



Figure 3 : Recollement des futurs bâtiments sur l'aménagement actuel (photographie aérienne)

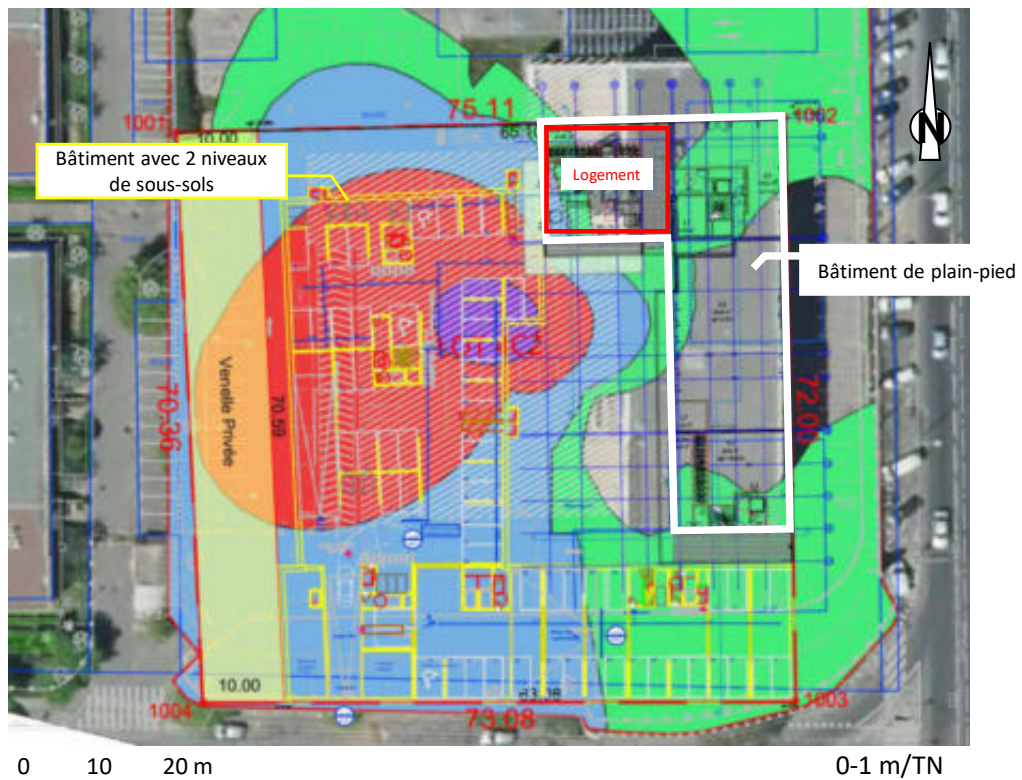


Figure 4 : Recollement des futurs bâtiments sur la cartographie de la contamination de 0 à 1 m/TN (ICF) et des sondages complémentaires réalisés en 2019 par ERG pour le compte de l'EPAEM.

Des terrassements d'environ 1 m de profondeur sont prévus au droit du futur bâtiment de plain-pied. Celui-ci sera localisé au droit de l'ancien hall d'exposition du bâtiment PEUGEOT désaffecté et actuellement encore en place.

A cet emplacement, au vu des cartographies de contaminations établies par ICF, la source concentrée en hydrocarbures (teneurs > 3 000 mg/kg MS) est retrouvée à partir de 4 m de profondeur. Les niveaux de sols superficiels présentent des impacts moindres (teneurs < 500 mg/kg MS ou comprises entre 500 et 3 000 mg/kg MS).

La compatibilité sanitaire pour un usage résidentiel doit ainsi être confirmée au droit de l'emprise du futur bâtiment sans sous-sol, ainsi que le maintien du seuil de dépollution initialement défini par ICF Environnement en 2016 et confirmé par ERG Environnement en 2019 pour un usage résidentiel avec 1 ou 2 niveaux de sous-sols.

Des sondages complémentaires pour prélèvements de sols et gaz des sols ont ainsi été réalisés en août 2019, au droit de l'emplacement du futur bâtiment de plain-pied.

4. SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION INITIAL

Le schéma conceptuel d'exposition, établi pour un aménagement du site donné, permet d'établir le lien entre trois facteurs D (Source / Danger) – T (Transfert) et C (Cible).

Selon le principe de l'évaluation des risques, le risque R est le résultat de l'existence de ces trois facteurs complémentaires. Dès lors qu'un de ces facteurs n'existe pas, le risque est absent.

Le schéma conceptuel d'exposition a pour but de mettre en exergue de manière qualitative (et non quantitative : objet d'une Evaluation des Risques Sanitaires) les risques potentiellement encourus par les occupants du site.

Le schéma conceptuel d'exposition permet ainsi de définir les milieux environnementaux sur lesquels doivent porter les investigations de terrain (analyses des milieux pertinents).

Le schéma conceptuel réalisé dans le cadre de la présente étude, en prenant en compte l'usage futur du site (futur bâtiment résidentiel et tertiaire sans sous-sol), et les données des études antérieures, est présenté ci-après.

ZONES POTENTIELLES D'EXPOSITION ET USAGE ACTUEL / FUTUR	PRINCIPAUX TRANSFERT(S) A ENVISAGER	PRINCIPALES VOIES D'EXPOSITION A ENVISAGER	PRINCIPALES CIBLES A PRENDRE EN COMPTE AU DROIT DU SITE	MILIEUX CONCERNES – TYPES DE POLLUANTS POTENTIELS
Intérieur du futur bâtiment de plain-pied	Du sol et des eaux souterraines vers l'air ambiant intérieur	Inhalation de substances volatiles issues du sol et des eaux souterraines	Futurs résidents et usagers	AIR AMBIANT <u>SOLS ET GAZ DES SOLS A PROXIMITE</u> : PRESENCE D'IMPACTS EN HCT ET BTEX SELON LES ETUDES ANTERIEURES
	Du sol vers les futures canalisations AEP	Ingestion d'eau contaminée / contact cutané / Inhalation de substances volatiles issues du sol		EAU DU ROBINET <u>SOLS ET GAZ DES SOLS A PROXIMITE</u> : PRESENCE D'IMPACTS EN HCT ET BTEX SELON LES ETUDES ANTERIEURES → ON CONSIDERE QUE LES CANALISATIONS SERONT POSEES DANS DES MATERIAUX SAINS D'APPORT EXTERIEUR
Zones extérieures recouvertes	Du sol et des eaux souterraines vers l'Air ambiant extérieur	Inhalation d'air		AIR EXTERIEUR <u>SOLS ET GAZ DES SOLS A PROXIMITE</u> : PRESENCE D'IMPACTS EN HCT ET BTEX SELON LES ETUDES ANTERIEURES

Tableau 3 : Schéma conceptuel d'exposition préliminaire

5. INVESTIGATIONS DU MILIEU SOL

5.1 Généralités

Les investigations de terrain (sondages de sol) ont été réalisées par ERG ENVIRONNEMENT le 28/08/2019 suivant les normes en vigueur, et ont été suivies en permanence par un technicien ERG ENVIRONNEMENT.

3 sondages (SD7 à SD9) ont été réalisés à la tarière mécanique jusqu'à une profondeur maximale de 2 m/TN, à l'intérieur de l'ancien bâtiment PEUGEOT désaffecté :

- SD7 et SD8 au droit de la future partie tertiaire du rez-de-chaussée du futur bâtiment ;
- SD9 à proximité immédiate du futur logement du rez-de-chaussée du futur bâtiment (partie accessible à la machine).

L'implantation des sondages réalisés est présentée en **annexe A2.1**.

L'ensemble des sondages réalisés a fait l'objet de prélèvement d'échantillons pour analyses chimiques en laboratoire entre 0 et 1 m/TN, les terrassements étant prévus jusqu'à 1 m de profondeur dans le cadre du projet d'aménagement. Les sondages ont été prolongés jusqu'à 2 m/TN afin de vérifier organoleptiquement la qualité des matériaux voués à rester en place sous le futur bâtiment et afin de pouvoir équiper les sondages en piézaires (cf. paragraphe 7).

Entre chaque sondage, les outils ont été soigneusement nettoyés afin d'éviter toute contamination croisée.

Chaque sondage de sol effectué a fait l'objet d'une coupe lithologique, d'un relevé des observations organoleptiques (couleur et aspect) des matériaux, complété d'une mesure des composés volatils à l'aide d'un PID (photo-ionisation detector). Le PID est un instrument qui détecte les composés organiques par photo ionisation. Cet appareil permet la détection et la quantification de COV totaux (composés organiques volatils) avec une sensibilité de 0,1 ppm. Le PID n'a pas une capacité sélective sur les composés détectés. Ces documents sont présentés en **annexe A2.2**.

Les prélèvements ont été conditionnés dans des pots à usage unique, fermés de manière hermétique, et conservés dans des conditions adéquates de température et de luminosité.

5.2 Compte rendu de terrain et synthèse

5.2.1 Principales observations géologiques et hydrogéologiques, principales observations de terrain et organoleptiques

La lithologie moyenne rencontrée fait état de la présence, sous la dalle béton du bâtiment de 30 cm d'épaisseur, de remblais sableux beiges à gris-noirâtres, sur 1 à 2 m d'épaisseur, reposant sur des sables limoneux bruns en SD9.

Seul SD8 a essuyé un refus à 0,75 m/TN sur des blocs ou niveau dur (deux essais infructueux SD8 et SD8').

Aucun niveau d'eau souterraine n'a été rencontré.

5.2.2 Principales observations de terrain et organoleptiques

Des odeurs d'hydrocarbure ont été constatées en SD7 dans les remblais sableux à partir de 1 m/TN, associé à une quantification au PID de 15,2 ppm (4,7 ppm sur le premier mètre).

En SD8 et SD9, aucune odeur n'est mise en évidence et les quantifications PID sont faibles (0,2 et 0,3 ppm).

5.3 Recherches analytiques portant sur les sols

Les analyses chimiques ont été confiées sous 24 heures au Laboratoire EUROFINS possédant une accréditation du COFRAC. Il est à noter que le Laboratoire EUROFINS, dans le cadre de sa démarche qualité (accréditation COFRAC), nous fournit directement le flaconnage.

Des analyses de l'ensemble des paramètres d'acceptabilité en décharge (pack ISDI selon l'arrêté du 12/12/14) + 8 métaux lourds sur brut ont été réalisées au droit des 3 échantillons de sol prélevés sur le premier mètre de sol (future zone terrassée dans le cadre des travaux d'aménagement), afin de déterminer l'orientation possible des futurs déblais.

6. INTERPRETATION DES RESULTATS D'ANALYSES DE SOLS

6.1.1 Critères de comparaison retenus dans le cadre d'une approche environnementale

Les résultats seront interprétés conformément à la démarche d'interprétation de l'état des milieux définie dans la circulaire du MEEDDM et ses annexes en date du 8 février 2007 et remise à jour en avril 2017, qui conduit à comparer l'état des milieux :

- 1/ à l'état des milieux naturels voisins de la zone d'investigation.

Dans un premier temps, les résultats sont comparés aux teneurs des fonds géochimiques locaux et nationaux (bases de données bibliographiques, à défaut d'analyse sur échantillons de sols témoins)

- 2/ aux valeurs de gestion réglementaire mises en place par les pouvoirs publics présentés dans les paragraphes suivants.

A l'heure actuelle, aucune valeur réglementaire n'existe concernant l'interprétation des données relatives au milieu « Sol » sur le plan environnemental.

L'établissement d'un bruit de fond pertinent (pouvant servir d'éléments de comparaison) est recommandé mais souvent délicat à réaliser, notamment en milieu urbain.

Dans ces conditions, nous proposons, ici, une approche cohérente avec les grands principes de la méthodologie nationale relative aux sites et sols pollués, les valeurs indicatives disponibles au moment de notre offre technique et commerciale, de la typologie des polluants et de notre retour d'expérience.

▪ Approche relative aux métaux lourds

Il est important de replacer dans leur contexte les teneurs mesurées lors du diagnostic en ayant recours à des valeurs de comparaison. Les métaux lourds présents dans les sols peuvent en effet être d'origine naturelle, même s'ils sont présents en teneurs très élevées (c'est par exemple le cas de l'arsenic dans le Massif Central). L'interprétation des analyses de métaux lourds dans les sols aboutit par conséquent à comparer les teneurs mesurées par rapport aux milieux naturels. Pour cela, il est nécessaire de connaître les fonds géochimiques naturels, et notamment les anomalies géochimiques.

Il existe plusieurs bases de données sur les teneurs en Eléments Traces Métalliques (ETM) des sols français. On peut les distinguer en deux catégories :

- Les bases de données définissant des valeurs moyennes nationales :
 - la base de données ASPITET (Apports d'une Stratification Pédologique pour l'Interprétation des Teneurs en Eléments Traces) de l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA), regroupant en moyenne 700 échantillons pour chaque paramètre analysé prélevé sur 382 sites distincts répartis sur une quarantaine de départements au niveau des horizons pédologiques des sols cultivés et forestiers.
- Les bases de données de valeurs retrouvées localement ou régionalement, dans le secteur du site (bruit de fond local ou urbain intégrant le bruit de fond géochimique et le bruit de fond anthropique),
 - Les cartes des teneurs en ETM des sols, de la base de données INDicateurs de la QUALité des SOLs (INDIQUASOL), réalisées par le Groupement d'intérêt Scientifique Sol (GIS Sol), à partir d'échantillons de sol superficiel (0-30 cm et 30-50 cm du sol) issus de 2200 sites, uniformément répartis sur le territoire français (mailles carrées de 16 km de côté) entre 2001 et 2008 par le Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS). Ces cartes donnent la tendance régionale en prenant en compte à la fois le

bruit de fond géochimique et les apports d'origine anthropique. Les concentrations en ETM correspondent aux teneurs limites au-delà desquelles une valeur peut être considérée comme anormale au niveau local (département).

Les données issues du programme ASPITET de l'INRA¹ sont présentées dans le Tableau 4.

Les gammes de valeurs présentées correspondent à divers horizons de sols, pas seulement les horizons de surface labourés. Les teneurs sont exprimées en mg/kg de "terre fine" (< 2 mm). Les numéros entre parenthèses renvoient à des types de sols effectivement analysés, succinctement décrits et localisés en page suivante.

