



ZAC ENTREE DE VILLE PAUL HOCHART
L'HAY-LES-ROSES (94)

EVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES
LOTS 5 : FUTURS LOGEMENTS

C:\Users\mecuouellan\Desktop\19LES051Ba_ME_EIFFAGE_DIAG_HAY LES ROSES\RAPPORTEQRS_Lot5\19LES051Ba_EQRS-Logements sans SS_V6.doc

N° DOSSIER		19	LES	051	A	a	ENV	ME	IR	PIECE	1/1	AGENCE	LYON
20/05/20	44902	M.ECOUELLAN	MO. KHIAT		S. AUGY			33+ ann.		VERSION DEFINITIVE 1			
DATE	CHRONO	REDACTEUR	CHEF DE PROJET		SUPERVISEUR			nb. pages	MODIFICATIONS - OBSERVATIONS				

ENVIRONNEMENT - DECHETS - POLLUTION - EAU - SONDAGES - GEOLOGIE - GEOTECHNIQUE



ERG. Agence LYON : Les Bâtiments des Erables - Bât B - 1^{er} étage - 36-36bis av Général De Gaulle - 69110 SAINTE-FOY-LES-LYON - Tél. 04 78 95 64 65 - Fax 04 78 95 64 79
ERG ENVIRONNEMENT - S.A.S AU CAPITAL DE 40 000 € - SIRET 440 245 314 00057 - CODE NAF 7112B - RC LYON 2010B01558

TOULON (Siège social)
04 94 11 04 90
la-seyne@erg-sa.fr

BORDEAUX
05 56 11 77 29
bordeaux@erg-sa.fr

HAUTS DE FRANCE
03 21 64 46 92
agence-nord@erg-sa.fr

LYON
04 78 95 64 65
lyon@erg-sa.fr

MARSEILLE
04 95 06 90 66
marseille@erg-sa.fr

MONTPELLIER
06 27 41 31 41
montpellier@erg-sa.fr

NANCY
03 83 26 09 02
nancy@erg-sa.fr

NICE
04 93 72 90 00
nice@erg-sa.fr



SYNTHESE NON TECHNIQUE

NOM SITE	ZAC Entrée de Ville PAUL HOCHART – Lot 5
NOM CLIENT	Eiffage Aménagement
N° DOSSIER	19LES051Ba/44902
TYPE D'ETUDE	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
CODES NF X 31-620	A320
ADRESSE	Chemin des bouteilles, l'Hay-les-Roses (94)
CADASTRE	Section L parcelles n°73, 75, 89
SUPERFICIE	4 050 m ²
COORDONNEES LAMBERT 93	X : 653 426,1 m Y : 6 853 443,8 m Z (m/NGF) : environ 95 m NGF
CONTEXTE OBJECTIFS	/ Le but de la mission est d'évaluer la compatibilité sanitaire du site avec l'usage projeté. Conformément à la méthodologie décrite dans les textes d'avril 2017, une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires a été réalisée.
PROJET D'AMENAGEMENT	Construction de logements au droit du lot 5 avec à minima un niveau de sous-sol (parking). Toutefois, dans le cadre de cette EQRS il est considéré dans le cas de figure le plus pénalisant en termes de risque inhalation, des logements de plain-pied sans niveau de sous-sol sur ce lot 5
EQRS	Les calculs réalisés en se basant sur les teneurs maximales mesurées dans les gaz du sol du site, en tenant compte des 3 campagnes de gaz de sols, mettent en évidence que l'état des milieux est compatible avec l'usage résidentiel projeté retenu (logements avec niveau de sous-sol) pour l'exposition par inhalation.
PRINCIPALES PRECONISATIONS	<p>L'origine des impacts mis en évidence en Tétrachloroéthylène (PCE) dans les gaz des sols, essentiellement, n'a pas été identifiée sur le site d'étude.</p> <p>Toutefois, à l'échelle de la ZAC, il a été mis en évidence lors des 3 campagnes de prélèvements des gaz des sols, des teneurs en PCE et TCE beaucoup plus importantes au niveau de l'ouvrage PzA3 laissant supposer la présence d'un impact en COHV dans les sols sur site à proximité de l'ouvrage PzA3.</p> <p>Afin de lever le doute sur la présence d'une source de pollution dans les sols à proximité de l'ouvrage PzA3 et conformément à la Méthodologie Nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017, bien que les impacts se révèlent acceptables au regard des usages constatés et projetés, des investigations complémentaires du milieu sol et gaz des sols sont préconisées au niveau de PzA3. En fonction des conclusions de ces investigations, il pourra être nécessaire de réaliser un plan de gestion.</p> <p>Par ailleurs, un impact en PCE et TCE est avéré dans les eaux souterraines, avec présence d'un impact hors ZAC dans les eaux souterraines.</p> <p>Cette source, localisée en dehors du périmètre d'étude, n'apparaît à ce jour pas maîtrisée au droit du site. Il est donc nécessaire d'alerter l'administration (DREAL) pour qu'une étude hors site (diagnostic et Plan de Gestion) soit effectuée afin de déterminer l'origine de la pollution dans les eaux souterraines. Cette pollution ayant un impact sur le voisinage, une IEM hors site est nécessaire.</p> <p>Enfin, dans l'attente de la maîtrise de la source de pollution et de leurs impacts, il peut être nécessaire de mettre en place une surveillance des milieux d'exposition pour consolider les premiers résultats et suivre l'évolution de la situation.</p>
<p>Cette synthèse non technique, volontairement simplificatrice, fait partie intégrante et est indissociable de notre rapport. Pour une bonne compréhension du présent document, une lecture intégrale de ce dernier est nécessaire.</p>	

SOMMAIRE

SYNTHESE NON TECHNIQUE	2
1. Introduction	6
1.1 Contexte et objectifs de la mission.....	6
1.2 Cadre normatif de la Mission	6
2. Documents disponibles concernant le site d'étude.....	7
3. Caractéristiques générales du site.....	8
4. Projet d'aménagement.....	10
5. Synthèse des études précédentes et Schéma conceptuel d'exposition constatée.....	11
5.1 Synthèse des études précédentes	11
5.2 Synthèse des anomalies mises en évidence	12
5.3 Schéma conceptuel d'exposition constaté.....	12
6. Evaluation quantitative des risques sanitaires.....	14
6.1 Méthodologie générale de l'étude de risques sanitaires	14
▪ Sélection des voies d'exposition.....	15
▪ Sélection des substances.....	16
6.2 Choix des VTR.....	18
6.3 Évaluation des expositions.....	20
6.4 Modélisation des transferts de substances volatiles du sol à l'air ambiant	20
6.5 Quantification des risques sanitaires.....	24
6.6 Discussion des incertitudes	26
7. Conclusions et préconisations	31
7.1 Conclusions de l'étude.....	31
7.2 Préconisations sur site.....	32
7.3 Préconisations générales	33
7.4 Limites de l'étude.....	33

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Principales abréviations employées	5
Tableau 2 : Cadre normatif de la mission	7
Tableau 3 : Documents disponibles concernant le site d'étude	7
Tableau 4 : Caractéristiques générales du site	8
Tableau 5 : Schéma conceptuel d'exposition mise à jour suite aux investigations sur le milieu sol en considérant le projet d'aménagement en logements	13
Tableau 6 : Teneurs retenues dans les gaz des sols pour l'exposition sur le site	17
Tableau 7 : VTR retenues pour l'exposition par inhalation	19
Tableau 8 : Budget espace-temps retenu pour l'étude avec usage résidentiel de plain-pied	20
Tableau 9 : Paramètres du modèle liés aux propriétés physico-chimiques du sol	22
Tableau 10 : Paramètres du modèle liés à l'aménagement	23
Tableau 11 : Paramètres fournis par défaut dans les modèles	23
Tableau 12 : Niveaux de risque pour l'exposition par inhalation de substances volatiles issues des gaz du sol pour un usage résidentiel dans un bâtiment de plain-pied	25
Tableau 13 : Lois de distribution utilisées pour l'étude d'incertitude	28
Tableau 14 : Résultats de l'analyse de sensibilité sur les niveaux de risque liés à l'exposition par inhalation de substances volatiles issues des gaz du sol dans des logements sans niveau de sous-sol	28
Tableau 15 : Contribution des différents paramètres à la variance	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vue aérienne récente du site d'étude et occupation du site	9
Figure 2 : Plan de masse du projet à l'échelle de la future ZAC, découpé en lot	10
Figure 3 : Démarche générale de l'évaluation des risques sanitaires	15

PRINCIPALES ABREVIATIONS EMPLOYEES

<i>Abrév.</i>	<i>Définition</i>
ANSES	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire
ATSDR	Apport d'une Stratification Pédologique pour l'Interprétation des Teneurs en Eléments Traces
BTEX	Benzène, Toluène, Éthylène, Xylène
COHV	Composés Organo Halogénés Volatils
DDPP	Direction Départementale de la Protection des Personnes
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement
ERI	Excès de Risque Individuel
EQRS	Evaluation Quantitative du Risque Sanitaire
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCSP	Haut Conseil de la Santé Publique
HCT	Hydrocarbures Totaux
ICPE	Installations Classées Pour la Protection de l'Environnement
IGN	Institut géographique national
INERIS	Institut National de l'Environnement industriel et des Risques
IR	Indice de Risque
LQ	Limite de quantification
ML	Métaux Lourds
MS	Matière Sèche
OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment : antenne californienne de l'US EPA
OQAI	Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur
PCB	Polychlorobiphényles
PCE	Tetrachloréthylène
PID	Photo-Ionisation Detector
QD	Quotient de Danger
SPP	Source Potentielle de Pollution
TCE	Trichloroéthylène
/TN	Par rapport au Terrain Naturel
VGAI	Valeur Guide Air Intérieur
VTR	Valeur Toxicologique de Référence

Tableau 1 : Principales abréviations employées

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte et objectifs de la mission

EIFFAGE Aménagement, titulaire d'un traité de concession sur le secteur Paul Hochart, dont le concédant est l'EPT Grand Orly Seine Bièvre (GOSB), a mandaté ERG ENVIRONNEMENT en tant qu'AMO sur la qualité sanitaire des sols, dans le cadre de la réalisation de la ZAC Paul Hochart à l'Haÿ-les-Roses (94).

L'aménagement du secteur Paul Hochart, sur le territoire de la commune de L'Haÿ-les-Roses, s'inscrit dans une volonté de requalification de ce secteur situé à l'extrémité Est de la commune, éloigné des principaux équipements publics et perçu comme isolé du reste de la ville. Cette opération d'une superficie d'environ 31 500 m² est inscrite dans le Nouveau Projet National de Renouvellement Urbain de L'Haÿ-les-Roses et Villejuif.

Dans le cadre de la présente étude, Eiffage Aménagement a mandaté ERG ENVIRONNEMENT pour la réalisation d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) au droit des futurs logements prévus sur le lot 5 de la future ZAC, implanté sur les parcelles cadastrales n°73, 75, 89 de la section L.

Cette présente étude a donc pour objectif d'évaluer la compatibilité sanitaire du site avec l'usage projeté sur le lot 5 de la future ZAC.

Elle fait suite à :

- Des études et travaux de dépollution en lien avec l'ancienne ICPE TOTAL, réalisées par ARCADIS entre 2012 et 2014 (ces études ne sont pas fournies mais les conclusions sont présentées dans le rapport référencé CICEIF182989 / RICEIF00724-01 du 19/10/18 de BURGEAP en annexe);
- une étude historique documentaire et mémorielle : rapport référencé CICEIF182989 / RICEIF00724-01 du 19/10/18 de BURGEAP présentant en annexe 5 les résultats des campagnes de prélèvements des gaz du sol d'août et octobre 2016 : prélèvements des ouvrages PzA2 à PzA5 et PzA7 à PzA10 sur le site ;
- un diagnostic des milieux sol, gaz des sols et eaux souterraines : rapport ERG Environnement référencé 19LES051Ba/ENV/ME/IR/44892 du 24/03/20 présentant les résultats de la campagne de décembre 2019 : prélèvements des ouvrages PzA2 à PzA5 et PzA7 à PzA10 sur le site.

La méthode s'appuie point par point sur les préconisations du guide relatif aux Modalités de gestion et de réaménagement des sites et sols pollués établies par le MEEDDAT le 8 février 2007 et mises à jour en avril 2017.

1.2 Cadre normatif de la Mission

La présente mission aura pour base normative le document NF X 31-620 : Qualité du sol – prestations de services relatives aux sites et sols pollués :

- Partie 1 : Exigences générales.

- Partie 2 : Exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle.
- Partie 3 : Exigences dans le domaine des prestations d'ingénierie des travaux de réhabilitation.
- Partie 5 : Exigences pour la réalisation des attestations de prise en compte des mesures de gestion de la pollution des sols et des eaux souterraines dans la conception des projets de construction ou d'aménagement.

La codification, pour tout ou partie de la présente mission au sens de la norme NF X 31-620 est la suivante :

Tableau 2 : Cadre normatif de la mission

CODE	OFFRES DE PRESTATIONS ELEMENTAIRES	OBJECTIFS
Evaluation des impacts sur les enjeux à protéger		
A320	Analyses des enjeux sanitaires (démarche d'évaluation des risques sanitaires) Cette prestation permet d'évaluer les risques sanitaires en fonction des contextes de gestion.	En fonction du contexte, les calculs de risques sanitaires suivants sont réalisés : <ul style="list-style-type: none"> - EQRS : calculs de risques sanitaires menés dans une situation en l'état (avant toute mesure de gestion) ; - ARR : calculs de risques sanitaires réalisés dans une situation après mesures de gestion, sur la base de l'état résiduel attendu (ARR prédictive) ou constaté (ARR fin de travaux)

2. DOCUMENTS DISPONIBLES CONCERNANT LE SITE D'ÉTUDE

Dans le cadre de sa mission, ERG ENVIRONNEMENT a pu s'appuyer sur les études déjà réalisées sur le site et mises à notre disposition par EIFFAGE AMENAGEMENT, présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Documents disponibles concernant le site d'étude

Intitulé	Émetteur	Date	Nb de page / de Pièce
Avis de la DRIEE	DRIEE	04/04/19	13 / 1
Étude d'impact environnementale Réf : CICEIF182989 / RICEIF00714	BURGEAP	31/01/19	315 / 1
Étude historique documentaire et mémorielle Rapport Réf : CICEIF182989 / RICEIF00724-01	BURGEAP	19/10/18	642 / 1
Diagnostic de la qualité des milieux sol, gaz des sols et eaux souterraines Rapport Réf : 19LES051Ba/ENV/ME/IR/44892	ERG ENVIRONNEMENT	24/03/20	95 + Annexes / 1
Consultation pour une mission de Bureau d'études sur la qualité sanitaires des sols (CCP)	EIFFAGE AMENAGEMENT	15/10/2019	9 / 1

3. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU SITE

La localisation du site sur fond de photographie aérienne, IGN et cadastre est présentée respectivement en **annexes A1.1 à A1.3**.

