



MOTU 1

Rapport

Site « Diablos Bleus » à Nice (06)

Diagnostic pollution et Plan de Gestion



Rapport n°118266 /version E du 22 mars 2024

Projet suivi par guillaume FALEWEE – 06 70 49 77 43 – guillaume.falewee@anteagroup.fr

Fiche signalétique

Site « Diables Bleus » à Nice (06) Diagnostic pollution et Plan de Gestion

CLIENT	SITE
MOTU 1	MOTU 1
32 rue de Monceau 75008 PARIS	Ensemble immobilier 10,16 et 18 route de Turin 8bis avenue des Diables Bleus Nice
M. Victor CHEYMOL (ARKEA REAL ESTATE) Tél. 01 56 90 24 91 Mail. victor.cheymol@arkea-re.com	

RAPPORT D'ANTEA GROUP

Responsable du projet	FALEWEE Guillaume
Interlocuteur commercial	PUJOL Cyril
	Implantation d'Aubagne
Implantation chargée du suivi du projet	04.42.08.70.70 Secretariat.marseille@anteagroup.fr
Rapport n°	118266
Version n°	E
Votre commande et date	date : 04/03/2022 et 13/12/2023
Projet n°	IDFP210875
Codes prestation selon NF X31-620	DIAG & PG

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	OUDSHOORN	Ingénieur d'étude	Juin 2022	
Rédaction/Vérification	FALEWEE	Chef du projet	Mars 2024	
Approbation	GNANA	Superviseur du projet	Mars 2024	

Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
A	08/07/2022	93	10	Rapport intermédiaire
B	23/09/2022	153	11	Rapport final
C	06/12/2022	154	11	Modification projet d'aménagement
D	17/03/2023	188	12	Intégration parcelle IP 191 et mise à jour projet d'aménagement
E	22/03/2024	182	12	Mise à jour du projet d'aménagement (1 niveau de sous-sol)

Sommaire

Résumé non technique	10
1. Contexte et objectif de l'étude	13
2. Méthodologie générale	14
2.1. Textes de références	14
2.2. Description de la mission	14
3. Présentation et analyse de l'existant	15
3.1. Descriptif de la zone d'étude	15
3.2. Documents transmis par le client	19
3.2.1. Etudes réalisées	19
3.2.2. Projet ou usage futur	19
4. Synthèse et mise à jour des études réalisées (INFOS)	26
4.1. Synthèse des études réalisées	26
4.2. Informations historiques complémentaires	31
4.2.1. Situation réglementaire	31
4.3. Travaux de réhabilitations réalisés – Hors site	35
4.3.1. Parcelle IP 151 (IV) – Nord de la voie ferrée	35
4.3.2. Parcelle IP 155 (VIIIa et VIIIb) – Gare routière	37
4.4. Synthèse	39
5. Elaboration d'un programme prévisionnel d'investigations (A130)	40
5.1. Schéma conceptuel initial	40
5.1.1. Sources potentielles de pollution	41
5.1.2. Voie de transfert	41
5.1.3. Cibles	42
5.1.4. Voies d'exposition et scénarii retenus	42
5.2. Programme d'investigations	42
6. Investigations sur site	48
6.1. Objectifs	48
6.2. Sécurité de l'intervention	48
6.2.1. Plan de prévention	48
6.2.2. Sécurisation vis-à-vis des réseaux enterrés	48
6.2.3. Contrôle de la présence potentielle d'amiante dans les enrobés	49
6.3. Investigations sur les sols (A200)	50
6.3.1. Réalisation des sondages sur site	50
6.3.2. Suivi des travaux et prélèvement des échantillons sur site	55
6.3.3. Programme analytique des sols	55

6.4. Investigations sur les eaux souterraines (A210).....	58
6.4.1. Réalisation des piézomètres	58
6.4.2. Echantillonnage des eaux souterraines	61
6.4.3. Programme analytique des eaux souterraines	62
6.5. Investigations sur les gaz du sol et des eaux souterraines (A230)	62
6.5.1. Réalisation des ouvrages.....	62
6.5.2. Prélèvement des gaz du sol.....	64
6.5.3. Prélèvement des gaz issues des eaux souterraines	67
6.5.4. Programme analytique des gaz du sol et issues des eaux souterraines	68
6.5.5. Conditions météorologiques.....	68
6.6. Maîtrise des impacts environnementaux de l'intervention.....	70
6.7. Limites de la méthode d'investigation	70
7. Résultats des investigations et interprétation (A270)	71
7.1. Préambule	71
7.2. Valeurs de comparaison.....	72
7.3. Résultats obtenus dans les sols.....	74
7.3.1. Observations de terrain	74
7.3.2. Résultats des analyses de sol en laboratoire	76
7.3.3. Interprétation des résultats analytiques sur les sols	90
7.4. Résultats obtenus dans les eaux souterraines	91
7.4.1. Observations de terrain lors de la réalisation des piézomètres.....	91
7.4.2. Piézométrie	92
7.4.3. Observations organoleptiques lors de l'échantillonnage des eaux souterraines	96
7.4.4. Paramètres physico-chimiques mesurés <i>in situ</i>	96
7.4.5. Résultats des analyses d'eaux souterraines en laboratoire	99
7.4.6. Interprétation des résultats sur les eaux souterraines	102
7.5. Résultats obtenus dans les gaz du sol	105
7.5.1. Observations de terrain	105
7.5.2. Résultats des analyses en laboratoire.....	105
7.5.3. Interprétation des résultats sur les gaz du sol	108
7.6. Interprétation des résultats sur les gaz issus des eaux souterraines.....	110
7.6.1. Observations organoleptiques.....	110
7.6.2. Résultats des analyses en laboratoire.....	110
7.6.3. Interprétation des résultats sur les gaz issus des eaux souterraines	113
7.7. Interprétation générale.....	113
7.7.1. Bilan	113
7.7.2. Incertitudes	114
8. Analyse des enjeux (schéma conceptuel)	115