	Gamme de valeurs couramment observées dans les sols "ordinaires" de toutes granulométries (en mg/kg de terre fine)	Gamme de valeurs observées dans le cas d'anomalies naturelles modérées (en mg/kg de terre fine)	Gamme de valeurs observées dans le cas de fortes anomalies naturelles (en mg/kg de terre fine)
As	1,0 à 25,0	30 à 60 (1)	60 à 284 (1)
Cd	0,05 à 0,45	0,70 à 2,0 (1)(2)(3)(4)	2,0 à 46,3 (1)(2)(4)
Cr	10 à 90	90 à 150 (1)(2)(3)(4)(5)	150 à 3180 (1)(2)(3)(4)(5)(8)(9)
Cu	2 à 20	20 à 62 (1)(4)(5)(8)	65 à 160 (8)
Hg	0,02 à 0,10	0,15 à 2,3	
Ni	2 à 60	60 à 130 (1)(3)(4)(5)	130 à 2076 (1)(4)(5)(8)(9)
Pb	9 à 50	60 à 90 (1)(2)(3)(4)	100 à 10180 (1)(3)
Zn	10 à 100	100 à 250 (1)(2)	250 à 11426 (1)(3)

- (1) zones de "métallotectes" à fortes minéralisations (à plomb, zinc, barytine, fluor, pyrite, antimoine) au contact entre bassins sédimentaires et massifs cristallins. Notamment roches liasiques et sols associés de la bordure nord et nord-est du Morvan (Yonne, Côte d'Or).
(2) sols argileux développés sur certains calcaires durs du Jurassique moyen et supérieur (Bourgogne, Jura).
(3) paléosols ferrallitiques du Poitou ("terres rouges").
(4) sols développés dans des "argiles à chailles" (Nièvre, Yonne, Indre).
(5) sols limono-sableux du Pays de Gex (Ain) et du Plateau Suisse.
(6) "bornais" de la région de Poitiers (horizons profonds argileux).
(7) sols tropicaux de Guadeloupe.
(8) sols d'altération d'amphibolites (région de La Châtre - Indre).
(9) matériaux d'altération d'amphibolites (région de La Châtre - Indre)

Tableau 4 - Teneurs totales en éléments traces dans les sols (France) selon le référentiel ASPITET de l'INRA

Sauf si le département dans lequel se trouve le site étudié fait partie des départements dans lesquels des anomalies naturelles ont été recensées en l'état des études actuelles, les teneurs mesurées sur le site seront comparées à la gamme de valeurs pour les sols « ordinaires », à l'exception du mercure, élément pour lequel des anomalies naturelles modérées peuvent être rencontrées sur l'ensemble du territoire français.

Une recherche complémentaire sur le bruit de fond géochimique a été menée sur la base de données **RMQS** (base de données INDIQUASOL - Réseau de Mesures de la Qualité des Sols de l'INRA), basé sur le suivi de 2200 sites répartis uniformément sur le territoire français, selon une maille carrée de 16 km de côté) de GISSOL-INRA. Les valeurs de comparaison utilisées sont les seuils de détection d'anomalies du RMQS ou vibrisses pour les horizons de sol 0 – 30 cm et 30 – 50cm. Ces vibrisses jouent un rôle d'indicateur de tendance régionale prenant en compte à la fois le bruit de fond géochimique et les apports d'origine anthropique. Elles correspondent à la teneur limite au-delà de laquelle une valeur peut être considérée comme anormale. Elles permettent de détecter les anomalies ponctuelles tout en s'affranchissant d'anomalies étendues.

Les valeurs définies dans les sols sur la zone de Marseille (cellule n°2168) sont présentées dans le tableau suivant.

¹ Programme ASPITET de l'INRA : <http://etm.orléans.inra.fr/>

	Unité	Valeur
Vibrise du cadmium total, horizon 0-30 cm	En mg/kg	1.014
Vibrise du cadmium total, horizon 30-50 cm	En mg/kg	0.8575
Vibrise du chrome total, horizon 0-30 cm	En mg/kg	112.925
Vibrise du chrome total, horizon 30-50 cm	En mg/kg	94.5
Vibrise du cuivre total, horizon 0-30 cm	En mg/kg	61.585
Vibrise du cuivre total, horizon 30-50 cm	En mg/kg	72.725
Vibrise du nickel total, horizon 0-30 cm	En mg/kg	96.55
Vibrise du nickel total, horizon 30-50 cm	En mg/kg	58.6
Vibrise du plomb total, horizon 0-30 cm	En mg/kg	75.075
Vibrise du plomb total, horizon 30-50 cm	En mg/kg	81.75
Vibrise du zinc total, horizon 0-30 cm	En mg/kg	160.5475
Vibrise du zinc total, horizon 30-50 cm	En mg/kg	160.315

Tableau 5 – Valeurs de bruit de fond issues de la base de données RMQS

Remarque : Les valeurs de référence issues de la base de données du RMQS seront prises en compte de façon prépondérante, dans la mesure où elles représentent un bruit de fond local, tandis que les données de la base de données ASPITET de l'INRA correspondent à un bruit de fond national. Ces données seront malgré tout prises en compte pour l'arsenic et le mercure, pour lesquels, il n'existe pas de valeur de référence dans la base de données du RMQS.

▪ **Cas particulier du plomb**

Le Haut Conseil de la Santé Publique a mené des travaux pour réévaluer l'ensemble des valeurs de gestion du plomb, en vue de réduire l'exposition au plomb de la population française. Il a établi une synthèse et des recommandations concernant la détermination de nouveaux objectifs de gestion des expositions au plomb. Ce document fixe des seuils d'alerte pour les teneurs en plomb dans le sol :

- un niveau de vigilance à 100 mg/Kg MS dans les sols (déclenchant une évaluation des risques sanitaires en cas de dépassement),
- et un niveau déclenchant un dépistage du saturnisme chez l'enfant à 300 mg/Kg MS dans les sols.

▪ **Approche relative aux composés organiques**

Seuls des critères de gestion de terres – se basant sur l'Arrêté du 12 décembre 2014 sont disponibles même s'ils ne constituent en aucun cas des critères sanitaires ou environnementaux de réhabilitation.

Les seuils définis par l'arrêté sont toutefois prépondérants dans la mesure où ils permettront d'établir en première approche si les composés retrouvés dans les sols sont inertes c'est-à-dire non évolutifs dans le temps et peu lixiviables.

En effet, la définition des déchets inertes précise bien que ces matériaux « ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine ».

Le tableau ci-dessous récapitule les principaux seuils de l'arrêté qui sont utilisés dans le cadre d'une comparaison indicative des niveaux de présence mesurés pour les polluants organiques :

Paramètres	Seuils (en mg/kg MS)
HCT (C10 – C40)	500
HAP	50
BTEX	6
PCB	1

Tableau 6 : Valeurs de référence de l'Annexe 2 de l'Arrêté du 12 décembre 2014 pour les composés organiques sur brut

Les résultats pour les composés organiques seront commentés par rapport à la limite de quantification analytique, par inter-comparaison des concentrations sur site, sur la base de notre retour d'expérience, et à titre indicatif par comparaison aux seuils de l'arrêté du 12/12/2014 lorsqu'ils existent.

6.12 Critères de comparaison retenus dans le cadre d'une approche Gestion des déblais

Sur la base d'une décision du Conseil du 13 décembre 2002 établissant des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges, conformément à l'article 16 et à l'Annexe II de la directive 1999/31/CE, le Ministère en Charge de l'Environnement a établi un arrêté pratique d'orientation des déchets inertes avec des critères d'admission basés notamment sur des tests de lixiviation. Les références de ce texte sont :

- Annexe 2 de l'Arrêté du 12/12/2014 fixant les critères à respecter pour l'admission des terres provenant de sites contaminés (disponible à l'adresse Internet suivante : <http://www.legifrance.gouv.fr>).

Le tableau ci-dessous reprend les valeurs de références à ne pas dépasser pour une éventuelle acceptation en Installation de Stockage de Déchets Inertes (ISDI).

Tableau 7 : Seuils d'acceptation en ISDI selon l'annexe 2 de l'arrêté du 12 décembre 2014

Paramètres	Seuils (en mg/kg de matières sèches)
Analyses sur éluât après test de lixiviation normalisé NF EN 12457-2	
As	0.5
Ba	20
Cd	0.04
Cr total	0.5
Cu	2
Hg	0.01
Mo	0.5
Ni	0.4
Pb	0.5
Sb	0.06
Se	0.1
Zn	4
Chlorures (*)	800
Fluorures	10
Sulfates (*)	1 000 (**)
Indice phénols	1
COT (***)	500
Fraction soluble (*)	4 000
Analyses sur sols bruts	
COT (****)	30 000
BTEX	6
PCB (7)	1
HCT (C10 – C40)	500
16 HAP	50
(*) Si le déchet ne respecte pas au moins une des valeurs fixées pour le chlorure, le sulfate ou la fraction soluble, le déchet peut être encore jugé conforme aux critères d'admission s'il respecte soit les valeurs associées au chlorure et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble. (**) Si le déchet ne respecte pas cette valeur pour le sulfate, il peut être encore jugé conforme aux critères d'admission si la lixiviation ne dépasse pas les valeurs suivantes : 1 500 mg/l à un ratio L/S = 0,1 l/kg et 6 000 mg/kg de matière sèche à un ratio L/S = 10 l/kg. Il est nécessaire d'utiliser l'essai de percolation NF CEN/TS 14405 pour déterminer la valeur lorsque L/S = 0,1 l/kg dans les conditions d'équilibre initial ; la valeur correspondant à L/S = 10 l/kg peut être déterminée par un essai de lixiviation NF EN 12457-2 ou par un essai de percolation NF CEN/TS 14405 dans des conditions approchant l'équilibre local. (***) Si le déchet ne satisfait pas à la valeur limite indiquée pour le carbone organique total sur éluât à sa propre valeur de pH, il peut aussi faire l'objet d'un essai de lixiviation NF EN 12457-2 avec un pH compris entre 7,5 et 8,0. Le déchet peut être jugé conforme aux critères d'admission pour le carbone organique total sur éluât si le résultat de cette détermination ne dépasse pas 500 mg/kg de matière sèche. (****) Pour les sols, une valeur limite plus élevée peut être admise, à condition que la valeur limite de 500 mg/kg de matière sèche soit respectée pour le carbone organique total sur éluât, soit au pH du sol, soit pour un pH situé entre 7,5 et 8,0.	

Au-delà de ces valeurs, les précautions suivantes seront à respecter :

- Il est interdit de procéder à une dilution ou à un mélange des déchets dans le seul but de satisfaire aux critères d'admission (*article 4*),
- Avant la livraison ou avant la première d'une série de livraisons d'un même déchet, le producteur des déchets remet à l'exploitant de l'installation de stockage de déchets inertes un document préalable indiquant l'origine, les quantités et le type des déchets. Ce document est signé par le producteur des déchets et les différents intermédiaires le cas échéant (*article 5*),
- Après justification particulière et sur la base d'une étude visant à caractériser le comportement d'une quantité précise d'un déchet dans une installation de stockage donnée et son impact potentiel sur l'environnement et la santé, les valeurs limites à respecter par les déchets visés par l'annexe II peuvent être adaptées par arrêté préfectoral. Cette adaptation pourra notamment être utilisée pour permettre le stockage de déchets dont la composition correspond au fond géochimique local.

En tout état de cause, les valeurs limites sur la lixiviation retenues dans l'arrêté ne peuvent pas dépasser d'un facteur 3 les valeurs limites mentionnées en annexe II. Cette

adaptation des valeurs limites ne peut pas concerner la valeur du carbone organique total sur l'éluât. Concernant le contenu total, seule la valeur limite relative au carbone organique total peut être modifiée dans la limite d'un facteur 2 (*article 6*).

Toutefois, en cas de dépassement des valeurs de l'arrêté du 12/12/2014, il est important de pouvoir donner une première orientation de ces matériaux vers une autre filière d'acceptation.

Pour ce faire, les résultats analytiques obtenus sur éluât seront comparés aux seuils définis par la décision n°2003/33/CE du 19/12/02 établissant des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges – conformément à l'article 16 et à l'annexe 2 de la directive 1999/31/CE – et détaillé dans le tableau ci-après.

Tableau 8 : Critères d'acceptation en ISDND et ISDD sur lixiviat

Analyses sur Lixiviat	Unité	Valeur limite pour acceptation en ISDND	Valeur limite pour acceptation en ISDD
FS	mg/kg	60 000	100 000
COT	mg/kg	800*	1 000**
Sb	mg/kg	0,7	5
As	mg/kg	2	25
Ba	mg/kg	100	300
Cd	mg/kg	1	5
Cr	mg/kg	10	70
Cu	mg/kg	50	100
Hg	mg/kg	0,2	2
Mo	mg/kg	10	30
Ni	mg/kg	10	40
Pb	mg/kg	10	50
Se	mg/kg	0,5	7
Zn	mg/kg	50	200
Cl-	mg/kg	15 000	25 000
F	mg/kg	150	500
SO ₄ ²⁻	mg/kg	20 000	50 000

* Si le déchet ne satisfait pas aux valeurs indiquées pour le COT sur éluat à sa propre valeur de pH, il peut aussi faire l'objet d'un essai avec un rapport L/S = 10 l/kg et un pH compris entre 7,5 et 8. Le déchet peut être jugé conforme aux critères d'admission pour le COT sur éluat si le résultat de cette détermination ne dépasse pas 800 mg/kg

** Si le déchet ne satisfait pas aux valeurs indiquées pour le COT sur éluat à sa propre valeur de pH, il peut aussi faire l'objet d'un essai avec un rapport L/S = 10 l/kg et un pH compris entre 7,5 et 8. Le déchet peut être jugé conforme aux critères d'admission pour le COT sur éluat si le résultat de cette détermination ne dépasse pas 1000 mg/kg

Les concentrations sont exprimées sur matières sèches à partir d'analyses effectuées sur déchet brut.

Notons que les délais d'admission et le montage des certificats d'acceptation préalable peuvent s'avérer longs et contraignants.

Enfin, toute exportation de matériaux réputés comme pollués devra faire l'objet de l'établissement d'un BSD. Les Bordereaux de Suivi de Déchets (BSD) sont des formulaires CERFA permettant de contrôler les filières d'élimination des différents déchets (Arrêté du 29 juillet 2005). Ils sont visés par les différents acteurs de celles-ci (producteur, transporteur, collecteur, éliminateur du déchet). Le bordereau de suivi permet d'attester que le déchet a bien été pris en charge.

6.2 Interprétation des résultats d'analyses de sol

Les résultats sont présentés dans le Tableau 9. Les bordereaux d'analyses relatifs aux prélèvements de sols effectués sont joints en **annexe A2.4** du présent document.