Tableau 4 : Caractéristiques générales du site

Caractéristiques générales du site	Synthèse des informations collectées	Sources d'informations
Situation	<p>La partie de la ZAC à l'étude se trouve sur la commune de L'Haÿ-les-Roses (94) adressée rue Paul Hochart et Chemin des Bouteilles. Elle occupe une superficie d'environ 4 050 m².</p> <p>Le site à l'étude comprend les parcelles cadastrales 73, 75, 89 de la section L. Il s'agit du lot 5 sur la Figure 2. Ces parcelles appartiennent à Eiffage Aménagement.</p> <p>A noter que l'ensemble de la ZAC représente une superficie de 34 670 m² environ.</p>	<p>www.cadastre.gouv.fr et visite du site</p>
Occupation actuelle	<p>Le site d'étude est actuellement occupé par une casse automobile illégale : de nombreux véhicules y sont stockés.</p>	<p>Visite de site</p>
Utilisation des parcelles riveraines	<p>Le site se situe dans une zone mixte avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Au nord : Zone entreprise l'Oréal en friche puis Zone résidentielle, groupe scolaire et puis une zone commerciale - Au sud : Zone entreprise (l'Oréal), zone résidentielle et un collège - A l'est : partie est de la ZAC (anciennement parcelle VAREMA sur la parcelle L57) puis zone résidentielle - A l'ouest : zone résidentielle 	<p>Visite du site</p>
Accès au site	<p>Le site est entièrement clôturé. L'accès au site se fait via le chemin des Bouteilles.</p>	<p>Visite du site</p>
Type et nombre de population fréquentant le site	<p>Le site est occupé par le gérant de la casse automobile de manière ponctuelle.</p>	<p>Visite du site</p>
Cadre réglementaire applicable (ICPE...)	<p>La parcelle L89 occupée anciennement par une station-service TOTAL était soumise à Déclaration depuis 1974 selon le régime ICPE pour son activité de distribution de carburants et son stockage. La cessation a été notifiée en 2014.</p>	<p>Étude historique documentaire et mémorielle Rapport Réf : CICEIF182989 / RICEIF00724-01</p>

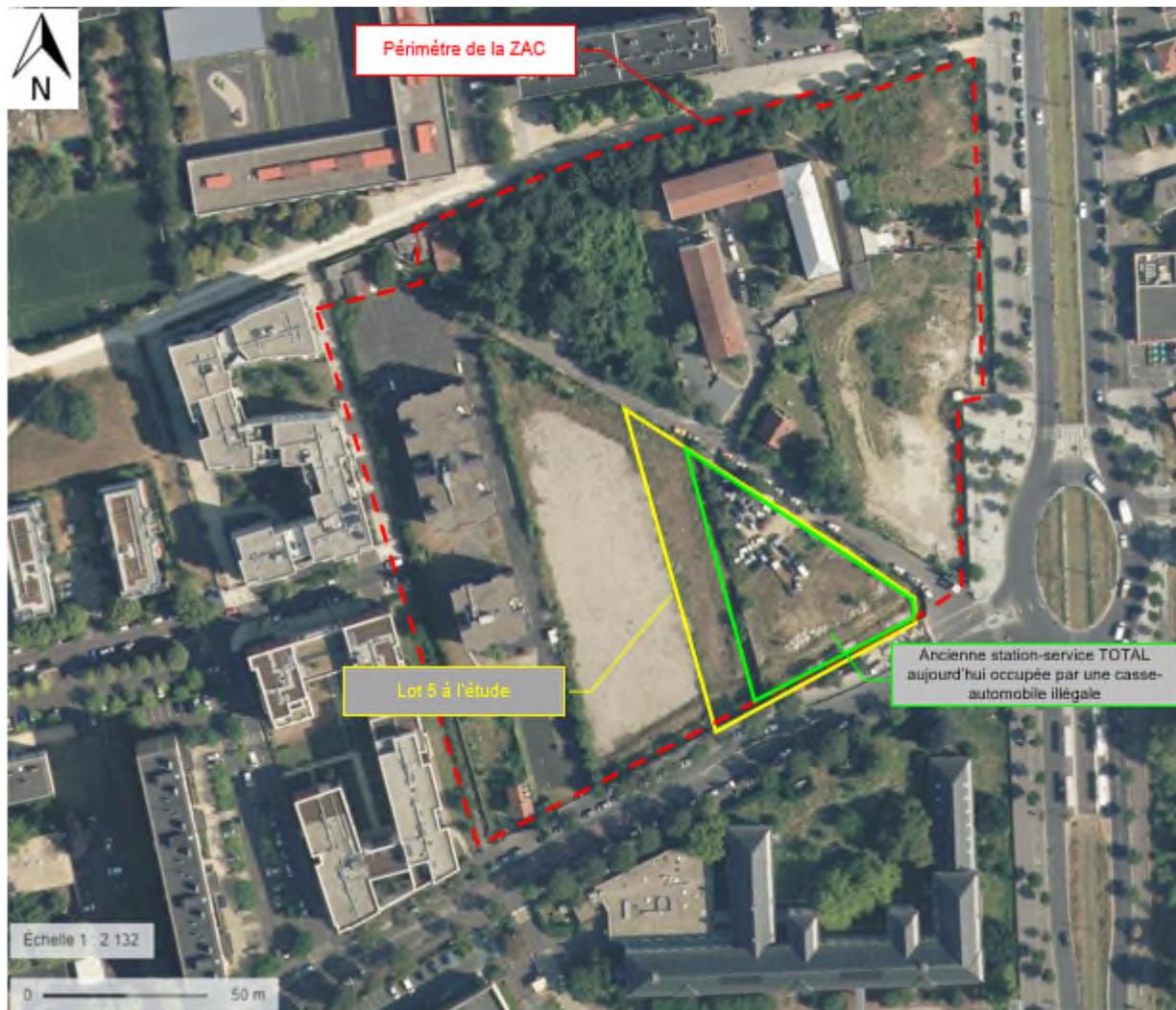


Figure 1 : Vue aérienne récente du site d'étude et occupation du site

4. PROJET D'AMÉNAGEMENT

Le projet, porté par l'établissement public territorial Grand Orly Seine Bièvre, sur l'ensemble de la ZAC, totalisant 3,2 ha, consiste en la création d'un nouveau quartier qui accueillera des logements, des commerces, des services de proximité, un groupe scolaire maternelle et élémentaire et un équipement sportif en lieu et place de friches industrielles et d'immeubles d'habitation et de bureaux vieillissants. Il s'insère entre les villes de Villejuif au nord, Vitry-sur-Seine à l'est et Chevilly Larue au sud.

Le projet prévoit le programme prévisionnel total suivant :

- 53 000 m² dédiés aux logements de R+2 à R+7 : 903 logements dont la reconstruction du foyer d'aide aux migrants, Coallia (175 chambres) et la construction de 100 logements sociaux ;
- 1 500 m² d'activités commerciales en pied d'immeubles ;
- 6 000 m² à usage d'un groupe scolaire maternelle et primaire (25 classes) ;
- et un dojo destiné aux arts martiaux.

La ZAC est découpée en 8 lots.

La partie sud de la ZAC concernée par la présente étude, sera donc aménagée pour un usage de logements (lot 5). Le Maitre d'Ouvrage a informé ERG ENVIRONNEMENT qu'il y aurait à minima un niveau de sous-sol au droit des bâtiments. Toutefois, dans la présente EQRS, il a été considéré le scénario le plus pénalisant pour le risque inhalation, soit des logements de plain-pied (sans niveau de sous-sol).

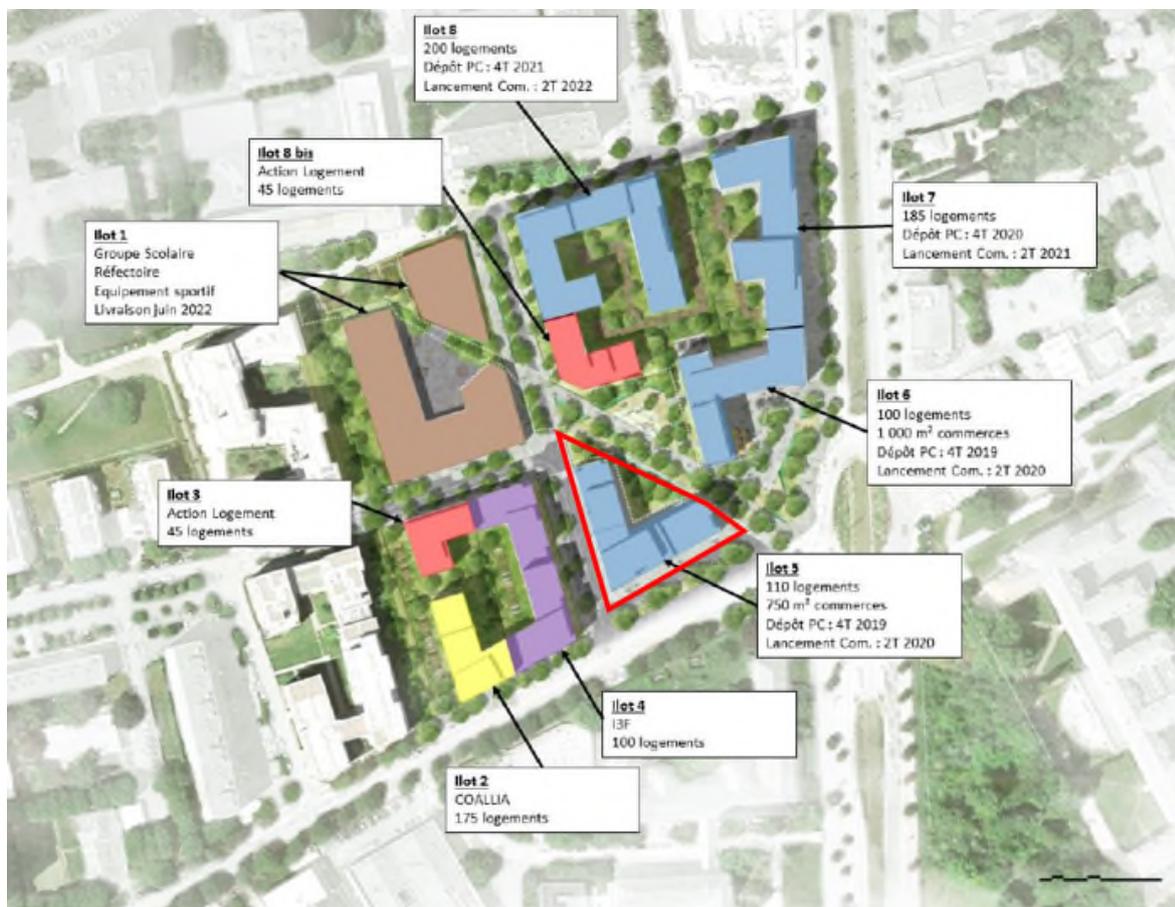


Figure 2 : Plan de masse du projet à l'échelle de la future ZAC, découpé en lot

5. SYNTHÈSE DES ÉTUDES PRÉDÉCENTES ET SCHÉMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION CONSTATÉE

5.1 Synthèse des études précédentes

Trois campagnes de prélèvements des gaz des sols ont eu lieu au niveau du lot 5 en :

- Août et octobre 2016, présentées en annexe 5, dans le rapport Étude historique documentaire et mémorielle référencé CICEIF182989 / RICEIF00724-01 du 15/10/19, réalisé par BURGEAP ;
- Février 2020, présentée dans le rapport 19LES051Ba/ENV/ME/IR/44892 du 24/03/20, réalisé par ERG ENVIRONNEMENT.

Ces campagnes ont été réalisées au droit de huit piézaires mis en place par BURGEAP en 2016 sur le lot 5 (PzA2 à PzA5 et PzA7 à PzA10).

Les résultats obtenus par BURGEAP sont présentés dans le Tableau 5 en page suivante.

La localisation de ces ouvrages est présentée en annexe **A2.1** et les tableaux de résultats analytiques des campagnes de 2016 et 2020 sont présentés respectivement en annexe **A2.2** et **A2.3**.

Les deux premières campagnes menées par BURGEAP ont été réalisées en lien avec la cessation d'activité et les travaux de dépollution et leur réception réalisés en 2013 et 2014 par ARCADIS.

Ces deux campagnes ont mis en évidence :

- un impact en TCE et PCE au droit de tous les ouvrages. Les concentrations mesurées sont toutes supérieures aux valeurs de comparaison retenues exceptés pour PzA7 :
 - o les concentrations en PCE mesurées sont comprises entre 15 et 11 026 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - o les concentrations en TCE mesurées sont comprises entre <LQ et 87,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- la présence plus ponctuelle de BTEX (campagne d'août 2016) en teneurs supérieures aux valeurs du bruit de fond des logements et ou des écoles/ lieux de garde au droit des piézaires PzA1 et PzA3. Les teneurs en benzène y sont supérieures à la valeur guide air intérieur ;
- la présence plus ponctuelle de HCT volatils (hydrocarbures aliphatiques, C5-C8, C8-C10 et ou C10-C12 et hydrocarbures aromatiques C8-C12) (campagne d'août 2016) au droit des piézaires PzA1, PzA8 et PzA10.

La troisième campagne réalisée par ERG ENVIRONNEMENT, en février 2020 (4 ans plus tard) met en évidence des anomalies plus modérées :

- en PCE au droit du PzA3 uniquement avec une teneur de près de 8 mg/m^3 ;
- en TCE au droit des piézaires PzA3, PzA5, PzA9 et PzA10, avec une teneur maximale de 0,03 mg/m^3 enregistrée en PzA3.

Nota : le PzA3 qui présente les plus fortes anomalies dans les gaz des sols lors de la dernière campagne de février 2020 sur le lot 5 est implanté hors emprise du futur bâtiment sur le lot.

Lors de cette campagne, aucune concentration enregistrée ne dépasse les valeurs de références dans l'air intérieur, en tenant compte d'un facteur de dilution de 10, utilisé pour appréhender les teneurs dans l'air ambiant d'un bâtiment de plain-pied, disposant d'une dalle béton en bon état excepté en PCE et TCE en PzA3.

En effet, les concentrations mesurées en PCE et TCE lors de la campagne de février 2020, sont plus faibles (d'un facteur de 5 à 10) par rapport aux anomalies enregistrées lors de la campagne du 12 octobre 2016.

L'évolution des concentrations mesurées en PCE et TCE lors des différentes campagnes au niveau du lot 5 est présentée en annexe **A2.4**.

5.2 Synthèse des anomalies mises en évidence

Dans les sols :

Mise en évidence d'impacts modérés en HCT C10-C40, HAP et métaux qui seront gérés dans le cadre du projet (création de sous-sol entraînant une gestion de ces déblais) exceptés au niveau du sondage SC24.

De manière générale au droit du lot 5, par mesure de précaution et au regard de la présence ponctuelle d'anomalies en ETM, il est préconisé le recouvrement des sols de surface.

Dans les gaz des sols

Les analyses de gaz du sol réalisées au droit du site ont révélé la présence d'hydrocarbures aliphatiques, BTEX et COHV.

Dans les eaux souterraines :

Les résultats d'analyses mettent en évidence un impact avéré en PCE au droit de tous les ouvrages. Au regard du sens d'écoulement des eaux souterraines et du gradient de concentration décroissant dans les eaux souterraines de l'amont vers l'aval, cet impact semble provenir de l'amont hydraulique, soit hors emprise du site.

5.3 Schéma conceptuel d'exposition constaté

Rappelons que le projet d'aménagement consiste en la création de logements avec à minima un niveau de sous-sol. Il est donc pris en compte dans ce SCE l'usage projeté.

Pour information, en cas de modification d'usage du site, le présent schéma conceptuel d'exposition devra être adapté en conséquence.