8.1. Rappel du projet d'aménagement sur site.....	115
8.2. Schéma conceptuel	116
8.2.1. Pollution	116
8.2.2. Vecteurs	116
8.2.3. Cibles	116
8.3. Enjeux	116
8.4. Voies d'exposition potentielles retenues.....	117
9. Evaluation de la compatibilité sanitaire	119
10. Elaboration du plan de gestion	121
10.1.Principe général de gestion des pollutions	121
10.2.Détermination des pollutions concentrées dans les sols	122
10.2.1. Méthode de détermination par analyse statistique	122
10.2.2. Méthode de détermination par interprétation cartographique	127
10.2.3. Bilan massique	142
10.3.Pollutions identifiées dans les eaux souterraines	144
10.4.Scénarios du plan de gestion.....	145
10.4.1. Scénarios étudiés	145
10.4.2. Estimations des volumes contaminés	146
10.5.Techniques de traitement applicables	155
10.5.1. Présélection des techniques	155
10.5.2. Filières envisageables et couts.....	158
10.5.3. Traitement hors site par excavation et gestion des sols en filières	159
10.5.4. Traitement sur site par biodégradation (biotertre)	160
10.6.Chiffrage des scénarios de gestion.....	162
10.6.1. Scénario A	162
10.6.2. Scénario B.....	164
11. Bilan couts avantages	167
11.1.Présentation des critères	167
11.2.Tableau comparatif des scénarios.....	167
11.3.Scénarii de gestion retenus	169
12. Description des mesures constructives disponibles	170
12.1.Objectifs et outils méthodologiques appliqués.....	170
12.1.1. Rappel des objectifs fonctionnels et administratifs	170
12.1.2. Pré-sélection des mesures constructives (SelecDEPOL)	170
12.2.Analyse comparative des solutions constructives prises individuellement	171
12.3.Dispositions constructives	173
13. Synthèse des restrictions d'usage	174
14. Recommandations	176

14.1. Investigations complémentaires	176
14.2. Suivi de travaux de remise en état environnemental - ARR Post travaux	176
14.3. HSE Chantier	177
14.4. Mémoire du site	177
15. Conclusions	178
15.1. Investigations des milieux	178
15.2. Evaluation de la compatibilité sanitaire avant travaux (ARR prédictive)	180
15.3. Mesures constructives	180
15.4. Plan de gestion	180

Table des figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude	16
Figure 2 : Plan parcellaire	17
Figure 3 : Plan topographique du site du 08/02/2021 (source : MOTU 1)	18
Figure 4 : Programmation (Source : Février Carré - 05/03/2024)	21
Figure 5 : Plan masse – RDC (Source : MOTU1)	22
Figure 6 : Plan masse – R-1 (Source : Février Carré - 29/11/2023)	23
Figure 7 : Vue en coupe du cœur d'îlot (Nord-Sud)	24
Figure 8 : Vue en coupe du cœur d'îlot (Ouest-Est)	24
Figure 9 : Phasage envisagé (Source : Février Carré-12/01/2024)	25
Figure 10 : localisation des investigations menées au droit de la zone d'étude et indices relevés (Source : Synthèse environnementale - BG du 13.09.2017)	30
Figure 11 : localisation des parcelles mentionnées dans l'AP du 04/01/2005	34
Figure 12 : Localisation des anciennes cuves – parcelle IP151 (Source : rapport EAT)	36
Figure 13 : Caractéristiques des cuves – parcelle IP155 (Source : rapport EAT)	37
Figure 14 : Localisation des anciennes cuves – parcelle IP155 (Source : rapport EAT)	38
Figure 15 : Démolition du toit et des piliers de la cuve C1-A après vidange et nettoyage (Source : rapport EAT)	38
Figure 16 : Vue des piliers et des structures de la cuve C1-CA après vidange (Source : rapport EAT)	39
Figure 17 : Localisation des investigations proposées sur plan de réseau ENEDIS – 2022 (avant acquisition de la parcelle IP191)	45
Figure 18 : Localisation prévisionnelle des investigations vis-à-vis des investigations ERG et BG – 2022 (avant acquisition de la parcelle IP191)	46
Figure 19 : Localisation prévisionnelle des investigations au droit de la parcelle IP 191 – 2023	47
Figure 20 : Illustration de la détection des réseaux enterrés au géoradar	49
Figure 21 : Illustration du sondage Sw1 à gauche et S12 à droite	51
Figure 22 : Localisation des sondages réalisés et des refus – sur image satellite	53
Figure 23 : Plan de localisation des piézomètres au droit du site – fond satellite	59
Figure 24 : Plan de localisation des piézomètres « gaz »	63
Figure 25 : Dispositif de prélèvement des gaz de sol	65
Figure 26 : Réalisation du prélèvement d'air (canister 6L) – Pz4	67
Figure 27 : Cartographie des teneurs maximales en hydrocarbures totaux quantifiées dans les sols	88
Figure 28 : Cartographie des teneurs maximales en HAP quantifiées dans les sols	89
Figure 29 : Carte piézométrique interprétative de la zone d'étude – mai 2022	93
Figure 30 : Carte piézométrique interprétative de la zone d'étude – juillet 2022	95

