

Plan de gestion des terres polluées

Projet de création d'un ensemble immobilier mixte « Rosa Parks »

Rue Rosa Parks - Caen (14)



Dossier 3511225 - Juin 2023

**SCCV Rosa Parks chez NORMANDIE
AMENAGEMENT**

1, avenue du Pays de Caen
14460 COLOMBELLES

CLIENT

NOM	SCCV Rosa Parks NORMANDIE AMENAGEMENT
ADRESSE	1, avenue du Pays de Caen 14460 COLOMBELLES
INTERLOCUTEUR	Mme DELIQUAIRE Ludivyne (chargée d'opérations)

ECR ENVIRONNEMENT

CHARGE D'AFFAIRES	Nicolas BOULAY
CHARGE D'AFFAIRES	Matthieu VINCENT

DATE	INDICE	OBSERVATION / MODIFICATION	REDACTEUR	VERIFICATEUR
27/06/2023	01	Version initiale	N.BOULAY	M.VINCENT

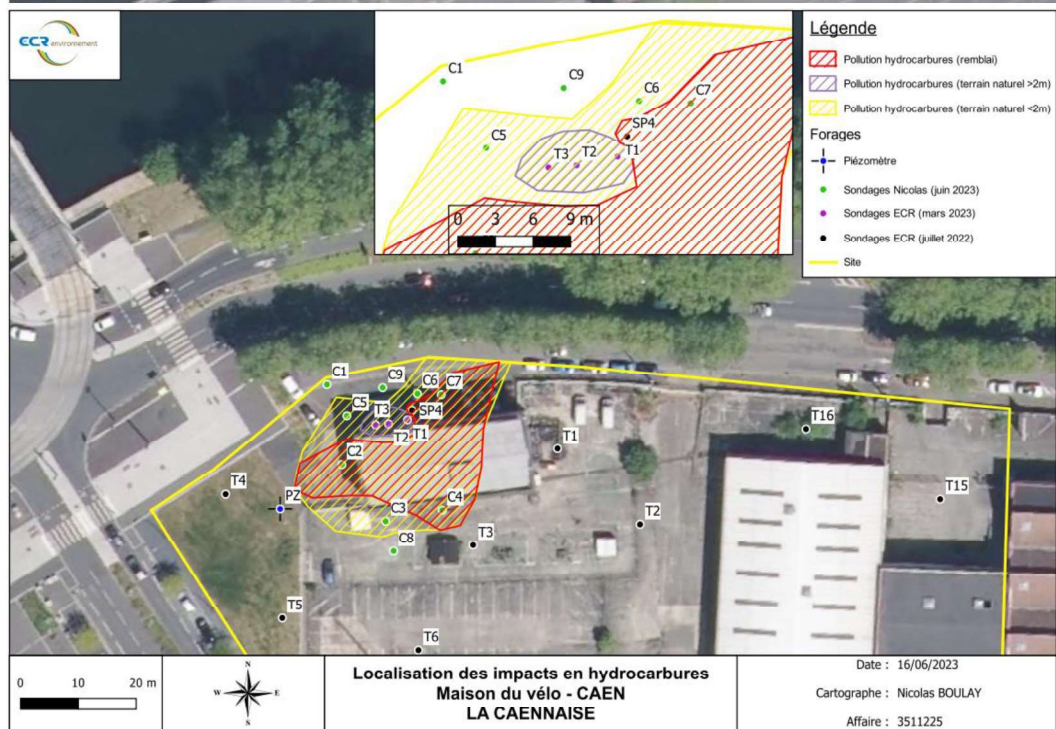
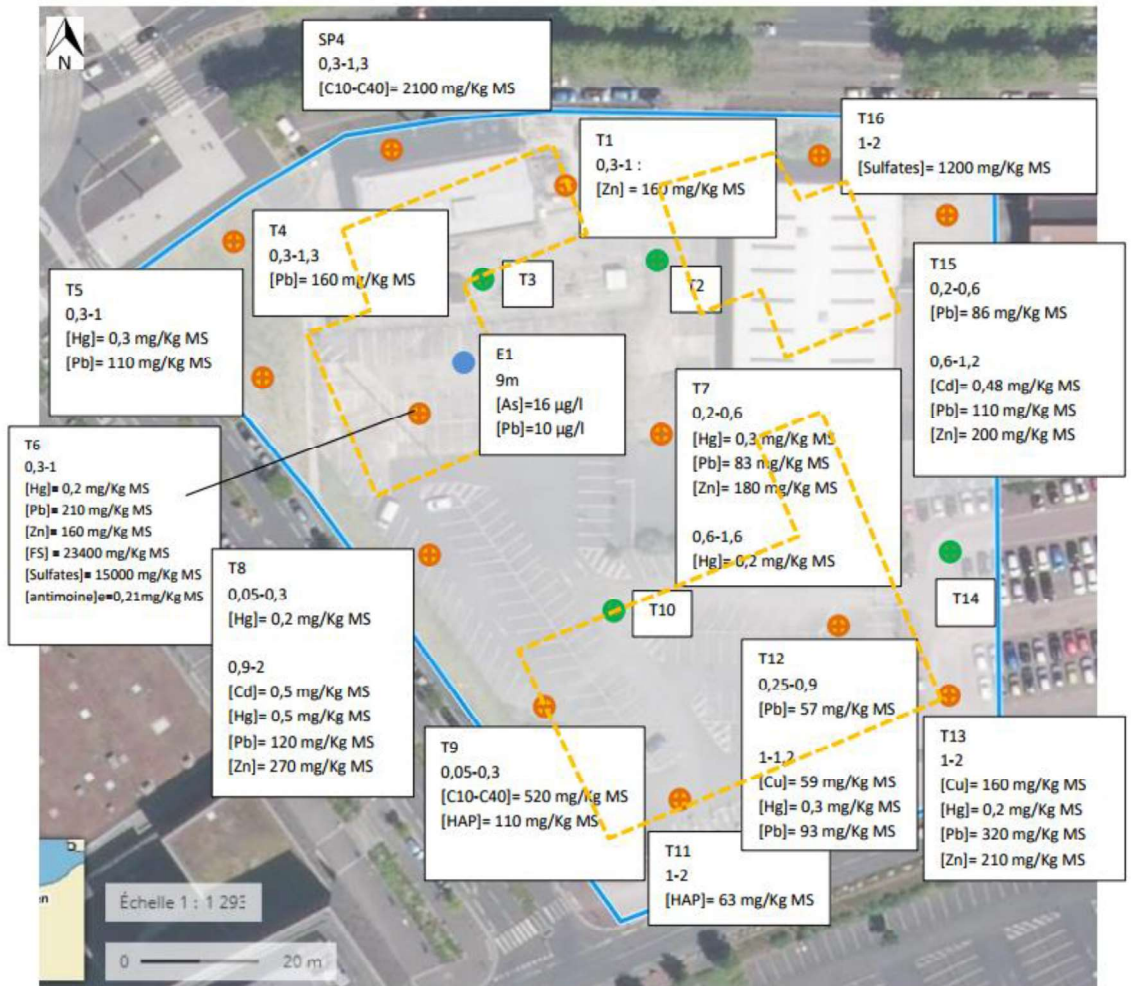
Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
 Nicolas BOULAY Chargé d'affaires Environnement Chef de projet	 Matthieu VINCENT Chargé d'affaires Environnement Superviseur	 Matthieu VINCENT Chargé d'affaires Environnement Superviseur

RESUME TECHNIQUE

GENERALITES				
Nom du client	SCCV Rosa Parks chez NORMANDIE AMENAGEMENT			
Adresse	1, avenue du Pays de Caen 14460 COLOMBELLES			
Types de prestations	Mission A200-A270 et prestation PG (A320 et A330) Norme NF X31-620-2 « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués » (Décembre 2021)			
CARACTERISTIQUES DU SITE A L'ETUDE				
Adresse	Rue Rosa Parks 14000 CAEN			
Parcelles	Section LH, parcelles n°34, 45 et 87 pour une surface totale de 11 580 m²			
Projet	Projet d'un ensemble immobilier mixte (bureaux et commerces, parvis publics et espaces verts)			
SYNTHÈSE ÉTUDE DOCUMENTAIRE ET HISTORIQUE				
Programme prévisionnel d'investigations (A130)	Juin 2023			
	Sondage	Zone investiguée	Type de reconnaissance	Profondeur (en m)
	C1	Nord-ouest de la zone HCT	Tarière mécanique	2
	C2	Pignon Ouest de la maison du Vélo		
	C3	Façade sud de la maison du Vélo		
	C4			
	C5	Nord-ouest de la zone HCT		
	C6	Nord de la maison du Vélo		
	C7			
	C8			
C9	Nord de la maison du Vélo			
SYNTHÈSE INVESTIGATIONS SUR LES SOLS				
Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols (A200/A270)	Sondages réalisés : 28 Profondeur maximale : 7,5 m Prélèvements : 60 échantillons analysés			
	Les résultats analytiques indiquent :			
	- La présence diffuse de métaux lourds (ETM), impacts remarquables en cadmium, cuivre, mercure, plomb et zinc ; - Une zone impactée en hydrocarbures au nord du site jusqu'à 7,5 m de profondeur.			
	Les résultats d'analyses de juin 2023 mettent en évidence des teneurs importantes en hydrocarbures au droit des sondages C2, C3, C4, C5, C6 et C7 :			
	- Dans le remblai jusqu'à environ 1,2 mètre de profondeur au droit des sondages C2, C4 et C7 pour une teneur maximale de 1400 mg/kg MS ; - Dans le terrain naturel au droit de ces 6 sondages jusqu'à 2 mètres de profondeur pour une teneur maximale de 4300 mg/kg MS.			
	Les sondages C1, C8 et C9 ne sont pas impactés par les hydrocarbures.			



Cartographie des teneurs supérieures aux valeurs de référence (en mg/kg MS)



SYNTHÈSE DES INVESTIGATIONS SUR LES EAUX SOUTERRAINES

Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines (A210/A270)	Ouvrage prélevé : PZ en bordure ouest de la zone impactée en hydrocarbures Sens d'écoulement de la nappe supposé : vers le Nord Les résultats d'analyses mettent en évidence : • Une teneur en Benzo(a)pyrène supérieure à la limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine ; • Des teneurs inférieures aux limites des eaux destinées à la consommation humaine pour les autres paramètres.
---	---

SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DES ENJEUX SANITAIRES

Analyse des enjeux sanitaires (A320)	Les mesures simples de gestion suivantes ont été prises en compte dans le cadre de l'aménagement futur du site : • Le recouvrement de l'ensemble de l'horizon de remblais par un revêtement (enrobé, béton) ou une couche de terres végétale de 30 cm ; • L'interdiction de tout usage sensible des eaux souterraines dans l'emprise du site (consommation, arrosage, etc.) ; • L'interdiction de planter des arbres fruitiers ou de réaliser des jardins potagers en pleine terre au droit des zones impactées en éléments traces métalliques et/ou en composés organiques ; • En cas de pose d'une canalisation AEP au droit d'une zone polluée, la mise en place de toutes les mesures nécessaires afin d'éviter la diffusion de substances volatiles dans l'eau du réseau. Sur la base de ces hypothèses, nous avons effectué une ARR « prédictive » du site et avons calculé les risques pour le scénario : • L'exposition des futurs usagers (travailleurs adultes) à l'intérieur pour l'inhalation des polluants sous forme gazeuse. D'après les hypothèses prises en compte et en prenant en compte les seuils d'intervalle de risque de QD < 1 et ERI < 10⁻⁵, l'état des milieux est compatible avec l'usage bureaux/commerces projeté selon les hypothèses citées dans le présent rapport.
---	--

SYNTHÈSE DES MESURES DE GESTION

Identification des différents scénarios de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts/avantages (A330)	Par ailleurs, en application des textes ministériels de février 2007 et d'avril 2017, l'objectif du plan de gestion est l'élimination ou, à minima, l'atténuation des sources de pollutions identifiées dans les sols. Au regard des impacts identifiés, une recherche des solutions de gestion a été réalisée. Le projet d'aménagement conduit à écarter les techniques des traitement <i>in situ</i> et sur site. Les mesures de gestion retenues visent à supprimer les sources de pollution par excavation des terres impactées pour leur évacuation en centre de traitement et supprimer les voies de transfert par apport de terre végétale. Le montant global de l'opération est estimé entre 300 et 415 k€ HT (hors traitement des eaux éventuel). Le bilan coûts-avantages ne constitue pas un devis pour des travaux de dépollution, ni une étude de conception ou de dimensionnement des futurs travaux. Il ne correspond également pas à un cahier des charges pour la réalisation de travaux de dépollution.
--	--

RECOMMANDATIONS

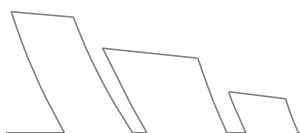
Au regard des résultats de cette étude, il est recommandé de prévoir :

- La réalisation de 3 piézomètres complémentaires (1 en amont et 2 en aval hydraulique) pour le contrôle de la qualité des eaux souterraines ;
- La mise en place d'une surveillance des eaux souterraines, à fréquence semestrielle pour l'établissement d'un bilan quadriennal.

Dans le cadre de futures opérations de réhabilitation, l'ensemble des travaux devra être suivi par un bureau d'études spécialisé en sites et sols pollués. Certaines préconisations seront à prendre en compte dans le cadre de travaux de terrassement :

- Des EPI adaptés pour les travailleurs en fonction de leur poste et des phases de terrassement ;
- La conservation de la mémoire des opérations effectuées, par la mise en place d'un géotextile séparateur de couche sur les zones réhabilitées ;
- En cas de découverte de matériaux pollués hors emprise des zones identifiées, une gestion spécifique devra être mise en œuvre (stockage temporaire sur aire étanche, caractérisation, définition de l'exutoire, etc.).

En cas de changement ultérieur d'usage, il conviendra de vérifier la compatibilité de la qualité des milieux avec le projet envisagé par le biais d'une nouvelle étude.



GLOSSAIRE

AEP : Alimentation en Eau Potable
ARIA : Retour d'expérience sur les accidents technologiques
ARS : Agence Régionale de Santé
As : Arsenic
Ba : Baryum
BASIAS : Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Services
BASOL : Sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif
BDLISA : Base de données des Limites des Systèmes Aquifères
BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BSS : Banque de données du Sous-Sol
BTEX : Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes
Cd : Cadmium
COT : Carbone Organique Total
COHV : Composés Organo Halogénés Volatils
Cr : Chrome
Cu : Cuivre
DICT : Déclaration d'Intention de Commencement des Travaux
DDTM : Direction Départementale des territoires et de la Mer
DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
ETM : Eléments traces métalliques
HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCT : Hydrocarbures totaux
Hg : Mercure
ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IGN : Institut national de l'information Géographique et forestière
ISDD : Installation de Stockage de Déchets Dangereux
ISDI : Installation de Stockage de Déchets Inertes
ISDND : Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux
Mo : Molybdène
MTES : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire
Ni : Nickel
PCB : Polychlorobiphényle
Pb : Plomb
Sb : Antimoine
Se : Sélénium
ZICO : Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux
Zn : Zinc
ZNIEFF : Zones d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique



DOCUMENTS CONSULTÉS

Organisme/Personne contactée	Informations recherchées
Ministère des Finances et comptes Publics (https://www.cadastre.gouv.fr)	Plan cadastral
Institut national de l'information Géographique et forestière (IGN)	Cartographie IGN du secteur d'étude
Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) (infoterre.brgm.fr)	Contexte géologique, hydrogéologique, recensements des captages hydrauliques, espaces naturels remarquables, bases de données BASIAS et BASOL
Geoportail.gouv.fr	Contexte géologique, topographique, hydrologique, étude des photographies aériennes historiques

DOCUMENTS FOURNIS PAR LE CLIENT

Nom du document	Auteur	Format
Plan masse RDC	Normandie Aménagement	PDF
Plan masse bâtiment D et E		
Plan masse zoom Cœur d'îlot		
Plan de composition des lots		

En cas de modification du projet impactant l'interprétation environnementale du site d'étude (changement de l'usage futur, de l'emprise du projet, ...), le client se doit d'en informer son interlocuteur privilégié afin de réadapter le rapport aux nouvelles contraintes du projet. Toute modification de projet non-signalée ou effective après le rendu de ce rapport ne pourra faire l'objet de réclamation.



SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION.....	11
2.	PRESENTATION DU SITE.....	12
2.1.	LOCALISATION.....	12
2.2.	DESCRIPTION DU SITE.....	13
2.3.	ELEMENTS HISTORIQUES ET OCCUPATION ACTUELLE.....	13
2.4.	SITUATION ADMINISTRATIVE.....	13
3.	SYNTHESE DES INVESTIGATIONS PRECEDENTES.....	14
3.1.	CAMPAGNES DE SONDAGES DE JUILLET 2022 ET MARS 2023.....	14
3.2.	CAMPAGNE DE SONDAGES DE JUIN 2023.....	20
4.	DESCRIPTION DES INVESTIGATIONS SUR LES EAUX SOUTERRAINES (A210).....	25
4.1.	INVESTIGATIONS SUR LES EAUX SOUTERRAINES.....	25
4.2.	STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE.....	25
4.3.	PROGRAMME ANALYTIQUE ENGAGE SUR LES EAUX SOUTERRAINES.....	25
5.	INTERPRETATION DES RESULTATS SUR LES EAUX SOUTERRAINES (A270).....	26
5.1.	OBSERVATIONS DE TERRAIN.....	26
5.1.1.	<i>Constats organoleptiques.....</i>	<i>26</i>
5.2.	INTERPRETATIONS DE TERRAIN.....	26
5.2.1.	<i>Valeurs de référence.....</i>	<i>26</i>
5.2.2.	<i>Résultats analytiques des échantillons d'eau souterraine.....</i>	<i>26</i>
6.	DESCRIPTION DU PROJET D'AMENAGEMENT.....	28
7.	SCHEMA CONCEPTUEL.....	31
7.1.	POLLUTION.....	31
7.2.	CARACTERISATION DES CIBLES.....	31
7.3.	VOIES DE TRANSFERT ET D'EXPOSITION.....	32
8.	ANALYSE DES ENJEUX SANITAIRES – A320 A PARTIR DES CONCENTRATIONS DANS LES SOLS ..	34
8.1.	CARACTERISATION DU SITE ET DES COMPOSES RETENUS.....	34
8.1.1.	<i>Sources, voies d'exposition résiduelles et cibles retenues.....</i>	<i>34</i>
8.1.2.	<i>Sélection des substances et des concentrations retenues.....</i>	<i>35</i>
8.2.	EVALUATION DE L'EXPOSITION – CHOIX DU MODELE.....	35
8.2.1.	<i>Sélection du modèle.....</i>	<i>35</i>
8.2.2.	<i>Sélection des paramètres de modélisation.....</i>	<i>36</i>
8.3.	DETERMINATION DES EXPOSITIONS.....	37
8.3.1.	<i>Méthodologie appliquée.....</i>	<i>37</i>
8.3.2.	<i>Choix des VTR utilisées.....</i>	<i>37</i>
8.3.3.	<i>Durée et fréquence d'exposition.....</i>	<i>38</i>
8.4.	CALCUL DES RISQUES SANITAIRES.....	39

8.4.1.	Quantification des risques	39
8.4.2.	Scénarios inhalation d'air intérieur.....	40
8.4.3.	Interprétation des QD.....	42
9.	DISCUSSION DES INCERTITUDES SUR L'ETUDE DES RISQUES SANITAIRES.....	43
9.1.1.	Incertitudes liées au modèle	43
9.1.2.	Incertitudes liées aux substances et aux concentrations retenues	43
9.1.3.	Incertitudes liées aux paramètres de modélisation	44
9.1.4.	Incertitudes liées aux données de base	44
9.1.5.	Incertitudes liées au calcul de l'exposition.....	45
9.1.6.	Conclusion sur les incertitudes	45
10.	IDENTIFICATIONS DES OPTIONS DE GESTION – A330	46
10.1.	ZONE DE POLLUTION CONCENTREE	46
10.2.	MAITRISE DES IMPACTS	48
10.2.1.	Sélection des techniques de réhabilitation pour les zones concentrées.....	48
10.2.2.	Suivi des travaux de réhabilitation	49
10.2.3.	Dispositions constructives	49
10.3.	RESTRICTIONS D'USAGE	50
10.4.	SYNTHESE DU BILAN COUTS/AVANTAGES SSP	51
11.	INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRE ET SUIVI DE LA QUALITE DES MILIEUX	52
12.	CONCLUSION – RESUME NON TECHNIQUE	53
13.	RECOMMANDATIONS	55
14.	EVALUATION DES INCERTITUDES.....	56
14.1.	LIEES AUX INVESTIGATIONS DE TERRAIN	56
14.2.	LIEES A L'ECHANTILLONNAGE	56
14.3.	LIEES AU PROGRAMME ANALYTIQUE	56
14.4.	LIEES AUX ANALYSES EN LABORATOIRE	57
14.5.	LIEES AUX MESURES DE GESTION	57



LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique du site d'étude	12
Figure 2 : Localisation des résultats analytiques pour les HCT et ETM (ECR Environnement, 2022)	16
Figure 3 : Résultats des investigations complémentaires (ECR Environnement, mars 2023)	17
Figure 4 : Localisation des zones concentrées (impact en HCT C10-C40 estimé en mai 2023).....	19
Figure 5 : Localisation des sondages complémentaires de juin 2023	21
Figure 6 : Localisation des impacts en hydrocarbures	24
Figure 7 : Plan masse du projet d'aménagement.....	29
Figure 8 : Plan de composition des lots du projet	30
Figure 9 : Schéma conceptuel	33
Figure 10 : Concentration de composés inhalés en intérieur (Modul'ERS).....	41

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des prestations réalisées selon la codification de la norme NF X31-620 dans le cadre de l'étude	11
Tableau 2 : Synthèse des résultats d'analyse sur les éléments traces métalliques (2022)	14
Tableau 3 : Synthèse des résultats d'analyse sur les éléments traces métalliques (2023)	14
Tableau 4 : Synthèse des résultats d'analyse C10-C40 (2022)	14
Tableau 5 : Synthèse des résultats d'analyse C5-C40 (2023)	15
Tableau 6 : Caractéristiques de la source de pollution	18
Tableau 7 : Synthèse des investigations menées sur la zone d'étude	20
Tableau 8 : Synthèse du programme analytique mis en œuvre à l'issue des investigations de juin 2023	21
Tableau 9 : Résultats d'analyses en hydrocarbures C5-C40 (en mg/kg MS)	23
Tableau 10 : Caractéristiques des points de prélèvement d'eaux souterraines de la zone d'étude.....	25
Tableau 11 : Résultats d'analyses des échantillons d'eau souterraine (en µg/L).....	27
Tableau 12 : Voies de transfert et d'exposition	32
Tableau 13 : Éléments retenus, issus du Schéma Conceptuel	34
Tableau 14 : Concentrations retenues (sol)	35
Tableau 15 : Paramètres de modélisation pour le scénario inhalation intérieure	36
Tableau 16 : VTR pour voie respiratoire.....	38
Tableau 17 : Caractéristiques des classes d'exposition.....	38
Tableau 18 : Descriptif des temps d'exposition	39
Tableau 19 : détermination des concentrations moyennes dans l'air intérieur (inhalées).....	40
Tableau 20 : Récapitulatif des QD obtenus pour le scénario	42
Tableau 21 : Caractéristiques estimées de la zone hydrocarbures	46
Tableau 22 : Estimation des coûts d'élimination de la zone hydrocarbures	49
Tableau 23 : Estimation des coûts d'apport de terre végétale	50
Tableau 24 : Synthèse des coûts liés à la réhabilitation du site	51



1. INTRODUCTION

Dans le cadre de la construction d'un ensemble immobilier mixte, rue Rosa Parks à Caen (14), la SCCV Rosa Parks a missionné ECR Environnement pour la réalisation d'un diagnostic de qualité des sols et un plan de gestion des terres polluées au droit du site d'étude.

Les résultats d'analyse de trois campagnes de sondages successives indiquent la présence diffuse d'éléments traces métalliques (cadmium, cuivre, mercure, plomb et zinc) à des teneurs supérieures aux seuils de réutilisation des terres à excaver et des concentrations importantes en hydrocarbures totaux dans le secteur nord-ouest du site.

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- La réalisation d'une analyse de enjeux sanitaires permettant de statuer sur la compatibilité entre la qualité des milieux et l'usage futur prédéfini ;
- Sur la base des résultats des investigations, et conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, la réalisation d'un plan de gestion avec la définition de solutions de gestion des pollutions identifiées, dans l'objectif d'atteindre la compatibilité entre la qualité des milieux et l'usage futur prédéfini.

L'ensemble des prestations est conforme aux préconisations de la circulaire du 8 février 2007 et à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués du Ministère de la transition écologique et solidaire en date d'avril 2017, adaptée de la norme AFNOR NF X31-620 « Qualité du sol – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués » révisée en décembre 2021 pour le domaine A : « Etudes, assistance et contrôle ».

Les prestations réalisées dans le cadre de cette étude sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Liste des prestations réalisées selon la codification de la norme NF X31-620 dans le cadre de l'étude

Prestation élémentaire	Descriptif
A200	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols
A210	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines
A270	Interprétation des résultats des investigations
A320	Analyse des enjeux sanitaires
A330	Identification des différents scénarios de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts/avantages

Le présent document synthétise les résultats obtenus à l'issue des investigations, l'analyse des enjeux sanitaires, les différentes solutions de gestion envisageables et le bilan coût/avantages.



2. PRESENTATION DU SITE

2.1. Localisation

La zone faisant l'objet de cette étude est située au n°54 quai amiral Hamelin sur la commune de Caen (14). Elle est délimitée :

- Au nord, par l'Orne ;
- A l'ouest, la rue Rosa Parks ;
- Au sud, le parking de la gare ;
- A l'est, par des entrepôts et des parkings.

Les références cadastrales des parcelles concernées sont :

- LH 45p : 9693 m² dont 8050 m² pour le projet ;
- LH 34p : 7276 m² dont 2360 m² pour le projet ;
- LH 87p : 7187 m² dont 1170 m² pour le projet.



Figure 1 : Situation géographique du site d'étude

2.2. Description du site

La zone d'étude est constituée par un parking public et un bâtiment occupé par la Maison du Vélo.



2.3. Eléments historiques et occupation actuelle

La parcelle est occupée par des sites de stockage et des entrepôts ferroviaires depuis les années 40 au minimum. A l'issue de la visite de site et de l'inspection des ouvrages présents, la parcelle est occupée par la Maison du Vélo et un parking de la ville.

2.4. Situation administrative

Le site n'est pas répertorié dans la base de données BASIAS (Base de données sur les anciens sites industriels et activités de services) du BRGM.

Le site n'est pas répertorié dans la base de données BASOL (Base de données sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif).

Le site n'est pas répertorié dans la base de données des ICPE (Installation Classée pour le Protection de l'Environnement).

Le site n'est pas répertorié en Secteur d'Information sur les Sols (SIS).



3. SYNTHÈSE DES INVESTIGATIONS PRÉCÉDENTES

3.1. Campagnes de sondages de juillet 2022 et mars 2023

Les rapports complets figurent en **annexes 1 et 2**.

Les résultats analytiques significatifs sont synthétisés dans les tableaux suivants :

- La présence diffuse de métaux lourds (ETM) sur l'ensemble du site avec des impacts remarquables en cadmium, cuivre, mercure, plomb et zinc ;
- Une zone impactée en hydrocarbures au nord-ouest du site jusqu'à 7,5 m de profondeur.

Tableau 2 : Synthèse des résultats d'analyse sur les éléments traces métalliques (2022)

Métaux Lourds	Unité	Valeurs seuils ASPITET	ASPITET gamme de valeurs dans le cas d'anomalies naturelles modérées	Fond géochimique Local	Seuils niveau 1 terres excavées	Seuils de contamination des sols (mg/kg MS)																								
						T1(0.3-1)	T2(0.1-0.4)	T2(0.7-1.4)	T3(0.3-1)	T4(0.3-1.5)	SP4(0.3-1.3)	T5(0.3-1)	T6(0.3-1)	T7(0.2-0.6)	T7(0.6-1.6)	T8(0.05-0.3)	T8(0.9-2)	T9(0.05-0.3)	T9(1.2-2)	T10(0.25-0.55)	T11(0.05-0.4)	T11(1-2)	T12(0.25-0.9)	T12(1.1-2)	T13(1-2)	T14(0.4-1.2)	T15(0.2-0.6)	T15(0.6-1.2)	T16(0.4-1)	T16(1-2)
arsenic	mg/kg MS	25	30 à 60	12,1	25	4,6	5,8	7,2	17	9	6,7	12	11	13	12	10	13	7,2	6,6	9,3	3,7	12	8,8	10	19	6,9	20	20	7,3	7,3
cadmium		0,45	0,7-0,45	0,12	0,4	0,25	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,34	0,23	<0,2	<0,2	0,53	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,4	<0,2	0,35	0,48	0,24	0,2
chrome		90	90-150	95	90	23	90	46	26	17	27	23	23	20	40	34	31	37	15	45	22	43	36	35	72	32	52	67	33	33
cuivre		20	20-62	13,9	40	6,2	14	11	9,2	17	8,3	31	30	22	15	26	32	15	14	25	9,8	36	28	59	160	20	22	22	11	13
mercure		0,1		0,041	0,1	0,07	0,08	<0,05	<0,05	0,09	0,06	0,25	0,2	0,27	0,21	0,12	0,49	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	0,07	0,08	0,29	0,15	<0,05	0,07	<0,05	0,08	0,08
plomb		50	60 à 90	20,8	50	23	36	17	25	72	38	110	210	83	32	25	120	13	25	32	<10	33	57	93	320	48	86	110	22	23
nickel		60	60-130	29,5	60	6,6	14	24	13	12	16	11	12	11	20	20	15	16	10	14	8,2	9	9,3	19	21	9,1	16	12	20	19
zinc		100	100-250	47	150	160	71	71	64	100	49	69	160	180	70	73	270	46	21	54	30	65	60	120	210	81	150	200	62	54

Tableau 3 : Synthèse des résultats d'analyse sur les éléments traces métalliques (2023)

Métaux Lourds	Unité	Valeurs seuils ASPITET	ASPITET gamme de valeurs dans le cas d'anomalies naturelles modérées	Fond géochimique Local	Seuils niveau 1 terres excavées	T1(0.05-1)	T1(1.2-2)	T1(2-3)	T1(3-4)	T1(5-6)	T1(6.5-7.5)	T2(0.05-1)	T2(1-1.2)
arsenic	mg/kg MS	25	30 à 60	12,1	25	9,5	4,4	5,2	4,7	5,5	6	8,8	3,8
cadmium		0,45	0,7-0,45	0,12	0,4	0,33	<0,2	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	0,23	<0,2
chrome		90	90-150	95	90	18	22	25	24	25	25	26	27
cuivre		20	20-62	13,9	40	25	6,3	8	6,4	8,2	7,5	24	8,6
mercure		0,1		0,041	0,1	0,27	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,31	0,08
plomb		50	60 à 90	20,8	50	96	14	12	12	18	23	66	13
nickel		60	60-130	29,5	60	12	12	12	13	14	12	12	6,2
zinc		100	100-250	47	150	130	39	39	38	47	45	100	22

Tableau 4 : Synthèse des résultats d'analyse C10-C40 (2022)