Les résultats analytiques permettent de mettre en évidence, entre 0,3 et 1 m/TN :

- L'absence des PCB et des BTEX (teneurs inférieures aux seuils de quantification analytique).
- L'absence des HAP ou leur quantification faible en SD7 (2,3 mg/kg MS).
- Des teneurs en métaux lourds conformes au bruit de fond géochimique local et national. Le mercure et le cadmium ne sont pas quantifiés.
- L'absence des HCT en SD9, et leur quantification en SD8 (19,3 mg/kg MS) et en SD7 (259 mg/kg MS), au-dessus du niveau de sols présentant des indices de présence d'hydrocarbures. A titre indicatif, les teneurs restent inférieures à la valeur seuil de l'arrêté du 12/12/14 (500 mg/kg MS), qui ne constitue toutefois pas un seuil sanitaire. Ces teneurs ne sont pas révélatrices d'un impact.

D'un point de vue gestion des futurs déblais, les 3 analyses ont mis en évidence des sols acceptables en Installation de Stockage de Déchets Inertes (ISDI).

En effet, les teneurs respectent les critères de l'arrêté du 12/12/2014 (pas de dépassement des seuils, ou dépassements en Sulfates en SD7 et Fraction soluble en SD8, non pénalisants).

D'un point de vue sanitaire, au vu de la présence d'hydrocarbures à des niveaux de concentration différents dans les sols sous-jacents, une vérification du risque d'exposition par inhalation de composés volatils pour les futurs usagers du bâtiment sans sous-sol devra être réalisée.

Tests	Paramètres	Unités	Référence EUROFINS :			Arrêté du			Decision n°2003/33/CE du 12/12/14	ASPIETE Gamme de valeurs des "anomalies naturelles mesurées"	INDIQUASOL 0-30 cm	INDIQUASOL 30-50 cm
			19E118915-001	19E118915-003	19E118915-004	12/12/14	28/08/2019	28/08/2019				
			SD7 (0.3-1)	SD8 SDB* (0.3-0.75)	SD9 (0.3-1)	seuil ISDI	ISDND	ISDD				
			Date prélèvement : 28/08/2019	Date prélèvement : 28/08/2019	Date prélèvement : 28/08/2019							
Métaux lourds et métalloïdes	Arsenic (As)	mg/kg M.S.	1	4,23	1,34	4,5	-	-	-	30 à 60	-	-
	Cadmium (Cd)	mg/kg M.S.	0,4	<0,40	<0,40	<0,40	-	-	-	0,7 à 2	1,014	0,8575
	Chrome (Cr)	mg/kg M.S.	5	5,19	<5,00	7,07	-	-	-	90 à 150	112,925	94,5
	Cuivre (Cu)	mg/kg M.S.	5	20,80	5,33	14,4	-	-	-	20 à 62	61,585	72,725
	Nickel (Ni)	mg/kg M.S.	1	6,19	3,21	7,05	-	-	-	60 à 130	96,55	58,6
	Plomb (Pb)	mg/kg M.S.	5	69,90	5,43	49,4	-	-	-	60 à 90	75,075	81,75
	Zinc (Zn)	mg/kg M.S.	5	41,3	11,3	47,3	-	-	-	100 à 250	160,5475	160,315
	Mercurure (Hg)	mg/kg M.S.	0,1	<0,10	<0,10	<0,10	-	-	-	2,3	-	non défini
Hydrocarbures totaux (4 tranches) (C10-C40)	Indice Hydrocarbures (C10-C40)	mg/kg M.S.	15	259	19,3	<19,3	500	2 000**	10000**			
	HCT (nC10 - nC16) (Calcul)	mg/kg M.S.		16,9	2,13	<4,00	-	-	-			
	HCT (>nC16 - nC22) (Calcul)	mg/kg M.S.		23,6	1,45	<4,00	-	-	-			
	HCT (>nC22 - nC30) (Calcul)	mg/kg M.S.		70,7	5,52	<4,00	-	-	-			
	HCT (>nC30 - nC40) (Calcul)	mg/kg M.S.		148	10,2	<4,00	-	-	-			
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (16 HAPs)	Naphtalène	mg/kg M.S.	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Fluorène	mg/kg M.S.	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Phénanthrène	mg/kg M.S.	0,05	0,35	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Pyrrène	mg/kg M.S.	0,05	0,35	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Benzo (a)-anthracène	mg/kg M.S.	0,05	0,14	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Chrysène	mg/kg M.S.	0,05	0,19	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Indeno (1,2,3-cd) Pyrrène	mg/kg M.S.	0,05	0,17	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Dibenzofluanthracène	mg/kg M.S.	0,05	0,084	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Acénaphthylène	mg/kg M.S.	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Acénaphthène	mg/kg M.S.	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Anthracène	mg/kg M.S.	0,05	0,12	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Fluoranthène	mg/kg M.S.	0,05	0,39	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Benzo(b)fluoranthène	mg/kg M.S.	0,05	0,25	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Benzo(k)fluoranthène	mg/kg M.S.	0,05	0,079	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Benzo(a)pyrrène	mg/kg M.S.	0,05	0,19	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Benzo(ghi)Pérylrène	mg/kg M.S.	0,05	0,16	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Somme des HAP	mg/kg M.S.		2,3			50	100**	500**			
PCB congénères réglementaires (7 composés) (Brut)	PCB 28	mg/kg M.S.	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-			
	PCB 52	mg/kg M.S.	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-			
	PCB 101	mg/kg M.S.	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-			
	PCB 118	mg/kg M.S.	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-			
	PCB 138	mg/kg M.S.	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-			
	PCB 153	mg/kg M.S.	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-			
	PCB 180	mg/kg M.S.	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-			
	SOMME PCB (7)	mg/kg M.S.		<0,01	<0,01	<0,01	1	10**	50**			
BTEX	Benzène	mg/kg M.S.	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Toluène	mg/kg M.S.	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Ethylbenzène	mg/kg M.S.	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-			
	o-Xylène	mg/kg M.S.	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-			
	m+p-Xylène	mg/kg M.S.	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-			
	Somme des BTEX	mg/kg M.S.		<0,05	<0,05	<0,05	6	30**	>30**			
Paramètres sur éluat	Résidus secs à 105 °C	mg/kg M.S.	2000	2870	8780	<2000	4 000	60 000	100 000			
	Carbone Organique par oxydation (COT)	mg/kg M.S.	50	<50	<50	<50	500	800	1 000			
	Chlorures (Cl)	mg/kg M.S.	10	21,6	12,1	15,9	800	15 000	25 000			
	Fluorures	mg/kg M.S.	5	<5,00	<5,00	<5,00	10	150	500			
	Sulfates	mg/kg M.S.	50	1030	200	427	1 000	20 000	50 000			
	Indice phénol (calcul mg/kg)	mg/kg M.S.	0,5	<0,50	<0,50	<0,50	1	-	-			
	Arsenic (Calcul mg/kg après lixiviation)	mg/kg M.S.	0,2	<0,20	<0,20	<0,20	0,5	2	25			
	Baryum (Calcul mg/kg après lixiviation)	mg/kg M.S.	0,1	0,29	0,28	0,18	20	100	300			
	Chrome (Calcul mg/kg après lixiviation)	mg/kg M.S.	0,1	0,17	0,43	0,24	0,5	10	70			
	Cuivre (Calcul mg/kg après lixiviation)	mg/kg M.S.	0,2	<0,20	<0,20	<0,20	2	50	100			
	Molybdène	mg/kg M.S.	0,01	0,05	0,028	0,086	0,5	10	30			
	Nickel (Calcul mg/kg après lixiviation)	mg/kg M.S.	0,1	<0,10	<0,10	<0,10	0,4	10	40			
	Plomb (Calcul mg/kg après lixiviation)	mg/kg M.S.	0,1	<0,10	<0,10	<0,10	0,5	10	50			
	Zinc (Calcul mg/kg après lixiviation)	mg/kg M.S.	0,2	<0,20	<0,20	<0,20	4	50	200			
	Mercurure (Calcul mg/kg après lixiviation)	mg/kg M.S.	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,01	0,2	2			
	Antimoine (Calcul mg/kg après lixiviation)	mg/kg M.S.	0,002	0,042	<0,002	0,024	0,06	0,7	5			
	Cadmium (Calcul mg/kg après lixiviation)	mg/kg M.S.	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,04	1	5			
	Selenium (Calcul mg/kg après lixiviation)	mg/kg M.S.	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1	0,5	7			
Pré-orientation des déblais			ISDI	ISDI	ISDI	** seuls FNADE utilisés à titre indicatif						

Tableau 9 – Résultats d'analyses de sols

7. INVESTIGATIONS DES GAZ DU SOL

7.1 Investigations des gaz du sol

7.1.1 Nature des investigations

Les investigations suivantes ont été réalisées sur le milieu gaz des sols, afin de vérifier la compatibilité de l'état des milieux avec l'usage projeté :

- 2 sondages ont été équipés en piézaires lors des investigations de sols du 28/08/2019 afin de permettre le prélèvement des gaz des sols. Les sondages ont été équipés en piézaires au moyen d'un tube en PEHD, de diamètre 30 mm, fermé à ses deux extrémités par un bouchon. Un massif filtrant constitué de graviers a été mis en place autour de la partie crépinée :
 - SD7 a été équipé d'une crépine permettant le prélèvement des gaz des sols entre 0,7 et 1,7 m/TN, au droit des remblais gris à noirâtres présentant des odeurs d'hydrocarbures (PID=15,2 ppm).
 - SD9 a été équipé d'une crépine permettant le prélèvement des gaz des sols entre 1 et 2 m/TN, au droit des sables limoneux bruns.
- 1 prélèvement d'air du sol sous dalle (ASD01) par mise en place d'une canne temporaire le 30/08/2019. Ce prélèvement a été réalisé à l'emplacement du futur logement du bâtiment, au droit des anciens bureaux désaffectés du bâtiment PEUGEOT, non accessibles à l'atelier de sondage.

La dalle béton a été percée au moyen d'un perforateur (diamètre du trou : 40 mm). Un tube en acier galvanisé a été enfoncé dans la dalle béton. Ce tube, de 70 cm de long, est constitué d'une partie crépinée permettant le prélèvement de l'air situé directement sous la dalle béton.

Les prélèvements ont été réalisés le 30/08/2019, et les polluants volatils suivants ont été recherchés : le naphthalène, les BTEX et les HCT (réalisation d'un pack complet incluant également le MTBE).

Conformément à la Politique Nationale en la matière, les analyses de gaz du sol ont été privilégiées afin de se rapprocher des milieux d'exposition et de s'affranchir de l'incertitude liée à l'évaluation des transferts de polluants volatils de la matrice sols ou eaux souterraines dans l'air du sol. La mesure directe de la qualité des milieux d'exposition a été privilégiée par rapport à la modélisation des transferts.

○ Localisation des points de prélèvements

Le plan d'implantation des points de prélèvement est présenté en **annexe A2.1**.

Les prélèvements d'air ont été réalisés conformément à la méthodologie recommandée par le guide du Ministère de l'Environnement.

- **Protocole de prélèvement des gaz du sol**

Les prélèvements ont été réalisés selon le schéma suivant.

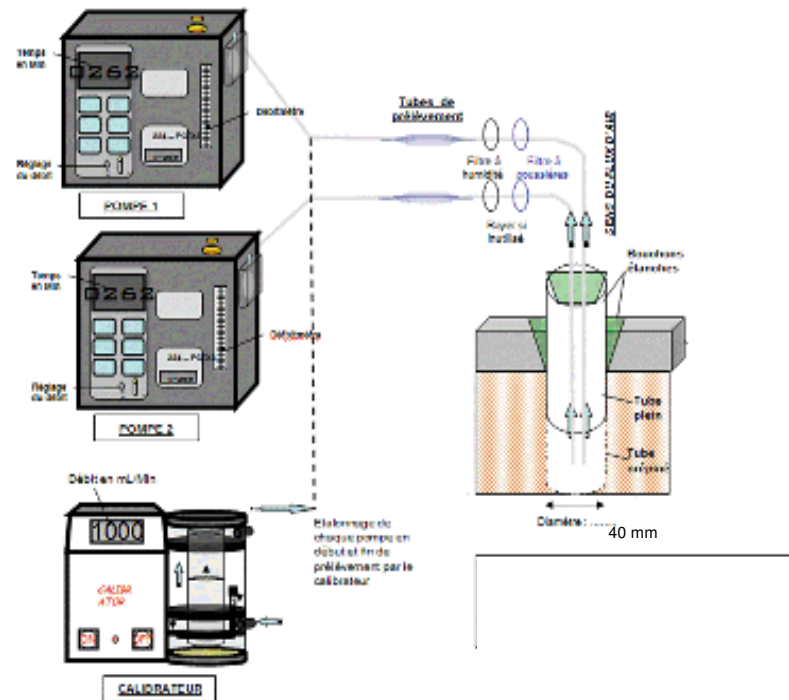


Figure 5 : Schéma de principe du prélèvement de gaz des sols

Les fiches de prélèvement sont présentées en **annexes A2.3**.

L'ensemble des prélèvements a été effectué au moyen de capillaires en téflon introduits dans le tubage, reliés chacun aux supports de prélèvements adaptés, puis à une pompe chacun. La chambre de prélèvement a été isolée de l'air extérieur par un bouchon en caoutchouc étanche.

A noter qu'une purge a été réalisée avant chaque prélèvement d'air. De même qu'un contrôle des débits à l'état initial et final du prélèvement a été réalisé à l'aide d'un débitmètre placé en amont du support de prélèvement.

Une mesure des gaz photoionisables a été réalisée au moyen d'un PID (Photo Ionisation Detector) avant et après la réalisation des prélèvements de gaz du sol. Cet appareil permet la détection et la quantification de COV totaux (Composés Organiques Volatils) avec une sensibilité de 0,1 ppm. Le PID n'a pas une capacité sélective sur les composés détectés.

Les prélèvements ont été réalisés sur des supports adaptés aux substances recherchées (charbon actif). La phase de pompage de l'air s'est étendue sur une durée de 3 à 4 heures (durée adaptée en fonction du seuil de quantification analytique désiré).

Enfin, les prélèvements ont été placés dans une glacière réfrigérée puis envoyés au laboratoire en express. Les analyses de gaz des sols ont été réalisées par le laboratoire EUROFINs.

○ **Constitution du blanc de terrain et de transport**

Le blanc de terrain-transport a également été constitué, de la manière suivante :

- ouverture du tube au moment de l'ouverture des premiers tubes de prélèvement ;
- fermeture du tube pendant la phase pompage ;
- réouverture du tube lors de la désinstallation des tubes de prélèvement.

Le même tube de blanc de terrain-transport a été utilisé pour l'installation/désinstallation des différents points de prélèvement. Ce protocole a été réalisé pour chaque prélèvement afin de maximiser l'absorption de composés « parasites », et afin de pouvoir conclure sur une éventuelle interférence des conditions de terrain sur les supports.