Figure 31 : Gouttelettes d'hydrocarbures relevées au droit de Pz7 le 8 février 2023	98
Figure 32 : Cartographie des teneurs quantifiées dans les eaux souterraines – mai et juillet 2022 ..	104
Figure 33 : Cartographie des teneurs quantifiées dans les gaz du sol	109
Figure 34 : Schéma conceptuel – usage futur	118
Figure 35 : Fréquence cumulée des concentrations en HCT dans les sols.....	123
Figure 36 : Fréquence cumulée des concentrations en HAP dans les sols.....	124
Figure 37 : Répartition et distribution des concentrations en HCT dans les sols.....	125
Figure 38 : Répartition et distribution des concentrations en HAP dans les sols	126
Figure 39 : Modélisations de l'impact en HCT dans les sols (données 2017, 2022 et 2023)	134
Figure 40 : Modélisations de l'impact en HAP dans les sols (données 2017, 2022 et 2023)	141
Figure 41 : Bilan massique – Hct C10-C40.....	142
Figure 42 : Répartitions des masses et volumes en Hct C10-C40	143
Figure 43 : Bilan massique -HAP.....	143
Figure 44 : Répartitions des masses et volumes en HAP	144
Figure 45 : Plans de terrassement du sous-sol par tranche de 1 m	152
Figure 46 : Schéma de principe de fonctionnement d'un traitement par biotertre (source BRGM)..	160

Table des tableaux

Tableau 1 : Codification des prestations selon la norme NFX31-620-2	14
Tableau 2 : Référence cadastrale de la zone d'étude	16
Tableau 3 : Cotes altimétriques du projet.....	25
Tableau 4 : liste des activités soumises à déclaration.....	31
Tableau 5 : synthèse des sources de pollution retenues dans le schéma conceptuel.....	41
Tableau 6 : Scénarii d'exposition retenus	42
Tableau 7 : Investigations proposées	44
Tableau 8 : Résultats des analyses sur enrobé (source : rapport BG n° FF0109.96_RN001/Est).....	49
Tableau 9 : Sondages réalisés – Parcelles 154, 163 et 192	50
Tableau 10 : Sondages réalisés – Parcelle 191	52
Tableau 11 : Coordonnées des sondages de sol (SE2T)	54
Tableau 12 : Descriptif du programme analytique réalisé sur les échantillons de sols	55
Tableau 13 : Equipement des piézomètres.....	60
Tableau 14 : Coordonnées et cote NGF des piézomètres	61
Tableau 15 : Paramètres de prélèvement des gaz du sol – mai 2022.....	66
Tableau 16 : Paramètres de prélèvement des gaz du sol – juillet 2022.....	66
Tableau 17 : Disposition prises pour la maîtrise des impacts environnementaux.....	70
Tableau 18 : Valeurs de référence ou de comparaison.....	72
Tableau 19. Correspondance des résultats analytiques sur les sols (métaux et métalloïdes).....	77
Tableau 20 : Commentaires ou non-conformités par rapport au COFRAC relevés par le laboratoire .	77
Tableau 21 : Résultats d'analyses en métaux lourds obtenus sur les sols	79
Tableau 22 : Résultats d'analyses obtenus sur les sols	87
Tableau 23 : Mesures piézométriques et épaisseur de flottant le 12/05/2022	92
Tableau 24 : Mesures piézométriques et épaisseur de flottant le 22/07/2022	94
Tableau 25 : Observations organoleptiques lors de l'échantillonnage des eaux souterraines – mai 2022.....	96
Tableau 26 : Observations organoleptiques lors de l'échantillonnage des eaux souterraines – juillet 2022.....	96
Tableau 27 : Paramètres physico-chimiques mesurés in situ le 12/05/2022	96
Tableau 28 : Paramètres physico-chimiques mesurés in situ le 12/05/2022	97
Tableau 29 : Mesures piézométriques et épaisseur de flottant le 01/02/2023	97

Tableau 30 : Observations organoleptiques lors de l'échantillonnage des eaux souterraines – Pz7 – février 2023	98
Tableau 31 : Paramètres physico-chimiques mesurés in situ le 08/02/2023	98
Tableau 32 : Résultats d'analyses obtenus sur les eaux souterraines (mai et juillet 2022)	100
Tableau 33 : Résultats d'analyses obtenus sur les eaux souterraines (Pz7 – février 2023)	101
Tableau 34 : Résultats d'analyses obtenus sur les gaz du sol	107
Tableau 35 : Observations organoleptiques lors de l'échantillonnage de l'air issu des eaux souterraines.....	110
Tableau 36 : Résultats d'analyses obtenus sur les gaz issus des eaux souterraines – Pz2&Pz4	111
Tableau 37 : Résultats d'analyses obtenus sur les gaz issus des eaux souterraines – Pz7	112
Tableau 38 : Résumé des voies d'exposition.....	117
Tableau 39 : scénarii de gestion étudiés	145
Tableau 40 : Volume de terre à excaver – emprise sous-sol.....	146
Tableau 41 : Bilan des volumes estimés de terres et catégorie de gestion pressenties au droit des futurs sous-sol (2 niveaux)	147
Tableau 42 : Catégories de gestion des terres pressenties et paramètres déclassant par sondage ..	153
Tableau 43 : Bilan des volumes estimés de pollution concentrée (scénarios B)	154
Tableau 44 : scénarios de gestion étudiés et volumes associés	155
Tableau 45 : Matrice de possibilité de réhabilitation pour les polluants organiques (Source : Quelles techniques pour quels traitements – Analyse coûts-bénéfices, BRGM/RP - 58609 - FR, Juin 2010)..	157
Tableau 46 : Filières pressenties, coût et surcoût.....	158
Tableau 47 : Estimation du coût global de gestion des terres à excaver	159
Tableau 48 : Coûts et surcoûts estimatifs de la gestion des terres non inertes des futurs niveaux de sous-sol – Traitement Hors site (scénario A).....	163
Tableau 49 : : Cout et surcout estimatifs de la gestion de la pollution concentrée – Traitement Hors Site (scénario B).....	165
Tableau 50 : Tableau de synthèse des coûts de traitement Hors site (hors TGAP et contrôles de réception)	166
Tableau 51 : Bilan Coûts -avantages des scénarios envisagés	168
Tableau 52 : Modalités de contrôles post travaux.....	177