Tableau 5 : Schéma conceptuel d'exposition mise à jour suite aux investigations sur le milieu sol en considérant le projet d'aménagement en logements

ZONES	PRINCIPAUX TRANSFERT(S) A ENVISAGER	PRINCIPALES VOIES D'EXPOSITION A ENVISAGER	PRINCIPALES CIBLES A PRENDRE EN COMPTE SUR SITE	MILIEUX A INVESTIGUER COMMENTAIRES :
Logements	Volatilisation dans l'air du sol depuis les sols et/ou la nappe phréatique et transfert vers l'air ambiant intérieur	Inhalation de substances volatiles sous forme gazeuse	Occupants du site (adultes et enfants)	GAZ DES SOLS Sur le lot 5 à l'étude : anomalies en PCE essentiellement et en TCE Vérification de la compatibilité sanitaire du site avec le projet (EQRS)
Zones extérieures recouvertes	Volatilisation dans l'air du sol depuis les sols et/ou la nappe phréatique et transfert vers l'air ambiant extérieur	Inhalation de substances volatiles issues du sol		Exposition non retenue en première approche compte tenu de la dilution naturelle liée au vent
Zones extérieures non recouvertes (espaces verts)	Contact direct au niveau des zones découvertes ou mal isolées	Ingestion directe de sol / poussières et Absorption cutanée de sol / poussières.		SOLS : anomalies ponctuelles en ETM dans les sols de surface Recouvrement des sols de surface dans le cadre du projet afin de supprimer tout risque d'exposition par contact direct
	Volatilisation dans l'air du sol depuis les sols et/ou la nappe phréatique et transfert vers l'air ambiant extérieur	Inhalation de substances volatiles issues du sol		Exposition non retenue en première approche compte tenu de la dilution naturelle liée au vent
	Du sol vers des aliments produits sur le site (potagers)	Ingestion d'aliments d'origine végétale ou animale produits sur le site		Exposition non retenue en première approche car il n'est pas prévu la mise en place de potager sur le site
Eaux souterraines au droit du site	Du sol vers les eaux souterraines	Ingestion d'eau contaminée / contact cutané		Exposition non retenue en première approche compte tenu de l'absence d'usage des eaux sur site
Eau potable au droit du site	Perméation des polluants depuis les sols et/ou les gaz des sols vers la canalisation en PVC d'eau potable	Ingestion d'eau contaminée / contact cutané		Exposition non retenue en première approche. Toute canalisation destinée à l'alimentation en eau potable des usagers d'un bâtiment au droit du site devra donc être implantée dans une zone ayant, si nécessaire, fait l'objet d'une substitution des sols en place (potentiellement impactés) par des matériaux sains exogènes au site. Par ailleurs, on privilégiera la mise en place d'un réseau en acier.

6. EVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES

Cette Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires est basée sur les 3 campagnes de prélèvements des gaz présentées précédemment.

Les investigations ont conduit à la mise en évidence de composés organiques volatils dans les gaz des sols (hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, Benzène, toluène, xylènes, et COHV), ce qui amène à envisager les risques liés à l'exposition par inhalation de composés volatils à l'intérieur des futurs logements.

Conformément à la méthodologie décrite dans la méthodologie d'avril 2017 (mettant à jour la circulaire de février 2007), 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 projeté.

Notons que dans une démarche sécuritaire et majorante, l'EQRS a été réalisée en prenant en compte les teneurs en gaz des sols les plus importantes qui ont été enregistrées au droit du site à l'étude lors des 3 différentes campagnes.

6.1 Méthodologie générale de l'étude de risques sanitaires

L'objectif de l'étude consiste à évaluer les risques pour la santé des futurs résidents découlant de la présence résiduelle de composés volatils dans les gaz des sols du site.

A cet effet, les différentes voies de transfert des substances en direction des personnes susceptibles d'être présentes sur le site 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 en composés volatils mis en évidence dans les gaz des sols, 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 :

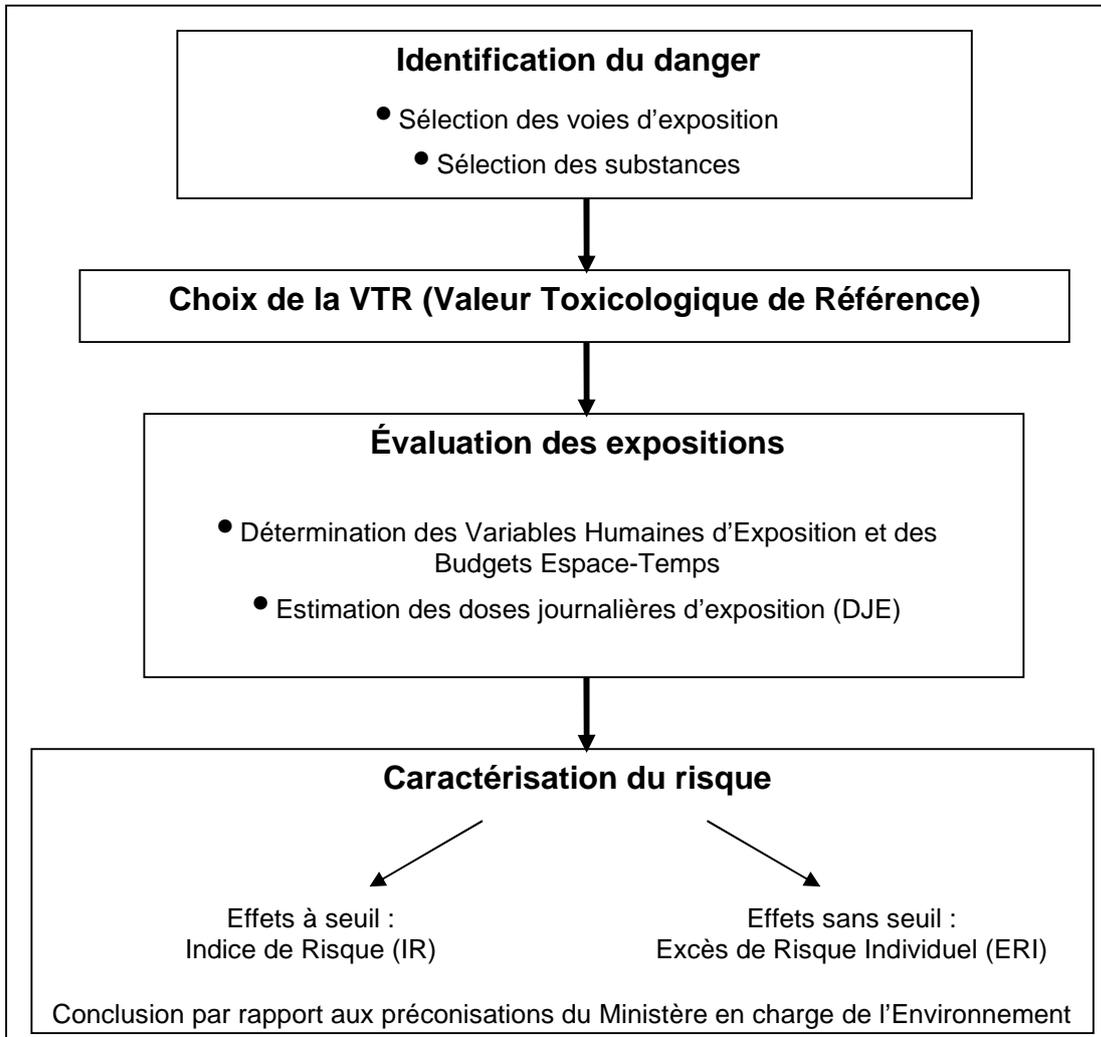
- les substances pour lesquelles les effets sont déterministes, c'est-à-dire avec seuil : il n'y a pas d'effet pour une exposition inférieure à un certain seuil. C'est généralement le cas des substances non cancérogènes. Pour ces substances, on définit un Indice de Risque (IR) ou Quotient de Danger (QD),
- 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 cancérogènes. 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'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires peut se schématiser sous la forme de l'organigramme présenté dans la figure suivante.

Figure 3 : Démarche générale de l'évaluation des risques sanitaires



▪ **Sélection des voies d'exposition**

Les voies d'exposition sélectionnées dans le cadre d'une évaluation des risques sanitaires sont fonction de l'aménagement et de l'occupation du site.

Compte tenu des pollutions mises en évidence lors des diagnostics précédents dans le milieu gaz des sols et eaux souterraines (en amont et en aval du site d'étude) et du projet de réaménagement du site (cibles mixtes adultes/enfants considérées), les modes de transfert vers les différents milieux sont les suivants :

- La volatilisation depuis les sols, les gaz du sol et les eaux souterraines et dispersion atmosphérique ou transfert au travers des parois d'un bâtiment. Les milieux d'exposition sont l'air atmosphérique et l'air intérieur d'un bâtiment. A noter que le milieu d'exposition air atmosphérique n'est pas retenu en première approche compte tenu de la dilution naturelle au vent.

Sont jugés non pertinents :

- Le contact direct avec le sol : l'ensemble des sols de surface dans l'emprise du site laissé en pleine terre et à vocation d'espaces verts, ne présente pas d'anomalies dans la limite des investigations réalisées excepté en SC24 (rapport 19LES051Aa/ENV/ME/IR44663 du 29 janvier 2020). Toutefois de manière générale au droit du lot 5, par mesure de précaution et au regard de la présence ponctuelle d'anomalies en ETM, il est préconisé le recouvrement des sols de surface.
- La perméation au travers des conduites d'amenée d'eau potable. Sous réserve que les canalisations soient implantées en zone non saturée, aucune préconisation n'est nécessaire ;
- L'ingestion de végétaux ou d'animaux produits sur site, en effet aucun jardin potager ni d'élevage d'animaux n'est autorisé au droit du site ;
- La migration via les eaux souterraines hors site, non étudiée dans le cadre de cette étude.

Ainsi, la présente étude porte uniquement sur les risques liés à l'**exposition par inhalation** de substances volatiles issues des gaz des sols, seule voie d'exposition pertinente dans le cadre de la présente étude à ce stade.

La présente étude s'intéresse aux risques sanitaires pour un usage futur projeté de type logement.

▪ **Sélection des substances**

Les substances à retenir, parmi celles mesurées lors des 3 campagnes sur le site étudié, sont choisies suivant trois critères de sélection :

- la présence de la substance dans les sols et son niveau de présence,
- le potentiel Danger (toxicité) de la substance ou la relation dose – effet,
- le potentiel de transfert de la substance.

Les analyses de gaz du sol réalisées au droit du site ont révélé la présence d'hydrocarbures aliphatiques, BTEX et COHV. Seules les substances présentes à des teneurs supérieures au seuil de quantification seront prises en compte dans la présente EQRS.

Rappelons que dans une démarche sécuritaire et majorante, l'EQRS est réalisée en prenant en compte les teneurs en gaz des sols les plus importantes enregistrées dans le cadre des trois campagnes de prélèvements des gaz des sols.

Ces teneurs sont synthétisées dans le Tableau 6 suivant.

Tableau 6 : Teneurs retenues dans les gaz des sols pour l'exposition sur le site

Paramètre	Teneurs maximales mesurées dans les gaz du sol ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Point de mesure	Campagne
Hydrocarbures Aliphatiques			
Aliphatiques >C6 – C8	69,4	PzA10	Août 2016
Aliphatiques >C8 - C10	72,2	PzA8	Août 2016
Aliphatiques >C10 - C12	269,4	PzA8	Août 2016
BTEX			
Benzène	2,8	PzA4	Août 2016
Toluène	4,2	PzA2	Août 2016
Xylènes (m,p-xylènes + o-xylènes)	20,7	PzA3	Août 2016
Composés Organo- Halogénés Volatils (COHV)			
Tétrachloroéthylène (PCE)	11 026	PzA3	Octobre 2016
Trichloroéthylène (TCE)	87,2	PzA3	Octobre 2016
Chloroforme	16,1	PzA8	Août 2016
cis 1,2-Dichloroéthène	71,8	PzA3	Octobre 2016
trans 1,2-Dichloroéthène	7,9	PzA5	Octobre 2016
1,1,1-trichloroéthane	188,9	PzA4	Octobre 2016
1,1-Dichloroéthylène	1,09	PzA4	Février 2020

6.2 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 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 cancérigènes), 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

Les VTR des substances retenues pour l'EQRS sont présentées dans le Tableau 7 pour l'exposition par inhalation.

Tableau 7 : VTR retenues pour l'exposition par inhalation

Composés chimiques	Valeur de référence effets à seuil ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeur de référence effets sans seuil ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹
BTEX		
Benzène	10 (ANSES, 2008)	2.6 ^E -05 (ANSES, 2013)
Toluène	19 000 (ANSES, 2017)	Non disponible
Xylènes	217 (ATSDR 2007)	Non disponible
HYDROCARBURES ALIPHATIQUES		
>C6 – C8	18 400 (TPHCWG)	Non disponible
>C8 – C10	1 000 (TPHCWG)	Non disponible
>C10 - C12	1 000 (TPHCWG)	Non disponible
COMPOSES ORGANO HALOGENES VOLATILS		
Chloroforme	63 (ANSES, 2008)	2,30E-05 (US EPA, 2001)
Tétrachloroéthylène	400 (ANSES, 2017)	2,60E-07 (ANSES, 2017)
Trichloroéthylène	3 200 (ANSES, 2018)	1,00E-06 (ANSES, 2018)
cis 1,2-Dichloroéthène	60 (RIVM, 2009)	Non disponible
trans 1,2-Dichloroéthène	79 (RIVM, 1996)	Non disponible
1,1,1-trichloroéthane	100 (OEHHA, 2008)	Non disponible
1,1-Dichloroéthylène	200 (US EPA 2002)	Non disponible

6.3 Évaluation des expositions

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

➤ Définition des cibles exposées

Le projet d'aménagement du site prévoit la réalisation de bâtiments à usage de logements. Il est considéré dans cette EQRS des logements de plain-pied.

L'usage résidentiel 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.

➤ Définition du budget espace - temps

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.

Les paramètres concernant les budgets espace-temps (BET) utilisés dans cette étude sont présentés dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Budget espace-temps retenu pour l'étude avec usage résidentiel de plain-pied

PARAMETRE	VALEUR RETENUE	SOURCE
LOGEMENTS (REZ-DE-CHAUSSEE)		
Temps de présence dans le logement (percentile 95)	21,5 h/j	InVS ⁽¹⁾
Jours de présence annuelle sur le site	351 j	INSEE ⁽²⁾

⁽¹⁾ base de données InVS : Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement (version octobre 2010) pour la région Parisienne

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

6.4 Modélisation des transferts de substances volatiles du sol à l'air ambiant

➤ 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 de l'usage résidentiel considéré, l'exposition par inhalation des substances volatiles issues des gaz du sol est la voie d'exposition pertinente. L'EQRS implique donc l'étude des transferts de substances volatiles depuis les gaz du sol vers l'air ambiant, 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.

➤ Modèles retenus pour l'exposition par inhalation

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

- JOHNSON & ETTINGER permet de modéliser des transferts dans des bâtiments. 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. Toutefois, une partie des équations du modèle peut être utilisée pour modéliser des transferts dans l'air ambiant extérieur (modèle « boîte »). Ces équations sont utilisées dans le modèle RISC HUMAN.

Étant donné l'aménagement considéré, l'utilisation du modèle JOHNSON & ETTINGER pour modéliser les transferts des gaz du sol vers l'air ambiant du futur bâtiment de plain-pied, a été retenue.

Le transfert de vapeur est conditionné par les dimensions des fissures réparties sur le périmètre de la dalle béton étudiée ou définie et un mouvement convectif induit par la mise en dépression du bâtiment (effet de la ventilation).

Nous rappelons que la modélisation prend en compte une source de pollution infinie. De ce fait, aucune diminution des concentrations n'est observée au cours du temps. Les concentrations calculées sont donc pénalisantes, en particulier si ces calculs concernent des composés fortement volatils.

Pour le modèle JOHNSON & ETTINGER, les équations utilisées 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 les gaz du sol vers l'air ambiant 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 lié à la ventilation des bâtiments, nous pouvons ainsi estimer un facteur d'atténuation entre l'air du sol et l'air ambiant, ce qui nous permet d'évaluer la teneur (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de chacune des substances sélectionnées dans l'air ambiant.

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.

➤ **Paramétrage du modèle**

Dans le cadre de la modélisation des transferts de substances volatiles issues des sols par les équations mathématiques de JOHNSON & ETTINGER ou de VOLASOIL, 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 les modèles 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). 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 annexées au présent document.

➤ **Paramètres liés aux propriétés physico-chimiques du sol**

Tableau 9 : Paramètres du modèle liés aux propriétés physico-chimiques du sol

PARAMETRE	VALEUR RETENUE	SOURCE
Fraction Volumique d'eau du sol « Vw » en %	5,4	JOHNSON & ETTINGER
Fraction Volumique d'air du sol « Va » en %	32	JOHNSON & ETTINGER
Fraction Carbone Organique « foc » en KgCO/KgMS	0,002	Valeur par défaut du modèle JOHNSON & ETTINGER
Perméabilité à l'air du sol « ka » en m ²	1.10 ⁻¹¹	JOHNSON & ETTINGER

Les valeurs retenues pour la modélisation par JOHNSON & ETTINGER correspondent à un sol sableux (comparable à la couche de forme mis en place sous dalle des bâtiments), perméable vis-à-vis des composés volatils présents dans les gaz du sol.