		Valeur seuil ISDI	T1(0.3-1)	T2(0.1-0.4)	T2(0.7-1.4)	T3(0.3-1)	T4(0.3-1.5)	SP4(0.3-1.3)	T5(0.3-1)	T6(0.3-1)	T7(0.2-0.6)	T7(0.6-1.6)	T8(0.05-0.3)	T8(0.9-2)	T9(0.05-0.3)	T9(1.2-2)	T10(0.25-0.55)	T11(0.05-0.4)	T11(1-2)	T12(0.25-0.9)	T12(1.1-2)	T13(1-2)	T14(0.4-1.2)	T15(0.2-0.6)	T15(0.6-1.2)	T16(0.4-1)	T16(1-2)
fraction C10-C12	mg/kg MS		<5	<5	<5	<5	<5	220	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
fraction C12-C16			<10	<10	<10	<10	<10	780	<10	12	<10	<10	<10	<10	16	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
fraction C16-C21			<15	<15	<15	<15	<15	740	<15	23	<15	<15	16	30	55	<15	<15	<15	17	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15
fraction C21-C35			<10	81	<10	<10	24	310	23	73	31	<10	260	73	290	23	220	34	51	54	54	56	29	49	39	<10	<10
fraction C35-C40			<15	77	<15	<15	<15	<15	<15	<15	16	<15	200	18	150	<15	96	25	15	21	<15	<15	19	17	<15	<15	<15
hydrocarbures totaux C10-C40		500	<20	170	<20	<20	32	2100	27	120	51	<20	490	130	520	34	330	69	90	90	83	83	59	75	60	<20	<20

Tableau 5 : Synthèse des résultats d'analyse C5-C40 (2023)

		Valeur seuil ISDI	T1(0,05-1)	T1(1,2-2)	T1(2-3)	T1(3-4)	T1(5-6)	T1(6,5-7,5)	T2(0,05-1)	T2(1-1,2)	T3(1-1,5)	T3(2-3)	T3(3-4)	T3(5-6)
fraction C10-C12	mg/kg MS		<5	590	760	440	360	220	<5	180	530	640	200	530
fraction C12-C16			<10	1800	2400	1400	1100	730	<10	590	1900	2100	650	1800
fraction C16-C21			<15	1700	2300	1300	1000	660	<15	530	1800	1900	590	1600
fraction C21-C35			20	600	790	450	350	240	32	240	650	700	190	570
fraction C35-C40			<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15
hydrocarbures totaux C10-C40		500	26	4700	6200	3500	2800	1900	50	1500	4800	5400	1600	4500
fraction aromat. >C6-C7			<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
fraction aromat. >C7-C8			0,11	<2,5	0,08	0,09	0,09	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
fraction aromat. >C8-C10			<0,3	40	50	27	25	12	0,39	7	25	33	9	21
fraction aliphat. >C5-C6			<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
fraction aliphat. >C6-C8			<0,6	15	17	13	11	6,4	<0,6	0,88	6,7	9,3	3,3	7,4
fraction aliphat. >C8-C10			<0,6	220	240	90	96	75	0,86	34	140	160	56	110
Hydrocarbures Volatils C5-C10			<10	280	310	130	130	93	<10	42	170	200	68	140

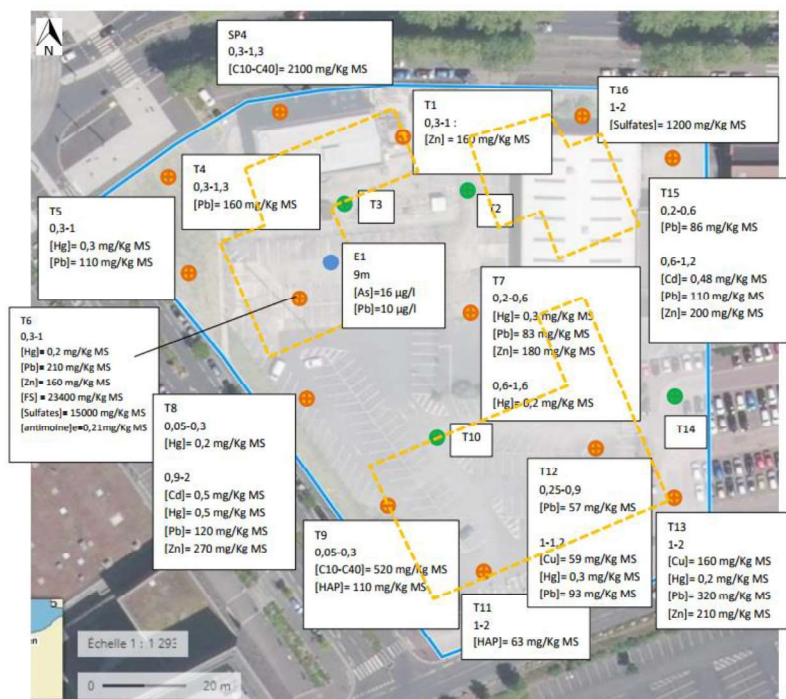


Figure 2 : Localisation des résultats analytiques pour les HCT et ETM (ECR Environnement, 2022)



Figure 3 : Résultats des investigations complémentaires (ECR Environnement, mars 2023)

Au stade de l'étude en mai 2023, la zone nord-ouest impactée en hydrocarbures ne peut-être délimitée précisément. Celle-ci est déterminée, par convention, en s'arrêtant à mi-chemin entre SP4, T1 à T3 de 2023 et les sondages les plus proches (T1, T3 et T4 de 2022).

Elle est estimée comme suit :

Tableau 6 : Caractéristiques de la source de pollution

	Surface estimée(m²)	Epaisseur estimée (m)	Sols pollués	
			Volume estimé (m³)	Tonnage estimé (d=1,8)
Zone hydrocarbures au nord-ouest	500	7,5	3750	6750
TOTAL			3750	6750

Il a été décidé, afin d'optimiser les volumes, de mener une troisième campagne de sondages en juin 2023.

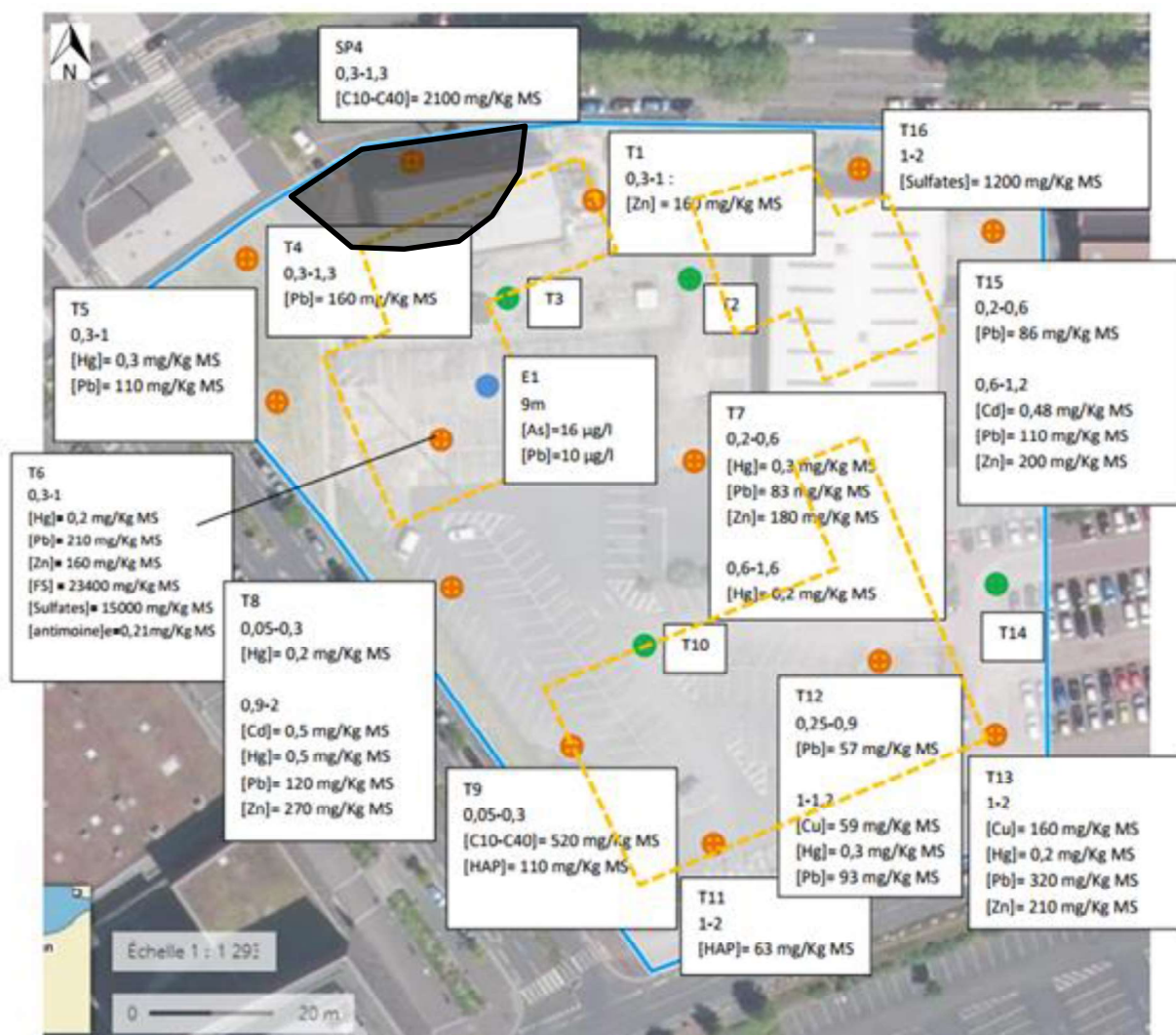




Figure 4 : Localisation des zones concentrées (impact en HCT C10-C40 estimé en mai 2023)



3.2. Campagne de sondages de juin 2023

Les travaux de reconnaissance du sous-sol de la zone d'étude ont été conduits par notre société le 6 juin 2023 à l'aide d'une sondeuse équipée de tarières Ø63mm.

Ils ont consisté en la réalisation de 9 sondages à la tarière mécanique (C1 à C9), répartis de manière à circonscrire la zone impactée en hydrocarbures et descendus à une profondeur de 2 mètres maximum (épaisseur de la zone non saturée, la nappe a été mesurée à 2,1 m de profondeur ce même jour).

Les investigations sur les sols ont été effectuées par temps sec.

Les investigations menées sur le site sont détaillées dans le tableau suivant.

Tableau 7 : Synthèse des investigations menées sur la zone d'étude

Sondage	Zone investiguée	Type de reconnaissance	Profondeur (en m)
C1	Nord-ouest de la zone HCT	Tarière mécanique	2
C2	Pignon Ouest de la maison du Vélo		
C3	Façade sud de la maison du Vélo		
C4			
C5	Nord-ouest de la zone HCT		
C6	Nord de la maison du Vélo		
C7			
C8	Sud de la maison du Vélo		
C9	Nord de la maison du Vélo		

Aucun déblai de forage n'a été généré lors la réalisation des investigations.

La localisation des sondages est représentée sur la figure suivante.



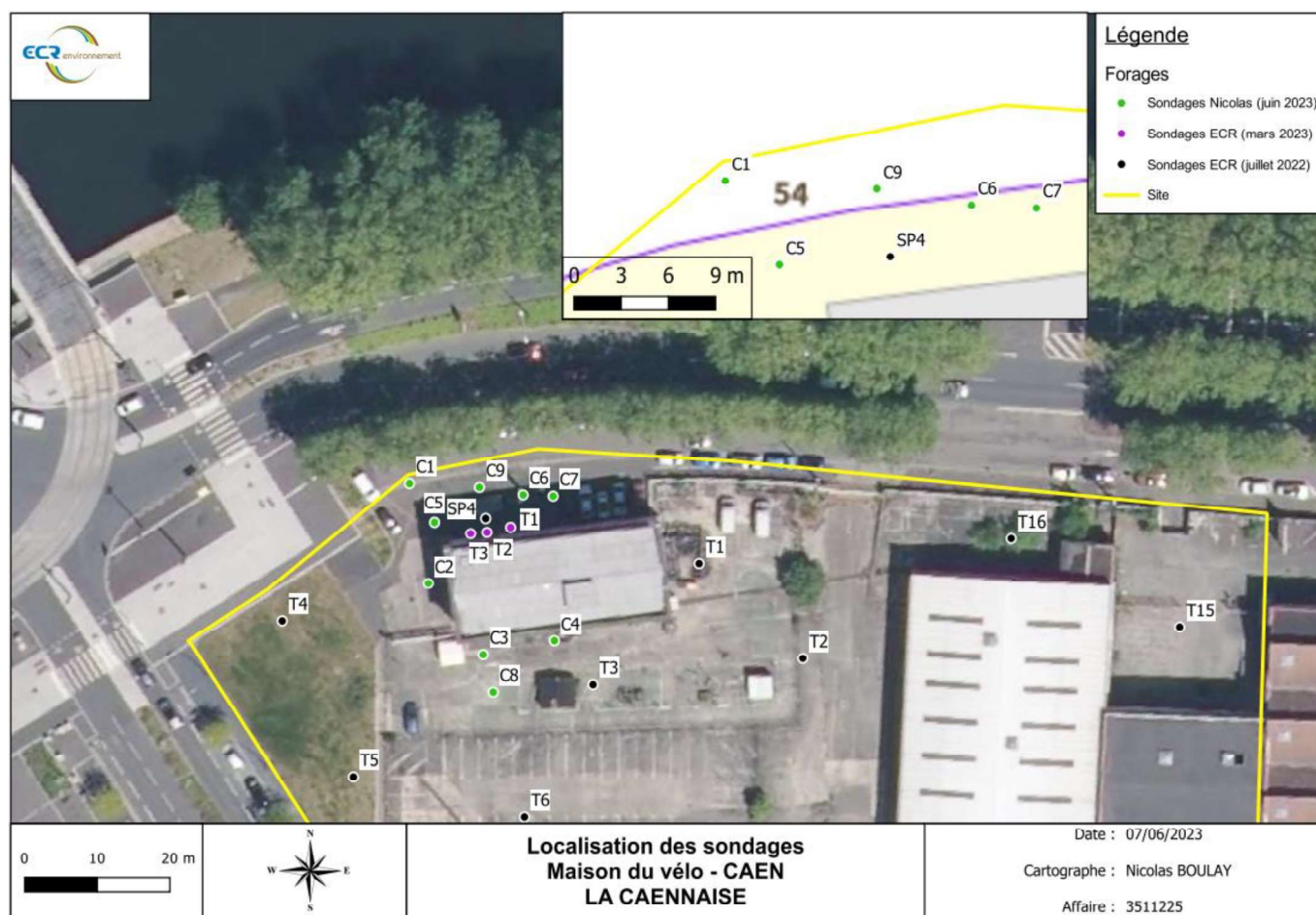


Figure 5 : Localisation des sondages complémentaires de juin 2023

L'ensemble des analyses proposées a été effectué par le laboratoire AGROLAB dont les accréditations sont reconnues par le Cofrac en France.

Les échantillons sont constitués de prélèvements ponctuels, représentatifs de la couche lithologique associée. Sur la base des constats de terrain et des objectifs des sondages, le programme analytique mis en œuvre est présenté dans le tableau suivant.