Le tube a été laissé ouvert au moment du conditionnement des échantillons, il a été fermé avec les bouchons et déposé dans la glacière dans un sachet-bulle comme les autres tubes. Aucun pompage n'a été réalisé sur ce blanc de terrain-transport.

Celui-ci a été conditionné dans les mêmes conditions que les supports utilisés sur le terrain pour pouvoir conclure sur une éventuelle interférence du contenant sur les supports.

○ **Méthodes de prélèvements et analyses**

Il a été procédé à des échantillonnages d'air par piégeage sur supports adsorbants (charbon actif) avec un débit de prélèvement de 0,2 l/min pendant 3 à 4h (utilisation de TCA (100/50). Les analyses ont été réalisées par Chromatographie en Phase Gazeuse – Spectrométrie de masse (GC/MS).

A titre de contrôle de la représentativité du prélèvement des gaz du sol, les analyses ont porté sur la couche de mesure et la couche de contrôle².

Les fiches de prélèvement pour chaque point de mesure sont présentées en **annexe A2.3**. Les principaux paramètres nécessaires au calcul des teneurs en substances dans l'air sont présentés dans le tableau suivant.

Prélèvement	Paramètres	Temps de prélèvement (min)	Débit moyen (L/min)	Volume d'air prélevé (L)
SD7/PZA	Charbon actif 400/200 pour prélèvement des BTEX, naphthalène, HCT et COHV	240	0,1895	45,1
SD9/PZA		238	0,235	56,4
ASD01		235	0,375	88,125

Tableau 10 : Principaux paramètres nécessaires au calcul des teneurs en substances dans l'air

² Les supports de prélèvement utilisés pour le prélèvement des polluants présents en phase vapeur comportent une couche de mesure et une couche de contrôle, cette dernière permettant de contrôler la non saturation de la couche de mesure et ainsi de valider l'échantillonnage.

7.2 Critères d'interprétation des résultats d'analyses d'air

Pour le milieu « air », peu de composés disposent à l'heure actuelle de valeurs réglementaires.

Il n'existe pas de valeurs de référence concernant les gaz du sol. En première approche et dans une démarche majorante, les teneurs mesurées dans les gaz du sol peuvent également être comparées aux valeurs de référence relatives à l'air ambiant.

Conformément à la mise à jour de la méthodologie sites et sols pollués (avril 2017), pour l'air intérieur, l'interprétation des résultats s'appuie sur l'utilisation de « **valeurs de gestion** » avec **l'ordre de priorité suivant** :

- Valeurs réglementaires en vigueur (décret du 02/12/2011) pour le benzène ;
- Valeurs de Gestion de l'Air Intérieur proposées par le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) ;
- Valeurs Guide de Qualité d'Air Intérieur (VGAI chroniques et aiguës) proposées par l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire (ANSES), tenant compte des valeurs issues de l'OQAI en comparant au percentile 90.

➤ Valeur guide pour l'air intérieur à caractère réglementaire

Paramètre :	Valeur Guide Air Intérieur en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzène	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition vie entière correspondant à un excès de risque de 10^{-5} Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air (extérieur) et du Décret 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs guides pour l'air intérieur Objectif de qualité qui est « un niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées »

Tableau 11 : Valeurs Guides Air Intérieur pour e benzène (décret du 02/11/2011)

Il est à noter que cette valeur concerne :

- l'air ambiant défini comme étant « l'air extérieur à l'exclusion des lieux de travail auxquels le public n'a normalement pas accès »,
- l'air intérieur clos des établissements recevant du public (ERP).

➤ Valeurs guides pour l'air intérieur de l'ANSES et du HCSP

L'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire) a publié des Valeurs Guides Air Intérieur (VGAI) pour les composés présentés dans le Tableau 12.

En complément de l'expertise de l'Anses et dans une optique d'aide à la gestion, le HCSP a publié des valeurs dites « de gestion » prenant en compte ces critères sanitaires tout en les mettant en perspective avec les concentrations techniquement atteignables actuellement. Le HCSP a publié ses recommandations pour les substances suivantes présentées dans le tableau suivant.

Paramètre :	Valeur Guide Air Intérieur de l'ANSES en µg/m ³	Valeur Guide Air Intérieur du HCSP en µg/m ³	Valeur retenue
Benzène	- 2 µg/m ³ comme valeur cible, immédiatement applicable et visant à protéger des effets à long terme de l'exposition - 10 µg/m ³ comme valeur d'action rapide, qui doit amener à la mise en œuvre d'actions correctives visant à abaisser la concentration dans les bâtiments à moins de 2 µg/m ³	2 µg/m ³ pour une exposition vie entière correspondant à un excès de risque de 10 ⁻⁵ (avril 2010) 0,2 µg/m ³ pour une exposition vie entière correspondant à un excès de risque de 10 ⁻⁶ (avril 2010)	2 µg/m ³
Naphtalène	10 µg/m ³ pour une exposition supérieure à 1 an, pour les effets chroniques non cancérogènes (août 2009)	- 10 µg/m ³ comme valeur repère de qualité d'air intérieur, immédiatement applicable et visant à protéger des effets à long terme de l'exposition au naphtalène - 50 µg/m ³ comme valeur d'action rapide, qui doit amener à la mise en œuvre d'actions correctives visant à abaisser la concentration dans les bâtiments à moins de 10 µg/m ³ dans un délai de moins de trois mois.	10 µg/m ³
Ethylbenzène	-	1 500 µg/m ³ pour une durée d'exposition supérieure ou égale à un an. 22 000 µg/m ³ pour une durée d'exposition de 24 heures.	1 500 µg/m ³

Tableau 12 : Valeurs Guides Air Intérieur du HCSP et de l'ANSES

7.2.1 Comparaison indicative aux valeurs de bruit de fond /OQAI

En raison du projet prévoyant la construction d'un futur collège (avec possiblement des logements de fonction sur place, dans un cas pénalisant), le bruit de fond connu pour l'air intérieur des logements a été retenu³. L'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) a réalisé une campagne nationale de mesure d'air dans les logements sur la période 2003-2005. Les données ont été recueillies dans 567 résidences principales (1612 individus enquêtés) réparties sur 55 départements et 74 communes de la France continentale métropolitaine, sur une durée d'une semaine, à l'intérieur des logements, dans les garages attenants lorsqu'ils existaient et à l'extérieur.

Les valeurs issues du rapport d'étude « Campagne nationale Logements : Etat de la qualité de l'air dans les logements français Rapport final (mise à jour mai 2007) » pour les paramètres mesurés sont les suivantes :

AIR INTERIEUR DES LOGEMENTS		
Paramètre :	Médiane ⁴ en µg/m ³	90 ^{ème} percentile ⁵ en µg/m ³
Benzène	2,1	5,7
Ethylbenzène	2,3	7,5
Toluène	12,2	46,9
M,p-xylènes	5,6	22,0
O-xylènes	2,3	8,1

Tableau 13 : Données de l'observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur

³ L'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) a réalisé une campagne nationale de mesure d'air dans les bureaux sur la période 2012-2015 dont les résultats ne sont pas encore rendus publics.

⁴ 50% des logements ont des teneurs inférieures à cette valeur

⁵ 90 % des logements ont des teneurs inférieures à cette valeur

7.2.2 Comparaison indicative aux valeurs toxicologiques de référence (VTR)

En l'absence de « valeur de gestion », et pour rester cohérent avec leur processus d'élaboration, les valeurs maximales tolérables ou Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) pertinentes les plus pénalisantes ont été retenues comme valeur de comparaison lorsqu'elles existent.

Le tableau suivant reprend les VTR pour certains paramètres recherchés.

Paramètre :	Valeur Toxicologique de Référence en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Source de la donnée
C5-C6 aliphatiques	18 400	TPHCWG (1999)
C6-C8 aliphatiques	18 400	
C8 –C10 aliphatiques	1 000	
C10-C12 aliphatiques	1 000	
C12-C16 aliphatiques	1 000	
C8-C10 aromatiques	200	
C10-C12 aromatiques	200	
C12-C16 aromatiques	200	

Tableau 14 : Valeurs toxicologiques de référence

7.3 Résultats et interprétations

L'ensemble des résultats d'analyses est présenté dans le Tableau 15. Les bordereaux d'analyses complets sont fournis en **annexe A2.5**.

Désignation de l'échantillon	TERRAIN-TRANSPORT	SD9/PZA (1-2 m/TN)		SD7/PZA (0,7-1,7 m/TN)		ASD01 (sous dalle - 0,8 m/TN)		Valeurs de comparaison Air Intérieur		VTR
	PID (avant/après prélèvement)	16 / 0,7		16 / 0,3		26 / 0,2				
	Blanc	Zone de mesure	Zone de contrôle	Zone de mesure	Zone de contrôle	Zone de mesure	Zone de contrôle	OQAI 90ème percentile	VGAI	
	µg/piège	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
HCT aliphatiques										
HCT C5-C6 aliphatiques	<2,50	<55,43	<55,43	265,96	207,45	59,91	<28,37	-	-	18 400
HCT C6-C8 aliphatiques	<2,50	93,12	<55,43	868,79	625,89	384,68	<28,37	-	-	18 400
HCT C8-C10 aliphatiques	8,03	120,62	<55,43	19 858,16	13 085,11	340,43	<28,37	-	-	1000
HCT C10-C12 aliphatiques	<2,50	131,70	<55,43	50 709,22	39 184,40	455,04	<28,37	-	-	1000
HCT C12-C16 aliphatiques	<2,50	80,26	<55,43	6 524,82	5 195,04	94,75	<28,37	-	-	1000
HCT aromatiques										
HCT C6-C7 aromatiques (benzène)	<0,05	18,40	<1,11	20,74	15,25	19,29	<0,57	5,7	2	-
HCT C7-C8 aromatiques (toluène)	6,07	228,38	<4,43	241,13	170,21	153,19	<2,27	46,9	-	-
HCT C8-C10 aromatiques	5,74	252,77	<55,43	817,38	608,16	268,94	<28,37	-	-	200
HCT C10-C12 aromatiques	<2,50	<55,43	<55,43	2 393,62	1 950,35	36,20	<28,37	-	-	200
HCT C12-C16 aromatiques	<2,50	<55,43	<55,43	1 141,84	895,39	<28,37	<28,37	-	-	200
Hydrocarbures monoaromatiques										
Benzène	<0,05	18,40	<1,11	20,74	15,25	19,29	<0,57	5,7	2	-
Toluène	6,07	228,38	<4,43	241,13	170,21	153,19	<2,27	46,9	-	-
Ethylbenzène	0,75	26,61	<2,22	61,52	44,68	28,03	<1,13	7,5	-	-
m, p-xylènes	3,58	163,41	3,77	210,99	148,94	123,69	<1,13	22	-	-
o-xylène	0,81	26,61	<1,11	42,73	31,38	31,43	<0,57	8,1	-	-
MTBE	<2,50	<55,43	<55,43	<44,33	<44,33	<28,37	<28,37	-	-	-
Hydrocarbures polyaromatiques										
Naphtalène	<0,10	<2,22	<2,22	5,14	5,14	<1,13	<1,13	-	10	-
	XX	Teneur supérieure au seuil de quantification								
	XX	Teneur supérieure aux valeurs de bruit de fond air intérieur								

Tableau 15 - Teneurs mesurées dans les gaz du sol

➤ **Commentaire sur la représentativité des résultats**

Saturation des supports :

Une saturation des supports TCA 100/50 a été rencontrée pour :

- les BTEX, les HCT aliphatiques et aromatiques et le naphthalène en SD7/PZA ;

On note également la présence des m-p xylènes sur la zone de contrôle en SD9/PZA, mais à une teneur inférieure à 5% de celle mesurée sur la zone de mesure. Il est donc considéré qu'il n'y a pas de saturation du support.

Pour l'interprétation des résultats, il a été considéré une concentration égale à la somme de la teneur observée sur la couche de mesure et sur la couche de contrôle. Notons que lorsque la teneur quantifiée sur la couche de contrôle est supérieure à 5 % de la teneur quantifiée sur la couche de mesure, il est retenu une sous-estimation de la teneur sommée.

Les prélèvements n'ont rencontré aucun problème pour les autres composés mesurés (aucune valeur n'a été quantifiée sur la couche de contrôle).

Blanc de terrain-transport :

Les composés suivants ont été quantifiés sur le blanc de terrain-transport : les HCT aliphatiques C8-C10, les HCT aromatiques C7-C8 (ou Toluène) et C8-C10, l'éthylbenzène et les xylènes. Ceci met ainsi en évidence la présence d'une interférence lors de la réalisation des prélèvements, du conditionnement et/ou lors du transport des supports vers le laboratoire.

Aucun autre composé n'a été quantifié sur le blanc de terrain-transport. Ceci témoigne de l'absence d'interférence lors du prélèvement, du conditionnement et du transport des échantillons pour ces composés.

Conditions météorologiques :

Les paramètres météorologiques ont également été relevés au début et à la fin des prélèvements. Ils indiquaient une situation légèrement dépressionnaire (1012-1011 mbar), plutôt favorable à l'émission des composés volatils. Les conditions extérieures de température (env. 27°C), favorisent la volatilisation de composés présents dans les gaz du sol (conditions pénalisantes).

Les analyses de gaz du sol réalisées ont mis en évidence :

➤ **Pour le prélèvement SD7/PZA :**

- Pour les HCT : la quantification de l'ensemble des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques C5 à C16. On constate des teneurs *supérieures aux valeurs de références indicatives (VTR)* pour l'ensemble des fractions quantifiées à l'exception des aliphatiques C5 à C8.
En particulier on constate une teneur élevée pour les aliphatiques C10-C12 (89 893 µg/m³ en additionnant la couche de mesure et la couche de contrôle).
- Pour les BTEX : quantification du benzène (35,99 µg/m³), toluène (411,35 µg/m³), éthylbenzène (106,21 µg/m³), o-xylènes (359,93 µg/m³) et m-p xylènes (74,11 µg/m³). *Les teneurs sont supérieures aux valeurs de l'OQAI prises en référence de manière pénalisante, ainsi qu'à la VGAI pour le benzène.*
- Le naphthalène est quantifié à une teneur de 10,28 µg/m³ en additionnant la couche de mesure et la couche de contrôle, *supérieure à la VGAI.*

- Le MTBE n'est pas quantifié.
- Pour le prélèvement SD9/PZA :
 - Pour les HCT : la quantification des hydrocarbures aliphatiques C5 à C16 et des hydrocarbures aromatiques C5 à C10. On constate des teneurs *supérieures aux valeurs de références indicatives (VTR)* pour les aromatiques C6 à C10 (teneurs respectives de 18,40 µg/m³, 228,38 µg/m³ et 252,77 µg/m³).
 - Pour les BTEX : quantification du benzène (18,4 µg/m³) toluène (228,38 µg/m³), éthylbenzène (26,61 µg/m³), o-xylènes (167,35 µg/m³) et mp-xylènes (26,61 µg/m³). *Les teneurs sont supérieures aux valeurs de l'OQAI prises en référence de manière pénalisante, ainsi qu'à la VGAI pour le benzène.*
 - Le MTBE et le naphtalène ne sont pas quantifiés.
- Pour le prélèvement ASD01 :
 - Pour les HCT : la quantification des hydrocarbures aliphatiques C6 à C16 et des hydrocarbures aromatiques C5 à C10. On constate des teneurs *supérieures aux valeurs de références indicatives (VTR)* pour les aromatiques C8 à C10.
 - Pour les BTEX : quantification du benzène (18,4 µg/m³), du toluène (228,38 µg/m³), de l'éthylbenzène (26,61 µg/m³), o-xylènes (167,35 µg/m³) et mp-xylènes (26,61 µg/m³). *Les teneurs sont supérieures aux valeurs de l'OQAI prises en référence de manière pénalisante, ainsi qu'à la VGAI pour le benzène.*
 - Le MTBE et le naphtalène ne sont pas quantifiés.