➤ **Paramètres liés à l'aménagement**

Remarque : les valeurs de paramètres retenues correspondent à des valeurs à respecter à minima. Si le projet d'aménagement prévoit des valeurs plus sécuritaires (par exemple une dalle béton plus épaisse, un taux de ventilation plus élevé, ...), les seuils calculés seront a fortiori valables pour l'aménagement plus sécuritaire.

Tableau 10 : Paramètres du modèle liés à l'aménagement

PARAMETRE	VALEUR RETENUE	SOURCE
Profondeur entre la source de substances et la surface du sol « Lt » en m	0,2	Profondeur contraignante considérant la présence de la pollution juste sous la dalle béton du futur bâtiment
Épaisseur de la dalle béton entre le sol et le rez-de-chaussée « Lbéton » en m	0,2	Valeur standard pour ce type d'aménagement
Hauteur du plafond du rez-de-chaussée « hb » en m	2,5	Valeur standard pour ce type d'aménagement
Taux de renouvellement de l'air ambiant des bâtiments (Rez-de-chaussée) « ERbat » en h ⁻¹	0,5	Valeur moyenne donnée par Johnson & Ettinger et Volasoil

Pour les taux de renouvellement de l'air des pièces d'habitation, 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**

Tableau 11 : Paramètres fournis par défaut dans les modèles

PARAMETRE	VALEUR RETENUE
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)
Nombre d'ouverture dans la dalle béton « η » (m ⁻²)	0,2 (valeur fournie par défaut dans le guide d'utilisation de Volasoil)
Différence de pression Air du sol – Air ambiant du rez-de-chaussée « dP » en Pa	40 (valeur fournie par défaut dans le guide d'utilisation de JOHNSON & ETTINGER)

6.5 Quantification des risques sanitaires

➤ Démarche

A partir des concentrations modélisées / 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.

En première approche, pour évaluer le risque global lié aux effets à seuil, les IR des différentes substances sont additionnés, sans tenir compte du type d'effet ni de l'organe cible. Le risque ainsi calculé est maximisé.

Selon les préconisations du Ministère en charge de l'Environnement, le risque est acceptable si IR < 1.

○ Cas des effets sans seuil

Afin d'estimer cet excès de risque pour la santé humaine, le produit suivant, dénommé Excès de Risques Individuel (ERI), est calculé pour chaque substance :

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

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/m³)⁻¹ pour une exposition par inhalation.

Selon les préconisations du Ministère en charge de l'Environnement, le risque est acceptable si $ERI < 10^{-5}$. Cela signifie que pour les substances cancérigènes, l'exposition à une substance toxique ne doit pas générer plus d'un cas de cancer supplémentaire pour 100 000 cas de cancers observés, et ce pour une exposition vie entière.

Pour évaluer le risque global lié aux effets sans seuil, les ERI des différentes substances sont additionnés, en accord avec la circulaire ministérielle du 8 février 2007, mise à jour en avril 2017.

➤ **Résultats pour l'exposition aux substances volatiles issues des gaz du sol dans les futurs bâtiments sans niveau de sous-sol**

Les niveaux de risque induits par l'exposition des futurs habitants / résidents dans les logements construits sur le site, par inhalation de substances volatiles issues des gaz du sol sont présentés dans le Tableau 12 suivant.

Tableau 12 : Niveaux de risque pour l'exposition par inhalation de substances volatiles issues des gaz du sol pour un usage résidentiel dans un bâtiment de plain-pied

Substances	Concentrations maximales mesurées dans les gaz du sol (µg/m ³)	Concentration modélisée dans l'air du rez-de-chaussée (µg/m ³)	IR	ERI
HYDROCARBURES ALIPHATIQUES				
Aliphatiques >C6 – C8	69,4	1,54E-01	7,22E-06	Pas d'effet sans seuil
Aliphatiques >C8 - C10	72,2	1,60E-01	1,38E-04	Pas d'effet sans seuil
Aliphatiques >C10 - C12	269,4	5,99E-01	5,16E-04	Pas d'effet sans seuil
BTEX				
Benzène	2,8	9,39E-02	8,09E-03	1,20E-06
Toluène	4,2	9,20E-03	4,17E-07	Pas d'effet sans seuil
Xylènes (m,p-xylènes + o-xylènes)	20,7	4,52E-02	1,79E-04	Pas d'effet sans seuil
COHV				
Tétrachloroéthylène (PCE)	11 026	2,36E+01	5,09E-02	3,02E-06
Trichloroéthylène (TCE)	87,2	1,89E-01	5,09E-05	9,30E-08
Chloroforme	16,1	3,92E-02	5,36E-04	4,44E-07
cis 1,2-Dichloroéthène	71,8	1,54E-01	2,21E-03	Pas d'effet sans seuil
trans 1,2-Dichloroéthène	7,9	1,71E-02	1,86E-04	Pas d'effet sans seuil
1,1,1-trichloroéthane	188,9	4,09E-01	3,52E-04	Pas d'effet sans seuil
1,1-Dichloroéthylène	1,09	2,68E-03	1,15E-05	Pas d'effet sans seuil
TOTAL			6,31E-02	4,76E-06

On peut noter que les teneurs modélisées dans l'air intérieur pour les BTEX et les COHV sont inférieures aux valeurs réglementaires et/ou aux valeurs de bruit de fond existantes.

Les teneurs modélisées étant inférieures aux valeurs réglementaires et valeurs de bruit de fond, la réalisation d'un calcul de risque n'aurait en toute rigueur pas été nécessaire pour ces

composés au sens de la circulaire du MEEDDAT du 8 février 2007, mise à jour par la méthodologie d'avril 2017. Le calcul reste néanmoins nécessaire pour les HCT, qui ne disposent pas de valeur réglementaire ou de bruit de fond.

Ainsi, en se basant sur les teneurs maximales mesurées dans les gaz du sol du site pour évaluer l'exposition des futurs occupants dans des logements de plain-pied sans niveau de sous-sol par inhalation de substances volatiles, l'IR 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.

Toutefois, l'ERI cumulé est proche du seuil et au regard de l'étude d'incertitude (Chapitre 6.6), la compatibilité des milieux avec l'usage futur pour l'exposition par inhalation dans des logements de plain-pied est discutable.

Néanmoins, en prenant en compte la présence d'un niveau de sous-sol tel que prévu dans le cadre du projet, les niveaux de risque seront au moins divisés par un facteur 10 du fait de la dilution entre les niveaux, et l'état des milieux est donc compatible avec un usage de type logements présentant un à plusieurs niveaux de sous-sol.

6.6 Discussion des incertitudes

➤ Voies d'exposition et substances retenues

Toutes les voies d'exposition pertinentes par rapport à l'aménagement tel qu'il est étudié (bâtiments à usage résidentiel), 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 retenue à ce stade de l'étude 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 :

- L'exposition par contact direct n'a pas été retenue car l'ensemble des sols de surface dans l'emprise du lot à l'étude, laissé en pleine terre et à vocation d'espaces verts, seront recouverts par des sols sains.
- L'exposition par ingestion d'aliments auto-produits (élevages et potagers) n'a pas été prise en compte. Il a été considéré qu'aucune culture potagère et fruitière ne sera présente sur le site dans le cadre du projet d'aménagement futur ;

Le transfert des substances résiduelles présentes dans les sols vers le réseau d'adduction en eau potable n'a pas été étudié les canalisations seront implantées dans des sols sains et des canalisations en acier seront privilégiées.

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. L'exposition par inhalation à l'extérieur des bâtiments n'a donc pas été étudiée.

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.

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. La présente étude est basée sur les résultats issus de 3 campagnes de prélèvement, afin de prendre en compte cette variabilité.

A noter que le PzA3 qui présente les plus fortes anomalies dans les gaz des sols en PCE, TCE et xylène sur le lot 5 et qui ont été retenues dans le cadre de cette EQRS, est implanté hors emprise du futur bâtiment sur le lot. Il s'agit donc d'une modélisation des concentrations dans l'air ambiant intérieur majorante.

Au regard des niveaux de risques calculés, l'ERI est seulement 2 fois inférieur au seuil d'acceptabilité. Le seuil peut donc rapidement être dépassé du fait des variations saisonnières par exemple, ayant une influence sur les concentrations mesurées.

➤ **Budget espace-temps retenu**

Le budget espace-temps tient compte de l'aménagement considéré et de l'usage projeté du site.

Pour l'usage résidentiel, 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 habite 40 ans au même endroit.

En ce qui concerne les durées d'exposition quotidiennes et annuelles, les valeurs retenues sont issues de la base de données InVS : Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement (octobre 2010) et sont donc réalistes, voire majorantes car ce sont les durées d'exposition les plus pénalisantes qui ont été retenues (percentile 95 au lieu de considérer la moyenne par exemple).

➤ **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 du 8 février 2007 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.

❖ 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 14, afin de déterminer les intervalles de confiance (plages de variations possibles) des résultats.

Tableau 13 : Lois de distribution utilisées pour l'étude d'incertitude

Paramètre	Loi de distribution	Valeur minimale	Valeur moyenne	Valeur maximale
ka : Perméabilité à l'air du sol (en m ²)	Triangulaire	1.10 ⁻¹⁶ (silt)	1.10 ⁻¹⁰ (sable graveleux)	1.10 ⁻¹⁰ (sable graveleux)
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) au rez-de-chaussée	Triangulaire	0,17 (ventilation très mauvaise)	0,5 (ventilation normale)	1 (ventilation très bonne)
T : Durée d'exposition (en années)	Uniforme	20	-	40
N : Nombre annuel de jours d'exposition	Triangulaire	335	351	365
n : Nombre d'heure d'exposition par jour	Triangulaire	16	21,5	24

Remarque : Concernant la « fraction d'ouverture dans le plancher du bâtiment », il a été considéré un plancher vieillissant en valeur maximale (valeur comprise entre le plancher normal et le mauvais plancher selon VOLASOIL).

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 14 suivant.

Les détails sont fournis en annexe A3.2

Tableau 14 : Résultats de l'analyse de sensibilité sur les niveaux de risque liés à l'exposition par inhalation de substances volatiles issues des gaz du sol dans des logements sans niveau de sous-sol

	Valeur minimale	Quantile 10 %	Valeur médiane	Quantile 90 %	Valeur maximale
IR	3,43.10 ⁻²	2,58.10 ⁻²	2,07.10 ⁻¹	3,68.10 ⁻¹	7,27.10 ⁻¹
ERI	1,40.10 ⁻⁶	6,46.10 ⁻⁶	1,26.10 ⁻⁵	2,34.10 ⁻⁵	5,39.10 ⁻⁵

Ainsi, même en utilisant des valeurs pénalisantes pour tous les paramètres pris en compte dans l'étude d'incertitude, le quantile 90 du QD cumulé pour l'exposition par inhalation dans les bâtiments des futurs logements restent inférieures aux seuils d'acceptabilité définis par le Ministère en charge de l'Environnement.

En revanche, la médiane de l'ERI cumulé pour l'exposition par inhalation dans les futurs bâtiments des futurs logements est légèrement supérieure aux seuils d'acceptabilité définis par le Ministère en charge de l'Environnement.

On ne peut donc pas 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 dans des logements de plain-pied.

Toutefois cette EQRS est majorante car :

- Il a été retenu pour le PCE, TCE et xylènes, les concentrations maximales mesurées en PzA3. Or cet ouvrage est situé hors emprise du bâtiment ;
- Elle ne prend pas en compte la présence d'un niveau de sous-sol qui sera créé dans le cadre du projet.

De ce fait, en considérant un ou plusieurs niveaux de sous-sol, le risque est à minima divisé par un facteur 10, et 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 dans des logements avec un niveau de sous-sol au minimum.

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 15.

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.

Tableau 15 : Contribution des différents paramètres à la variance

Paramètre	Contribution à la variance	
	IR	ERI
Ka : Perméabilité à l'air du sol (en m ²)	28,8%	26%
ERbat : taux de renouvellement de l'air	62,1%	46%
T : Durée d'exposition (en années)	0,2%	21%
n : Nombre d'heure d'exposition	8,2%	6,4%
Fof : fraction d'ouverture dans le plancher (m ² /m ²)	0,4%	0,4%

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 le taux de renouvellement de l'air du bâtiment et la perméabilité à l'air du sol. Pour ces 2 paramètres, des valeurs pénalisantes ont été retenus dans le calcul de base.

➤ Discussion relative à l'additivité des risques

Les niveaux de risques finaux ont été évalués en cumulant les risques liés aux différentes substances, sans tenir compte des organes cibles et des effets engendrés. L'EQRS réalisée est donc sécuritaire en termes d'additivité des risques.

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

Étant donnée 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 dans des bâtiments avec un niveau de sous-sol.

7. CONCLUSIONS ET PRÉCONISATIONS

EIFFAGE Aménagement, titulaire d'un traité de concession sur le secteur Paul Hochart, dont le concédant est l'EPT Grand Orly Seine Bièvre (GOSB), a mandaté ERG ENVIRONNEMENT en tant qu'AMO sur la qualité sanitaire des sols dans le cadre de la réalisation de la ZAC Paul Hochart à l'Hay-les-Roses (94).

Dans le cadre de la présente étude, Eiffage Aménagement a mandaté ERG ENVIRONNEMENT pour la réalisation d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) au droit des futurs logements prévus sur le lot 5 de la future ZAC, implanté sur les parcelles cadastrales n°73, 75, 89 de la section L.

Cette présente étude a donc pour objectif d'évaluer la compatibilité sanitaire du site avec l'usage projeté.

Elle fait suite à :

- Des études et travaux de dépollution en lien avec l'ancienne ICPE TOTAL, réalisés par ARCADIS entre 2012 et 2014 (ces études ne sont pas fournies mais les conclusions sont présentées dans le rapport référencé CICEIF182989 / RICEIF00724-01 du 19/10/18 de BURGEAP en annexe);
- une étude historique documentaire et mémorielle : rapport référencé CICEIF182989 / RICEIF00724-01 du 19/10/18 de BURGEAP présentant en annexe 5 les résultats des campagnes de prélèvements des gaz du sol d'août et octobre 2016 : prélèvements des ouvrages PzA2 à PzA5 et PzA7 à PzA10 sur le site ;
- un diagnostic des milieux sol, gaz des sols et eaux souterraines : rapport ERG Environnement référencé 19LES051Ba/ENV/ME/IR/44892 du 24/03/20 présentant les résultats de la campagne de décembre 2019 : prélèvements des ouvrages PzA2 à PzA5 et PzA7 à PzA10 sur le site.

7.1 Conclusions de l'étude

Les investigations des milieux sur le lot 5 de la ZAC à l'étude ont mis en évidence la détection de composés organiques volatils dans les gaz des sols (hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, Benzène, toluène, xylènes, et COHV), susceptibles de générer un risque pour les futurs usagers, en lien avec l'exposition par inhalation de composés volatils à l'intérieur des futurs logements.

Dans ce contexte et conformément à la méthodologie décrite dans la note d'avril 2017, une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) a été réalisée afin de statuer sur la compatibilité de l'état des milieux au droit du lot 5, avec son usage et son aménagement projeté (logements avec un niveau de sous-sol).

L'EQRS a été réalisée en se basant sur les teneurs maximales mesurées dans les gaz du sol du site (résultats des 3 campagnes réalisées en 2016 et 2020) pour évaluer l'exposition des futurs occupants dans des bâtiments à usage résidentiel sans niveau de sous-sol (aménagement plus pénalisant que celui avec 1 niveau de sous-sol prévu, pris en compte dans une démarche pénalisante) par inhalation de substances volatiles. Sur cette base le calcul conduit à un IR cumulé inférieur à 1, ce qui amène à conclure à l'absence de risque pour les effets à seuil et un ERI cumulé légèrement inférieur à 10^{-5} correspondant à un niveau de risque acceptable pour les effets sans seuil.