Tableau 8 : Synthèse du programme analytique mis en œuvre à l'issue des investigations de juin 2023

Sondage	Profondeur (en m)	Lithologie	PID (ppmV)	Analyses
C1	0-0,5	Remblais	2	HCT C5-C40
	0,5-1	Terrain naturel (TN) : sable limoneux gris	0,8	HCT C5-C40
	1-2	TN	0,1	HCT C5-C40
C2	0-1,2	Remblais	0,2	HCT C5-C40
	1,2-2	TN	10,2	HCT C5-C40
C3	0-1,4	Remblais	0	HCT C5-C40
	1,4-2	TN	8,1	HCT C5-C40

Sondage	Profondeur (en m)	Lithologie	PID (ppmV)	Analyses
C4	0-1	Remblai	0,2	HCT C5-C40
	1-2	TN	12,4	HCT C5-C40
C5	0-0,5	Remblais	0,1	HCT C5-C40
	0,5-1	TN	39,2	HCT C5-C40
	1-2	TN	10,3	HCT C5-C40
C6	0-0,8	Remblais	0	HCT C5-C40
	0,8-1,5	TN	0,2	HCT C5-C40
	1,5-2	TN	9	HCT C5-C40
C7	0-0,8	Remblais	27	HCT C5-C40
	0,8-1,5	TN	52,5	HCT C5-C40+TPH
	1,5-2	TN	35,1	HCT C5-C40
C8	0-1,4	Remblais	1,2	HCT C5-C40
	1,4-2	TN	0,6	HCT C5-C40
C9	0-1	Remblais	0	HCT C5-C40
	1-1,4	TN	0	HCT C5-C40
	1,4-2	TN	5,6	HCT C5-C40

HCT C5-C40 : Hydrocarbures totaux C5-C40

TPH : analyse fine des fractions hydrocarbures

Le programme analytique est identique au programme prévisionnel.

Les résultats des analyses en hydrocarbures C5-C40 sont présentés dans le tableau suivant.



Tableau 9 : Résultats d'analyses en hydrocarbures C5-C40 (en mg/kg MS)

Paramètres	Unité	Seuils Déchets Inertes (arrêté du 12/12/2014)	C1	C1	C1	C2	C2	C3	C3	C4	C4	C5	C5	C5	C6	C6	C6	C7	C7	C7	C8	C8	C9	C9
			0-0,5	0,5-1	1-2	0-1,2	1,2-2	0-1,4	1,4-2	0-1	1-2	0-0,5	0,5-1	1-2	0-0,8	0,8-1,5	1,5-2	0-0,8	0,8-1,5	1,5-2	0-1,4	1,4-2	0-1	1-1,4
Fraction >C6-C8	mg/kg MS	-	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	1,2	<0,40	5,8	<0,40	<0,40	<0,40	5,3	3,8	<0,40	<0,40	1,4	<0,40	5	0,47	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Fraction C8-C10	mg/kg MS	-	0,44	<0,40	<0,40	<0,40	22	<0,40	100	<0,40	1,3	<0,40	79	62	<0,40	<0,40	31	6,3	60	7,5	0,56	0,68	<0,40	<0,40
Hydrocarbures C5-C10	mg/kg MS	-	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	23	<1,0	110	<1,0	1,3	<1,0	84	66	<1,0	<1,0	32	6,3	65	8	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Fraction C10-C12	mg/kg MS	-	5,7	<4,0	6,8	<4,0	200	<4,0	540	4,6	130	<4,0	590	360	<4,0	<4,0	310	70,3	330	33,7	<4,0	11,4	<4,0	<4,0
Fraction C12-C16	mg/kg MS	-	25,6	<4,0	<4,0	4,7	790	<4,0	1700	37	600	13,7	1700	1100	<4,0	6,2	760	310	1100	130	22,3	75,5	<4,0	<4,0
Fraction C16-C20	mg/kg MS	-	36,6	8,4	<2,0	18,3	700	5,9	1200	47,9	530	42,4	1300	810	14,9	11,4	560	330	970	120	25,5	140	9,5	<2,0
Fraction C20-C24	mg/kg MS	-	26,5	8,9	3,1	130	310	8,2	500	88,2	240	42,3	530	350	14,7	10,7	210	130	380	55,7	19,7	82,4	10,5	<2,0
Fraction C24-C28	mg/kg MS	-	20,5	6,8	3,1	460	100	14,9	130	230	62,3	45,5	140	85,4	19,3	10,3	47,6	31,6	61	48	16,4	49,6	12,3	3,4
Fraction C28-C32	mg/kg MS	-	13	3,9	3,5	420	29	14	23	210	12	42	22	13	23	10	11	17	5	35	12	26	11	3,1
Fraction C32-C36	mg/kg MS	-	7,4	<2,0	<2,0	290	8	7,3	4	100	<2,0	31,7	3,1	<2,0	21,1	9	<2,0	13,8	<2,0	23,3	7,2	12,9	7	<2,0
Fraction C36-C40	mg/kg MS	-	2,2	<2,0	<2,0	69,9	<2,0	2,4	<2,0	23,5	<2,0	10,2	<2,0	<2,0	8,2	5,1	<2,0	7,6	<2,0	4,4	<2,0	2,7	<2,0	<2,0
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg MS	500	130	36	<20,0	1400	2200	54,7	4100	740	1500	230	4300	2800	100	65,2	1900	900	2800	440	110	400	57,5	<20,0
Fraction aliphatique C5-C6	mg/kg MS	-	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Fraction aliphatique >C6-C8	mg/kg MS	-	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	1,2	<0,20	5,8	<0,20	<0,20	<0,20	5,3	3,8	<0,20	<0,20	1,4	0,24	5	0,47	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Fraction aliphatique >C8-C10	mg/kg MS	-	0,44	<0,20	<0,20	<0,20	19	<0,20	91	<0,20	1,3	<0,20	71	58	0,26	<0,20	28	5,6	50	6,1	0,56	0,68	<0,20	<0,20
Fraction aliphatique >C10-C12	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	290	-	-	-	-	-
Fraction aliphatique >C12-C16	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	820	-	-	-	-	-
Fraction aliphatique >C16-C21	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	900	-	-	-	-	-
Fraction aliphatique >C21-C35	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	310	-	-	-	-	-
Fraction aliphatique >C35-C40	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<10	-	-	-	-	-
Somme des fractions aliphatiques	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2380	-	-	-	-	-
Fraction aromatique >C6-C8	mg/kg MS	-	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Fraction aromatique >C8-C10	mg/kg MS	-	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	3,4	0,31	11	<0,20	<0,20	<0,20	8,1	4,4	<0,20	<0,20	2,7	0,71	10	1,4	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Fraction aromatique >C10-C12	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	87	-	-	-	-	-
Fraction aromatique >C12-C16	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	340	-	-	-	-	-
Fraction aromatique >C16-C21	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	350	-	-	-	-	-
Fraction aromatique >C21-C35	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	130	-	-	-	-	-
Fraction aromatique >C35-C40	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<10	-	-	-	-	-
Somme des fractions aromatiques	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	920	-	-	-	-	-
TPH (Somme aliphatiques et aromatiques)	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3290	-	-	-	-	-

Les résultats d'analyses mettent en évidence des teneurs importantes en hydrocarbures au droit des sondages C2, C3, C4, C5, C6 et C7 :

- Dans le remblai jusqu'à environ 1,2 mètre de profondeur au droit des sondages C2, C4 et C7 pour une teneur maximale de 1400 mg/kg MS ;
- Dans le terrain naturel au droit de ces 6 sondages jusqu'à 2 mètres de profondeur pour une teneur maximale de 4300 mg/kg MS.

Les sondages C1, C8 et C9 ne sont pas impactés par les hydrocarbures.

La localisation de ces impacts et de la zone circonscrite en hydrocarbures est présentée sur la figure suivante.



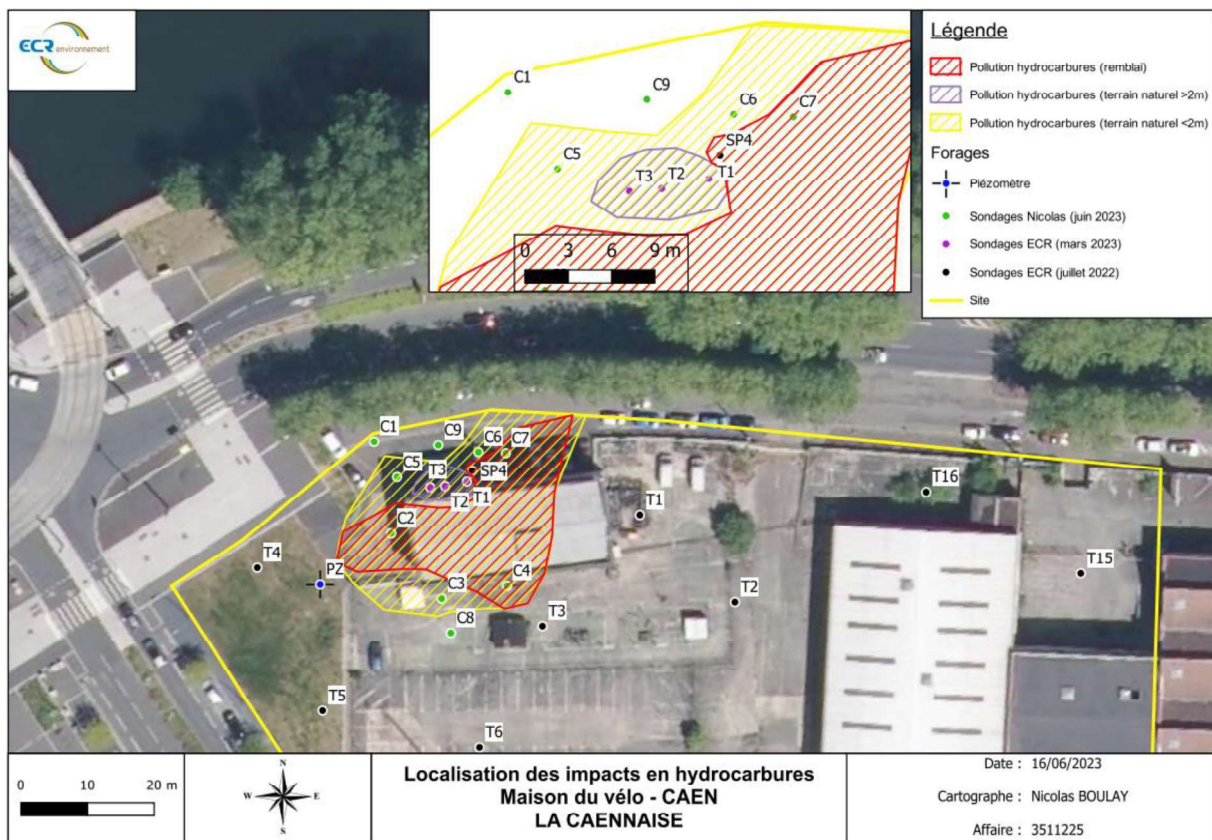


Figure 6 : Localisation des impacts en hydrocarbures

4. DESCRIPTION DES INVESTIGATIONS SUR LES EAUX SOUTERRAINES (A210)

4.1. Investigations sur les eaux souterraines

Les investigations sur les eaux souterraines ont été réalisées le 6 juin 2023 au droit du piézomètre Pz, déjà présent sur la zone d'étude en bordure ouest de la zone impactée en hydrocarbures, dans l'objectif de déterminer la qualité des eaux souterraines.

Les caractéristiques de l'ouvrage sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 10 : Caractéristiques des points de prélèvement d'eaux souterraines de la zone d'étude

Ouvrage	Profondeur (en m/sol)	Diamètre du tubage (en mm)	Position des crépines (en m/sol)
PZ	/	80	/

La localisation du point de prélèvement d'eau souterraine est présentée sur la **figure 6** « Localisation des impacts en hydrocarbures ».

4.2. Stratégie d'échantillonnage

Un relevé piézométrique a été réalisé dans le piézomètre à l'aide d'une sonde d'interface eau / hydrocarbures.

Les eaux souterraines ont ensuite été échantillonnées le 6 juin 2023 à l'aide d'un préleveur à usage unique. Les paramètres, température, pH, conductivité et potentiel redox ont été mesurés sur le terrain à l'aide d'un analyseur d'eau multi-paramètres.

Les prélèvements d'eaux souterraines ont été effectués dans les flacons prévus à cet effet, fournis par le laboratoire d'analyse. Ils ont été stockés dans une glacière réfrigérée, à l'abri de la lumière, jusqu'à leur arrivée au laboratoire d'analyse. L'enregistrement des échantillons a été conforme à la Norme NF ISO 18400-107.

4.3. Programme analytique engagé sur les eaux souterraines

L'ensemble des analyses a été effectué par le laboratoire AGROLAB dont les accréditations sont reconnues par le Cofrac en France.

Sur la base des observations de terrain et des objectifs des prélèvements, le programme analytique mis en œuvre est le suivant :

- Hydrocarbures totaux C10-C40 ;
- Hydrocarbures volatils C5-C10 ;
- HAP ;
- BTEX.



5. INTERPRETATION DES RESULTATS SUR LES EAUX SOUTERRAINES (A270)

5.1. Observations de terrain

5.1.1. Constats organoleptiques

Aucun constat organoleptique de pollution n'a été mis en évidence au cours du prélèvement. Les eaux souterraines présentaient toutefois une couleur marron clair et une légère turbidité.

Aucune phase flottante ou coulante n'a été mise en évidence dans l'ouvrage.

5.2. Interprétations de terrain

5.2.1. Valeurs de référence

Les résultats analytiques obtenus sur les eaux souterraines ont été comparés aux valeurs limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine et aux valeurs limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine suivant l'arrêté ministériel du 11 janvier 2007.

5.2.2. Résultats analytiques des échantillons d'eau souterraine

Les bulletins analytiques du laboratoire sont fournis en **annexe 4**.

Les résultats d'analyses sont présentés dans le tableau suivant.



Tableau 11 : Résultats d'analyses des échantillons d'eau souterraine (en µg/L)

Paramètres	Limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine de l'arrêté du 11/01/2007	Limites de qualité des eaux brutes de toute origine, utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine de l'arrêté du 11/01/2007	Unité	PZ
Hydrocarbures totaux C10-C40		1000	µg/L	125
Naphtalène			µg/L	0,07
Benzo(a)pyrène	0,01		µg/L	0,019
Benzo(b)fluoranthène	0,1	1	µg/L	0,022
Benzo(k)fluoranthène			µg/L	0,01
Benzo(g,h,i)pérylène			µg/L	0,013
Indéno(1,2,3-cd)pyrène			µg/L	0,013
Benzène	1		µg/L	<0,2
Toluène			µg/L	<0,5
Ethylbenzène			µg/L	<0,5
m,p-Xylène			µg/L	<0,2
o-Xylène			µg/L	<0,50
Somme Xylènes			µg/L	n.d.

Les résultats d'analyses mettent en évidence :

- Une teneur en Benzo(a)pyrène supérieure à la limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine ;
- Des teneurs inférieures aux limites des eaux destinées à la consommation humaine pour les autres paramètres.



6. DESCRIPTION DU PROJET D'AMENAGEMENT

A ce stade, le projet d'aménagement est le suivant :

- Plusieurs bâtiments à usage mixte bureaux-logements ;
- Les parties non bâties du terrain sont occupées par des voiries, trottoirs et parkings en enrobé ou en béton ;
- Une partie des espaces non bâtis sont constitués par des espaces verts ;
- Tous les commerces et bureaux sont situés au RDC de chaque bâtiment, les logements sont situés dans les étages supérieurs.

Sur le plan de composition des lots qui composent le projet, les numéros correspondent à :

- 1 : tour principale ;
- 2 : espace vert ;
- 3 : bâtiment bureaux et commerces ;
- 4 : bâtiment bureaux et commerces (dont restaurant) ;
- 5 : voirie nouvelle ;
- 6 : cœur d'îlot (public), composé de chemins piétons et d'espaces verts ;
- 7 : parvis publics.

A ce stade de l'étude, nous considérons que les mesures de gestion simples suivantes seront appliquées dans le cadre du futur aménagement :

- Recouvrement des espaces verts par 30 cm de terre saine après tassement ;
- Absence d'usage des eaux souterraines au droit du site ;
- Absence de jardins potagers ;
- Les canalisations d'eau de distribution implantées sur le site sont de nature à prévenir les risques potentiels de perméation à travers les conduites. Cela est obtenu soit par le type de matériau des conduites, soit par la pose de ces conduites dans un milieu sain par un encuvement ou une isolation des conduites par rapport aux terres environnantes.



