6,11E-07	1,22E-07	
3	100414 Ethylbenzene				2,92E-02	2,92E-02	5,87E-06	5,87E-06	8,39E-09
5	106423 p-Xylene				1,51E-02	1,51E-02	3,03E-06	3,03E-05	
6	95476 o-Xylene				3,68E-03	3,68E-03	7,39E-07	7,39E-06	
7	67663 Chloroform				5,31E-03	5,31E-03	1,07E-06	1,69E-05	
8	1,1,1-Trichloroethane				1,43E-02	1,43E-02	2,87E-06	5,74E-07	
9	56235 Carbon tetrachloride				2,14E-03	2,14E-03	4,30E-07	4,30E-06	1,48E-09
10	79016 Trichloroethylene				2,88E+00	2,88E+00	5,78E-04	2,89E-01	1,35E-06
11	127184 Tetrachloroethylene				3,63E-01	3,63E-01	7,29E-05	3,64E-04	2,46E-07
12	TPH Al 5-6				2,19E-02	2,19E-02	4,40E-06	2,39E-07	
13	TPH Al 6-8				1,80E+00	1,80E+00	3,63E-04	1,97E-05	
14	TPH Al 8-10				1,30E+00	1,30E+00	2,61E-04	2,61E-04	
15	TPH Al 10-12				9,82E-01	9,82E-01	1,97E-04	1,97E-04	
SUM ALL SUBSTANCES					2,90E-01		1,61E-06		
en rouge : concentration supérieure au seuil acceptable					target		1,00E+00		1,00E-05
en gras : concentration supérieure à 1/10ème du seuil acceptable									

BATIMENT AVEC SOUS-SOI		Underground				1st Floor				SUM					
CAS No.	Interieur	SOL + EAU		GAZ		SOL + EAU		GAZ			ADULT	CHILDREN			
		Groundwater bldg. conc., C _{building} (µg/m³)	Soil bldg. conc., C _{building} (µg/m³)	Total bldg. conc., C _{building} (µg/m³)	Soil gas bldg. conc., C _{building} (µg/m³)	Retained conc. (µg/m³)	Average inhaled indoor. conc. (mg/m³)	Hazard quotient from vapor intrusion to indoor air, noncarcinogen (unitless)	Incremental risk from vapor intrusion to indoor air, carcinogen (unitless)	Average inhaled indoor. conc. (mg/m³)		Hazard quotient from vapor intrusion to indoor air, noncarcinogen (unitless)	Incremental risk from vapor intrusion to indoor air, carcinogen (unitless)		
7112	Benzene		3,76E-03		1,47E-03	8,95E-03	8,95E-03	1,47E-03	8,95E-03	2,90E-05	2,91E-09	1,19E-06	3,96E-05	7,95E-10	3,71E-09
106883	Toluene		2,29E-02		8,95E-03	8,95E-03	8,95E-03	8,95E-03	8,95E-03	1,06E-06	1,06E-06	7,25E-06	1,45E-06	6,13E-10	2,86E-09
100414	Ethylbenzene		9,04E-03		3,53E-03	3,53E-03	3,53E-03	3,53E-03	3,53E-03	2,10E-06	2,26E-09	9,13E-06	2,86E-06	9,13E-05	9,13E-05
106383	m-Xylene		2,89E-02		1,13E-02	1,13E-02	1,13E-02	1,13E-02	1,13E-02	6,69E-05	6,69E-05	9,18E-06	9,18E-05	9,18E-05	9,18E-05
106423	p-Xylene		2,90E-02		1,13E-02	1,13E-02	1,13E-02	1,13E-02	1,13E-02	6,73E-05	6,73E-05	9,18E-06	9,18E-05	9,18E-05	9,18E-05
95476	o-Xylene		5,60E-02		6,22E-03	6,22E-03	6,22E-03	6,22E-03	6,22E-03	3,70E-05	3,70E-05	5,04E-06	5,04E-05	5,04E-05	5,04E-05
71556	1,1,1-Trichloroethane		5,63E-03		2,20E-03	2,20E-03	2,20E-03	2,20E-03	2,20E-03	2,61E-07	2,61E-07	1,78E-06	3,56E-07	3,14E-05	1,46E-07
79016	Trichloroethylene		2,82E-01		1,10E-01	1,10E-01	1,10E-01	1,10E-01	1,10E-01	3,27E-02	1,15E-07	8,92E-05	4,46E-02	2,22E-07	1,04E-06
127184	Tetrachloroethylene		1,39E+00		5,12E-01	5,12E-01	5,12E-01	5,12E-01	5,12E-01	1,61E-03	8,15E-07	4,40E-04	2,20E-03	2,22E-07	1,04E-06
PH Ar 7-8	TPH Aromatic fraction C>7 C8		8,73E-01		3,15E-01	3,15E-01	3,15E-01	3,15E-01	3,15E-01	5,06E-04	8,15E-07	2,76E-04	6,90E-04	2,22E-07	1,04E-06
PH Ar 8-10	TPH Aromatic fraction C>8 C10		1,69E+00		4,26E-01	4,26E-01	4,26E-01	4,26E-01	4,26E-01	1,27E-03	8,15E-07	3,45E-04	1,73E-03	2,22E-07	1,04E-06
PH Ar 10-12	TPH Aromatic fraction C>10 C12		7,28E-01		2,84E-01	2,84E-01	2,84E-01	2,84E-01	2,84E-01	8,44E-04	8,15E-07	2,30E-04	1,15E-03	2,22E-07	1,04E-06
PH Ar 12-16	TPH Aromatic fraction C>12 C16														
SUM ALL SUBSTANCES															
en rouge : concentration supérieure au seuil acceptable															
en gras : concentration supérieure à 1/10ème du seuil acceptable															

Reference conc., RIC (mg/m³)
3.09E-02
5.00E-00
1.00E-00
1.00E-01
1.00E-01
1.00E-01
5.00E-00
2.00E-03
2.00E-01
4.00E-01
2.00E-01
2.00E-01
2.00E-01