De ce fait, la compatibilité des milieux avec l'usage futur pour l'exposition par inhalation dans des logements de plain-pied est discutable

Toutefois cette EQRS est majorante car :

- Il a été retenu pour le PCE, TCE et xylènes, les concentrations maximales mesurées en PzA3. Or cet ouvrage est situé hors emprise du bâtiment ;
- Elle ne prend pas en compte la présence d'un niveau de sous-sol qui sera créé dans le cadre du projet.

De ce fait, en considérant un ou plusieurs niveaux de sous-sol, le risque est à minima divisé par un facteur 10, et 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 dans des logements avec un niveau de sous-sol au minimum.

7.2 Préconisations sur site

ERG ENVIRONNEMENT rappelle qu'aucun contact direct avec les sols de surface n'a été pris en compte car l'ensemble des sols de surface dans l'emprise du lot 5 laissé en pleine terre et à vocation d'espaces verts, seront recouverts par des terres saines (rapport 19LES051Ba/ENV/ME/IR44892 du 24/03/20).

De plus, l'utilisation des eaux souterraines (y compris pour l'arrosage) n'est pas recommandée en l'état actuel du site (impact avéré en PCE essentiellement dans les eaux souterraines au droit du site).

L'origine des impacts mis en évidence en PCE dans les gaz des sols n'est pas connue à ce jour. En effet, aucune pollution en solvants chlorés n'a été retrouvée dans les sols sur le site lors des investigations antérieures et aucune source potentielle de pollution en lien avec cette famille de polluant n'a été mise en évidence sur le site.

Toutefois, à l'échelle de la ZAC, il a été mis en évidence lors des 3 campagnes de prélèvements des gaz des sols, des teneurs en PCE et TCE beaucoup plus importantes au niveau de l'ouvrage PzA3 (partie nord du lot 5) que sur les autres ouvrages (situés sur le Lot 1, Groupe scolaire en amont hydraulique et sur le lot 5, en aval de PzA3), laissant supposer la présence d'un impact en COHV dans les sols sur site à proximité de l'ouvrage PzA3.

Par ailleurs, un impact en PCE et TCE est avéré dans les eaux souterraines. Il a été mis en évidence des concentrations du même ordre de grandeur entre l'amont et l'aval hydraulique de la ZAC mais avec toutefois un gradient décroissant entre l'amont et l'aval, témoignant de la présence d'un impact hors ZAC dans les eaux souterraine

De ce fait, il semble que la source de pollution observée dans les eaux soit au moins pour partie responsable de ces dégazages et que cette source se trouve en dehors du périmètre d'étude. Elle n'est à ce jour pas maîtrisée au droit du site. Il est donc nécessaire d'alerter l'administration (DREAL) pour qu'une étude hors site (diagnostic et plan de Gestion) soit effectuée afin de déterminer l'origine de la pollution dans les eaux souterraines. Cette pollution ayant un impact sur le voisinage, une IEM hors site est nécessaire.

Par ailleurs, afin de lever le doute sur la présence d'une source de pollution dans les sols à proximité de l'ouvrage PzA3 et conformément à la Méthodologie Nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017, bien que les impacts se révèlent acceptables au regard des usages constatés et projetés, des investigations complémentaires du milieu sol et gaz des sols sont nécessaires au niveau de PzA3. En fonction des conclusions de ces investigations, il pourra être nécessaire de réaliser un plan de gestion.

De plus, dans l'attente de la maîtrise de la source de pollution et de leurs impacts, il peut être nécessaire de mettre en place une surveillance des milieux d'exposition pour consolider les premiers résultats et suivre l'évolution de la situation.

7.3 Préconisations générales

Lors de tous travaux d'aménagement, le Maître d'Ouvrage prendra 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).

En particulier, conformément à la législation en vigueur, si le projet d'aménagement devait générer l'excavation et l'évacuation hors site de matériaux, des analyses des futurs déblais selon les critères de l'Arrêté Ministériel du 12/12/2014 sont préconisées afin de connaître la filière d'orientation de ces déblais, et ainsi vérifier leur acceptabilité ou non en Installation de Stockage de Déchets Inertes au sens de l'Arrêté du 12/12/2014.

7.4 Limites de l'étude

L'étude et les conclusions reposent sur les connaissances disponibles au moment de la rédaction de la présente étude.

Les conclusions et préconisations émises dans le présent rapport sont fonction du projet d'aménagement retenu ; en cas de tout changement d'usage ou modification du projet, les conclusions et préconisations émises dans le présent rapport devront être adaptées après reprise du schéma conceptuel d'exposition.

Les campagnes de prélèvement des gaz des sols rendent compte d'un état du milieu à un instant donné. Des événements ultérieurs à ces campagnes (interventions humaines, traitement des terres pour améliorer leurs caractéristiques mécaniques, ou phénomènes naturels) peuvent modifier la situation observée à cet instant.

La responsabilité d'ERG ENVIRONNEMENT ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes et/ou erronées et en cas d'omission, de défaillance et/ou erreur dans les informations communiquées.

Mathilde ECOUELLAN

Ingénieure d'études



ANNEXES

A1. DONNEES GENERALES SUR LE SITE

- A1.1 Vue aérienne actuelle du site
- A1.2 Localisation du site sur fond de plan IGN
- A1.3 Localisation du site sur fond de plan cadastral

A2. DONNEES ISSUES DES INVESTIGATIONS ANTERIEURES

- A2.1 Plan de localisation des piézairs
- A2.2 Résultats analytiques du milieu gaz des sols – investigations de 2016
- A2.3 Résultats analytiques du milieu gaz des sols – investigations de février 2020
- A2.4 Cartographie des anomalies en PCE et TCE mises en évidence lors des 3 campagnes de gaz des sols

A3. EVALUATION QUANTITATIVE DU RISQUE SANITAIRE

- A3.1 Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
- A3.2 Etude des incertitudes et étude de sensibilité

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

A1.1	Vue aérienne actuelle du site
-------------	--------------------------------------



Périmètre de la ZAC

Partie de la ZAC à l'étude

Ancienne station-service TOTAL
aujourd'hui occupée par une casse-
automobile illégale

Échelle 1 : 2 132

0 50 m

**EQRS Lot 5 – ZAC Pau Hochart
L'Hay les Roses (94)**

Photographie aérienne récente du site d'étude
Source : Géoportail

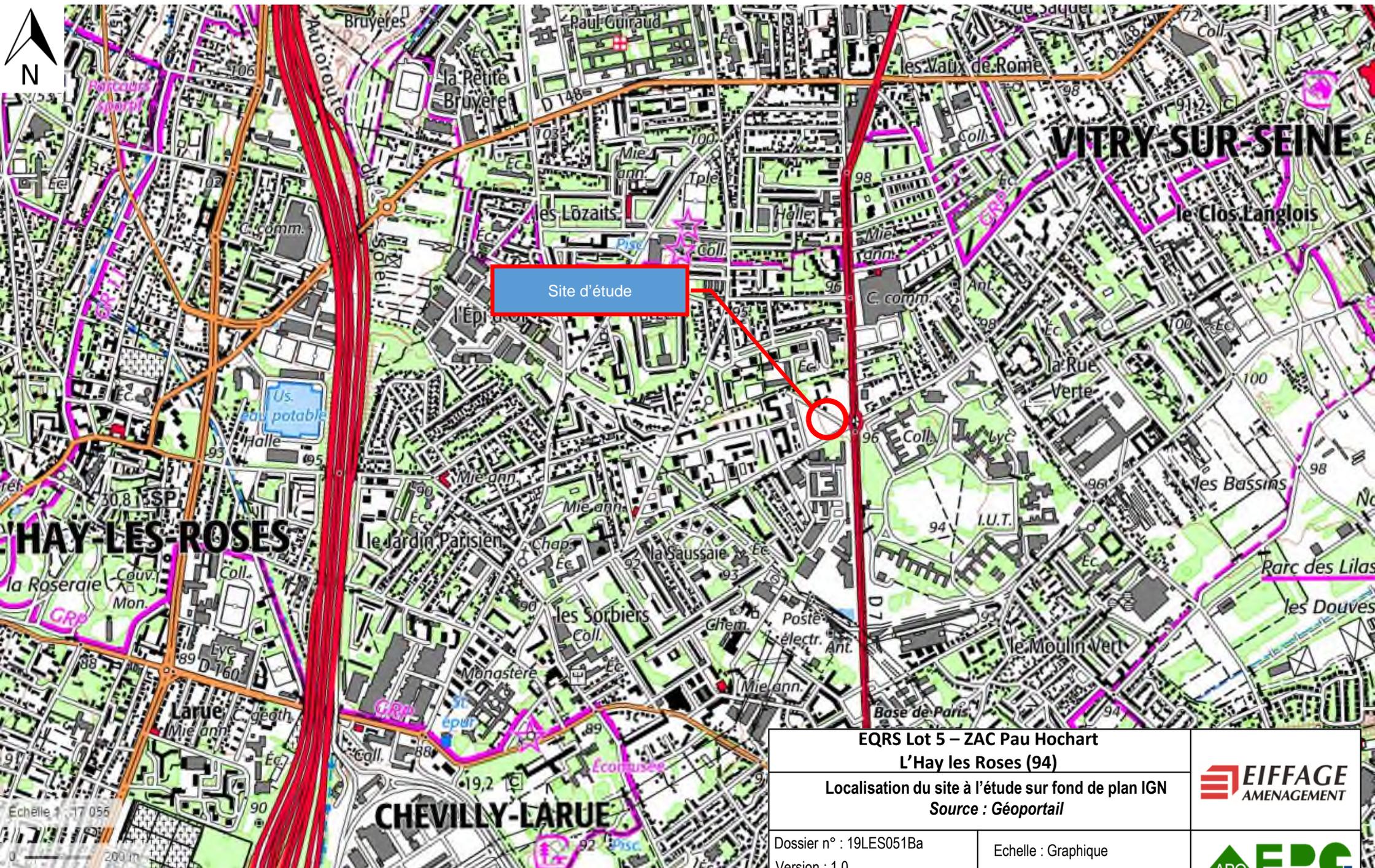
Dossier n° : 19LES051Ba
Version : 1.0
Etabli par : ME

Echelle : Graphique
Date : 06/01/20

 **EIFFAGE**
AMENAGEMENT

 **ABO ERG**
ENVIRONNEMENT

A1.2	Localisation du site sur fond de plan IGN
-------------	--



Site d'étude

**EQRS Lot 5 – ZAC Pau Hochart
L'Hay les Roses (94)**

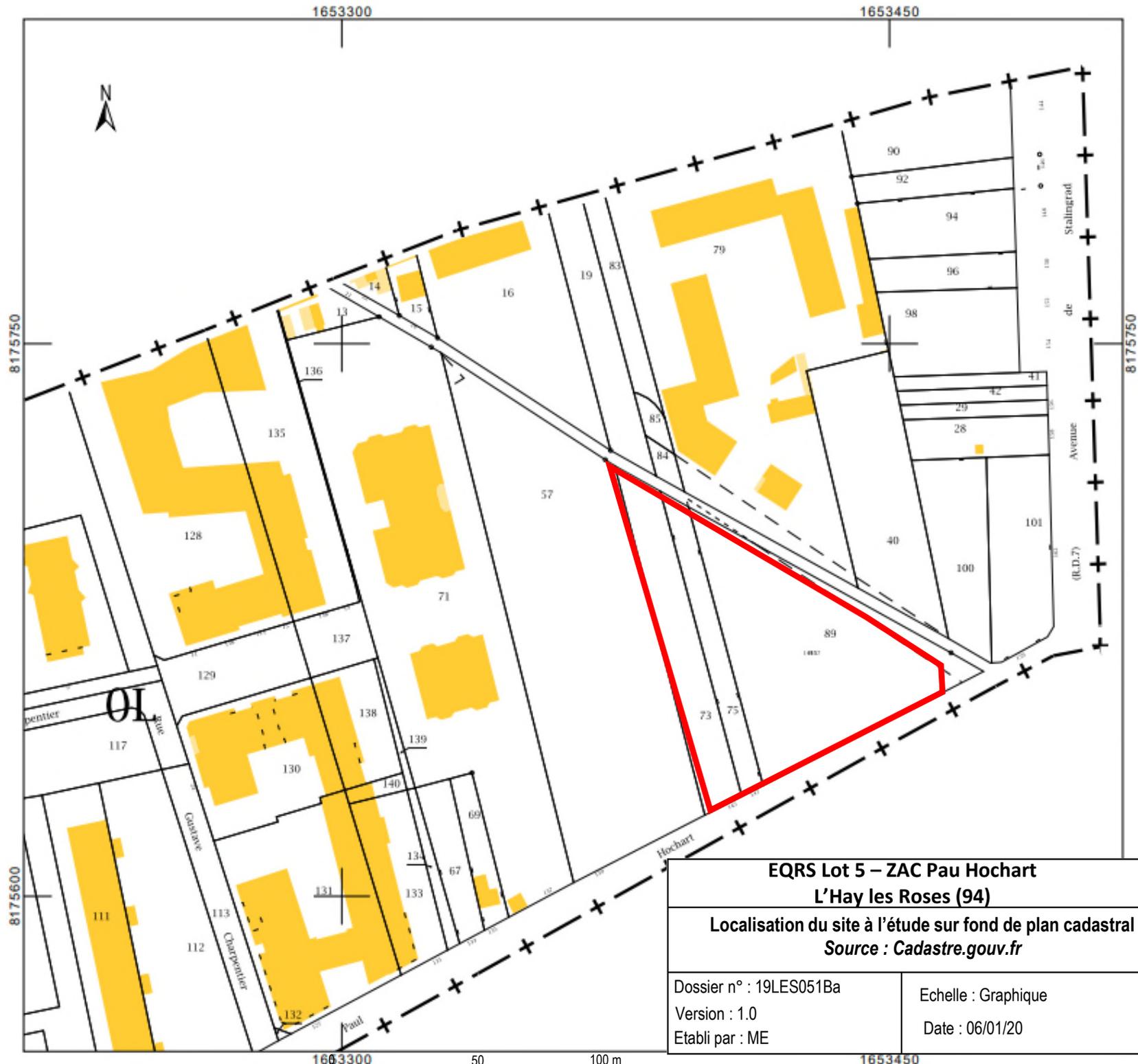
Localisation du site à l'étude sur fond de plan IGN
Source : Géoportail

Dossier n° : 19LES051Ba
Version : 1.0
Etabli par : ME

Echelle : Graphique
Date : 06/01/20



A1.3	Localisation du site sur fond de plan cadastral
-------------	--



**EQRS Lot 5 – ZAC Pau Hochart
L’Hay les Roses (94)**
Localisation du site à l’étude sur fond de plan cadastral
Source : Cadastre.gouv.fr