Table des annexes

Annexe I :	Abréviations générales
Annexe II :	Normes de prélèvement et d'échantillonnage
Annexe III :	Fiches de suivi de sondages et prélèvements des sols
Annexe IV :	Bordereaux d'analyses des sols
Annexe V :	Coupes géologiques et techniques des piézomètres
Annexe VI :	Fiches de prélèvement des eaux souterraines
Annexe VII :	Bordereaux d'analyses des eaux souterraines
Annexe VIII :	Coupes géologiques et techniques des piézais
Annexe IX :	Fiches de prélèvement des gaz du sol
Annexe X :	Bordereaux d'analyses des gaz du sol et des eaux souterraines
Annexe XI :	Evaluation Quantitatives des Risques Sanitaires
Annexe XII :	Mesures constructives présélectionnées

Résumé non technique

CONTEXTE	
Maitre d'Ouvrage	MOTU 1
Adresse du site	10,16 et 18 route de Turin et 8bis avenue des Diablos Bleus à Nice (06)
Contexte	Construction d'un ensemble immobilier sur 1 niveau de sous-sol
Activités actuelles	Bâtiments de bureaux et d'activité et parking ENEDIS et GRDF et pavillon inoccupé
Investigations réalisées	Prélèvements et analyses de sol, eaux souterraines et de gaz du sol et de nappe entre 0 et 6,5 m de profondeur Paramètres analysés sur les sols, eaux souterraines et les gaz du sol / des eaux souterraines : hydrocarbures, solvants benzéniques et chlorés, cyanures, métaux lourds et pack analytique de gestion des déblais
RESULTATS	
Activités passées	– Installation classée : Ancienne usine à gaz (site référencé en Secteur d'Information sur les Sols SIS)
Lithologie rencontrée	– Remblais sablo-graveleux beiges entre 0,4 et 1,0 m d'épaisseur, – Présence d'une dalle béton entre 0,5 -1m / 3 m et vers 5,5m au droit de nombreux ouvrages (S1, S2, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S12, S14, S23, S25), – Argiles brunes à verts plus ou moins sableuses, avec cailloutis mm à cm entre 1 et 6,50 m
Observations de terrain	– Des imprégnations noirâtres, des mâchefers, des indices d'HCT volatils ont été relevés – Niveaux d'eaux rencontrés entre 4 et 4,5 m de profondeur
Qualité des sols	– Zone impactée en hydrocarbures totaux, HAP et CAV (dont benzène) en limite Nord et Est du site (source de la pollution hors site ? Ancienne cuve à goudron à proximité, voies ferrées) ; – Impacts diffus en cyanures totaux et métaux lourds dans les remblais. – Remblais et ponctuellement terrain naturel non acceptables en centre de stockage de déchets inertes → gestion spécifique des déblais à prévoir (surcoût) en phase travaux et dispositions HSE le cas échéant
Qualité des eaux souterraines	– Impact en hydrocarbures totaux, HAP et CAV (dont <u>benzène</u>) en limite Nord et Est du site ; – Impact en cyanures totaux en amont du site (Pz3) et en benzène (Pz4 & Pz7) pouvant potentiellement provenir des installations de l'ancienne usine à gaz au nord de la voie ferrée (hors site à l'amont).
Qualité des gaz du sol	– Traces de COHV, pas de corrélation directe avec les impacts mesurés dans les sols
Qualité des gaz des eaux souterraines	– Dégazage de la nappe en hydrocarbures totaux et BTEX au droit des deux piézomètres prélevés (Pz2, Pz4 & Pz7). – Détection du benzène au droit de Pz2 avec une concentration de 12,4 µg/m ³ et au de Pz7 avec une concentration significative de et la détection des COHV uniquement au droit de Pz4.
Scénarii d'exposition évalués pour les usagers des zones réaménagées	– Inhalation de composés issus du sol ou des eaux souterraines dans l'air intérieur de bâtiments et dans l'air extérieur (cibles adulte et enfant).