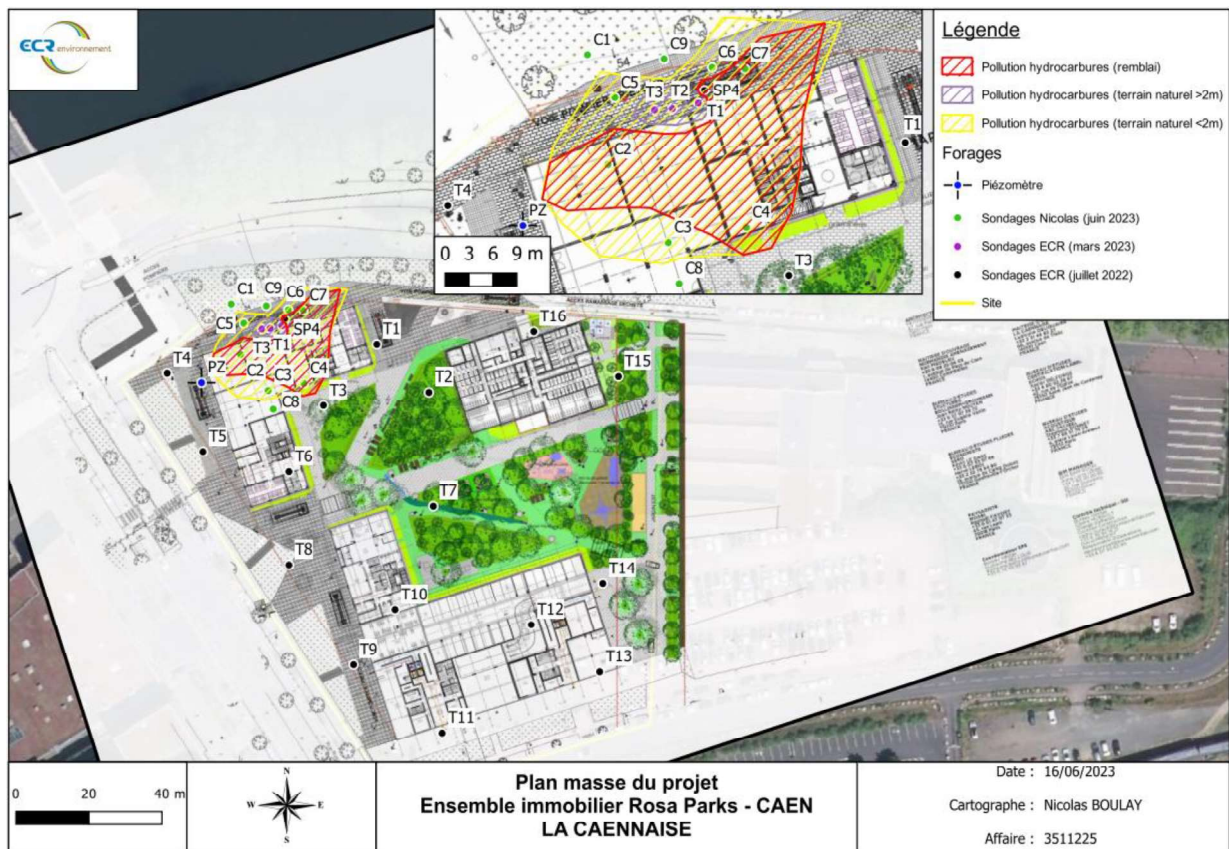


Figure 7 : Plan masse du projet d'aménagement

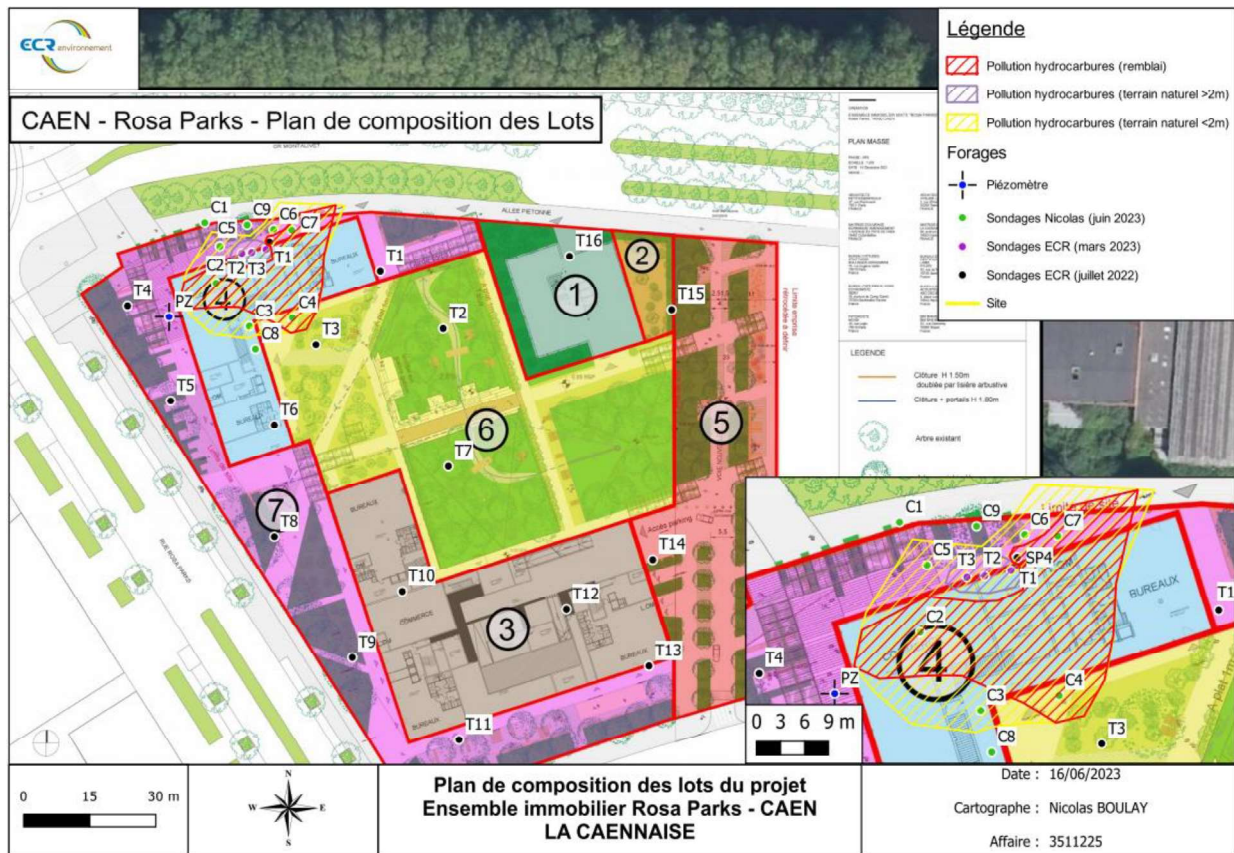


Figure 8 : Plan de composition des lots du projet

7. SCHEMA CONCEPTUEL

Selon la méthodologie de gestion des sites et sols pollués en application de la Note Ministérielle du 19 avril 2017, le schéma conceptuel est réalisé pour établir un bilan factuel de l'état d'un site ou d'un milieu.

Cet état des lieux permet d'appréhender l'état des pollutions des milieux et les voies d'exposition aux pollutions au regard des activités constatées ou prévues.

Le schéma conceptuel présente :

- la (ou les) source(s) de pollution ;
- les voies de transferts possibles ;
- les cibles potentielles ;
- les milieux d'exposition.

Il traduit le concept de « Source-Vecteur-Cible ».

Le but du schéma conceptuel est de représenter de façon synthétique tous les scénarii d'exposition directe ou indirecte, susceptibles d'intervenir. Il identifie les enjeux sanitaires et environnementaux à considérer dans la gestion du site.

7.1. Pollution

Les substances polluantes concernées sont les substances observées dans le sol lors des diagnostics antérieures à des concentrations significatives et dont les propriétés physico-chimiques les rendent pertinentes pour une ou plusieurs voies d'exposition envisagées, à savoir les concentrations résiduelles des composés suivants :

- Les hydrocarbures volatils ;
- Les métaux lourds.

7.2. Caractérisation des cibles

La cible principale considérée est l'homme, qu'il soit atteint de manière directe (par contact ou ingestion), ou indirecte (par inhalation).

Ici, les cibles potentielles sont les futurs travailleurs et usagers du site.



7.3. Voies de transfert et d'exposition

Les voies de transfert possibles de la source vers les autres milieux, et les voies d'exposition associées, sont listées dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Voies de transfert et d'exposition

Voie de transfert	Voie d'exposition	Voie retenue	Justification
Contact direct avec les sols et poussières contaminées	Ingestion et contact cutané	Non	Recouvrement de surface par de la terre saine
Dispersion atmosphérique de poussières	Inhalation de particules	Non	
Volatilisation vers la surface depuis les sols ou la nappe	Inhalation de vapeurs	Oui	Hydrocarbures volatils dans le secteur nord-ouest
Percolation vers la nappe	Utilisation de la ressource en eau souterraine	Non	Absence d'usage de l'eau souterraine au droit du site
Perméation via les canalisations d'eau potable	Ingestion d'eau potable	Non	Matériau des conduites adapté ou implantation dans des zones non impactées
Bioaccumulation dans les végétaux	Consommation des végétaux autoproduits	Non	Absence de jardins potagers / arbres fruitiers



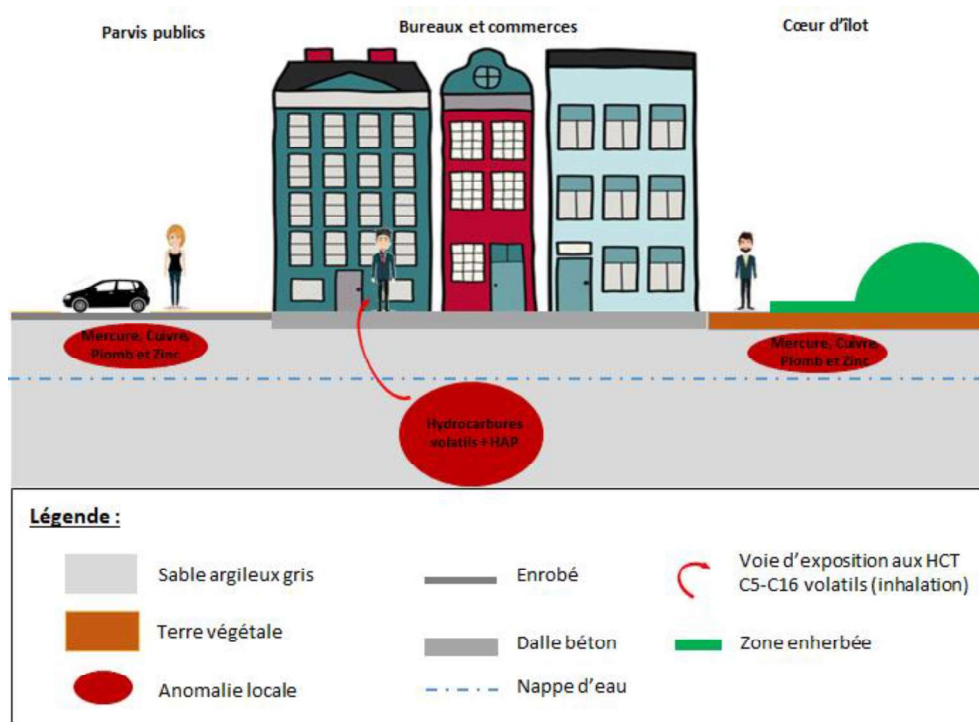


Figure 9 : Schéma conceptuel

8. ANALYSE DES ENJEUX SANITAIRES – A320 A PARTIR DES CONCENTRATIONS DANS LES SOLS

Les différentes étapes de l'Analyse des Enjeux Sanitaires, détaillées dans les paragraphes qui suivent, sont les suivantes :

- Etape 1 : Identification des dangers basée sur le schéma conceptuel afin de déterminer les sources de pollution résiduelles, les vecteurs de transferts potentiels et les cibles ou personnes identifiées,
- Etape 2 : Détermination des concentrations dans les milieux d'exposition et estimation de la relation dose-effet pour les substances retenues,
- Etape 3 : Estimation des expositions et caractérisation du risque sanitaire associé,
- Etape 4 : Étude des incertitudes de l'étude.

8.1. Caractérisation du site et des composés retenus

L'exposition résiduelle de la population ne peut avoir lieu que lorsque sont présents simultanément une source, une voie d'exposition et une cible, ce qui est le cas du site d'étude.

8.1.1. Sources, voies d'exposition résiduelles et cibles retenues

D'après le Schéma Conceptuel établi précédemment, les sources, les voies de transferts, le milieu d'exposition et les cibles retenues sont les suivantes :

Tableau 13 : Éléments retenus, issus du Schéma Conceptuel

Source	Voie de transfert	Milieu d'exposition Voie d'exposition	Cibles
CONTAMINATION DES SOLS <i>HC Aliphatiques C₆-C₁₆</i> <i>HC Aromatiques C₈-C₁₆</i>	Volatilisation des polluants	Bureaux et commerces. <i>Inhalation</i>	Futurs usagers/travailleurs (enfants et adultes)

Remarque 1 : Les personnes amenées à fréquenter le site de manière ponctuelle ou régulière mais durant de très courtes durées n'ont pas été retenues dans la présente étude (clients des commerces dans le cas présent).

Remarque 2 : Les hydrocarbures C₅-C₄₀ sont des mélanges complexes de différentes substances aux propriétés physico-chimiques et toxicologiques diverses. A l'initiative de l'US EPA, le groupe de travail TPH-CWG a étudié ces mélanges d'hydrocarbures en les décomposant en différents groupes de substances. Le TPH-CWG a déterminé les propriétés physico-chimiques et toxicologiques de ces groupes de substances.

Dans le cas de l'inhalation d'air intérieur et/ou extérieur, étant donné que la voie de transfert envisagée est le transfert de vapeurs, on considère uniquement la fraction volatile des hydrocarbures C₅-C₄₀, soit les hydrocarbures C₅-C₁₆.



8.1.2. Sélection des substances et des concentrations retenues

La sélection des composés à prendre en compte est basée sur les éléments suivants :

- Concentrations mesurées dans les différents milieux,
- Concentrations du bruit de fond géochimique si elles sont disponibles,
- Principales propriétés physico-chimiques des composés : volatilité et solubilité
- Toxicité et cancérogénicité des polluants retenus,

Selon la démarche de gestion des sites et sols pollués formalisée par la note ministérielle d'avril 2017, il faut privilégier pour l'analyse des risques sanitaires, les mesures directes dans le milieu d'exposition.

Dans le cadre du projet, nous retenons **les teneurs mesurées dans les sols** qui seront respectivement modélisées :

- dans l'air intérieur des bureaux et commerces.

Dans un premier niveau d'approche sécuritaire, la concentration maximale de chaque polluant décelé dans les sols sera retenue.

Les tableaux suivants synthétisent les teneurs en polluants retenues dans les milieux sources (sol) :

Tableau 14 : Concentrations retenues (sol)

Composés	N° CAS	Concentrations (mg/kg MS)	Echantillon
Hydrocarbures			
Aliphatiques > C6-C8	/	17	T1 de mars 2023 (2-3)
Aliphatiques > C8-C10		240	
Aliphatiques > C10-C12		532	
Aliphatiques > C12-C16		1680	
Aromatiques > C8-C10		27	
Aromatiques > C10-C12		228	
Aromatiques > C12-C16		720	

8.2. Evaluation de l'exposition – Choix du modèle

8.2.1. Sélection du modèle

Afin de quantifier le risque sanitaire que génèrent les pollutions résiduelles au droit du site en fonction de son futur usage, nous avons utilisé le logiciel MODUL'ERS pour réaliser ces calculs. Il s'agit d'un logiciel développé par INERIS pour faire les analyses de risque.