Dossier n° : 19LES051Ba
Version : 1.0
Etabli par : ME

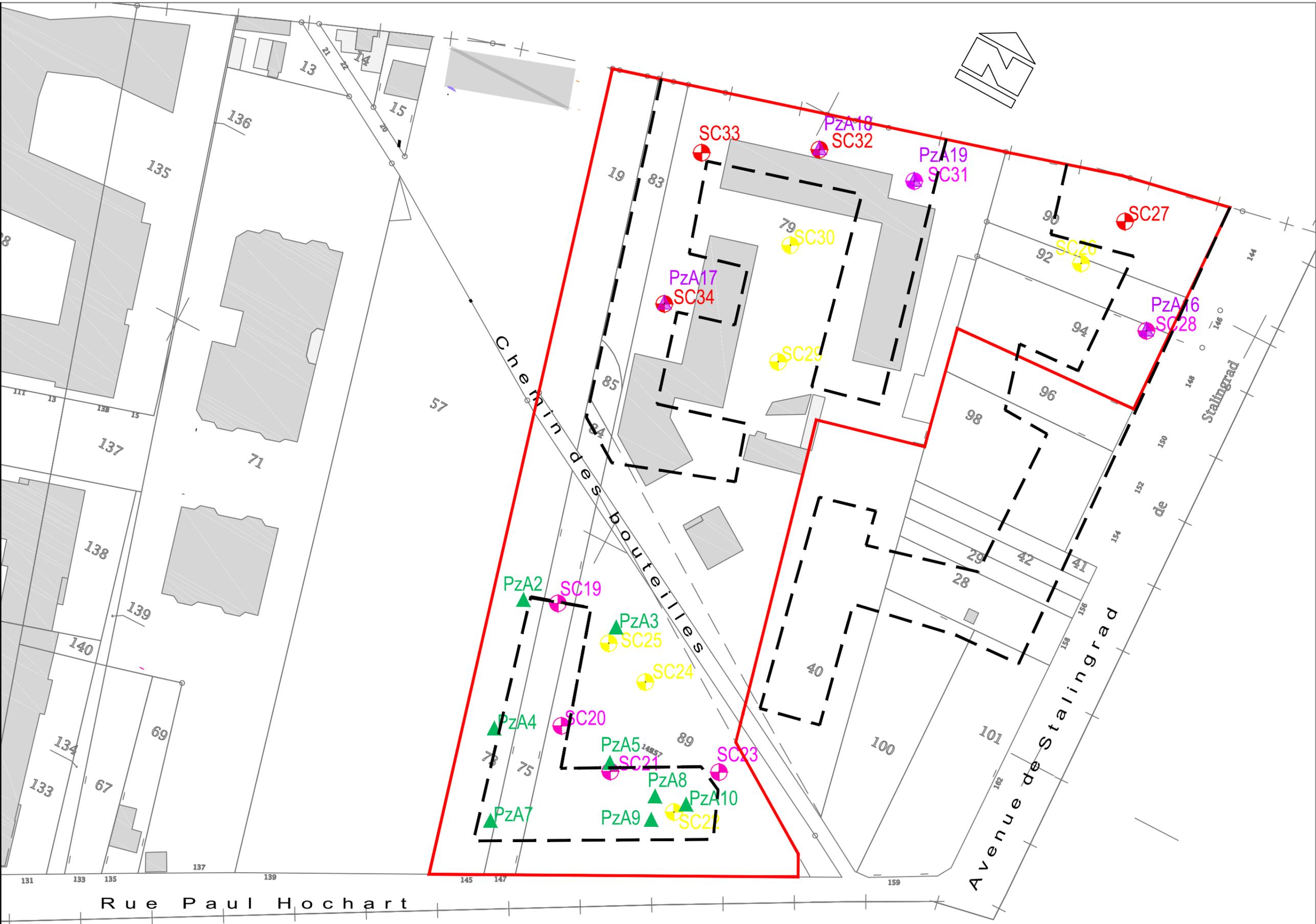
Echelle : Graphique
Date : 06/01/20



A.2	DONNEES ISSUES DES INVESTIGATIONS ANTERIEURES
------------	--

A.2.1	Plan de localisation des piézairs
--------------	--

RGF93CC49		
Sondage	X	Y
Sondage ERG		
Pz. 101	1653399.576	8175795.039
Pz. 102	1653356.079	8175750.485
Pz1-ERG.1	1653294.832	8175740.262
Pz2-ERG.1	1653332.028	8175776.956
Pz3-ERG.1	1653381.306	8175790.442
Pz4-ERG.1	1653465.080	8175808.685
PZA1	1653358.925	8175672.799
PZA6	1653378.739	8175619.265
PZA11	1653328.228	8175767.184
PZA12	1653339.241	8175753.808
PZA13	1653310.233	8175734.468
PZA14	1653299.654	8175744.116
PZA15	1653351.867	8175708.914
PZA16	1653479.459	8175790.685
PZA17	1653388.128	8175749.426
PZA18	1653401.899	8175792.674
PZA19	1653422.392	8175795.972
PzAmont	1653414.051	8175680.613
PzAval	1653415.366	8175644.590
PzCentre	1653432.421	8175663.833
PzLatéral	1653382.682	8175658.908
SC1	1653351.867	8175708.914
SC2	1653345.704	8175715.153
SC3	1653350.969	8175783.731
SC4	1653353.758	8175775.299
SC5	1653328.228	8175767.184
SC6	1653339.241	8175753.808
SC7	1653310.233	8175734.468
SC8	1653299.654	8175744.116
SC9	1653347.146	8175696.618
SC10	1653322.366	8175743.339
SC11	1653336.212	8175731.831
SC12	1653326.830	8175633.960
SC13	1653352.369	8175671.578
SC14	1653368.029	8175666.710
SC15	1653378.070	8175635.648
SC16	1653367.676	8175615.357
SC17	1653345.769	8175620.910
SC18	1653357.843	8175649.572
SC19	1653397.242	8175684.141
SC20	1653409.581	8175661.950
SC21	1653422.971	8175658.273
SC22	1653438.566	8175656.900
SC23	1653443.037	8175668.557
SC24	1653420.859	8175678.046
SC25	1653410.401	8175681.667
SC26	1653460.979	8175796.820
SC27	1653465.062	8175808.725
SC28	1653479.459	8175790.685
SC29	1653414.638	8175749.687
SC30	1653405.718	8175772.306
SC31	1653422.392	8175795.972
SC32	1653401.899	8175792.674
SC33	1653380.521	8175780.796
SC34	1653388.128	8175749.426
Sondage Burgeap		
PzA2	1653390.665	8175681.214
PzA3	1653410.357	8175685.043
PzA4	1653397.594	8175654.764
PzA5	1653422.182	8175659.520
PzA7	1653405.738	8175637.428
PzA8	1653433.699	8175657.687
PzA9	1653435.248	8175653.005
PzA10	1653440.205	8175659.156



LEGENDE :

- Limite du site étudié
- Implantation du nouveau bâtiment

Sondage ERG:

- Sondage carotté à la géoprobe à 1 m de profondeur
- Sondage carotté à la géoprobe à 4 m de profondeur
- Sondage carotté à la géoprobe à 6 m de profondeur (pour au maximum 2 niveaux de sous-sol)
- ▼ Piézair crépiné entre 1 et 2 m

Sondage Burgeap:

- ▼ Piézair crépiné entre 2 et 2.5 m

Diagnostic du milieu sol - L'Hay les roses (92)

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES REALISES

Dossier n° : 19LES051Ab Version : 1.0
 Plan fourni par : le client
 Etabli par : ME/EP

Echelle : 1/750 - Format A3 -
 Date : 27/02/2020

EIFFAGE AMÉNAGEMENT

ABC **ERG** ENVIRONNEMENT

A.2.2	Résultats analytiques du milieu gaz des sols – investigations de 2016
--------------	--

A.2.3	Résultats analytiques du milieu gaz des sols – investigations de février 2020
--------------	--

	Valeurs de gestion retenues	PzA2		PzA3		PzA4		PzA5		PzA7		PzA8		PzA9		PzA10		
		TCA 100/50	Calcul avec facteur de dilution FD =10	TCA 100/50	Calcul avec facteur de dilution FD =10	TCA 100/50	Calcul avec facteur de dilution FD =10	TCA 100/50	Calcul avec facteur de dilution FD =10	TCA 100/50	Calcul avec facteur de dilution FD =10	TCA 100/50	Calcul avec facteur de dilution FD =10	TCA 100/50	Calcul avec facteur de dilution FD =10	TCA 100/50	Calcul avec facteur de dilution FD =10	
		Zone de mesure		Zone de mesure		Zone de mesure		Zone de mesure		Zone de mesure		Zone de mesure		Zone de mesure		Zone de mesure		
Hydrocarbures																		
HCT C5-C6 aliphatiques	µg/m3	18 400	<52,21	<5,22	<49,37	<4,94	<51,19	<5,12	<50,94	<5,09	<52,48	<5,25	<53,15	<5,31	<51,19	<5,12	<52,21	<5,22
HCT C6-C8 aliphatiques	µg/m3	18 400	<52,21	<5,22	<49,37	<4,94	<51,19	<5,12	<50,94	<5,09	<52,48	<5,25	<53,15	<5,31	<51,19	<5,12	<52,21	<5,22
HCT C8-C10 aliphatiques	µg/m3	1 000	<52,21	<5,22	<49,37	<4,94	<51,19	<5,12	55,22	5,52	<52,48	<5,25	<53,15	<5,31	<51,19	<5,12	<52,21	<5,22
HCT C10-C12 aliphatiques	µg/m3	1 000	<52,21	<5,22	<49,37	<4,94	<51,19	<5,12	<50,94	<5,09	<52,48	<5,25	54,00	5,40	<51,19	<5,12	63,49	6,35
HCT C12-C16 aliphatiques	µg/m3	1 000	<52,21	<5,22	<49,37	<4,94	<51,19	<5,12	<50,94	<5,09	<52,48	<5,25	<53,15	<5,31	<51,19	<5,12	<52,21	<5,22
Total Aliphatiques	µg/m3		<52,21	<5,22	<49,37	<4,94	<51,19	<5,12	55,22	5,52	<52,48	<5,25	54,00	5,40	<51,19	<5,12	63,49	6,35
HCT C6-C7 aromatiques (benzène)	µg/m3	2	<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
HCT C7-C8 aromatiques (toluène)	µg/m3	20 000	<4,18	<0,42	<3,95	<0,39	<4,10	<0,41	<4,07	<0,41	<4,20	<0,42	<4,25	<0,43	<4,10	<0,41	<4,18	<0,42
HCT C8-C10 aromatiques	µg/m3	200	<52,21	<5,22	<49,37	<4,94	<51,19	<5,12	<50,94	<5,09	<52,48	<5,25	<53,15	<5,31	<51,19	<5,12	<52,21	<5,22
HCT C10-C12 aromatiques	µg/m3	200	<52,21	<5,22	<49,37	<4,94	<51,19	<5,12	<50,94	<5,09	<52,48	<5,25	<53,15	<5,31	<51,19	<5,12	<52,21	<5,22
HCT C12-C16 aromatiques	µg/m3	200	<52,21	<5,22	<49,37	<4,94	<51,19	<5,12	<50,94	<5,09	<52,48	<5,25	<53,15	<5,31	<51,19	<5,12	<52,21	<5,22
Total Aromatiques	µg/m3		<52,21	<5,22	<49,37	<4,94	<51,19	<5,12	<50,94	<5,09	<52,48	<5,25	<53,15	<5,31	<51,19	<5,12	<52,21	<5,22
Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes (BTEX) et Naphtalène (µg/m3)																		
Benzène	µg/m3	2	<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
Toluène	µg/m3	20 000	<4,18	<0,42	<3,95	<0,39	<4,10	<0,41	<4,07	<0,41	<4,20	<0,42	<4,25	<0,43	<4,10	<0,41	<4,18	<0,42
Ethylbenzène	µg/m3	1 500	<2,09	<0,21	<1,97	<0,20	<2,05	<0,20	<2,04	<0,20	<2,10	<0,21	<2,13	<0,21	<2,05	<0,20	<2,09	<0,21
m+p-Xylène	µg/m3	180	<2,09	<0,21	<1,97	<0,20	2,46	0,25	<2,04	<0,20	<2,10	<0,21	6,16	0,62	2,25	0,23	5,64	0,56
o-Xylène	µg/m3		<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	2,55	0,26	<1,02	<0,10	2,30	0,23
MTBE	µg/m3		<52,21	<5,22	<49,37	<4,94	<51,19	<5,12	<50,94	<5,09	<52,48	<5,25	<53,15	<5,31	<51,19	<5,12	<52,21	<5,22
Naphtalène	µg/m3	10	<2,09	<0,21	<1,97	<0,20	<2,05	<0,20	<2,04	<0,20	<2,10	<0,21	<2,13	<0,21	<2,05	<0,20	<2,09	<0,21
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)																		
Dichlorométhane	µg/m3	10	<2,09	<0,21	<1,97	<0,20	<2,05	<0,20	<2,04	<0,20	<2,10	<0,21	<2,13	<0,21	<2,05	<0,20	<2,09	<0,21
Chlorure de vinyle	µg/m3	2,6	<2,09	<0,21	<1,97	<0,20	<2,05	<0,20	<2,04	<0,20	<2,10	<0,21	<2,13	<0,21	<2,05	<0,20	<2,09	<0,21
1,1-Dichloroéthylène	µg/m3		<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	1,09	0,11	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
trans 1,2-Dichloroéthène	µg/m3		<1,04	<0,10	1,43	0,14	<1,02	<0,10	1,05	0,11	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
cis 1,2-Dichloroéthène	µg/m3	60	<1,04	<0,10	10,05	1,01	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
Chloroforme	µg/m3	63	<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	1,52	0,15	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	1,35	0,13
Tétrachlorométhane	µg/m3	38	<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
1,1-Dichloroéthane	µg/m3		<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
1,2-Dichloroéthane	µg/m3		<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
1,1,1-trichloroéthane	µg/m3	1 000	<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
1,1,2-Trichloroéthane	µg/m3		<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
Trichloroéthylène	µg/m3	2	<1,04	<0,10	29,82	2,98	<1,02	<0,10	7,13	0,71	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	4,10	0,41	4,18	0,42
Tétrachloroéthylène	µg/m3	250	29,66	2,97	7 938,39	793,84	31,12	3,11	248,57	24,86	39,46	3,95	19,56	1,96	163,39	16,34	229,74	22,97
Bromochlorométhane	µg/m3		<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
Dibromométhane	µg/m3		<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
1,2-Dibromoéthane	µg/m3		<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
Tribromométhane (Bromoforme)	µg/m3	9	<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
Bromodichlorométhane	µg/m3		<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10
Dibromochlorométhane	µg/m3		<1,04	<0,10	<0,99	<0,10	<1,02	<0,10	<1,02	<0,10	<1,05	<0,10	<1,06	<0,11	<1,02	<0,10	<1,04	<0,10

Légende :

XXX dépassement de la valeur seuil retenue (VTR, VGAI, ANSES ou HCSP)
 XXX dépassement de la valeur seuil retenue même avec la prise en compte du facteur de dilution (VTR, VGAI, ANSES ou HCSP)

A.2.4	Cartographie des anomalies en PCE et TCE mises en évidence lors des 3 campagnes de gaz des sols
--------------	--