Les teneurs en hydrocarbures sont quasi-systématiquement supérieures aux valeurs de référence (valeurs réglementaires, valeurs guides et/ou valeurs de bruit de fond).

Les teneurs les plus élevées sont ainsi rencontrées au droit de SD7/PZA, implanté au droit de la future partie tertiaire du bâtiment, et ayant révélé un niveau de remblais gris à noirâtres avec une odeur d'hydrocarbures entre 1 et 2 m/TN. On constate que les supports ont été saturés (quantifications des composés observées sur la couche de contrôle).

8. MISE A JOUR DU SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION

L'ensemble des informations recueillies (résultats analytiques, observations organoleptiques et mesures in situ) a permis d'établir le schéma conceptuel d'exposition constatée qui intègre les informations recueillies et les voies de transfert avérées.

Il est à noter que l'exposition par inhalation de substances volatiles issues du sol peut avoir lieu à l'extérieur des bâtiments mais la dilution liée au vent et les faibles durées d'exposition à l'extérieur limitent très fortement ce type d'exposition qui est donc négligeable par rapport à l'exposition à l'intérieur des bâtiments.

Ce schéma conceptuel d'exposition correspond à l'usage et l'aménagement projetés du site. Ainsi, les conclusions qui pourront être formulées dans cette étude sont directement fonction du schéma conceptuel d'exposition présenté ci-dessus.

En cas de modification d'usage du site, le présent schéma conceptuel d'exposition devra être adapté en adéquation avec le nouvel aménagement proposé pour le site.

ZONES POTENTIELLES D'EXPOSITION ET USAGE ACTUEL / FUTUR	PRINCIPAUX TRANSFERT(S) A ENVISAGER	PRINCIPALES VOIES D'EXPOSITION A ENVISAGER	PRINCIPALES CIBLES A PRENDRE EN COMPTE AU DROIT DU SITE	MILIEUX CONCERNES – TYPES DE POLLUANTS POTENTIELS
Intérieur des futurs bâtiments	Du sol et des eaux souterraines vers l'air ambiant intérieur	Inhalation de substances volatiles issues du sol et des eaux souterraines	Futurs résidents et usagers	<p>GAZ DU SOL Présence d'Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, de BTEX, de naphtalène</p> <p>→ COMPATIBILITE AVEC L'USAGE FUTUR A VERIFIER</p>
	Du sol vers les futures canalisations AEP	Ingestion d'eau contaminée / contact cutané / Inhalation de substances volatiles issues du sol		<p>EAU DU ROBINET</p> <p>SOLS ET GAZ DES SOLS : PRESENCE D'IMPACTS EN HCT ET BTEX SELON LES ETUDES ANTERIEURES</p> <p>SOL : Pas d'anomalie en composés sur le premier mètre de profondeur</p> <p>→ ON CONSIDERE QUE LES CANALISATIONS SERONT POSEES DANS DES MATERIAUX SAINS D'APPORT EXTERIEUR</p>
Zones extérieures recouvertes	Du sol et des eaux souterraines vers l'Air ambiant extérieur	Inhalation d'air		<p>GAZ DU SOL Présence d'Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, de BTEX, de naphtalène</p> <p>→ RISQUE NEGLIGEABLE DU FAIT DE LA DILUTION EN AIR EXTERIEUR ET DES FAIBLES DUREES D'EXPOSITION</p>

Tableau 16 – Schéma conceptuel d'exposition constaté

9. EVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES

Les investigations réalisées par ERG Environnement dans le cadre de la présente mission ont mis en évidence la présence de composés organiques volatils (HCT, BTEX et naphtalène) dans les gaz du sol au droit du futur bâtiment de plain-pied, ce qui conduit à envisager les risques liés à l'exposition par inhalation de composés volatils à l'intérieur du bâtiment.

Conformément à la méthodologie décrite dans la circulaire d'avril 2017, la réalisation d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires est donc nécessaire afin de statuer sur la compatibilité du site avec son usage et son aménagement projetés.

9.1 Méthodologie générale de l'EQRS

L'objectif de l'étude consiste à évaluer les risques pour la santé des personnes découlant de la présence de substances potentiellement toxiques dans les sols.

A cet effet, les différentes voies de transfert des substances en direction des personnes susceptibles d'être présentes sur les lieux concernés ont été identifiées, compte tenu d'hypothèses réalistes concernant la disposition des lieux et le comportement de ces personnes sur le site.

Sur la base des teneurs mesurées dans les différents milieux, les niveaux d'exposition sont ensuite évalués puis comparés aux valeurs maximales tolérables extraites des banques de données toxicologiques.

Deux types de substances sont pris en compte :

- les substances pour lesquelles les effets sont déterministes, c'est-à-dire avec seuil : il n'y a pas d'effet pour une exposition inférieure à un certain seuil. C'est généralement le cas des substances non cancérigènes. Pour ces substances, on définit un Indice de Risque (IR) ou Quotient de Danger (QD),
- les substances pour lesquelles les effets sont probabilistes, c'est-à-dire sans seuil : la probabilité de survenue de l'effet est proportionnelle à l'exposition. C'est généralement le cas des substances cancérigènes. Pour ces substances, on définit un Excès de Risque Individuel (ERI)

La démarche d'Evaluation des Risques Sanitaires comprend 4 étapes théoriques :

- identification des dangers : quels sont les effets néfastes liés aux différentes substances, selon les modes de contact. Cette étape nécessite de sélectionner les voies d'exposition et les substances à étudier,
- choix de la Valeur Toxicologique de Référence : quelle est la relation entre la dose d'exposition à la substance et la réponse de l'organisme exposé,
- évaluation des expositions : évaluer qui est exposé à la substance dangereuse, où, comment, à quel niveau d'exposition et pendant combien de temps,
- caractérisation du risque : déterminer quel est le niveau de risque, la probabilité de survenue du danger, en comparant les doses d'exposition aux VTR.

La démarche générale de l'Évaluation des Risques Sanitaires peut se schématiser sous la forme de l'organigramme présenté dans la Figure 6.

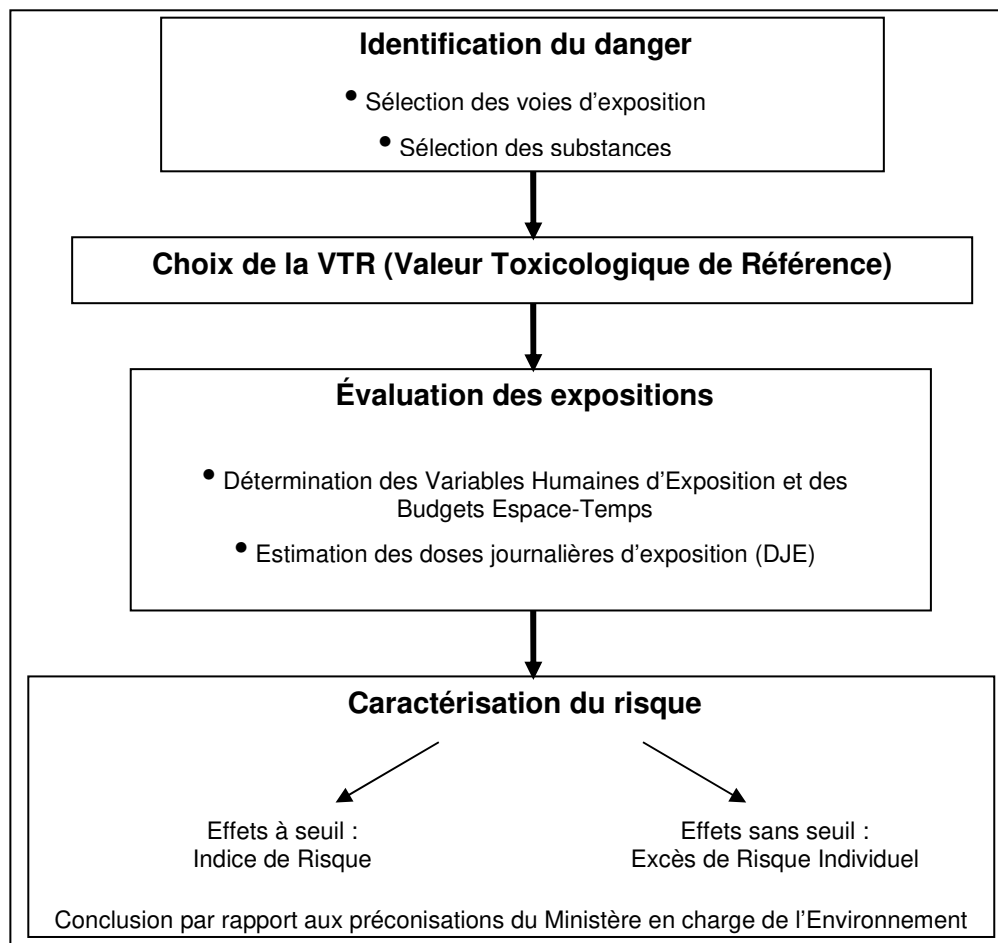


Figure 6 : Démarche générale de l'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires

9.2 Identification du danger

9.2.1 Sélection des voies d'exposition

La présente étude porte uniquement sur les risques liés à l'exposition par inhalation de substances volatiles, seule voie d'exposition pertinente dans le cadre de la présente étude (voir le schéma conceptuel d'exposition).

9.2.2 Sélection des substances

Les substances à retenir, parmi celles mesurées sur le site étudié, sont choisies suivant trois critères de sélection :

- la présence de la substance dans les différents milieux d'exposition et son niveau de présence,
- le potentiel de Danger (toxicité) de la substance ou la relation dose – effet,
- le potentiel de Transfert de la substance.

Pour l'exposition par inhalation, parmi les substances recherchées dans les gaz du sol, seules celles retrouvées à des teneurs supérieures aux seuils de quantification analytique ont été retenues. Dans une démarche sécuritaire, l'évaluation quantitative des risques sanitaires sera basée sur les teneurs maximales mesurées, tous prélèvements confondus. Ces teneurs sont présentées dans le tableau suivant :

Paramètre	Teneurs maximales mesurées dans les gaz du sol ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Piézaïr
BTEXN		
Benzène	35,99	SD7/PZA
Toluène	411,35	
Ethylbenzène	106,21	
Xylènes	434,04	
Naphtalène	10,28	
HCT		
Aliphatiques >C5 – C6	473,40	SD7/PZA
Aliphatiques >C6 - C8	1 494,68	
Aliphatiques >C8 - C10	32 943,26	
Aliphatiques >C10 - C12	89 893,62	
Aliphatiques >C12 - C16	11 719,86	
Aromatiques C6 - C7 (Benzène)	déjà pris en compte	
Aromatiques >C7 - C8 (Toluène)	déjà pris en compte	
Aromatiques >C8 - C10	1 425,53	SD7/PZA
Aromatiques >C10 - C12	4 343,97	
Aromatiques >C12 - C16	2 037,23	

* support saturé – teneur retenue = somme des teneurs mesurées sur la zone de mesure et sur la zone de contrôle

9.3 Choix des VTR

La sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence est réalisée en appliquant la réglementation en vigueur. En effet, la circulaire ministérielle du 8 février 2007 mise à jour en avril 2017 stipule que « les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) seront choisies conformément aux instructions de la circulaire du 30 mai 2006 du ministère en charge de la santé ». Cette circulaire a été abrogée par la note d'information de la Direction Générale de la Santé (DGS) et de la Direction Générale de la Prévention des Risques, référencée « DGS/EA1/DGPR/2014/307 », en date du 31 octobre 2014.

Cette note indique que les VTR doivent être recherchées dans l'une des 8 bases de données suivantes :

- **ANSES** (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire, de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail),
- **US EPA** (United States Environmental Protection Agency), **ATSDR** (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), **OMS / IPCS** (Organisation Mondiale de la Santé / International Program on Chemical Safety),
- **Health Canada**, **RIVM** (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu : Institut national de la santé publique et de l'environnement des Pays-Bas), **OEHHA** (Office of Environmental Health Hazard Assessment : antenne californienne de l'US EPA) ou **EFSA** (European Food Safety Authority).

Les substances présentes dans les milieux d'exposition peuvent avoir deux types d'effets sur la santé humaine :

- **Effets à seuil (effets déterministes)**

Les substances à effets déterministes n'induisent un effet nuisible pour la santé humaine qu'à partir d'une certaine dose. Il n'y a pas d'effet sanitaire tant que l'exposition reste inférieure à un certain seuil. Au-delà de cette dose sans effet, les effets sur la santé apparaissent.

Pour les substances à seuil, la valeur toxicologique de référence (correspondant à la dose sans effet) est appelée Dose Journalière Tolérable (DJT) ou Dose Journalière Admissible (DJA).

La DJT est définie à partir de bases de données toxicologiques telles qu'énumérées précédemment.

- **Effets sans seuil (effets probabilistes)**

Pour les substances à effets probabilistes (cas des substances cancérogènes), la probabilité de survenue de l'effet est proportionnelle à l'exposition.

Pour les substances à effets sans seuil, la valeur toxicologique de référence est appelée Excès de Risque Unitaire (ERU). Il s'agit de la probabilité supplémentaire par rapport à un sujet non exposé qu'un individu a de développer l'effet s'il est exposé sur une vie entière à une unité de dose ou de concentration de toxique.

L'ERU est défini à partir de bases de données toxicologiques énumérées précédemment.