Le scénario étudié dans cette étude sera l'exposition des futurs travailleurs (adultes) à l'intérieur des commerces et bureaux.



8.2.2. Sélection des paramètres de modélisation

Le modèle comporte plusieurs niveaux de paramètres :

- Paramètres liés au sous-sol,
- Paramètres liés à la configuration de la pollution,
- Paramètres liés aux bâtiments et aux aménagements du site (enrobés, pelouses...),
- Paramètres liés aux occupants du site

Dans le cas où certaines données ne sont pas connues, on retient les valeurs par défaut préconisées par le modèle ou les données utilisées par le groupe de travail « réutilisation des terres » (INERIS/BRGM) et le guide de gestion des résultats des diagnostics réalisés dans les lieux accueillant enfants & adolescents – Choix des valeurs permettant la construction des seuils R1, R2 et R3.

➤ Scénario air intérieur :

Pour ce scénario nous nous basons sur la surface du lieu de vie au RDC. Ainsi pour le dégazage à l'intérieur du bâtiment, le modèle Johnson-Ettinger, intégré dans MODUL'ERS est utilisé.

Sous le bâtiment, on considère un sol de type « sable argileux », dans lesquels sont présents les polluants volatils.

Les paramètres retenus sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau 15 : Paramètres de modélisation pour le scénario inhalation intérieure

Caractéristiques	Donnée habitant	Source
Sol		
Epaisseur de la zone polluée	2m	Donnée terrain – épaisseur de la couche non saturée
Type de matériaux du sol	Sable argileux	Donnée terrain
Porosité du sol	0,45	Données J&E – pour un sol assimilé sable
Bâtiment		
Hauteur de la pièce de vie	2,5 m	Par défaut - ECR Environnement
Surface de la pièce de vie	600 m ²	Selon plan masse du projet (bureaux et restaurant)
Taux de renouvellement de l'air	22 m ³ .h ⁻¹ (=1,4.10 ⁻⁴ s ⁻¹)	Article 64-1 du règlement sanitaire départemental (RSD) du Calvados – ARS Normandie
Epaisseur de la dalle	12 cm	Par défaut – ECR Environnement



8.3. Détermination des expositions

8.3.1. Méthodologie appliquée

Des extrapolations des données sont nécessaires afin de réaliser les calculs. Le logiciel les réalise en interne, cependant il est important de connaître le cheminement suivi.

- Comme vu précédemment, les concentrations inhalées et ingérées ont été calculées à partir de la concentration dans les gaz de sol.
- Pour la voie respiratoire, la dose d'exposition est généralement remplacée par la concentration inhalée. Lorsque l'on considère des expositions de longue durée, on s'intéresse à la concentration moyenne inhalée par jour, retranscrite par la formule suivante :

$$CI = \left(\sum_i (C_i \times t_i) \right) \times F \times \frac{T}{T_m}$$

Avec :

CI : concentration moyenne inhalée (mg/m³ ou µg/m³),

C_i : concentration de polluant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps *t_i* (en mg/m³),

t_i : fraction du temps d'exposition à la concentration *C_i* pendant une journée,

T : durée d'exposition (en années),

F : fréquence ou taux d'exposition nombre annuel d'heures ou de jours d'exposition ramené au nombre total annuel d'heures ou de jours,

T_m : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée.

8.3.2. Choix des VTR utilisées

On utilise les valeurs toxicologiques de référence recommandées par l'INERIS pour la réalisation des évaluations quantitatives des risques sanitaires. Les résultats de calcul fournissent des valeurs d'exposition des utilisateurs du site aux substances polluantes présentes dans le sol. Ces valeurs se traduisent sous forme de quantité de produit absorbé par unité de poids corporel d'individu ou sous forme de concentration moyenne inhalée. Ces valeurs sont comparées aux valeurs toxicologiques de référence (VTR) afin d'évaluer le risque sanitaire.

Le choix des VTR s'est fait selon la circulaire de la 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 et de la gestion des sites et sols pollués.

Les VTR sont issues d'études menées par divers organismes : ANSES, OMS, US EPA, ATSDR, OEHHHA, RIVM, Santé Canada.

Principales sources concernant les VTR :

ANSES : Agence nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail.

USEPA : United States Environmental Protection Agency, base de données des Etats-Unis

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry, base de données des Etats-Unis

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, base de données des Pays-Bas

OEHHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment, base de données de l'état de Californie

Les valeurs les plus pertinentes de VTR ont été sélectionnées. Le choix des VTR a été réalisé à partir du site substances.ineris.fr, consulté en juin 2023. Nous avons d'abord sélectionné les VTR retenues par l'INERIS puis celles retenues par l'ANSES. Lorsque celles-ci ne sont pas disponibles et que plusieurs valeurs toxicologiques sont



présentées, nous avons d'abord choisi celles de l'US EPA, l'OMS et l'ATSDR puis enfin celles de Santé Canada, RIVM, OEHHA et EFSA.

Les tableaux ci-après présentent les VTR disponibles pour les substances étudiées qui présentent des effets à seuil ou sans seuil pour la voie respiratoire et pour la voie orale.

Tableau 16 : VTR pour voie respiratoire

Composés	n° CAS	à seuil (mg/m³)	Organe cible	Source
Hydrocarbures				
Aliphatiques > C6-C8	/	5,3	Liver, hematological system	TPHCWG 1999
Aliphatiques > C8-C10		0,3		
Aliphatiques > C10-C12		0,3		
Aliphatiques > C12-C16		0,1		
Aromatiques > C8-C10		0,06		
Aromatiques > C10-C12		0,06		
Aromatiques > C12-C16		0,06		

8.3.3. Durée et fréquence d'exposition

Dans le cas présent, par rapport au schéma de fonctionnement préalablement établi, le milieu d'exposition est :

- **l'air ambiant du rez-de-chaussée des futurs bureaux et commerces qui pourrait être impacté par le dégazage de substances volatiles depuis les sols.**

L'objectif est donc de déterminer les concentrations des substances dans ces milieux d'exposition.

Les concentrations des substances dans l'air intérieur peuvent être déterminées par :

- des analyses directes, non réalisées dans le cas présent ;
- une estimation via des modèles de transfert à partir de concentrations mesurées dans le sol.

Nous rappelons que la modélisation est généralement majorante par rapport à la mesure réalisée directement dans les milieux d'exposition (air intérieur).

L'INERIS fournit les caractéristiques des cibles afin de modéliser leur exposition. Ces données sont regroupées dans le tableau ci-après :

Tableau 17 : Caractéristiques des classes d'exposition

Paramètre	Source
exposition d'un adulte de plus de 18 ans (m)	classe 7 de MODUL'ERS
Durée d'exposition d'un individu (travailleur)	10 ans

Cette étape de l'évaluation a pour objectif de calculer les doses d'exposition (Ci) des individus sur la base des concentrations en substances polluantes dans les sols et les voies d'exposition considérées selon le scénario suivant :



Cibles	Exposition dans les commerces et bureaux, fraction annuelle de temps passé à l'intérieur (RDC)	Source de l'information
Classe 7	0,201	Valeur réaliste déterminée par ERC 8h par jour et 220 jours par an

Tableau 18 : Descriptif des temps d'exposition

8.4. Calcul des risques sanitaires

8.4.1. Quantification des risques

➤ Les effets à seuil

Ils correspondent aux effets aigus et à certains effets chroniques non cancérogènes, non génotoxiques et non mutagènes, dont la gravité est proportionnelle à la dose. Selon cette approche classique de la toxicologie, les effets ne surviennent que si une certaine dose est atteinte et dépasse les capacités de détoxification, de réparation ou de compensation de l'organisme : il existe donc une dose limite en dessous de laquelle le danger ne peut apparaître. L'évaluation est de nature qualitative : un **quotient de danger (QD) inférieur ou égal à 1** signifie que l'exposition de la population n'atteint pas le seuil de dose à partir duquel peuvent apparaître des effets indésirables pour la santé humaine. Un ratio supérieur à 1 signifie que l'effet toxique peut se déclarer dans la population sans qu'il soit possible d'estimer la probabilité de survenue de cet événement.

$$QD = \frac{CI}{VTR (inhalation)}$$

Dans le cadre d'une EQRS, $QD \leq 1 \Rightarrow$ Risque acceptable

Lorsqu'un quotient de danger (QD) est supérieur à 1, le nombre de cas d'effet toxique dans une population donnée n'est pas accessible mais l'apparition d'un effet toxique ne peut pas être exclue. **Lorsqu'il est inférieur à 1, la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable, il n'y a théoriquement aucun cas.**

Le potentiel d'effet toxique est représenté par le rapport entre la dose ou concentration d'exposition et la valeur toxicologique de référence (VTR).

➤ Les effets toxiques sans seuil

Il s'agit des effets cancérogènes génotoxiques (et des mutations génétiques) pour lesquels la fréquence (mais non la gravité) est proportionnelle à la dose. Ces effets réputés sans seuil pourraient apparaître quelle que soit la dose reçue par l'organisme.

Ces effets sans seuil ont également été suggérés pour des manifestations autres que le cancer, comme des troubles respiratoires inflammatoires en lien avec des particules fines atmosphériques.



Il est admis que les substances cancérigènes génotoxiques agissent sans seuil de dose. Cela signifie qu'à toute inhalation non nulle d'un toxique cancérigène correspond une probabilité non nulle de développer un effet. Cette probabilité est appelée l'Excès de Risque Individuel (ERI).

$$ERI = VTR (inhalation) \times CI$$

Avec :

ERI : excès de risque individuel par voie respiratoire ou orale, sans unité

VTR: valeur toxicologique de référence

CI : concentration moyenne inhalée,

DJE : Dose journalière d'exposition

Dans le cadre d'une EQRS, $ERI \leq 10^{-5} \Rightarrow$ Risque acceptable

8.4.2. Scénarios inhalation d'air intérieur

Tableau 19 : détermination des concentrations moyennes dans l'air intérieur (inhalées)

Composés	Concentration inhalée (C _{inh}) dans l'air intérieur – exposition individu
Unité	mg/m ³
Aliphatiques > C6-C8	$5,58.10^{-4}$
Aliphatiques > C8-C10	$7,25.10^{-5}$
Aliphatiques > C10-C12	$8,91.10^{-6}$
Aliphatiques > C12-C16	$8,48.10^{-7}$
Aromatiques > C8-C10	$8,77.10^{-5}$
Aromatiques > C10-C12	$1,34.10^{-5}$
Aromatiques > C12-C16	$1,58.10^{-6}$

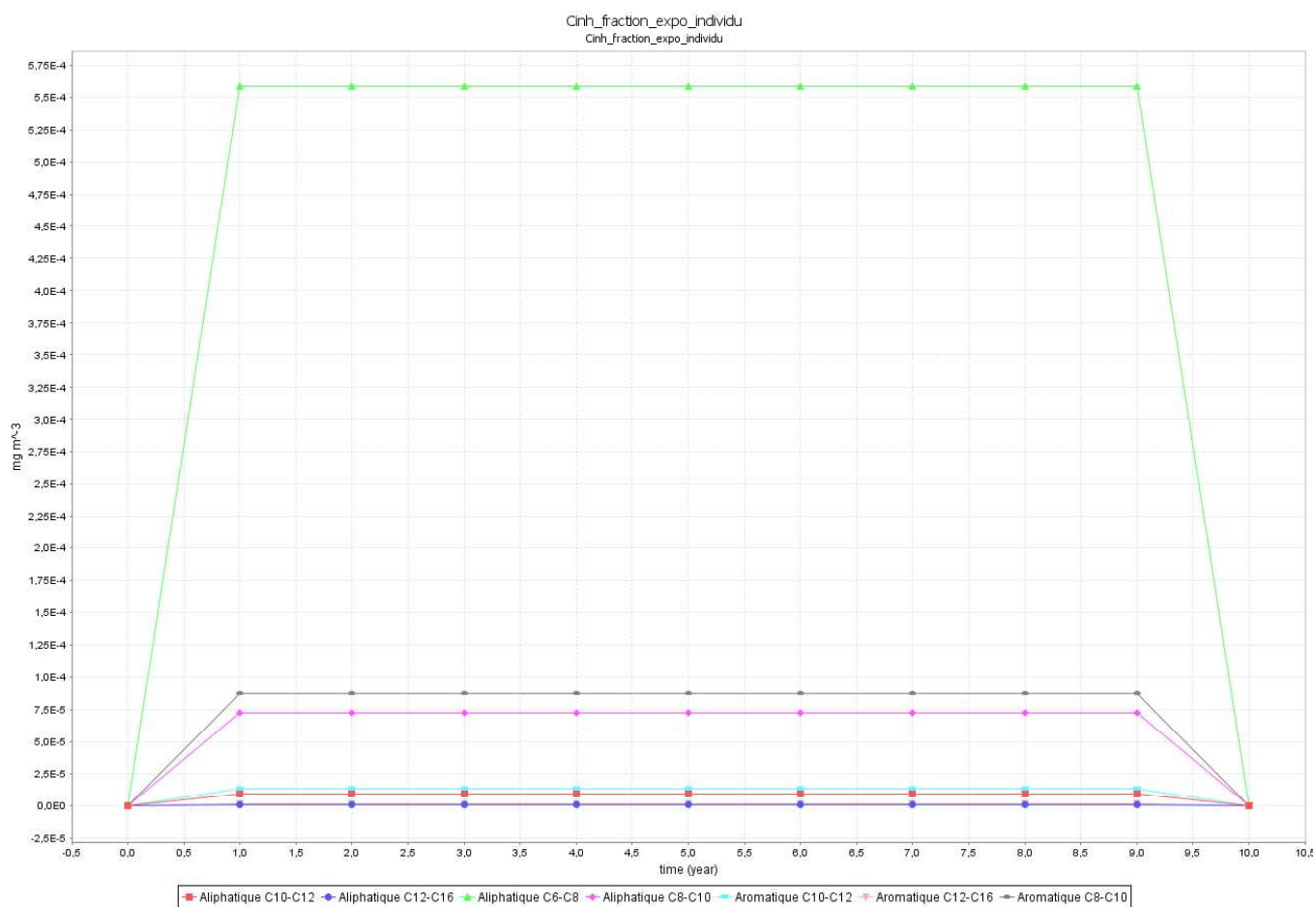


Figure 10 : Concentration de composés inhalés en intérieur (Modul'ERS)

8.4.3. Interprétation des QD

Les détails des résultats des calculs de risques sanitaires sont présentés en **annexe 5**.

Les tableaux ci-après présentent les synthèses des résultats des risques pour le scénario considéré.

Tableau 20 : Récapitulatif des QD obtenus pour le scénario

Voies d'exposition	Somme des QD (inhalation air intérieur)	Polluant prépondérant dans le calcul de risque	ERI	Polluant prépondérant dans le calcul de risque
Pour les adultes de 18 à 80 ans (<i>classe 7 de MODUL'ERS</i>)		68% HC Aromatiques C8-C10 (inhalation)	/	/
Cumul	$2,10 \cdot 10^{-3}$			
Valeurs limites d'acceptation	1		$1 \cdot 10^{-5}$	

Il en ressort les résultats suivants :

- le cumul des QD est inférieur à 1 (0,002)

L'état des milieux - sur la base des données et éléments transmis au moment de la rédaction du présent rapport, et au regard des résultats d'analyses effectuées sur les sols et selon les paramètres sélectionnés et définis - **est compatible avec l'usage projeté** selon les hypothèses citées dans le présent rapport (commerces, bureaux). Ce résultat est critiqué et réétudié dans le chapitre suivant pour affiner les paramètres problématiques et donner les premières mesures de gestion, le cas échéant.