PzA3	04/08/16 BURGEAP	12/10/16 BURGEAP	17/02/20 ERG
PCE	505,6	11 026	7 938
TCE	4,4	87,2	29,8

PzA2	04/08/16 BURGEAP	12/10/16 BURGEAP	17/02/20 ERG
PCE	2 108	640	29,7
TCE	13,3	<LQ	<LQ

PzA4	04/08/16 BURGEAP	12/10/16 BURGEAP	19/02/20 ERG
PCE	886,1	2 197	31,1
TCE	9,4	4,7	<LQ

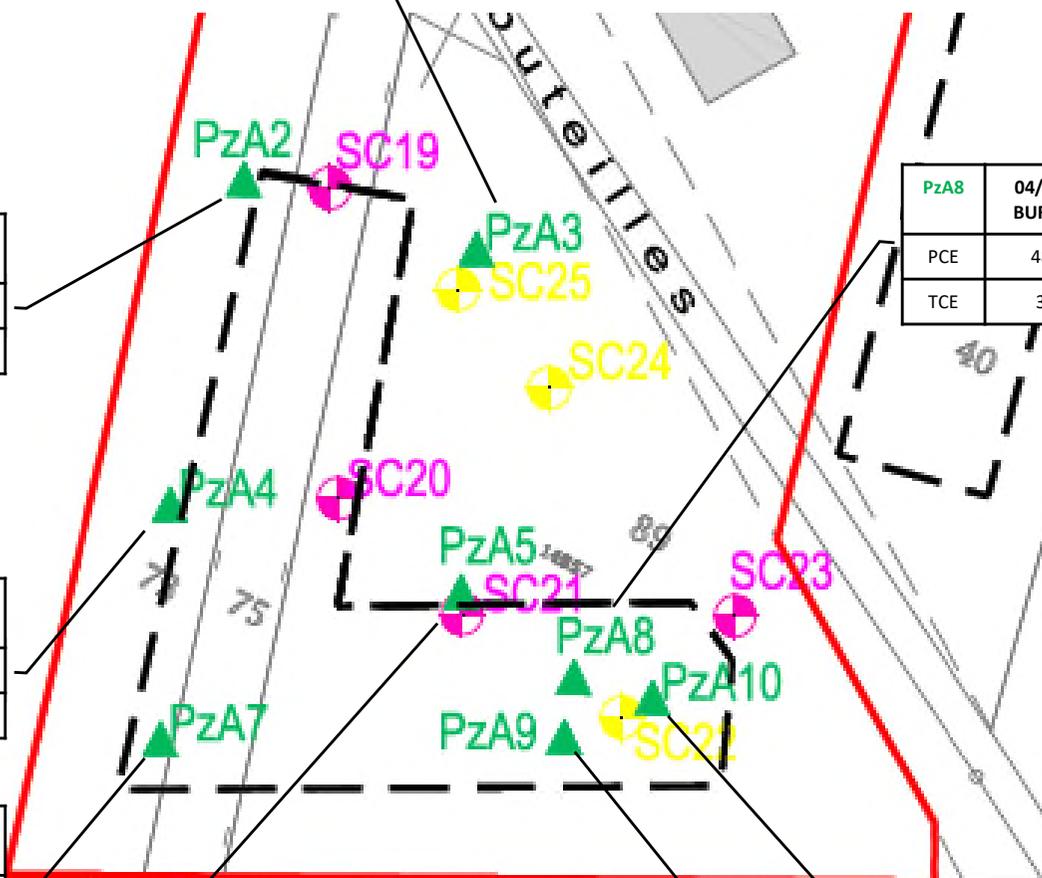
PzA7	04/08/16 BURGEAP	12/10/16 BURGEAP	19/02/20 ERG
PCE	127,8	102,8	39,5
TCE	<LQ	<LQ	<LQ

PzA5	04/08/16 BURGEAP	12/10/16 BURGEAP	17/02/20 ERG
PCE	2 492	2 233	248,6
TCE	75	65,8	7,3

PzA8	04/08/16 BURGEAP	12/10/16 BURGEAP	17/02/20 ERG
PCE	483,8	486,1	19,6
TCE	36,1	25,6	<LQ

PzA10	04/08/16 BURGEAP	12/10/16 BURGEAP	17/02/20 ERG
PCE	1 822	919	229,7
TCE	44,4	20,6	4,2

PzA9	04/08/16 BURGEAP	12/10/16 BURGEAP	17/02/20 ERG
PCE	1 394	1 003	163,4
TCE	55,6	32,9	4,1



Légende :
 Les concentrations mesurées dans les gaz des sols sont exprimées en µg/m3
 ▲ Piézaires BURGEAP crépinés entre 2 et 2,5 m

A.3	EVALUATION QUANTITATIVE DU RISQUE SANITAIRE
------------	--

A.3.1	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
--------------	---

MODELISATION DES TRANSFERTS DES SOLS VERS L'AIR AMBIANT D'UN BATIMENT DE PLAIN-PIED

Transfert vapeurs : modélisation par JOHNSON & ETTINGER			Benzene		Toluene	Xylenes
Unité	Substance(s) retenue(s) : Désignation	Abr.				
m	Profondeur entre la source de contamination et la surface du bâtiment	Lt	0,2			
kg/m3	Masse volumique du sol	ρ_s	1600			
adim.	Fraction Carbone Organique	foc	0,002			
Pa.m3/mol.K	Constante des gaz parfaits	R	8,3144			
Kelvin	Température	T	293			
Pa.m3/mol	Constante de Henry	He	5,59E+02	6,73E+02	7,32E+02	
adim.			2,37E-01	2,86E-01	3,11E-01	
L/Kg	Coefficient de partage Matière organique eau	Koc	6,00E+01	1,00E+02	2,40E+02	
m3/Kg	Coefficient de partage sol-eau	Kd	0,00012	0,0002	0,00048	
	Porosité	n	0,374			
	Fraction volumique d'eau du sol	Vw	0,054			
	Fraction volumique d'air du sol	Va	0,32			
mg/m3	Concentration Air du sol	Csa	0,04	0,00	0,02	
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentration Air du sol		42,80	4,20	20,70	
m2/s	Coeff. Diffusion dans l'air libre	Da	8,80E-06	8,70E-06	8,40E-06	
m2/s	Coeff. Diffusion dans l'eau	Dw	9,80E-10	8,60E-10	1,00E-09	
m2/s	Coeff. Diffusion dans l'air du sol	Dsa	1,41E-06	1,39E-06	1,35E-06	
m2/s	Coeff. Diffusion dans l'eau du sol	Dpw	4,17E-13	3,66E-13	4,26E-13	
m2/s	Coeff. Diffusion équivalent dans l'eau et l'air du sol	Ddiff	1,41E-06	1,39E-06	1,35E-06	
m	Longueur du rez de chaussée	L _{RAC}	10			
m	Largeur du rez de chaussée	W _{RAC}	5			
m	hauteur du rez de chaussée	H _{RAC}	2,5			
h ⁻¹	Taux de renouvellement de l'air du rez de chaussée	ER	0,5			
m ³ .s ⁻¹	Taux de ventilation dans le rez de chaussée	Q _{RAC}	1,74E-02			
m ²	Perméabilité à l'air du sol (type de sol)	kv	1,00E-11			
g.cm ⁻¹ .s ⁻¹	Viscosité dynamique de l'air	μ_{air}	1,75E-04			
m	Profondeur des fissures = épaisseur du plancher (= L _{crack})	Z _{crack}	0,20			
m	Périmètre de jonction sol - mur	X _{crack}	30			
g.cm ⁻¹ .s ⁻²	Différence de pression entre l'air du sol et l'air du rez de chaussée	ΔP	40			
m ²	Surface du rez de chaussée	A _{RAC}	50			
Adim	Fraction d'ouvertures dans le plancher du rez de chaussée	f _{of}	0,00001			
m ²	Surface totale des ouvertures du plancher	A _{crack}	0,0005			
m	Rayon équivalent des fissures du plancher	r _{crack}	1,67E-05			
m ³ .s ⁻¹	Flux de gaz issu du sol et pénétrant dans le rez de chaussée	Q _{entrant}	4,27E-05			
m	épaisseur du plancher	L _{crack}	0,20			
m2/s	Coefficient de diffusion effectif à travers les fissures du plancher du rez de chaussée	D _{crack}	1,41E-06			
adim	Nombre de PECCLET	Pe	1,21E+04			
adim	Coefficient de transfert de l'air du sol vers l'atmosphère confinée du rez de chaussée	α	2,19E-03	2,19E-03	2,18E-03	
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentration de la substance dans l'air ambiant du rez de chaussée	C _{RAC}	9,39E-02	9,20E-03	4,52E-02	
Concentration inhalée			Effet à seuil	Effet sans seuil	Effet à seuil	Effet à seuil
	Fréquence d'exposition : Nombre de jours d'exposition / 365 jours	T/Tm	1	0,57		
	Fraction du temps d'exposition à la concentration C1 pendant une journée	F	0,96	0,96		
	Concentration de la substance dans l'air ambiant du rez de chaussée	ti	0,90	0,90	9,20E-03	4,52E-02
	Concentration moyenne inhalée dans le rez de chaussée	C _{RAC}	9,39E-02	9,39E-02	7,93E-03	3,89E-02
		CI	8,09E-02	4,62E-02		
		VTRinhal	1,00E+01	2,60E-05	1,90E+04	2,17E+02
			$\mu\text{g}/\text{m}^3$	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)-1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Niveau de Risque			IR	ERI	IR	IR
			8,09E-03	1,20E-06	4,17E-07	1,79E-04
Niveau de Risque - somme des BTEX			IR	8,27E-03		
			ERI	1,20E-06		
			3,48E-03	5,03E-07		



MODELISATION DES TRANSFERTS DES SOLS VERS L'AIR AMBIANT D'UN BATIMENT DE PLAIN-PIED

Transfert vapeurs : modélisation par JOHNSON & ETTINGER		Substance(s) retenue(s) :				
Unité	Désignation	Abr.	Alii C5-C6	Alii C6-C8	Alii C8-C10	Alii C10-C12
m	Profondeur entre la source de contamination et la surface du bâtiment	Lt	0,2			
kg/m3	Masse volumique du sol	ρs	1600			
adim.	Fraction Carbone Organique	foc	0,002			
Pa.m3/mol.K	Constante des gaz parfaits	R	8,3144			
Kelvin	Température	T	283			
Pa.m3/mol	Constante de Henry	He				
adim.	Coefficient de partage Matière organique eau	Koc	3,30E+01	5,00E+01	8,00E+01	1,20E+02
L/Kg	Coefficient de partage sol-eau	Kd	7,94E+02	3,98E+03	3,16E+04	2,52E+05
m3/Kg	Porosité	n	0,0015886	0,007962	0,06324	0,5042
-	Fraction volumique d'eau du sol	Vw	0,374			
-	Fraction volumique d'air du sol	Va	0,054			
µg/m3	Concentration Air du sol	Csa		69,40	72,20	269,40
m2/s	Coeff. Diffusion dans l'air libre	Da	1,00E-05	1,00E-05	1,00E-05	1,00E-05
m2/s	Coeff. Diffusion dans l'eau	Dw	1,00E-09	1,00E-09	1,00E-09	1,00E-09
m2/s	Coeff. Diffusion dans l'air du sol	Dsa	1,60E-06	1,60E-06	1,60E-06	1,60E-06
m2/s	Coeff. Diffusion dans l'eau du sol	Dpw	4,26E-13	4,26E-13	4,26E-13	4,26E-13
m2/s	Coeff. Diffusion équivalent dans l'eau et l'air du sol	Ddif	1,60E-06	1,60E-06	1,60E-06	1,60E-06
m	Longueur du rez de chaussée	Lrac	10			
m	Largeur du rez de chaussée	Wrac	5			
m	hauteur du rez de chaussée	Hrac	2,5			
h-1	Taux de renouvellement de l'air du rez de chaussée	ER	0,5			
m3.s-1	Taux de ventilation dans le rez de chaussée	Qrac	1,74E-02			
m2	Perméabilité à l'air du sol (type de sol)	kv	1,00E-11			
g.cm-1.s-1	Viscosité dynamique de l'air	µair	1,75E-04			
m	Profondeur des fissures = épaisseur du plancher (= Lcrack)	Zcrack	0,20			
m	Périmètre de jonction sol - mur	Xcrack	30			
g.cm-1.s-2	Différence de pression entre l'air du sol et l'air du rez de chaussée	ΔP	40			
m2	Surface du rez de chaussée	ARac	50			
Adim	Fraction d'ouvertures dans le plancher du rez de chaussée	fot	0,00001			
m2	Surface totale des ouvertures du plancher	Acrack	0,0005			
m	Rayon équivalent des fissures du plancher	rcrack	1,67E-05			
m3.s-1	Flux de gaz issu du sol et pénétrant dans le rez de chaussée	Qentrant	4,27E-05			
m	épaisseur du plancher	Lcrack	0,20			
m2/s	Coefficient de diffusion effectif à travers les fissures du plancher du rez de chaussée	Dcrack	1,60E-06			
adim	Nombre de PECLLET	PE	1,07E+04			
adim	Coefficient de transfert de l'air du sol vers l'atmosphère confinée du rez de chaussée	α	2,22E-03	2,22E-03	2,22E-03	2,22E-03
µg/m3	Concentration de la substance dans l'air ambiant du rez de chaussée	Crac	0,00E+00	1,54E-01	1,60E-01	5,99E-01
Concentration inhalée			Effet à seuil	Effet à seuil	Effet à seuil	Effet à seuil
	T/Tm		1			
	F		0,96			
	ti		0,90			
	Crac		0,00E+00	1,54E-01	1,60E-01	5,99E-01
	CI		0,00E+00	1,33E-01	1,38E-01	5,16E-01
	VTRinhal		18400	18400	1000	1000
			µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
	Niveau de Risque		IR	IR	IR	IR
			0,00E+00	7,22E-06	1,38E-04	5,16E-04
	Niveau de Risque - somme des HCT		IR	6,61E-04		
	Niveau de Risque - somme des HCT + HAP + BTEX		IR	8,93E-03		
			ERI	1,20E-06		



Transfert vapeurs : modélisation par JOHNSON & ETTINGER			Trichlorométhane (chloroforme)	Trichloroéthylène	Tétrachloroéthylène	1,1-Dichloroéthène	Cis-1,2-Dichloroéthène	Trans-1,2-Dichloroéthène	1,1,1-trichloroéthène
Unité	Substance(s) retenue(s) : Désignation	Abr.							
m	Profondeur entre la source de contamination et la surface du bâtiment	Lt							
kg/m3	Masse volumique du sol	ρs							
adim.	Fraction Carbone Organique	foc							
Pa.m3/mol.K	Constante des gaz parfaits	R							
Kelvin	Température	T							
Pa.m3/mol	Constante de Henry	He	3,84E+02	1,04E+03	1,84E+03	2,83E+03	4,07E+02	9,52E+02	1,87E+03
adim.	Coefficient de partage Matière organique eau	Koc	1,63E-01	4,44E-01	7,84E-01	1,20E+00	1,73E-01	4,05E-01	7,94E-01
L/Kg	Coefficient de partage sol-eau	Kd	6,00E+01	1,11E+02	2,47E+02	6,50E+01	3,55E+01	3,80E+01	4,86E+01
m3/Kg	Porosité	n	0,00012	0,000222	0,000494	0,00013	0,000071	0,000076	0,00009728
	Fraction volumique d'eau du sol	Vw							
	Fraction volumique d'air du sol	Va							
µg/m3	Concentration Air du sol	Csa	16,10	87,20	11026,00	1,09	71,80	7,90	188,90
m2/s	Coeff. Diffusion dans l'air libre	Da	1,04E-04	7,90E-06	7,20E-06	8,70E-04	7,36E-06	7,70E-06	7,80E-06
m2/s	Coeff. Diffusion dans l'eau	Dw	1,00E-09	9,10E-10	8,20E-10	9,90E-10	1,13E-09	1,19E-09	8,80E-10
m2/s	Coeff. Diffusion dans l'air du sol	Dsa	1,67E-05	1,27E-06	1,15E-06	1,39E-04	1,18E-06	1,23E-06	1,25E-06
m2/s	Coeff. Diffusion dans l'eau du sol	Dpw	4,26E-13	3,87E-13	3,49E-13	4,21E-13	4,81E-13	5,06E-14	3,74E-13
m2/s	Coeff. Diffusion équivalent dans l'eau et l'air du sol	Ddiff	1,67E-05	1,27E-06	1,15E-06	1,39E-04	1,18E-06	1,23E-06	1,25E-06
m	Longueur du rez de chaussée	Lrac							
m	Largeur du rez de chaussée	Wrac							
m	hauteur du rez de chaussée	Hrac							
h-1	Taux de renouvellement de l'air du rez de chaussée	ER							
m3.s-1	Taux de ventilation dans le rez de chaussée	Qrac							
m2	Perméabilité à l'air du sol (type de sol)	kv							
g.cm-1.s-1	Viscosité dynamique de l'air	Hair							
m	Profondeur des fissures = épaisseur du plancher (= Lcrack)	Zcrack							
m	Périmètre de jonction sol - mur	Xcrack							
g.cm-1.s-2	Différence de pression entre l'air du sol et l'air du rez de chaussée	ΔP							
m2	Surface du rez de chaussée	Arac							
Adim	Fraction d'ouvertures dans le plancher du rez de chaussée	fuf							
m2	Surface totale des ouvertures du plancher	Acrack							
m	Rayon équivalent des fissures du plancher	rcrack							
m3.s-1	Flux de gaz issu du sol et pénétrant dans le rez de chaussée	Qentrant							
m	épaisseur du plancher	Lcrack							
m2/s	Coefficient de diffusion effectif à travers les fissures du plancher du rez de chaussée	Dcrack							
adim	Nombre de PECLET	PE							
adim	Coefficient de transfert de l'air du sol vers l'atmosphère confinée du rez de chaussée	α	2,43E-03	2,17E-03	2,14E-03	2,46E-03	2,15E-03	2,16E-03	2,16E-03
µg/m3	Concentration de la substance dans l'air ambiant du rez de chaussée	Crac	3,92E-02	1,89E-01	2,36E+01	2,68E-03	1,54E-01	1,71E-02	4,09E-01