Lorsque plusieurs VTR relatives à la voie d'exposition pertinente sont disponibles dans la littérature pour une substance donnée, le choix de la VTR doit être établi en appliquant la méthode décrite dans la note de la Direction Générale de la Santé (DGS) du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs

toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact.

Cette circulaire recommande :

- de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données ;
- à défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, de retenir les VTR correspondantes, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente ;
- sinon, de sélectionner la VTR la plus récente parmi les trois bases de données suivantes : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée ;
- enfin, si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), d'utiliser la dernière VTR proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA

Pour les HCT, les VTR sont issues du guide du TPHCWG.

Les VTR des substances retenues sont présentées dans le Tableau suivant pour l'exposition par inhalation.

Composés chimiques	Valeur de référence effets à seuil (mg/m ³)	Valeur de référence effets sans seuil (µg/m ³) ¹
BTEXN		
Benzène	9,75E-03 (ATSDR, 2007)	2,60E-05 (ANSES, 2013)
Toluène	19 (ANSES, 2017)	Non disponible
Ethylbenzène	1,5 (ANSES, 2016)	2,50E-06 (OEHHA, 2007)
Xylènes	0,217 (ATSDR, 2007)	Non disponible
Naphtalène	3,70E-02 (ANSES, 2013)	5,60E-06 (ANSES, 2013)
HCT		
Aliphatiques >C5 – C6	18,4 (TPHCWG)	Non disponible
Aliphatiques >C6 - C8	18,4 (TPHCWG)	Non disponible
Aliphatiques >C8 - C10	1 (TPHCWG)	Non disponible
Aliphatiques >C10 - C12	1 (TPHCWG)	Non disponible
Aliphatiques >C12 - C16	1 (TPHCWG)	Non disponible
Aromatiques >C8 - C10	0,2 (TPHCWG)	Non disponible
Aromatiques >C10 - C12	0,2 (TPHCWG)	Non disponible
Aromatiques >C12 - C16	0,2 (TPHCWG)	Non disponible

Tableau 17 : VTR retenues pour l'exposition par inhalation

9.4 Évaluation des expositions

Les Doses Journalières d'Exposition (DJE) des cibles potentielles sont évaluées à partir des teneurs mesurées dans les sols et les eaux souterraines, en fonction des durées d'exposition (budget espace – temps).

9.4.1 Définition des cibles exposées

Le projet d'aménagement du site prévoit la réalisation d'un bâtiment de plain-pied à usage résidentiel et tertiaire.

Ce type d'usage suppose la présence d'adultes et d'enfants sur le site, ce qui nécessite de prendre en compte ces deux types de populations. Pour cela, nous avons considéré une cible mixte qui passe de l'âge enfant à l'âge adulte, avec une durée d'exposition totale de 40 ans : enfant (0-7 ans) puis adolescent (7-17 ans) et enfin adulte (pendant 23 ans).

Cette durée d'exposition est plutôt majorante car il est rare qu'une personne habite pendant 40 ans sur un même site.

9.4.2 Définition du budget espace - temps

Les paramètres concernant les budgets espace-temps (BET) utilisés dans cette étude sont présentés dans le tableau suivant.

Pour l'usage résidentiel, les cibles potentielles sont des enfants et des adultes. Cependant, pour l'exposition par inhalation, les caractéristiques des cibles (morphologie) n'ayant pas d'influence, on considérera un seul type de cible (cible « mixte » correspondant à différentes classes d'âges) en utilisant les budgets espace-temps les plus pénalisants.

	CIBLE « MIXTE » PENALISANTE POUR L'EXPOSITION PAR INHALATION	SOURCE
Temps de présence dans le logement	20 h/j	CIBLEX ⁽¹⁾
Jours de présence annuelle sur le site	351 j	INSEE ⁽²⁾

⁽¹⁾ base de données CIBLEX : Banque de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué (version 0 de juin 2003) pour la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur

⁽²⁾ Les vacances des Français _ résultats de l'enquête « Vacances » 1999, INSEE (2002)

Tableau 18 : Budget espace-temps retenu pour l'étude

9.5 Modélisation des transferts des gaz du sol vers l'air ambiant intérieur

9.5.1 Démarche générale relative à la modélisation des transferts

L'objectif du calcul de risques sanitaires est de quantifier les risques sanitaires liés à la présence de substances toxiques dans les gaz du sol du site étudié. Pour cela, il est nécessaire d'évaluer l'exposition des populations cibles vis-à-vis de ces substances, ce qui implique de modéliser les transferts entre les compartiments en interaction potentielle avec les cibles.

Dans le cas du site étudié, compte tenu des anomalies mises en évidence et du type d'aménagement étudié, l'exposition à l'intérieur du futur bâtiment par inhalation des substances volatiles issues des gaz du sol est, comme nous l'avons vu (cf. paragraphe 9.2.1), la seule voie d'exposition pertinente.

Le calcul de risques sanitaires implique donc l'étude des transferts de substances volatiles depuis les gaz du sol vers l'air intérieur du futur bâtiment, ce qui nécessite l'utilisation de modèles mathématiques adaptés à l'aménagement étudié afin d'estimer les teneurs dans l'air, à partir des teneurs mesurées dans les gaz du sol.

9.5.2 Modèle retenu pour l'exposition par inhalation

Concernant l'évaluation des transferts de substances volatiles issues du sol, deux modèles mathématiques sont généralement utilisés :

- JOHNSON & ETTINGER permet de modéliser des transferts dans des bâtiments de plain-pied. Les équations de JOHNSON & ETTINGER sont utilisées dans le modèle RISC HUMAN.
- VOLASOIL permet de modéliser des transferts dans des bâtiments « aériens », avec généralement un vide sanitaire.

Étant donné l'aménagement étudié (exposition dans un bâtiment de plain-pied), le modèle JOHNSON & Ettinger a donc été utilisé.

Les équations mathématiques de JOHNSON & ETTINGER sont issues du guide d'utilisation réalisé par l'US EPA (User's guide for evaluating subsurface vapour intrusion into buildings, février 2004).

Le transfert des substances présentes dans l'air du sol vers l'air ambiant du bâtiment est géré par deux phénomènes :

- un gradient de concentration entre deux milieux Air (loi de FICK), qui met en jeu des phénomènes de diffusion à travers une couche de sol.
- un gradient de pression entre deux milieux Air (loi de DARCY), qui met en jeu des phénomènes de convection via une perméabilité de porosité du sol et/ou une perméabilité de fissures au niveau du plancher des bâtiments (dallage).

La combinaison des phénomènes de diffusion et de convection permet d'estimer un coefficient de transfert global (ou flux) dans l'air ambiant de surface.

En prenant en compte le renouvellement de l'air des bâtiments, nous pouvons ainsi estimer un facteur d'atténuation entre l'air du sol et l'air ambiant des bâtiments, ce qui nous permet d'évaluer la teneur (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de chacune des substances sélectionnées dans l'air ambiant des bâtiments.

L'obtention de ces concentrations théoriques dans l'air ambiant permet alors d'estimer les niveaux d'exposition des cibles ou concentrations moyennes inhalées pour chacune des substances, en tenant compte des durées d'exposition définies pour chacun des scénarii étudiés.

L'estimation des niveaux d'exposition moyens permet ainsi d'évaluer les niveaux de risques sanitaires des différentes cibles.

9.5.3 Paramétrage du modèle

Dans le cadre de la modélisation des transferts de substances volatiles issues des gaz du sol par les équations mathématiques de JOHNSON & ETTINGER, le choix des paramètres est un élément essentiel au calage définitif du modèle, étape importante avant la réalisation de toute évaluation des risques sanitaires.

Les tableaux suivants présentent les principaux paramètres utilisés dans le modèle ainsi que les valeurs retenues pour chacun d'entre eux.

– Paramètres liés aux propriétés chimiques des substances retenues

Les valeurs retenues pour les propriétés chimiques des substances (constante de Henry, Coefficient de diffusion dans l'air et dans l'eau, ...) sont toutes issues des fiches toxicologiques proposées par l'Institut National de l'Environnement industriel et des RISques (INERIS) et du TPHCWG pour les HCT. Lorsque l'INERIS propose uniquement une plage de valeurs pour un paramètre, nous avons retenu la valeur la plus pénalisante. Les valeurs retenues sont présentées sur les feuilles de calcul en **annexe A3.1**.

– Paramètres liés aux propriétés physico-chimiques du sol

Paramètre	Valeur utilisée	Source
Fraction Volumique d'eau du sol « Vw » en %	10	JOHNSON & ETTINGER
Fraction Volumique d'air du sol « Va » en %	20	JOHNSON & ETTINGER
Perméabilité à l'air du sol « ka » en m^2	1.10^{-11}	JOHNSON & ETTINGER

Tableau 19 : Paramètres du modèle liés aux propriétés physico-chimiques du sol

Les valeurs retenues pour la modélisation par JOHNSON & ETTINGER correspondent à un sol de type sableux, semblable à celui rencontré en surface au niveau du site étudié.

– Paramètres liés à l'aménagement

Paramètre	Valeur utilisée	Source
Épaisseur de la dalle béton entre le sol et le rez-de-chaussée pour un bâtiment de plain-pied « Lbéton » en m	0,15	Donnée standard pour ce type d'aménagement
Hauteur du plafond « hb » en m	2,5	Donnée standard pour ce type d'aménagement
Taux de renouvellement de l'air ambiant du bâtiment ER en h ⁻¹	0,5	Valeur moyenne donnée par Johnson & Ettinger et Volasoil pour des pièces d'habitation

Tableau 20 : Paramètres du modèle liés à l'aménagement

Pour les taux de renouvellement de l'air des pièces, les valeurs fournies par les modèles sont les suivantes :

- dans Johnson & Ettinger
 - valeur par défaut : 0,25 h⁻¹
 - valeur moyenne : 0,5 h⁻¹
- dans Volasoil
 - ventilation très mauvaise : 0,17 h⁻¹
 - ventilation mauvaise : 0,33 h⁻¹
 - ventilation normale : 0,5 h⁻¹
 - ventilation bonne : 0,67 h⁻¹
 - ventilation très bonne : 1 h⁻¹

– Paramètres fournis par défaut dans le modèle

Paramètre	Valeur utilisée
Fraction d'ouverture dans la dalle béton « fof » (adimensionnel)	0,00001 (valeur fournie par VOLASOIL pour un plancher normal _ - la valeur par défaut fournie par JOHNSON & ETTINGER est égale à 0,000377, mais sans indication du type de plancher correspondant)
Différence de pression Air du sol – Air ambiant du rez-de-chaussée « dP » en g.cm ⁻¹ .s ⁻²	40 (valeur fournie par défaut dans le guide d'utilisation de JOHNSON & ETTINGER)

Tableau 21 : Paramètres fournis par défaut dans les modèles

9.6 Quantification des risques sanitaires

9.6.1 Démarche

– Exposition par inhalation de substances volatiles

A partir des concentrations mesurées dans l'air pour les différentes substances, et connaissant le budget espace-temps des personnes exposées, on peut calculer la concentration moyenne inhalée de la manière suivante :

$$CI = \sum (Ci \times Ti) \times F \times (T / Tm) \text{ pour les effets sans seuil}$$

$$CI = \sum (Ci \times Ti) \times F \text{ pour les effets à seuil}$$

Avec :

CI : concentration moyenne inhalée (mg/m³),

Ci : concentration de polluant dans l'air inhalé (mg/m³),

Ti : taux d'exposition (sans unité) : fraction d'exposition à la concentration Ci pendant 1 journée,

F : fréquence d'exposition (sans unité) nombre annuel de jours d'exposition / 365 jours,

T/Tm : temps de pondération (sans unité) avec T : durée d'exposition et Tm : 70 ans (durée d'exposition sur laquelle sont basées les VTR).

L'évaluation du risque sanitaire tient compte des niveaux d'exposition auxquels sont soumises les cibles, ainsi que des valeurs toxicologiques de référence définies pour chacune des substances.

Par conséquent, compte tenu de la classification des substances, deux types d'effets doivent être envisagés :

– Cas des effets à seuil

Afin d'estimer le risque pour la santé humaine, pour des substances à seuil, le rapport suivant, dénommé quotient de danger (QD), est calculé pour chaque substance :

$$QD = \frac{DJE}{DJT}$$

Avec :

DJE : Dose Journalière d'Exposition en mg/(kg.j) ou Concentration moyenne inhalée (CI) en mg/m³.

DJT : Dose Journalière Tolérable en mg/(kg.j) pour une exposition par ingestion et/ou contact cutané ou Concentration atmosphérique admissible (CAA) en mg/m³ pour une exposition par inhalation.

– **Cas des effets sans seuil**

Afin d'estimer le risque pour la santé humaine, pour des substances à effet sans seuil, le produit suivant, dénommé Excès de Risques Individuel (ERI), est calculé pour chaque substance :

$$ERI_{substance} = DJE \times ERU$$

Avec :

DJE : Dose Journalière d'Exposition en mg/(kg.j) ou Concentration moyenne Inhalée (CI) en mg/m³.

ERU : Excès de Risque Unitaire en (mg/kg.j)⁻¹ pour une exposition par ingestion et/ou contact cutané ou en (mg/m³)⁻¹ pour une exposition par inhalation.

9.6.2 Résultats pour l'exposition par inhalation

Les résultats des calculs de risques sont présentés dans le Tableau 22. La grille de calcul est présentée en **annexe A3.1**.

Substances	Concentrations maximales mesurées dans les gaz du sol (µg/m ³)	Concentration modélisée dans l'air du rez-de-chaussée (µg/m ³)	QD	ERI
BTEXN				
Benzène	35,990	3,12E-02	2,56E-03	3,71E-07
Toluène	411,350	3,54E-01	1,49E-05	Pas d'effet sans seuil
Ethylbenzène	106,210	8,26E-02	4,41E-05	9,46E-08
m+p-Xylène	359,930	3,65E-01	1,35E-03	Pas d'effet sans seuil
o-Xylène	74,110			
HAP				
Naphtalène	10,280	6,30E-03	1,36E-04	1,62E-08
HCT				
Aliphatiques >C5 - C6	473,400	4,45E-01	1,94E-05	Pas d'effet sans seuil
Aliphatiques >C6 - C8	1494,680	1,41E+00	6,12E-05	
Aliphatiques >C8 - C10	32943,260	3,10E+01	2,48E-02	
Aliphatiques >C10 - C12	89893,620	8,46E+01	6,78E-02	
Aliphatiques >C12 - C16	11719,860	1,10E+01	8,84E-03	
Aromatiques >C8 - C10	1425,530	1,34E+00	5,37E-03	
Aromatiques >C10 - C12	4343,970	4,09E+00	1,64E-02	
Aromatiques >C12 - C16	2037,230	1,92E+00	7,68E-03	
TOTAL			1,35E-01	

Tableau 22 : Niveaux de risques calculés pour l'exposition par inhalation

Ainsi, pour l'exposition des personnes par inhalation de substances volatiles présentes dans le bâtiment et issues des gaz du sol, les calculs de risques réalisés indiquent que le Quotient de Danger (QD) cumulé est inférieur à 1 ce qui amène à conclure à l'absence de risque pour les effets à seuil. De plus, l'ERI cumulé est inférieur à 10⁻⁵ : le niveau de risque est acceptable pour les effets sans seuil.