9. DISCUSSION DES INCERTITUDES SUR L'ÉTUDE DES RISQUES SANITAIRES

La quantification des risques sanitaires par modélisation nécessite de choisir des hypothèses et d'intégrer un certain nombre de paramètres, mesurés ou évalués à partir de données issues de mesures sur site, en laboratoire ou provenant d'une recherche bibliographique, et sur lesquels porte une incertitude plus ou moins grande. De ce fait, l'analyse des incertitudes permet d'évaluer qualitativement et quantitativement « l'erreur » induite par les choix effectués et pouvant conduire soit à une surestimation soit à une sous-estimation des effets sanitaires ; c'est-à-dire, en d'autres termes, la variabilité des indices de risques et des excès de risques calculés.

Cette partie décrit donc avec le plus grand détail l'ensemble des paramètres qui peuvent influencer le résultat de l'évaluation des risques pour la santé humaine. Ces paramètres concernent soit la source, soit le mode de transfert, soit la typologie d'exposition et l'interprétation toxicologique.

L'approche générale se veut sécuritaire et conduit à des valeurs de risques majorantes.

9.1.1. Incertitudes liées au modèle

La source sol est considérée comme infinie, c'est-à-dire que le logiciel ne prend pas en compte une atténuation des teneurs dans la source des sols en fonction du temps du fait de la volatilisation des composés de la source vers l'air intérieur, ce choix est fortement conservatoire pour les composés les plus volatils et majore les résultats obtenus.

La présente étude a été menée en ne considérant que les risques sanitaires induits par la présence de polluants en concentration supérieure au bruit de fond du site. Cette pratique correspond à ce qui est couramment réalisé dans ce type d'étude.

Nous rappellerons cependant que :

- La présence potentielle de composés organiques volatils (benzène, solvants, ...) dans l'air de certaines agglomérations, non liées au site, n'est pas prise en compte ;
- La présence potentielle dans l'air intérieur de composés organiques volatils (solvants, formaldéhydes, etc) issus des aménagements, non liées au site, n'est pas prise en compte.

9.1.2. Incertitudes liées aux substances et aux concentrations retenues

La modélisation a été établie sur la base des résultats des investigations du rapport de **ECR ENVIRONNEMENT** n°1404051 de mars 2023 et les compléments de juin 2023.

Lors de la sélection des substances, on a retenu les composés quantifiés dans les sols, représentatifs des modes transfert retenus.

L'hypothèse est de considérer la concentration maximale pour chaque substance étudiée au droit de la zone d'étude. Cela revient à prendre l'hypothèse que ces concentrations se rencontrent dans l'ensemble de la zone impactée, ce qui renforce le caractère sécuritaire de la modélisation.

Les valeurs les plus pertinentes de VTR ont été sélectionnées. Lorsque plusieurs valeurs toxicologiques sont disponibles, les valeurs validées par l'INERIS ou l'ANSES sont choisies en priorité ensuite se sont les valeurs les plus



récentes et émanant des organismes internationalement reconnus puis en cas d'absence d'études : les valeurs anciennes ou émanant d'organisme peu reconnu.

En résumé, malgré l'existence d'incertitudes sur les VTR (concernant le degré de confiance accordées aux études, les facteurs de sécurité, les désaccords entre expert toxicologues), l'approche que nous avons retenue rend compte des connaissances scientifiques et techniques du moment et sont sécuritaires.

Il est à noter que les calculs de risque ont été réalisés avec les connaissances scientifiques du moment. Certaines substances, bien que présentes dans les sols, n'ont pas été retenues dans les calculs à défaut de VTR disponibles dans la bibliographie ou parce qu'elles sont considérées comme non pertinentes pour les voies d'exposition considérées.

9.1.3. Incertitudes liées aux paramètres de modélisation

Pour le calcul de l'inhalation de l'air, on considère les paramètres standards du modèle.

Des hypothèses ont été prises afin de définir certains paramètres inconnus. Ces hypothèses sont prises de manière à ce que l'évaluation des risques soit conservatoire. La mesure de ces paramètres permettrait d'affiner la modélisation et de la faire tendre davantage vers la situation réelle.

La modélisation est établie pour le scénario envisagé et pour la situation environnementale telle qu'elle a été établie par le diagnostic. Dans le cas où l'aménagement du site diffère, ou dans le cas où la situation environnementale ou sa connaissance est modifiée, une modélisation complémentaire devrait idéalement être réalisée afin d'identifier les risques potentiels pour la santé liés à la présence de concentrations résiduelles dans le sol.

9.1.4. Incertitudes liées aux données de base

- Les sols : Nous avons pris le type de sols rencontré lors des sondages. Les caractéristiques sont celles usuellement prises pour un sable argileux. Aucune analyse granulométrique n'ayant été réalisée, les paramètres liés au sol reposent sur des critères qualitatifs (observations de terrain) et non sur des analyses quantitatives.
- Les cibles : Pour les durées d'exposition, nous avons pris des durées réalistes considérant l'usage futur du RDC du bâtiment pour chaque cible identifiée.
- Les volumes : Pour la modélisation de la migration des vapeurs, nous avons pris en compte les dimensions des pièces du rez-de-chaussée indiquées sur le plan masse du projet (données projet : usage bureaux et commerces en RDC).
- La distance source/cible a été adaptée au scénario afin de majorer les risques.
- Surface de la pollution et étendue : nous avons pris l'étendue déterminée lors des 3 campagnes d'investigation d'ERC Environnement. L'épaisseur est celle correspondant à la hauteur de la zone non saturée.
- Les concentrations choisies : nous avons choisi la concentration maximale obtenue lors des diagnostics réalisés par **ECR ENVIRONNEMENT**.
- La source de pollution est fortement majorée puisqu'elle intègre toutes les contaminations les plus importantes et appliquées à l'ensemble de la zone polluée.



9.1.5. Incertitudes liées au calcul de l'exposition

Conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués et aux recommandations des instances sanitaires au niveau national, on procède à l'additivité des risques liés aux différentes substances d'une même voie d'exposition et à l'additivité des risques entre les différentes voies d'exposition.

9.1.6. Conclusion sur les incertitudes

On constate que plusieurs facteurs engendrent des incertitudes sur les risques évalués car basés sur des hypothèses. Pour certains d'entre eux, les connaissances actuelles ne permettent pas de réduire ces incertitudes. La démarche générale adoptée va dans le sens d'une surestimation probable des risques. Cette approche est donc conservatoire.



10. IDENTIFICATIONS DES OPTIONS DE GESTION – A330

L'objectif du plan de gestion est d'identifier les solutions de gestion permettant d'atteindre une compatibilité entre la qualité du site avec ses usages futurs envisagés. Cette démarche prend en compte les caractéristiques du site, de son environnement et du projet, mais également les différentes options de remédiation potentielles.

Dans un premier temps, il convient d'étudier la possibilité d'éliminer les sources de pollution concentrée.

Lorsque cette solution ne peut être retenue pour des raisons économiques, techniques ou en l'absence de pollution concentrée, les impacts liés à la pollution résiduelle doivent être maîtrisés. Dans ce but, les différentes mesures de remédiation envisageables doivent être étudiées et comparées selon leurs coûts et leurs avantages.

Les scénarios de gestion doivent être conformes à la réglementation, et présenter des risques résiduels acceptables.

Des restrictions d'usages du site peuvent être appliquées.

10.1. Zone de pollution concentrée

Une zone de pollution concentrée correspond à un impact limité dans l'espace et caractérisé par des teneurs en polluants significativement supérieures à celles mesurées à proximité immédiate.

Dans le cas présent, la zone de pollution est identifiée dans l'emprise du site (nord-ouest), au regard des teneurs en hydrocarbures C5-C40 dans les sols.

Les caractéristiques des sources de pollution sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 21 : Caractéristiques estimées de la zone hydrocarbures

	Surface commerce (m ²)	Surface parvis publics (m ²)	Surface cœur d'îlot (m ²)	Epaisseur pollution (m)	Sols pollués			
					Volume commerce*	Volume parvis publics*	Volume cœur d'îlot*	Quantité estimée (t)**
Zone hydrocarbures « remblai »	375	40	40	1	375	40	40	819
Zone hydrocarbures « terrain naturel zone non saturée »	495	140	55	1	495	140	55	1242
Zone hydrocarbures « terrain naturel zone saturée »	15	20	0	7,5	112,5	150	0	472,5
TOTAL					982,5	330	95	2533,5

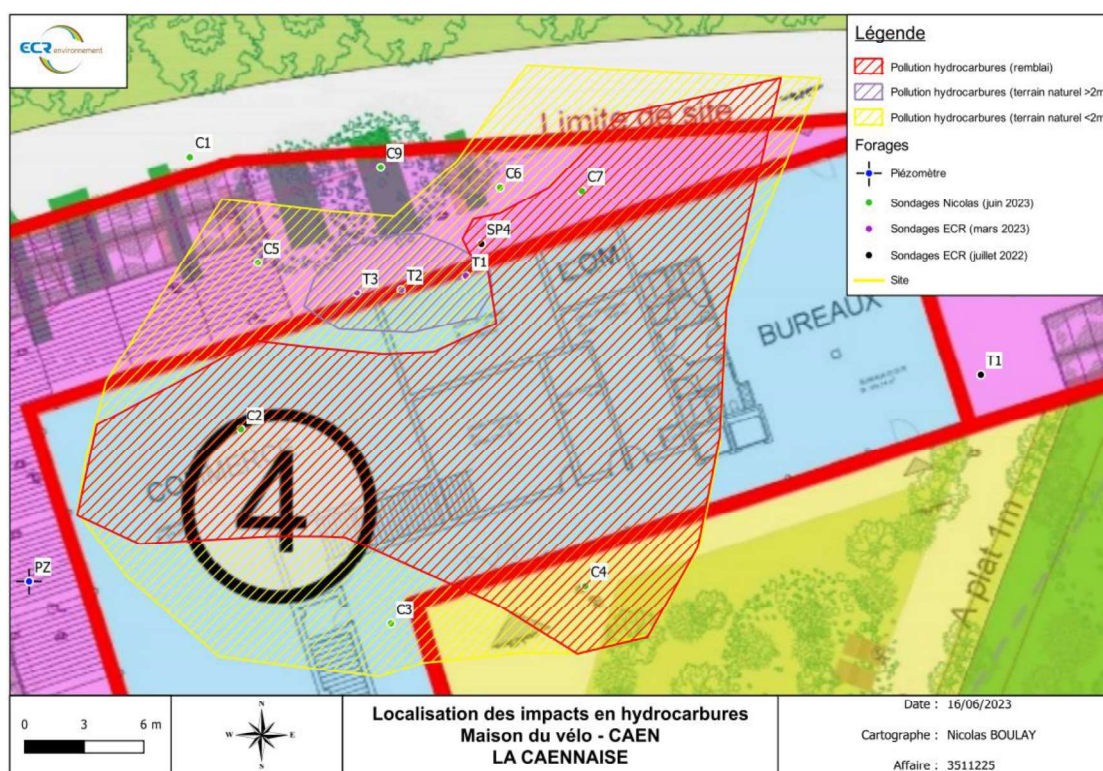
*volume estimé non foisonné

*un facteur 1,8 a été considéré pour la densité et le foisonnement des sols

Un coefficient de 1,8 pour le foisonnement et la densité a été pris en compte dans l'estimation de la quantité de matériaux pollués.

La localisation de la zone de pollution concentrée est présentée en page suivante.





10.2. Maitrise des impacts

Le plan de gestion vise à maîtriser les sources de pollution afin que les risques potentiels attribués aux teneurs résiduelles soient acceptables tant pour la population que pour l'environnement.

Considérant le scénario d'aménagement du site, la voie d'exposition potentielle liée aux pollutions recensées sur le site est l'inhalation d'air intérieur.

Pour rappel, l'impact dans la zone saturée n'a pas été pris en compte pour l'établissement du bilan coûts-avantages, hormis aux emplacements des futurs pieux de fondation. Dans ce cas-là, un coût unitaire par mètre de profondeur est indiqué.

10.2.1. Sélection des techniques de réhabilitation pour les zones concentrées

Plusieurs types de traitement existent pour les sols :

- In-situ : traitement des sols en place, sans excavation ;
- Sur site : excavation des sols et mise en place d'un système de traitement sur site ;
- Hors site : excavation des sols et évacuation en centre de traitement.

Il convient de rappeler que le bilan coûts-avantages des solutions de gestion doit respecter le principe de proportionnalité : l'ampleur du plan de gestion doit en effet rester proportionnée aux pollutions et à leurs étendues. Aussi, lorsque les volumes de terres polluées en cause sont limités et accessibles, le bon sens conduit à excaver les terres et à les évacuer vers les filières de gestion appropriées, et non à s'engager vers des études lourdes et coûteuses qui devraient aboutir finalement à cette option de gestion.

Dans la présente étude, on s'attachera donc à traiter la zone de pollution concentrée située dans la zone non saturée du sol. En effet, l'impact dans la zone saturée est présent jusqu'à au moins 7,5 m de profondeur, le coût de traitement d'un tel volume serait disproportionné aux enjeux, considérant de plus l'absence de risque sanitaire pour l'usage futur projeté.

Le projet d'aménagement conduit à écarter les techniques des traitement *in situ*. De même, le traitement sur site semble inenvisageable du fait du projet d'aménagement. Les mesures de gestion retenues vont viser à supprimer les sources de pollution par excavation des terres impactées pour leur évacuation en centre de traitement.

Sur la base des résultats des investigations, les filières pressenties pour l'évacuation des matériaux pollués sont présentées ci-dessous, avec une estimation des coûts :

- Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) : les terres sont mises en place dans des alvéoles dont la perméabilité est très faible. Les eaux d'infiltration sont collectées et traitées :
 - Coût estimé entre 145 et 160 € HT/t (traitement et transport compris) ;
- Biocentre (centre de traitement biologique) : la technique consiste à mettre en place les terres en tertre dans une installation fixe afin d'optimiser la dégradation biologique des polluants présents dans les terres :
 - Coût estimé entre 75 et 90 € HT/t (traitement et transport compris).

Les critères retenus pour l'acceptation des terres en filière agréé sont différents d'un centre de stockage à l'autre et, de ce fait, il conviendra de consulter plusieurs exutoires potentiels préalablement aux travaux.



Sur la base de ces hypothèses le coût pour le traitement hors site de la zone polluée identifiée dans les sols est estimé comme suit :

Tableau 22 : Estimation des coûts d'élimination de la zone hydrocarbures

	Quantité (t)	Coût d'élimination (€/tonne)	Aléa	TOTAL
Zone hydrocarbures« remblai » sous la Maison du Vélo	684	90	15%	71 000 €
Zone hydrocarbures« remblai » hors Maison du Vélo	144			15 000 €
Zone hydrocarbures « terrain naturel zone non saturée »	1242			129 000 €
Zone hydrocarbures « terrain naturel zone saturée », considérant un pieu de fondation de 80 cm de diamètre	468* (pour 26 pieux de 20 mètres de profondeur selon le plan masse fourni)			48 500 €
TOTAL	2538	90	15%	263 500 €

**comme il n'est pas possible de connaître la profondeur exacte de la pollution dans la zone saturée, il a été considéré l'hypothèse la plus majorante : l'ensemble des terres excavées pour réaliser les pieux sont impactées.*

Ce coût ne prend pas en compte :

- Les coûts de concassage des bétons (considérés non pollués dans le cadre de cette étude) ;
- Les coûts de soutènement éventuellement nécessaires pour les fouilles ;
- Les coûts de gestion des eaux de fouille. Compte tenu de leur profondeur, la présence d'eaux souterraines en fond de fouille lors des travaux est probable (à titre indicatif, en cas d'arrivées d'eaux polluées lors des terrassements, les frais d'installation d'une unité de pompage et de traitement, de suivi et d'élimination des déchets sont estimés entre 10 et 15 k€ HT).

10.2.2. Suivi des travaux de réhabilitation

Il est recommandé de faire suivre les travaux de réhabilitation par une société spécialisée dans le domaine des sites et sols pollués afin de s'assurer de la conformité des opérations avec les dispositions prévues.