Analyse des Risques Résiduels	– L'évaluation des risques sanitaires démontrant des niveaux de risque supérieurs aux seuils de référence énoncés à la note du 19 avril 2017 et la mise à jour de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 éditée par le Ministère en charge de l'Environnement, l'établissement de mesures constructives est nécessaire d'un point de vue sanitaire. – Une solution de type cuvelage et système de dépressurisation ou cuvelage par complexe d'étanchéité (membranes...) et traitement de la dalle doit être mise en œuvre (une solution alternative permettant de répondre aux mêmes objectifs fonctionnels pourra être proposée).
--------------------------------------	--

Plan de Gestion	– Mis en évidence d'une pollution de type « spot » centrée sur 3 à 4 sondages (S11, S24, S25 et T4) selon les seuils définis : - 2 000 mg/kg en Hct C10-C40 ; - 100 mg/kg en HAP.
------------------------	---

Scénario	Description	Volumes impactés estimés (en m³)	Coûts estimés (k € HT) (hors TGAP)	
			Fourchette basse	Fourchette haute
A	Gestion des spots de pollutions uniquement inclus dans la gestion des matériaux excavés dans le cadre du Projet (terrassment du sous-sol) Dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol/ des eaux souterraines.	Emprise du sous-sol : 9 633 m³ non inertes dont 660 m³ de spot de pollution	650	925
B	Gestion de la totalité des spots de pollution et des matériaux excavés dans le cadre du projet (terrassment du sous-sol) Dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol/ des eaux souterraines.	Emprise du sous-sol : 9 633 m³ non inertes dont 660 m³ de spot de pollution	1 865	2 450

On note que la réalisation du sous-sol traite un tiers des spots de pollution estimés sur site (environ 34 % de la pollution de type spot).

RECOMMANDATIONS

Gestion des pollutions

Au regard de l'occupation actuelle du site et du projet d'aménagement, seul le traitement hors site est envisageable.

A la vue des coûts de gestion complémentaires à la réalisation du sous-sol permettant de gérer l'ensemble des spots de pollution identifiés (1 200 à 1 550 K€ (hors TGAP) pour 2 960 m³ de terre), de la localisation de ceux-ci en zone saturée, des contraintes techniques liées au talus SNCF et de la présence de sources de pollution hydrocarburées hors site (anciennes cuves à goudron sous l'actuelle gare routière, au nord des voies ferrées) ayant pu impacter les sols et la nappe au droit du site, le scénario A présente le meilleur bilan coût avantage.

Investigations complémentaires	Dans le cadre de la création du futur sous-sol et afin d'optimiser le plan de terrassement, nous préconisons la réalisation de sondages et analyses complémentaires au droit de la parcelle à l'angle nord-ouest afin de confirmer les impacts relevés et des bâtiments actuels (une fois ceux-ci démolis). Compte-tenu des incertitudes demeurant à ce stade sur l'étendue du panache de concentrations en benzène dans les eaux souterraines relevés au droit de Pz7 (Nord du site) et les conséquences sur le projet d'aménagement tant en phase travaux (pompage, dispositions HSE, traitements...) et dispositions d'aménagement (cuvelage), nous préconisons la réalisation d'investigations complémentaires (sondages, piézomètres, essais de pompage et gaz de nappe) permettant d'anticiper les conséquences de ces risques (délais, HSE, coûts) conduisant à une mise à jour du présent plan de gestion.
Mesures constructives	Afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol, les solutions retenues à ce stade sont les suivantes : • Cuvelage et système de dépressurisation ; • Cuvelage par complexe d'étanchéité (membranes...) et traitement de la dalle. La faisabilité de ces mesures de gestion devra être étudiée par le maître d'œuvre de conception de l'ouvrage. Une solution alternative permettant de répondre aux mêmes objectifs fonctionnels pourra être proposée.

1. Contexte et objectif de l'étude

La société MOTU 1 étudie le développement d'un projet immobilier aux adresses suivantes : 10, 16 et 18 route de Turin et 8bis avenue des Diablos Bleus à Nice (06).

Le site est actuellement occupé par des bâtiments de bureaux et d'activité par ENEDIS et GRDF et d'un ancien pavillon. Il se situe sur l'emplacement d'une ancienne usine à gaz et sur de nombreux réseaux d'électricité publics très haute tension.

Le projet envisagé consiste en la démolition d'un ancien site industriel, aujourd'hui occupé par des usages d'activité et de stockage, et en la réalisation d'un grand îlot urbain organisé autour d'un grand jardin en pleine terre. L'ensemble immobilier à programme mixte (logements, hébergements, bureaux et commerces) aura plusieurs étages entre R+4 et R+6 avec des émergences en R+14 et R+17. Il s'établit sur deux niveaux de parkings enterrés comptant 301 places VL et 70 places 2R motorisés.

Compte tenu de l'historique du site (ancienne usine à gaz) et des différentes études environnementales menées sur site depuis le début des années 2000, **MOTU 1** a confié à Antea Group la réalisation d'investigations complémentaires et d'un Plan de Gestion adapté au projet de réaménagement, dans l'objectif :

- D'évaluer les conséquences de la présence des polluants sur le projet ;
- De dimensionner les mesures de gestion, dont la gestion des terres en déblais, à mettre en œuvre pour mener à bien le projet et s'assurer de sa compatibilité sanitaire avec l'état de pollution du site au vu de l'usage projeté.

Le rapport d'étude rend compte des résultats de la mission qui a consisté en :

- l'élaboration d'un programme prévisionnel d'investigations ;
- la réalisation d'une campagne d'investigation des sols, eaux souterraines et gaz du sol ;
- l'interprétation des résultats de ces investigations ;
- une analyse des enjeux sanitaires (A320) ;
- la mise en œuvre d'un plan de gestion (A330).