On peut donc considérer que l'état des milieux est compatible avec les usages projetés pour l'exposition par inhalation, au droit du futur emplacement du bâtiment résidentiel et tertiaire sans sous-sol.

9.6.3 Discussion des incertitudes

– Voies d'exposition et substances retenues

Toutes les voies d'exposition pertinentes par rapport aux anomalies mises en évidence et à l'aménagement tel qu'il est étudié, et du schéma conceptuel d'exposition qui en découle, ont été prises en compte.

Étant donnée l'aménagement considéré et les anomalies mises en évidence lors des investigations, la seule voie d'exposition pertinente est l'inhalation de substances volatiles présentes dans l'air ambiant.

Concernant les autres voies d'exposition non retenues dans le cadre de cette étude de risques, on rappelle les éléments suivants :

- aucune des voies d'exposition liées au contact direct (ingestion de sol, inhalation de poussière...) n'est envisagée : les aménagements prévoient un recouvrement du site par le bâtiment, ou par une isolation de surface (béton, enrobé, terre végétale d'apport pour les espaces verts d'ornementation) au droit des voies d'accès.
- l'exposition par ingestion d'aliments auto-produits (élevages et potagers) n'a pas été prise en compte dans la mesure où aucune culture potagère et fruitière n'est prévue sur le site ;
- le transfert des substances résiduelles présentes dans les sols vers le réseau d'adduction en eau potable n'a pas été étudié car la conception du réseau supprimera tout risque de transfert de composé vers l'eau potable (canalisations recouvertes d'un lit de sablon par exemple, voire en acier de manière précautionneuse) ;
- dans le cadre de l'usage étudié du site, aucune utilisation (puits privé, captage,...) de la nappe souterraine présente localement n'a été prise en compte.

L'exposition par inhalation à l'extérieur du futur bâtiment n'a pas été étudiée car elle est négligeable par rapport à l'exposition, à l'intérieur des bâtiments.

Pour l'exposition par inhalation, l'étude de risques n'a été réalisée que sur les substances sélectionnées, présentes dans les gaz du sol à des teneurs supérieures aux seuils de quantification et aux valeurs de référence.

Il est à noter que les teneurs des composés issus des gaz du sol dans l'air ambiant sont très dépendantes des conditions climatiques et sont donc susceptibles de varier dans le temps.

– **Teneurs retenues**

Les calculs sont basés sur les teneurs maximales mesurées dans les gaz du sol au droit du futur bâtiment de plain-pied. La prise en compte des teneurs maximales est une démarche majorante. A noter cependant que les supports de prélèvements ont été saturés au niveau d'un des points de prélèvements. Les teneurs retenues pourraient ainsi sous-estimer les teneurs maximales réellement présentes.

– **Modèle retenu**

Compte tenu du schéma conceptuel d'exposition induit par le futur aménagement du site, la voie d'exposition par inhalation de vapeurs nocives issues des gaz du sol a été retenue dans la présente EQRS. Pour quantifier les risques liés à cette voie d'exposition, il a été nécessaire de modéliser les transferts du sol vers l'air ambiant intérieur.

Pour cela, les calculs ont été conduits à l'aide du modèle JOHNSON & ETTINGER, modèle spécifique aux transferts de vapeurs depuis le sol vers l'air ambiant des bâtiments.

Ce modèle permet d'évaluer des flux de vapeurs depuis le sol vers l'air intérieur des bâtiments (parkings ou logements), en estimant au final les teneurs dans l'air ambiant des différents compartiments : il est donc tout particulièrement adapté au type de transferts étudiés dans le cas présent.

Les principales hypothèses et limites du modèle JOHNSON & ETTINGER sont les suivantes :

- les vapeurs des contaminants pénètrent dans le bâtiment préférentiellement par les fissures et les ouvertures dans les murs et fondations. Cela implique qu'une différence de pression constante est générée entre les espaces intérieurs et la surface du sol. Ainsi les vapeurs des composés sont interceptées dans la zone d'influence (« champ de pression ») et transportées dans le bâtiment,
- les transports convectifs ont lieu dans une zone d'influence du bâtiment et la vitesse des vapeurs décroît rapidement quand la distance entre la source de pollution et le bâtiment augmente,
- le transfert des vapeurs entre la source de contamination et la zone d'influence du bâtiment se fait de manière prédominante par diffusion,
- la totalité des polluants gazeux provenant directement de la zone adjacente aux fondations pénètre dans le bâtiment à moins que le plancher et les murs ne constituent une barrière parfaite face aux vapeurs,
- toutes les propriétés du sol dans chaque horizon sont homogènes. De même pour la colonne de sol entre la source de contamination et le plancher,
- les contaminants sont répartis de façon homogène dans la zone de contamination.
- l'ampleur régionale de la contamination est plus grande que celle du plancher du bâtiment en contact avec le sol,
- le modèle ne prend pas en compte les processus de transformation (biodégradation, hydrolyse...),
- le modèle considère une source infinie de pollution,
- le modèle traite le bâtiment comme s'il était une chambre unique avec une dispersion des vapeurs instantanée et homogène. Par conséquent, il néglige le fait que les

contaminants se déplacent et les variations de la concentration des vapeurs d'une chambre à l'autre à cause des ventilations naturelles ou mécaniques,

- le modèle suppose qu'il existe une différence de pression constante entre l'air du sol et l'air intérieur ce qui est majorant car il ne tient pas compte des périodes où cette différence de pression est nulle (climat doux et fenêtres ouvertes). De plus, on considère que la pression à l'intérieur du bâtiment est inférieure à la pression atmosphérique,
- une étude de FITZPATRICK et FITZGERALD (1997)⁶ indique que le modèle est peut-être exagérément conservateur pour les espèces volatiles non chlorées (BTEX principalement dans notre étude). Les auteurs attribuent cette différence à la biodégradation significative des composés non chlorés.

– **Budget espace-temps retenu**

Le budget espace-temps tient compte de l'aménagement et de l'usage projetés du site, à savoir un usage résidentiel classique.

La durée d'exposition retenue est égale à 40 ans, valeur généralement utilisée dans les évaluations de risques sanitaires. Cette durée est relativement majorante car il est rare qu'une personne vive au même endroit pendant 40 ans.

En ce qui concerne les durées d'exposition quotidienne et annuelles, les valeurs retenues pour l'usage résidentiel sont issues d'une enquête de l'INSEE et de la base de données CIBLEX. Elles sont donc réalistes, voire majorantes puisque c'est la durée quotidienne d'exposition la plus longue qui a été retenue.

– **Incertitudes liées à l'évaluation de la toxicité**

Pour les différentes substances sélectionnées, l'étude est basée sur les VTR choisies en suivant les recommandations de la note d'information de la Direction Générale de la Santé (DGS) et de la Direction Générale de la Prévention des Risques, référencée « DGS/EA1/DGPR/2014/307 », en date du 31 octobre 2014.

La circulaire d'avril 2017 préconise de suivre les préconisations de la circulaire DGS/SD. 7B n°2006-234 du 30 mai 2006 (relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact) qui a été abrogée par la note du 31/10/2014.

– **Incertitudes liées aux paramètres de la modélisation des transferts**

En ce qui concerne l'exposition par inhalation de substances volatiles issues des gaz du sol au droit du site, le calcul de risque a nécessité de modéliser les transferts entre les gaz du sol et l'air ambiant intérieur du bâtiment. Cette modélisation implique le choix de nombreux paramètres d'entrée, dont les valeurs sont connues de manière plus ou moins incertaine. Cette incertitude sur les données d'entrée entraîne une incertitude sur le résultat final du calcul de risque. Une analyse d'incertitude permet d'évaluer l'ampleur de cette incertitude, mais pas sa source, qui ne peut être évaluée que par une étude de sensibilité.

⁶ Fitzpatrick, N. A., and J. J. Fitzgerald. 1997. An evaluation of vapor intrusion into buildings through a study of field data. In: Soil Vapor Transport to Indoor Air Workshop, February 6-7, 1997, Brea, California.

- **Calcul d'incertitude**

Un calcul d'incertitude a été réalisé à l'aide du logiciel Crystal Ball en utilisant les lois de distribution indiquées dans le

Tableau 23, afin de déterminer les intervalles de confiance (plages de variations possibles) des résultats.

Paramètre	Loi de distribution	Valeur minimale	Valeur moyenne	Valeur maximale
ka : Perméabilité à l'air du sol (en m ²)	Triangulaire	1.10 ⁻¹⁴ (limons sableux)	1.10 ⁻¹¹ (sable)	1.10 ⁻¹⁰ (sable)
Fof : fraction d'ouverture dans le plancher du bâtiment (-)	Triangulaire	0,000001 (bon plancher)	0,00001 (plancher normal)	0,0001 (mauvais plancher)
ERbat' : taux de renouvellement de l'air (en h ⁻¹)	Triangulaire	0,17 (ventilation très mauvaise)	0,5 (ventilation normale)	1 (ventilation très bonne)
N : Nombre de jours d'exposition	Triangulaire	335	351	365
n : nombre d'heures d'exposition par jour	Triangulaire	16	20	24
T : Durée d'exposition (en années)	Uniforme	20	40	40

Tableau 23 : Lois de distribution utilisées pour l'étude d'incertitude

Deux types de loi de distribution ont été choisis. Avec une loi uniforme, toutes les valeurs comprises entre les valeurs minimale et maximale ont les mêmes chances de se produire, tandis qu'avec une loi triangulaire les valeurs proches du minimum et du maximum ont une probabilité moindre de se produire que celles qui se rapprochent de la valeur la plus probable.

Pour la perméabilité à l'air du sol, la fraction d'ouverture dans le plancher et le taux de renouvellement de l'air, les valeurs minimale et maximale sont issues de la bibliographie. Pour les autres paramètres, la plage de variation est proposée par ERG ENVIRONNEMENT.

Le calcul d'incertitude réalisé avec Crystal Ball en utilisant ces données d'entrée fournit les valeurs moyennes et extrêmes présentées dans le Tableau 24. Le détail des calculs est présenté en **annexe A3.2**.

	Valeur minimale	Quantile 10 %	Valeur médiane	Quantile 90 %	Valeur maximale
QD	1,52E-02	1,35E-01	1,80E-01	2,09E-01	2,36E-01
ERI	5,12E-08	3,06E-07	4,41E-07	6,02E-07	7,73E-07

Tableau 24 : Résultats de l'analyse de sensibilité pour l'exposition par inhalation (cumul des substances)

Ainsi, même en utilisant des valeurs pénalisantes pour tous les paramètres pris en compte dans l'étude d'incertitude, les valeurs maximales du QD et de l'ERI cumulés pour l'exposition des personnes par inhalation dans le futur bâtiment restent inférieures aux seuils d'acceptabilité définis par le Ministère en charge de l'Environnement. On peut donc conclure à une absence de risque pour les effets à seuil et à un risque acceptable pour les effets sans seuil pour l'exposition par inhalation.

Il est important de noter que cette variabilité des résultats correspond à l'incertitude liée à la modélisation et non à la variabilité des risques réels.

- **Analyse de sensibilité**

L'analyse de sensibilité permet d'identifier les paramètres qui ont le plus d'influence sur les résultats de la modélisation. L'ensemble des résultats de l'analyse de sensibilité des variables d'entrée est présenté dans le Tableau 25.

Il est important de préciser que cette analyse de sensibilité ne porte que sur les paramètres pour lesquels une loi de distribution a été entrée dans le logiciel Crystal Ball (cf. Tableau 23).

Paramètre	Contribution à la variance	
	QD	ERI
T : Durée d'exposition	< 0,1 %	67,4 %
ka : Perméabilité à l'air du sol	65,6 %	21,1 %
n : nombre d'heures d'exposition par jour	32,7 %	9,1 %

Tableau 25 : Contribution des différents paramètres à la variance

L'analyse de sensibilité réalisée à l'aide du logiciel Crystal Ball révèle que pour le QD et l'ERI, les paramètres les plus sensibles (c'est-à-dire ceux qui influencent le plus le résultat) sont la perméabilité à l'air du sol, le nombre d'heure d'exposition par jour et la durée d'exposition. Même en utilisant des valeurs très majorantes pour ces paramètres dans le cadre de l'étude d'incertitudes, les niveaux de risque restent acceptables.

– **Conclusion sur le caractère sécuritaire des niveaux de risques calculés**

Étant données les hypothèses conservatrices utilisées pour réaliser les calculs de risque, les résultats obtenus présentent un caractère sécuritaire, ce qui permet de conclure à la compatibilité du site avec son aménagement et son usage prévus pour l'exposition par inhalation de substances volatiles.

10. SYNTHÈSE, CONCLUSIONS ET PRÉCONISATIONS

Par ordre et pour le compte de XXL, ERG ENVIRONNEMENT a été missionnée afin de réaliser une mission d'investigation complémentaire des milieux sol et gaz des sols, et, si nécessaire, d'une mise à jour du Plan de gestion et d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) au droit du futur Ilot 4C2 localisé 55 Rue de Lyon / Rue Allar, 13015 MARSEILLE.

La mission s'inscrit dans le cadre de l'acquisition du terrain pour la future construction de bâtiments de logements et tertiaire, en partie de plain-pied et en partie avec 2 niveaux de sous-sol.

La mission fait suite aux investigations réalisées par ICF en 2015-2017 pour le compte de PSA dans le cadre de la cessation d'activité du site PEUGEOT (diagnostic environnemental, Plan de Gestion et EQRS), pour un usage identique (industriel), et par ERG ENVIRONNEMENT pour le compte de l'EPAEM en 2019.

Une source de pollution concentrée a été mise en évidence par ICF entre 0,5 et 5 m/TN au droit du site (impact par les HCT). Le plan de gestion réalisé par ICF a défini un seuil de source concentrée à 3 000 mg/kg MS, et a recommandé le traitement de la source par excavation des matériaux impactés jusqu'à 5 m/TN et leur envoi en centre de traitement.

Les investigations complémentaires effectuées en 2019 par ERG ENVIRONNEMENT pour le compte de l'EPAEM sur les milieux sols, gaz des sols et eaux souterraines ont montré des teneurs mesurées dans les gaz des sols au droit de la zone impactées compatibles sanitaire avec un projet résidentiel comportant 1 à 2 niveaux de sous-sol. Dans ce cadre, le seuil de gestion en hydrocarbures de 3 000 mg/kg MS reste sanitaire compatible.