Les opérations de réhabilitation devront être explicitées dans un rapport de fin de travaux, dans lequel les zones traitées seront cartographiées.

Dans le cas de cette étude et sur la base du scénario de gestion retenu, le coût supplémentaire lié à l'organisation des travaux, au suivi et au rapport de fin de travaux est estimé **entre 8 et 10 k€ HT**.

10.2.3. Dispositions constructives

Au regard des impacts identifiés, une pollution résiduelle en hydrocarbures dans la zone saturée des sols sera présente à l'issue des travaux de réhabilitation.



D'après l'analyse des enjeux sanitaires, aucun risque inacceptable pour les futurs usagers du site n'a été mis en évidence. Par conséquent, aucune disposition constructive spécifique n'est recommandée pour le futur projet d'aménagement.

A titre indicatif, les coûts de dimensionnement, de mise en œuvre, de maintenance et de suivi de mesure constructive pour garantir la compatibilité entre la qualité résiduelle des milieux et les usages futurs pourront être estimés sur la base du guide relatif aux mesures constructives utilisables réalisé par le BRGM (rapport BRGM/RP-63675-FR, août 2014).

La présence d'anomalies en éléments traces métalliques dans les remblais du site a été mise en évidence de manière généralisée et diffuse. Pour éliminer tout risque sanitaire pour les futurs usagers, la mise en place d'un recouvrement de terre végétale de 30 cm au droit des futurs espaces verts est recommandée.

Un géotextile devra être disposé sur les terrains en place et sous les terrains d'apport non impactés afin de garder physiquement la mémoire de la présence de terres impactées sur le site. Ce coût est estimé à environ **15 à 22,5 k€ HT** pour la pose d'un géotextile sur l'ensemble du site.

Le coût de mise en œuvre est détaillé comme suit :

Tableau 23 : Estimation des coûts d'apport de terre végétale

	Quantité (t)	Coût (€/tonne)	Aléa	TOTAL
Zone 1 – lisière arbustive	94	50	15%	5 500 €
Zone 2	85			4 900 €
Zone 5 – lisière arbustive	400			23 000 €
Zone 6 – espaces verts	1020			59 000 €
Zone 7 – lisière arbustive	460			26 500 €
TOTAL	2059			118 900 €

10.3. Restrictions d'usage

Sur la base du mode de gestion proposé, il est recommandé d'instaurer des restrictions d'usage permettant notamment de garder en mémoire la présence des impacts résiduels dans les sols, d'encadrer des modifications d'usage et d'assurer l'information des tiers.

A ce stade du projet, les principales restrictions d'usage concernent :

- L'usage des eaux souterraines : interdiction de tout usage des eaux souterraines (hors suivi) sans une vérification préalable de leur compatibilité avec l'usage envisagé, au droit du site et en aval hydraulique ;
- La mise en place d'un recouvrement (enrobé, béton, pavement, terre saine sur une épaisseur d'au moins 30 cm une fois compactée) ;
- La culture fruitière et légumière : absence de potager et de verger au droit du site ou le cas échéant, la mise en place d'infrastructures hors sol ;



- Les canalisations AEP, dans le cas de pose d'une canalisation au droit d'une zone de pollution résiduelle, avec la mise en place de toutes les mesures nécessaires afin d'éviter la diffusion des substances volatiles dans l'eau du réseau. Deux possibilités sont à envisager :
 - Canalisation PEHD au sein de remblais d'apport propres ;
 - Canalisation métallique ou spécifique anticontamination.

10.4. Synthèse du bilan coûts/avantages SSP

Sur la base des hypothèses énoncées précédemment, les coûts des travaux de réhabilitation et des opérations associées sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 24 : Synthèse des coûts liés à la réhabilitation du site

		Fourchette basse	Fourchette haute
Elimination de la zone de pollution concentrée en hydrocarbures	Remblais sous la Maison du Vélo (au-dessus des fondations)	52 000 €	71 000 €
	Remblais hors Maison du Vélo	11 000 €	15 000 €
	Terres impactées dans la zone non saturée	94 000 €	129 000 €
	Pieux de fondation	35 000 €	48 500 €
Apport de terre végétale	Lisières arbustives des zones 1, 5 et 7, espaces verts de la zone 2 et 6	86 000 €	118 900 €
Pose d'un géotextile sur l'ensemble du site (environ 1,5 hectare)		15 000 €	22 500 €
Suivi des travaux de réhabilitation		8 000 €	10 000 €
<i>Option – traitement des eaux en fond de fouille</i>		10 000 €	15 000 €
TOTAL (hors traitement des eaux)		300 000 €	415 000 €

Il est à noter que le bilan coûts-avantages est un document évolutif. En cas de nouvelles informations concernant la connaissance du site ou l'évolution du projet, une mise à jour du plan de gestion sera nécessaire.

Lors des travaux, une actualisation de coûts mentionnés dans le présent plan de gestion est à prendre en compte, notamment concernant les coûts de l'énergie.

Le bilan coûts-avantages ne constitue pas un devis pour des travaux de dépollution, ni une étude de conception ou de dimensionnement des futurs travaux. Il ne correspond également pas à un cahier des charges pour la réalisation de travaux de dépollution.



11. INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRE ET SUIVI DE LA QUALITE DES MILIEUX

Au droit du site, des impacts ont été mis en évidence sur les milieux sol et eaux souterraines.

Concernant le milieu sol, on considère que la pollution présente dans la zone non saturée sera gérée, comme détaillé dans les chapitres précédents. La pollution résiduelle de la zone saturée ne présente pas de risques sanitaires pour les futurs usagers dans le contexte d'usage projeté et sous réserve du respect des restrictions d'usage citées précédemment.

Concernant les eaux souterraines, l'impact en Benzo(a)pyrène n'a pas été intégré dans la démarche du bilan coûts/avantages en raison de l'absence de risques sanitaires pour les futurs usagers et d'information suffisante permettant de définir une solution de réhabilitation. Il est recommandé de prévoir la réalisation d'un suivi de ce milieu avec :

- La réalisation de 3 piézomètres complémentaires (1 en amont et 2 en aval hydraulique) pour le contrôle de la qualité ;
- La mise en place d'une surveillance des eaux souterraines, à fréquence semestrielle pour l'établissement d'un bilan quadriennal.

Le coût de ces investigations complémentaires sur les eaux souterraines est estimé **entre 20 et 25 k€ HT**.

En fonction des résultats de ces campagnes de surveillance, une mise à jour des solutions de gestion ou des investigations complémentaires pourront être proposées.



12. CONCLUSION – RESUME NON TECHNIQUE

Dans le cadre de la construction d'un ensemble immobilier mixte, rue Rosa Parks à Caen (14), la SCCV Rosa Parks a missionné ECR Environnement pour la réalisation d'un diagnostic de qualité des sols et un plan de gestion des terres polluées au droit du site d'étude.

Les résultats d'analyse de trois campagnes de sondages successives indiquent la présence diffuse d'éléments traces métalliques (cadmium, cuivre, mercure, plomb et zinc) à des teneurs supérieures aux seuils de réutilisation des terres à excaver et des concentrations importantes en hydrocarbures totaux dans le secteur nord-ouest du site.

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- La réalisation d'une analyse de enjeux sanitaires permettant de statuer sur la compatibilité entre la qualité des milieux et l'usage futur prédéfini ;
- Sur la base des résultats des investigations, et conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, la réalisation d'un plan de gestion avec la définition de solutions de gestion des pollutions identifiées, dans l'objectif d'atteindre la compatibilité entre la qualité des milieux et l'usage futur prédéfini.

Les investigations permettant de réaliser le présent plan de gestion ont été réalisées en juin 2022, mars 2023 et juin 2023. Elles ont permis de mettre en évidence des impacts significatifs dans les sols en composés organiques (HCT C5-C40) et des impacts diffus en composés inorganiques (métaux lourds).

L'analyse des enjeux sanitaires réalisée sur la base des impacts identifiés et du projet d'aménagement a mis en évidence l'absence de risque inacceptable liés aux pollutions identifiées pour les futurs usagers (travailleurs adultes).

Les mesures simples de gestion suivantes ont été prises en compte dans le cadre de l'aménagement du site :

- Le recouvrement de l'ensemble de l'horizon de remblais par un revêtement (enrobé, béton) ou une couche de terre végétale de 30 cm après tassement ;
- L'interdiction de tout usage sensible des eaux souterraines dans l'emprise du site (consommation, arrosage, etc.) ;
- L'interdiction de planter des arbres fruitiers ou de réaliser des jardins potagers en pleine terre au droit des zones impactées en éléments traces métalliques et/ou en composés organiques ;
- En cas de pose d'une canalisation AEP au droit d'une zone polluée, la mise en place de toutes les mesures nécessaires afin d'éviter la diffusion de substances volatiles dans l'eau du réseau.

A ce stade, il est envisagé un usage futur d'ensemble mixte commerces/bureaux. Sur la base des résultats des investigations précédentes et du projet d'aménagement, un schéma conceptuel a été établi afin d'identifier les risques potentiels pour les futurs usagers. Ce dernier a mis en évidence une exposition potentielle par inhalation d'air intérieur.

Par ailleurs, en application des textes ministériels de février 2007 et d'avril 2017, l'objectif du plan de gestion est l'élimination ou, à minima, l'atténuation des sources de pollutions identifiées dans les sols.



Au regard des impacts identifiés, une recherche des solutions de gestion a été réalisée. Le projet d'aménagement conduit à écarter les techniques des traitement *in situ* et sur site. Les mesures de gestion retenues visent à supprimer les sources de pollution par excavation des terres impactées pour leur évacuation en centre de traitement et supprimer les voies de transfert par apport de terre végétale.

Le montant global de l'opération est estimé **entre 300 et 415 k€ HT (hors traitement des eaux éventuel)**.

Remarque : Cette étude ne constitue pas un devis pour des travaux de dépollution, ni une étude de conception ou de dimensionnement des futurs travaux. Il ne correspond également pas à un cahier des charges pour la réalisation de travaux de dépollution.



13. RECOMMANDATIONS

Au regard des résultats de cette étude, il est recommandé de prévoir :

- La réalisation de 3 piézomètres complémentaires (1 en amont et 2 en aval hydraulique) pour le contrôle de la qualité des eaux souterraines ;
- La mise en place d'une surveillance des eaux souterraines, à fréquence semestrielle pour l'établissement d'un bilan quadriennal.

Dans le cadre de futures opérations de réhabilitation, l'ensemble des travaux devra être suivi par un bureau d'études spécialisé en sites et sols pollués. Certaines préconisations seront à prendre en compte dans le cadre de travaux de terrassement :

- Des EPI adaptés pour les travailleurs en fonction de leur poste et des phases de terrassement ;
- La conservation de la mémoire des opérations effectuées, par la mise en place d'un géotextile séparateur de couche sur les zones réhabilitées ;
- En cas de découverte de matériaux pollués hors emprise des zones identifiées, une gestion spécifique devra être mise en œuvre (stockage temporaire sur aire étanche, caractérisation, définition de l'exutoire, etc.).

En cas de changement ultérieur d'usage, il conviendra de vérifier la compatibilité de la qualité des milieux avec le projet envisagé par le biais d'une nouvelle étude.



14. EVALUATION DES INCERTITUDES

Lors de la réalisation d'un diagnostic de pollution des sols, des incertitudes sont rencontrées tout au long des missions. Elles sont détaillées ci-dessous.

14.1. Liées aux investigations de terrain

Des incertitudes demeurent sur la représentativité des sondages effectués. En effet, les sondages sont positionnés après une étude documentaire et la visite de site, mais ils sont très influencés par les contraintes locales :

- Présence de réseaux ;
- Manque d'accessibilité ;
- Refus de la tanière.

Dans le cadre de notre étude, les sondages ont été positionnés de manière à constituer un maillage et réaliser des investigations sur la totalité du site. Au final, 28 points de sondage ont été réalisés à la tarière mécanique lors de la phase d'investigation de ce diagnostic, ce qui permet d'appréhender la qualité des sols au droit de l'ensemble de la zone d'étude. Cependant, la présence d'anomalies n'est pas à exclure. Seule la réalisation d'un maillage plus précis permettrait de limiter cette incertitude.

14.2. Liées à l'échantillonnage

Les prélèvements ont été effectués par la société ECR Environnement en respectant les normes en vigueur et de manière à limiter au maximum l'apport de substance exogène à la matrice.

Les prélèvements sont effectués à partir d'indices organoleptiques (couleurs, odeurs, éléments exogènes, ...) et sont réalisés par couches lithologiques. Ils constituent des prélèvements ponctuels, effectués à un moment donné sur un point précis et pour une épaisseur de sol. Leur représentativité du milieu investigué comprend donc une incertitude.

Malgré les précautions prises lors du conditionnement et le maintien au frais des échantillons, leur conservation suppose des incertitudes quant à la volatilisation de certains polluants (notamment les BTEX), la transformation de composés organiques entre le moment de prélèvement et l'analyse en laboratoire.

14.3. Liées au programme analytique

Le programme analytique mis en œuvre lors de cette étude est établi sur la base des constats organoleptiques de pollution rencontrés lors des investigations de terrain, mais également sur l'étude historique et documentaire et la nature des installations visées.

On ne peut toutefois exclure l'existence d'autres substances polluantes, au droit ou hors des zones investiguées, qui ne nous aurait pas été signalées dans le cadre de cette étude.



14.4. Liées aux analyses en laboratoire

Tous les résultats d'analyses fournis par les laboratoires AGROLAB présentent une incertitude liée aux techniques de préparations et aux analyses même du laboratoire.

Afin de minimiser ces incertitudes, les analyses réalisées dans le cadre de ce diagnostic ont été effectuées par AGROLAB, reconnu par le COFRAC (Comité Français d'Accréditation). La majorité des méthodes utilisées sont des méthodes de laboratoire normées à l'international (ISO et EN).

Suivant chaque substance analysée, l'incertitude est précisée dans le bulletin analytique du laboratoire.

14.5. Liées aux mesures de gestion

Les propositions établies pour la gestion des déblais pollués comprennent les incertitudes suivantes :

- Hypothèse de calcul pour la définition des volumes (coefficient de densité et de foisonnement = 1,8) ;
- Solution de gestion définie sur la base des résultats disponibles à la date d'établissement du présent rapport ;
- Coûts de gestion correspondant à des fourchettes du marché à la date d'établissement du présent rapport. Certains coûts peuvent être amenés à évoluer (TGAP, coût de transport, ...).



Conditions particulières

Cette étude est basée sur des reconnaissances dont le caractère ponctuel ne peut prétendre traduire de manière continue la nature et l'état de l'ensemble de la zone d'étude.

La réalisation de sondages ponctuels ne permet pas de s'affranchir de toute anomalie d'extension limitée subsistante, qui n'aurait pas été appréhendée au travers des investigations.

La mise en évidence de remblai n'exclue pas la présence de produits amiantés qui n'ont pas toujours fait l'objet d'investigations particulières dans le cadre des précédents diagnostics.

Le présent rapport, ainsi que tous les documents annexés, constituent un ensemble indissociable.

En conséquence, la société ECR Environnement se dégage de toute responsabilité dans le cas d'une communication ou reproduction partielle de cette étude et de ses annexes. Il en est de même pour toute interprétation au-delà des termes employés par ECR Environnement.



ANNEXES

Annexe 1 : Rapport de diagnostic de sol ECR de juillet 2022 (réf : 1404051) (116 pages)

Annexe 2 : Rapport de diagnostic complémentaire de sol ECR de mars 2023 (réf : 1404623) (52 pages)

Annexe 3 : Fiches de prélèvements de sol de juin 2023 (9 pages)

Annexe 4 : Bulletins analytiques du laboratoire de juin 2023 (16 pages)

Annexe 5 : Modélisation Modul'ERS (23 pages)