2. Méthodologie générale

2.1. Textes de références

La méthodologie appliquée pour la réalisation de la mission répond :

- à la note du 19 avril 2017 et la mise à jour de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 éditée par le Ministère en charge de l'Environnement,
- aux exigences et préconisations des normes NF X31-620, révision de décembre 2021, « Qualité du sol – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués »,
- aux exigences du référentiel de certification de service, révision 7 de février 2022, des prestataires dans le domaine des sites et sols pollués,

Les abréviations utilisées figurent en Annexe I. Les normes techniques de prélèvement et d'échantillonnage applicables sont mentionnées en Annexe II.

2.2. Description de la mission

La présente étude entre dans le champ d'application de la norme NF X 31-620-2 de décembre 2021 applicable aux « Prestations de service relatives aux sites et sols pollués - Partie 2 : Exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle » et codifiée (cf. tableau ci-dessous) :

Tableau 1 : Codification des prestations selon la norme NFX31-620-2

Codification	Prestations
INFOS (mise à jour)	Réalisation des études historiques, documentaires et de vulnérabilité afin d'élaborer un schéma conceptuel et, le cas échéant, un programme prévisionnel d'investigations • A100 : Visite du site • A110 : Etudes historique, documentaire et mémorielle • A120 : Etude de vulnérabilité des milieux • A130 : Elaboration d'un programme prévisionnel d'investigations
DIAG	Mise en œuvre d'un programme d'investigations et interprétation des résultats • A200 : Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols • A210 : Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines • A230 : Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les gaz du sol • A270 : Interprétation des résultats des investigations
PG	Plan de Gestion dans le cadre d'un projet de réhabilitation ou d'aménagement d'un site : • A320 : Analyse des enjeux sanitaires • A330 : Identification des différentes options de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts/avantages

Notre prestation, conformément à la méthodologie et aux normes précitées, s'applique à la gestion des pollutions chimiques. Elle ne s'applique pas à la gestion des pollutions par des substances radioactives, par des agents pathogènes ou infectieux, par l'amiante ou par des engins pyrotechniques.

Les prestations réalisées sont décrites dans les chapitres suivants.

3. Présentation et analyse de l'existant

3.1. Descriptif de la zone d'étude

La zone d'étude concernée est localisée 10, 16 et 18 route de Turin et 8bis avenue des Diablos Bleus à Nice (06) (voir Figure 1). Le site, visité à plusieurs reprises entre mars et mai 2022 et la parcelle IP 191 en février 2023, est occupé par des bâtiments de bureaux et d'activités de ENEDIS et GRDF (usage tertiaire) et un pavillon muré. Il est composé de :

- Locaux administratifs, techniques et magasins d'exploitation ENEDIS (parcelle n°192) :
 - 1 bâtiment accueillant le local syndical au nord-ouest du site,
 - 1 bâtiment à usage de magasin, dans le secteur nord-ouest du site,
 - des hangars au nord du site (magasin).
- Locaux administratifs et d'exploitation ENEDIS et GRDF (parcelles 154 et 163) :
 - 1 bâtiment principal en forme de L en R+2 et localisé au centre et à l'ouest de la parcelle n°154,
 - 1 bâtiment annexe, plus petit, en R+1 et localisé au sud de la parcelle n°154,
 - plusieurs zones de voirie et de parking,
 - de quelques espaces verts.
- Ancien pavillon appartenant à ENGIE (parcelle 191).

D'une superficie de 11 169 m², dont près de 6 000 m² de bâti, le site est accessible depuis l'Avenue des Diablos Bleus. La localisation géographique du site et de son emprise est présentée en Figure 1 ci-après.



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Les parcelles cadastrales concernées par la présente étude sont les suivantes :

Tableau 2 : Référence cadastrale de la zone d'étude

Section	Parcelle	Adresse(s) associé(s)	Superficie
IP	154	Route de Turin	4 144 m ²
	163		271 m ²
	191		533 m ²
	192		6 116 m ²



Figure 2 : Plan parcellaire

D'une topographie plane, le site étudié est référencé à une altitude moyenne de + 17,5 m NGF.



**domaine public routier de la Ville de Nice, donnent accès au Terrain par le biais d'une servitude de passage, elles font l'objet d'un projet de division en volume*

Figure 3 : Plan topographique du site du 08/02/2021 (source : MOTU 1)

3.2. Documents transmis par le client

3.2.1. Etudes réalisées

Le site a fait l'objet de plusieurs diagnostics de pollution depuis 2005 par les bureaux d'études ERG et BG, incluant une étude historique, de vulnérabilité des milieux et des investigations sur les milieux sols, eaux souterraines, air du sol et air ambiant.

Les documents transmis par le client, concernant uniquement les parcelles 154,164 et 192, sont les suivants :

- Diagnostic initial ERG Etape A du 19.12.2005 (rapport 05ME177AaENVNSSG-9331) – correspondant à l'actuelle mission INFOS ;
- Investigations des milieux sol, air intérieur du 21.02.2017 (rapport 16MES362AaENVStBT-40438)
- Synthèse environnementale - BG du 13.09.2017 (FF0109.96_RN001/Est)
- Diagnostic environnemental ERG du 27 mars 2018 (16ME362BaENVEJEJ)
- Diagnostic complémentaire – investigation de l'air intérieur du 19.09.2018 (16ME362BbENVEJEJ-42646)
- Fiche de Synthèse Environnementale actualisée de ERG (30/10/2019).

Aucun document concernant la parcelle IP 191 n'a été fourni.