Une modification du projet d'aménagement a intégré la mise en place d'un bâtiment de plain-pied, à usage résidentiel et tertiaire.

Des sondages complémentaires pour prélèvements de sols et gaz des sols ont ainsi été réalisés en août 2019, au droit de l'emplacement du futur bâtiment de plain-pied afin :

- de définir la qualité des futurs déblais liés à l'aménagement du site,
- de confirmer la compatibilité sanitaire ainsi que le maintien du seuil de dépollution en hydrocarbures initialement défini à 3 000 mg/kg MS.

La méthode appliquée se réfère aux préconisations du guide relatif aux Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués édité pour le Ministère de l'environnement en avril 2017.

10.1 Synthèse des investigations

10.1.1 Investigations de sol

Les investigations complémentaires des sols ont été réalisées entre le 28/08/2019 par ERG Environnement au droit du hall d'exposition de l'ancien bâtiment PEUGEOT désaffecté, au droit du futur emplacement du bâtiment résidentiel de plain-pied.

3 sondages (SD7 à SD9) ont été réalisés à la tarière mécanique jusqu'à 2 m/TN maximum et ont fait l'objet de prélèvement d'échantillons pour analyses chimiques en laboratoire entre 0 et 1 m/TN, les terrassements étant prévus jusqu'à 1 m de profondeur dans le cadre du projet d'aménagement.

2 des sondages réalisés (SD7 et SD9) ont par la suite été équipés en piézaires pour le prélèvement de gaz des sols.

La lithologie moyenne rencontrée fait état de la présence, sous la dalle béton du bâtiment de 30 cm d'épaisseur, de remblais sableux beiges à gris-noirâtres, sur 1 à 2 m d'épaisseur, reposant sur des sables limoneux bruns en SD9. SD8 a essuyé un refus à 0,75 m/TN sur des blocs ou niveau dur (deux essais infructueux SD8 et SD8').

Des odeurs d'hydrocarbures ont été constatées en SD7 dans les remblais sableux à partir de 1 m/TN, associé à une quantification au PID de 15,2 ppm (4,7 ppm sur le premier mètre).

En SD8 et SD9, aucune odeur n'est mise en évidence et les quantifications PID sont faibles (0,2 et 0,3 ppm).

Dans la limite des investigations réalisées, les analyses pratiquées ont permis de mettre en évidence, entre 0 et 1 m/TN :

- L'absence des PCB, des BTEX et des HAP (teneurs inférieures aux seuils de quantification analytique) et/ou leur quantification à des teneurs faibles ;
- L'absence des HCT en SD9, leur quantification en SD8 (19,3 mg/kg MS) et en SD7 (259 mg/kg MS), en cohérence avec les observations de terrain ;
- Des teneurs en métaux lourds conformes au bruit de fond géochimique local et national.

Ces sols sont destinés à être terrassés dans le cadre du projet d'aménagement. Au vu des résultats analytiques, les sols seront admissibles en Installation de Stockage de Déchets Inertes (ISDI).

D'un point de vue sanitaire, au vu de la présence, dans les sols sous-jacents, d'un impact en HCT, une vérification du risque d'exposition par inhalation de composés volatils pour les futurs usagers du bâtiment sans sous-sol devra être réalisée.

10.1.2 Investigations des gaz des sols

Les sondages SD7 et SD9 ont été équipés en piézaires lors des investigations de sols du 28/08/2019 afin de permettre le prélèvement des gaz des sols : SD7 crépiné entre 0,7 et 1,7 m/TN, et SD9 crépiné entre 1 et 2 m/TN.

Un prélèvement d'air du sol sous dalle (ASD01) a également été réalisé à l'emplacement du futur logement du bâtiment, au droit des anciens bureaux désaffectés du bâtiment PEUGEOT, non accessibles à l'atelier de sondage.

Afin de vérifier la présence de composés volatils dans les gaz des sols et d'évaluer le transfert des éventuels composés vers l'air ambiant des futurs bâtiments de plain-pied, les prélèvements au droit des 3 ouvrages ont été réalisés le 30/08/2019.

- **Résultats analytiques**

Les analyses réalisées sur les prélèvements de gaz du sol révèlent la présence :

- En SD7/PZA : des HCT aliphatiques et aromatiques, des BTEX et du naphthalène ;
- En SD9/PZA et ASD01 : des HCT aliphatiques et aromatiques et des BTEX.

Les teneurs en hydrocarbures sont quasi-systématiquement supérieures aux valeurs de référence (valeurs réglementaires, valeurs guides et/ou valeurs de bruit de fond).

Du fait de la présence de composés volatils dans les gaz du sol au droit du site, une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires a été réalisée dans le but de vérifier la compatibilité entre l'état des milieux et les usages prévus par le futur projet de réaménagement du site, conformément aux textes méthodologiques d'avril 2017.

Les calculs réalisés révèlent que l'exposition des futurs usagers du site par inhalation de substances volatiles issues des gaz du sol dans des bâtiments de plain-pied entraîne des niveaux de risques acceptables pour les effets à seuil ($QD < 1$) et pour les effets sans seuil ($ERI < 10^{-5}$).

→ Ainsi, dans la limite des investigations réalisées, on peut donc considérer que l'état des milieux est compatible avec les usages projetés pour l'exposition par inhalation, au droit du futur emplacement du bâtiment résidentiel et tertiaire sans sous-sol.

Ainsi, il apparaît que le seuil de dépollution fixé dans le cadre de la cessation d'activité du site Peugeot est suffisant pour assurer la compatibilité sanitaire du site avec un usage résidentiel dans un bâtiment de plain-pied tel que prévu.

10.2 Conclusion et préconisations

10.2.1 Préconisations spécifiques

- Une Analyse des Risques Résiduels (ARR) devra être réalisée en fin de travaux conformément à la méthodologie nationale afin de valider que les risques sanitaires (évalués sur la base des teneurs résiduelles qui seront mesurées) sont acceptables et de confirmer que le site est bien compatible avec son usage projeté.
- Les sols présentant des impacts en HCT et BTEX et maintenus en place dans le cadre du réaménagement devront faire l'objet d'une mémorisation, conformément à la méthodologie d'avril 2017.

10.2.2 Préconisation en termes d'aménagement

Le choix de certaines voies d'exposition pertinentes au vu de l'aménagement défini pour le site implique nécessairement le respect strict des conditions d'aménagement telles qu'elles ont été prises en compte dans le cadre de la présente étude.

En particulier, cela implique que les préconisations suivantes soient appliquées, respectées et pérennes dans le temps :

- cette étude de risques ne prend pas en compte le transfert des substances résiduelles présentes dans les sols vers le réseau d'alimentation en eau potable des bâtiments. Lors de la mise en place des canalisations d'eau potable sur le terrain, il est préconisé d'implanter les canalisations dans une zone ayant si nécessaire fait l'objet d'une substitution des sols en place et de mettre en place un lit de sablons sains autour du réseau.
- d'autre part, afin de minimiser au maximum les transferts de substances nocives au travers de la dalle béton constituant le plancher du bâtiment, il est important que les joints de cette dalle et des revêtements soient réalisés de manière méticuleuse lors de la

construction du bâtiment. Toute dégradation des joints et d'une manière générale de l'isolation de surface devra être prévenue au cours du temps par un entretien rigoureux,

- de manière générale, l'isolation de surface prévue et pris en compte dans l'étude, au droit du bâtiment et des voies de circulation et parking (dalle béton, enrobé) devra être mise en place lors de l'aménagement du site. Les dispositions nécessaires seront prises afin d'assurer la pérennité de cette isolation.
- absence d'usage des eaux souterraines.

10.2.3 Protection des travailleurs

Lors de tous travaux nécessitant des mouvements de terre (excavation de sols en phase chantier), des précautions seront prises afin d'assurer la protection des travailleurs qui seront en contact avec les niveaux de sol présentant des anomalies en composés. Pour cela, sous réserve de validation par le CSPS et/ou par le CHSCT, des mesures de protection de bon sens seront appliquées

10.2.4 Préconisations générales

Lors de tous travaux d'aménagement, le Maître d'Ouvrage prendra néanmoins toutes les précautions d'usage (caractérisation, sécurisation, ...) en cas d'éventuelles découvertes suspectes voire inhabituelles d'un point de vue environnemental (ouvrage enterré de stockage, sols odorants, strate d'aspect non sain, ...), notamment, en termes de gestion des terres (élimination en centre autorisé si nécessaire) et de protection des travailleurs.

En particulier, le propriétaire de ces matériaux vérifiera que la qualité des sols extraits est compatible avec la filière d'élimination qu'il aura retenue (ISDI, ISDND, biocentre, ISDD, etc...).

10.3 Limites de l'étude

La présente étude est établie dans la limite des investigations réalisées et n'est valable que pour l'aménagement du site, défini par le Donneur d'Ordre. Le site devra donc faire l'objet d'une nouvelle étude si une modification de son usage et/ou de sa configuration (par rapport à l'usage tel qu'il a été pris en compte dans le présent rapport) était envisagée.

L'étude et les conclusions sont élaborées en l'état actuel des données réglementaires et des valeurs de bruit de fond (valeurs de comparaison), scientifiques (valeurs toxicologiques de référence) et techniques (méthodes de prélèvements et d'analyses notamment). Elles reposent donc sur les connaissances disponibles au moment de la rédaction de la présente étude.

Il est également rappelé que notre mission à caractère « environnemental » n'aborde en aucune manière les problématiques géotechniques (liés à la construction de bâtiments, ou infrastructures, liés au réemploi de terres...) pouvant se révéler sur le site à l'étude.

Aurélié PIGHIERA
Chef de projets

ANNEXES

A1. DONNEES GENERALES SUR LE SITE

- A1.1 Localisation du site sur photographie aérienne
- A1.2 Plan de recollement projet

A2. DONNEES DE TERRAIN

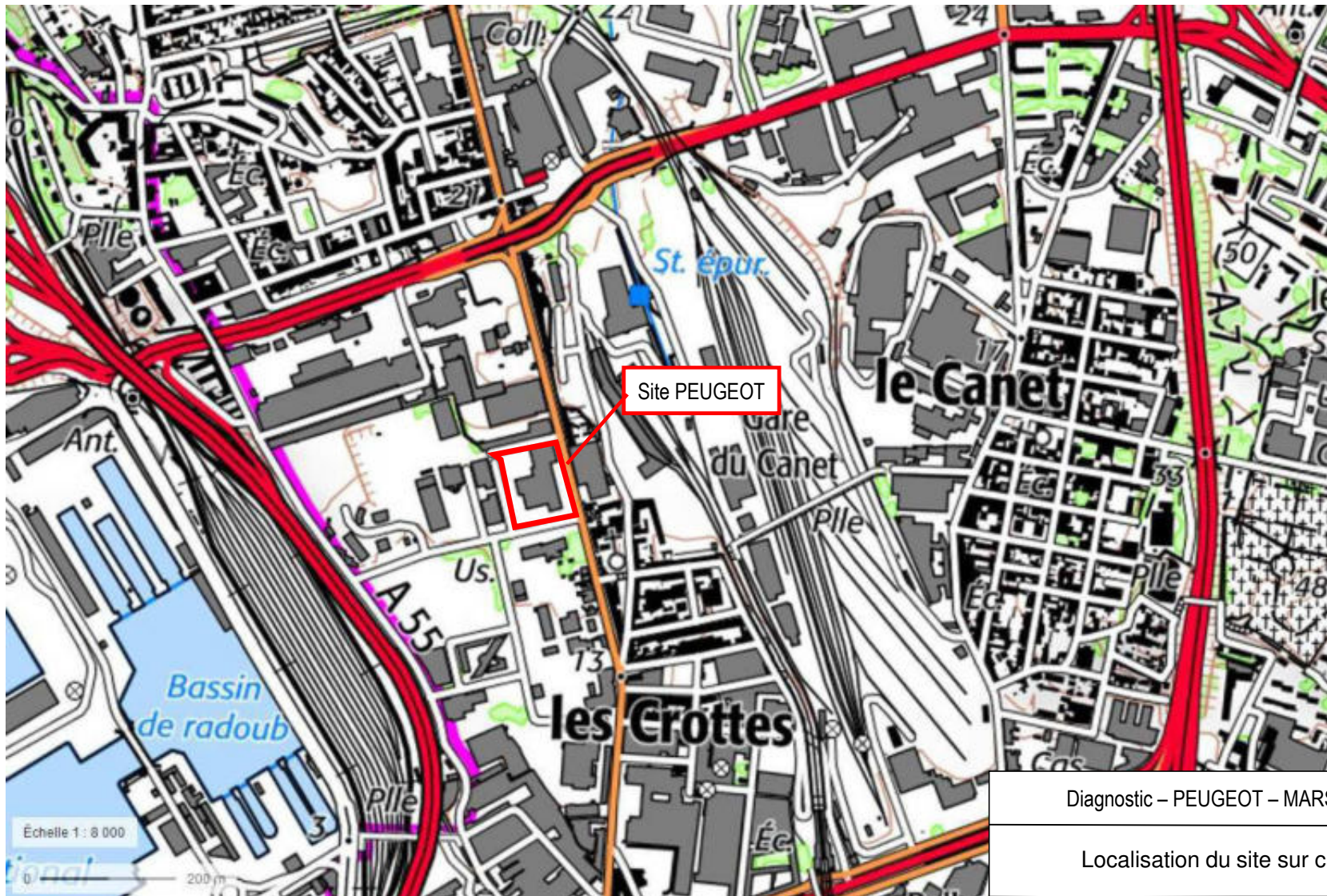
- A2.1 Implantation des investigations de terrain réalisées
- A2.2 Coupes des sondages et fiches de prélèvement des sols
- A2.3 Fiches de prélèvement des gaz des sols
- A2.4 Bordereaux d'analyses des sols
- A2.5 Bordereaux d'analyses des gaz des sols

A3. ANNEXES TECHNIQUES SUR L'EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

- A3.1 Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires
- A3.2 Étude des incertitudes et étude de sensibilité

A1	DONNEES GENERALES SUR LE SITE
-----------	--------------------------------------

A1.1	Localisation du site sur photographie aérienne
-------------	---



Diagnostic – PEUGEOT – MARSEILLE (13)		XXL - BOUYGUES
Localisation du site sur carte IGN		
Dossier n° : 19MES244Aa	Echelle : graphique	
Etabli par : AP	Date : 16/05/19	
Version : 1.0		

A1.2	Plan de recollement projet
-------------	-----------------------------------