Concentration inhalée		Effet à seuil	Effet sans seuil										
	Fréquence d'exposition : Nombre de jours d'exposition / 365 jours	T/Tm											
	Fraction du temps d'exposition à la concentration C1 pendant une journée	Ft											
	Concentration de la substance dans l'air ambiant du rez de chaussée	Crac	3,92E-02	3,92E-02	1,89E-01	1,89E-01	2,36E+01	2,36E+01	2,68E-03	2,68E-03	1,54E-01	1,54E-01	1,71E-02
	Concentration moyenne inhalée dans le rez de chaussée	CI	3,38E-02	1,93E-02	1,63E-01	9,30E-02	2,03E+01	1,16E+01	2,31E-03	1,32E-03	1,33E-01	7,59E-02	1,47E-02
		VTInhal	6,30E+01	2,30E-05	3,20E+03	1,00E-06	4,00E+02	2,60E-07	2,00E+02	Nd	6,00E+01	Nd	7,90E+01
			µg/m3	(µg/m3)-1	µg/m3								
	Niveau de Risque	IR	5,36E-04	4,44E-07	5,09E-05	9,30E-08	5,09E-02	3,02E-06	1,15E-05	Sans objet	2,21E-03	Sans objet	1,86E-04
		ERI											
	Niveau de Risque - somme des COHV	IR		5,42E-02									
		ERI		3,56E-06									
	Niveau de Risque - somme des HCT + HAP + BTEX + COHV	IR		6,31E-02									
		ERI		4,76E-06									



A.3.2	Etude des incertitudes et étude de sensibilité
--------------	---

Rapport Crystal Ball - Complet

Simulation démarrée le 18/05/2020 à 14:17

Simulation arrêtée le 18/05/2020 à 14:17

Préférences d'exécution :

Nombre d'exécutions de tirage	1 000
Monte Carlo	
Valeur initiale aléatoire	
Contrôle de précision dans	
Niveau de confiance	95,00%

Statistiques d'exécution :

Temps d'exécution total (s)	0,83
Tirages/seconde (en moyenne)	1 198
Nombres aléatoires par secon	7 187

Données Crystal Ball :

Hypothèses	6
Corrélations	0
Matrices de corrélation	0
Variables de décision	0
Prévisions	2

Prévisions

Feuille de calcul : [19LES051Ba_JE_Bat PP_GdS_V0_CB.xls]COHV sol

Prévision: ERI

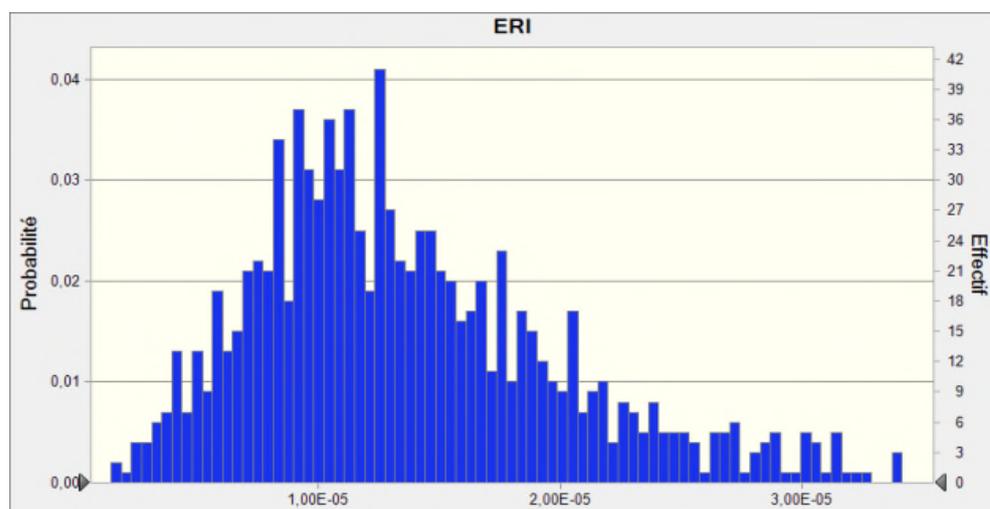
Cellule : G68

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 1,40E-06 et 5,39E-05

Le cas de base est 4,76E-06

Après 1 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 2,31E-07



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	1 000
Cas de base	4,76E-06
Moyenne	1,41E-05
Médiane	1,26E-05
Mode	---
Ecart-type	7,32E-06
Variance	5,35E-11
Asymétrie	1,43
Aplatissement	6,32
Coeff. de variation	0,5187
Minimum	1,40E-06
Maximum	5,39E-05
Portée	5,25E-05
Erreur standard de la moyenne	2,31E-07

Prévision: ERI suite

Cellule : G68

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	1,40E-06
10%	6,46E-06
20%	8,35E-06
30%	9,83E-06
40%	1,12E-05
50%	1,26E-05
60%	1,43E-05
70%	1,63E-05
80%	1,89E-05
90%	2,34E-05
100%	5,39E-05

Prévision: IR

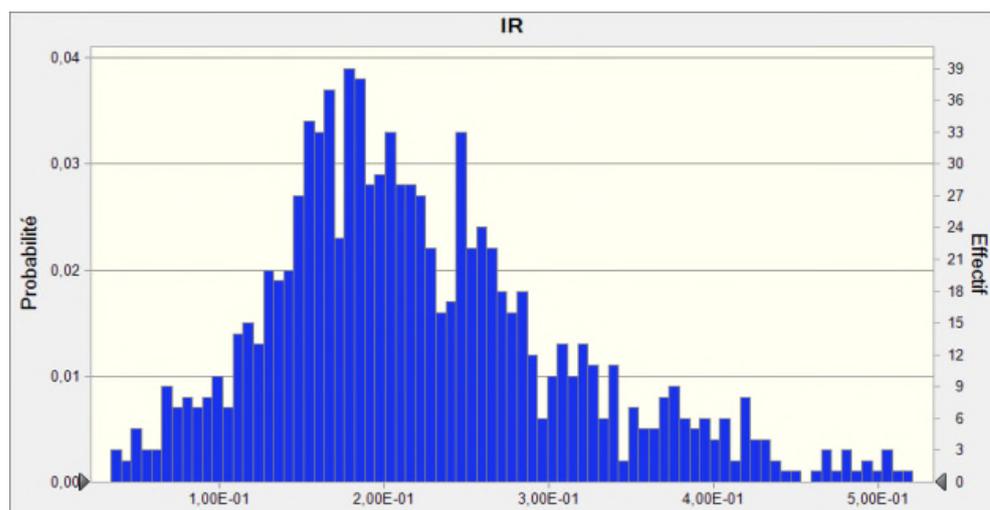
Cellule : G67

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 3,43E-02 et 7,27E-01

Le cas de base est 6,31E-02

Après 1 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 3,29E-03



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	1 000
Cas de base	6,31E-02
Moyenne	2,29E-01
Médiane	2,07E-01
Mode	---
Ecart-type	1,04E-01
Variance	1,08E-02
Asymétrie	1,26
Aplatissement	5,45
Coeff. de variation	0,4553
Minimum	3,43E-02
Maximum	7,27E-01
Portée	6,93E-01
Erreur standard de la moyenne	3,29E-03

Prévision: IR suite

Cellule : G67

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	3,43E-02
10%	1,20E-01
20%	1,51E-01
30%	1,68E-01
40%	1,87E-01
50%	2,07E-01
60%	2,31E-01
70%	2,59E-01
80%	2,95E-01
90%	3,68E-01
100%	7,27E-01

Fin des prévisions

Hypothèses

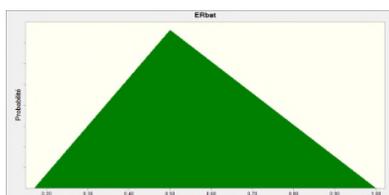
Feuille de calcul : [19LES051Ba_JE_Bat PP_GdS_V0_CB.xls]parametres

Hypothèse: ERbat

Cellule : D23

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum	0,17	(=E23)
Plus probable	0,50	
Maximum	1,00	(=F23)

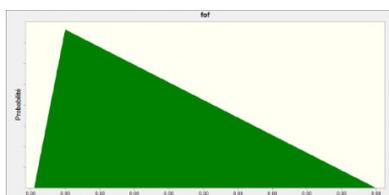


Hypothèse: fof

Cellule : D20

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum	0,00	(=E20)
Plus probable	0,00	
Maximum	0,00	(=F20)



Hypothèse: ka

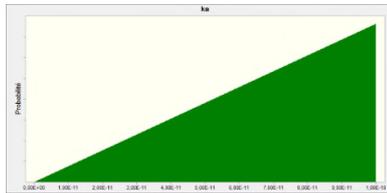
Cellule : D12

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum	1,00E-16	(=E12)
Plus probable	1,00E-10	
Maximum	1,00E-10	(=F12)

Hypothèse: ka suite

Cellule : D12

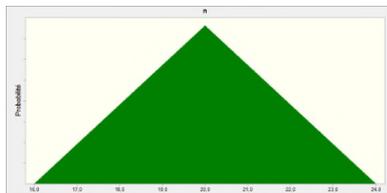


Hypothèse: n

Cellule : D32

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum	16,0	(=E32)
Plus probable	20,0	
Maximum	24,0	(=F32)

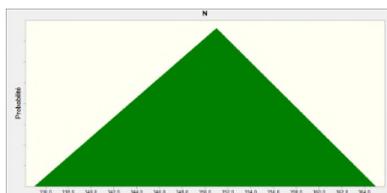


Hypothèse: N

Cellule : D30

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum	335,0	(=E30)
Plus probable	351,0	
Maximum	365,0	(=F30)



Hypothèse: T

Cellule : D28

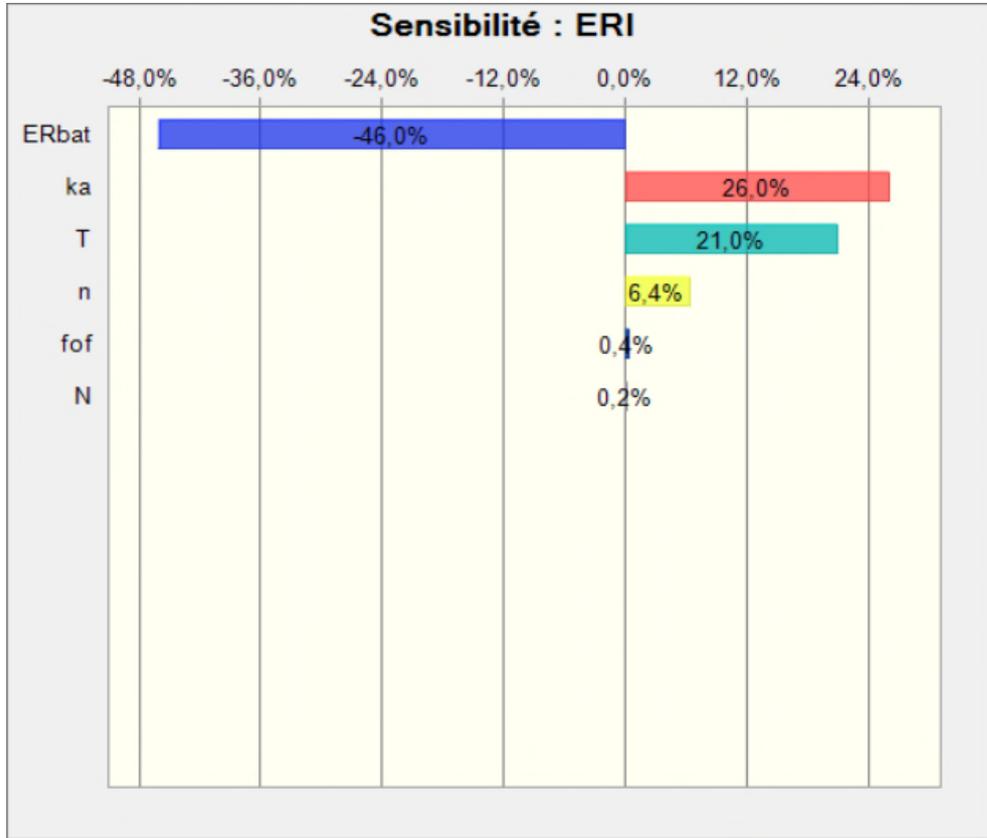
Uniforme loi comportant des paramètres :

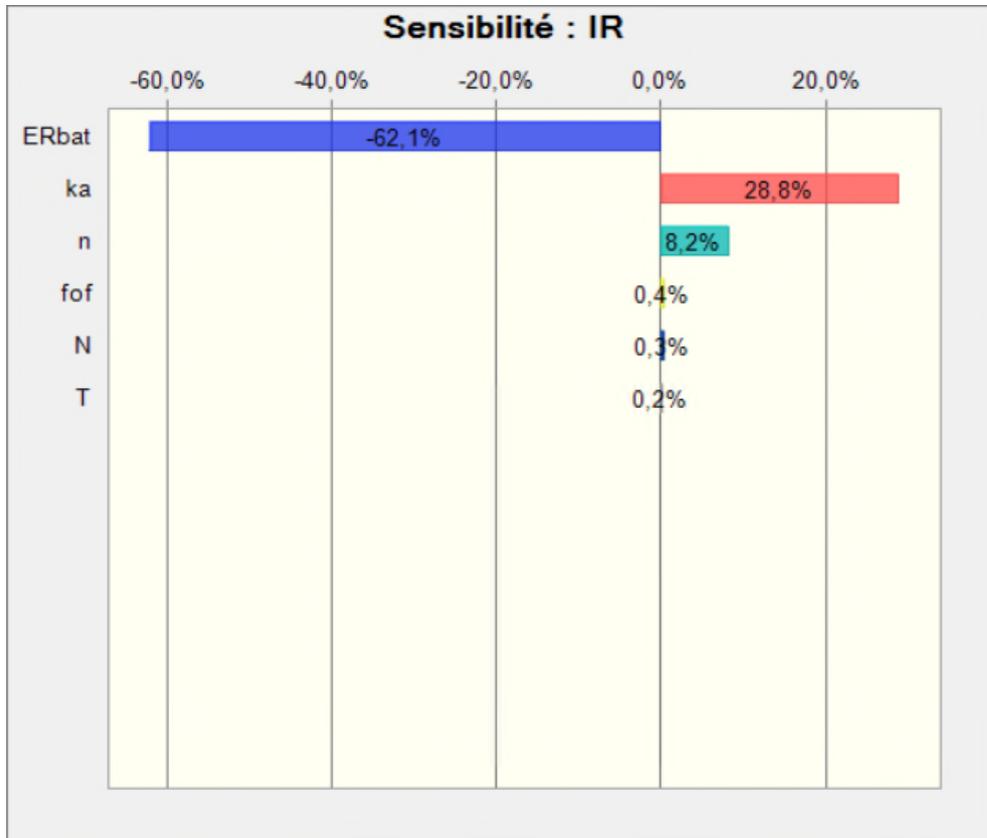
Minimum	20	(=E28)
Maximum	40	(=F28)



Fin des hypothèses

Graphiques de sensibilité





Fin des graphiques de sensibilité