3.2.2. Projet ou usage futur

Le projet concerne le développement d'environ 30 300 m² de surface de plancher multi-produits (logements, bureaux, résidences gérées) avec un socle commun de commerces et de services sur lequel s'élèvent à différentes hauteurs (entre R+2 et R+12 ponctuels) des logements, des résidences services et des bureaux. L'ensemble compte également un niveau de parkings enterré, avec niveau du plancher bas du R-1 situé à -3,8 m/sol soit 13,77 m NGF, comptant environ 270 places de stationnement, dont une partie disposant de bornes pour des voitures électriques.

Le cœur d'îlot sera agrémenté d'un jardin en pleine terre.

Les plans de masses des différents niveaux et plans en coupe (phase AVP) mis à jour et datant de novembre à mars 2024 ont été transmis par FEVRIER CARRE (architectes).

Il est à noter que les emprises et les hauteurs des niveaux de sous-sol ont évolué au cours de l'étude avec dans le cadre du dernier projet le maintien d'un seul niveau de sous-sol à usage de stationnement d'une hauteur générale de 3,80 m et d'une superficie de 7 652 m².

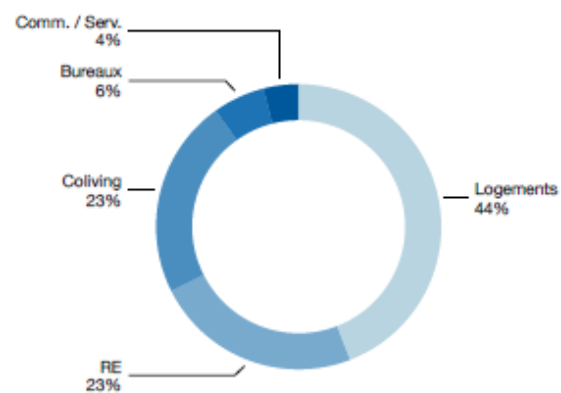
Les investigations ont été dimensionnées au vu du projet initial comportant 2 niveaux de sous-sols de 2,5 m chacun. Aucune campagne d'investigations n'a pu être réalisée suite à l'évolution du projet d'aménagement.

Les principaux plans projet sont présentés ci-après.

PROJET | DONNÉES

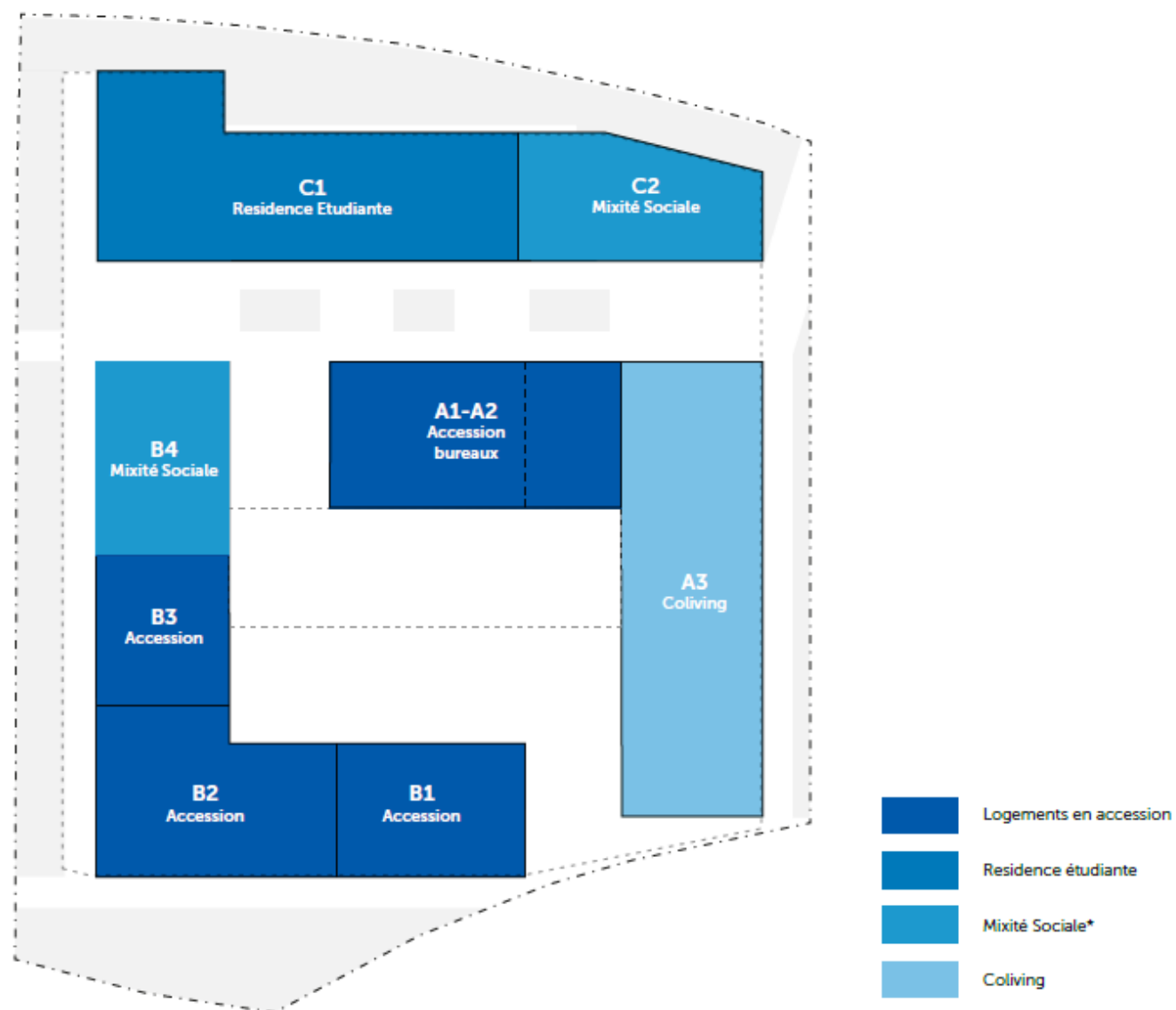
PROGRAMMATION _ Projet

A1	Log. accession	3166 m ²	31% Mixité sociale
A2	Bureaux	1790 m ²	
A3	Coliving	6856 m ²	
B1	Log. accession	1790 m ²	
B2	Log. accession	2797 m ²	
B3	Log. accession	1490 m ²	
B4	Mixité sociale	1849 m ²	
C1	RE	7111 m ²	
C2	Mixité sociale	2296 m ²	
Diffus	Comm. / Servi	633 m ²	
	Comm. de détail	573 m ²	
30351 m ²			



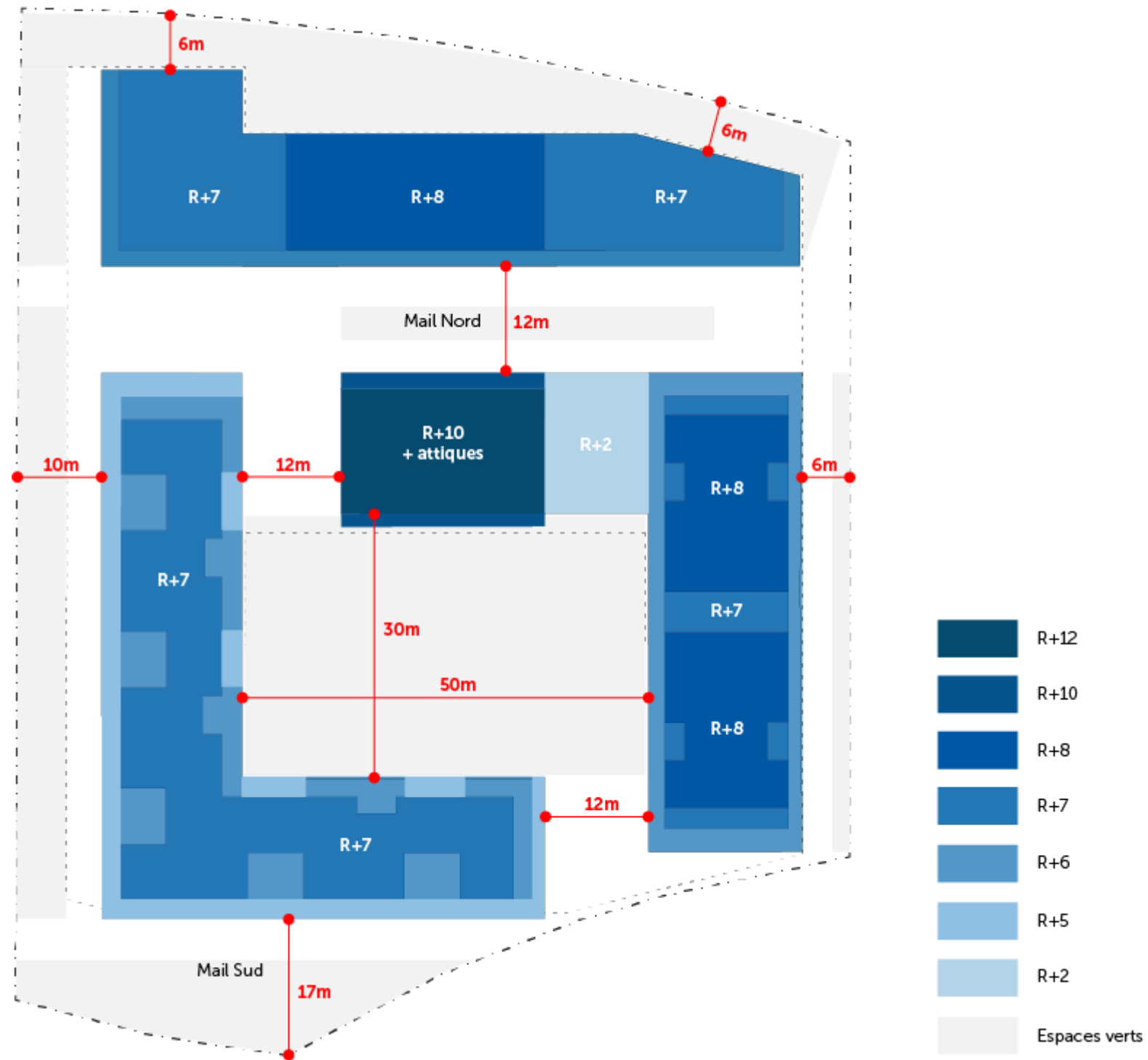
Nb. de logements & clefs

Logements	Accession	121	179
	LLS	58	
Hébergements	RE	230	406
	Coliving	176	



*NOTA : «Mixité Sociale» = Logements ou Hébergements conformes aux dispositions de la loi SRU.

PROGRAMME _ HYPOTHÈSE 1



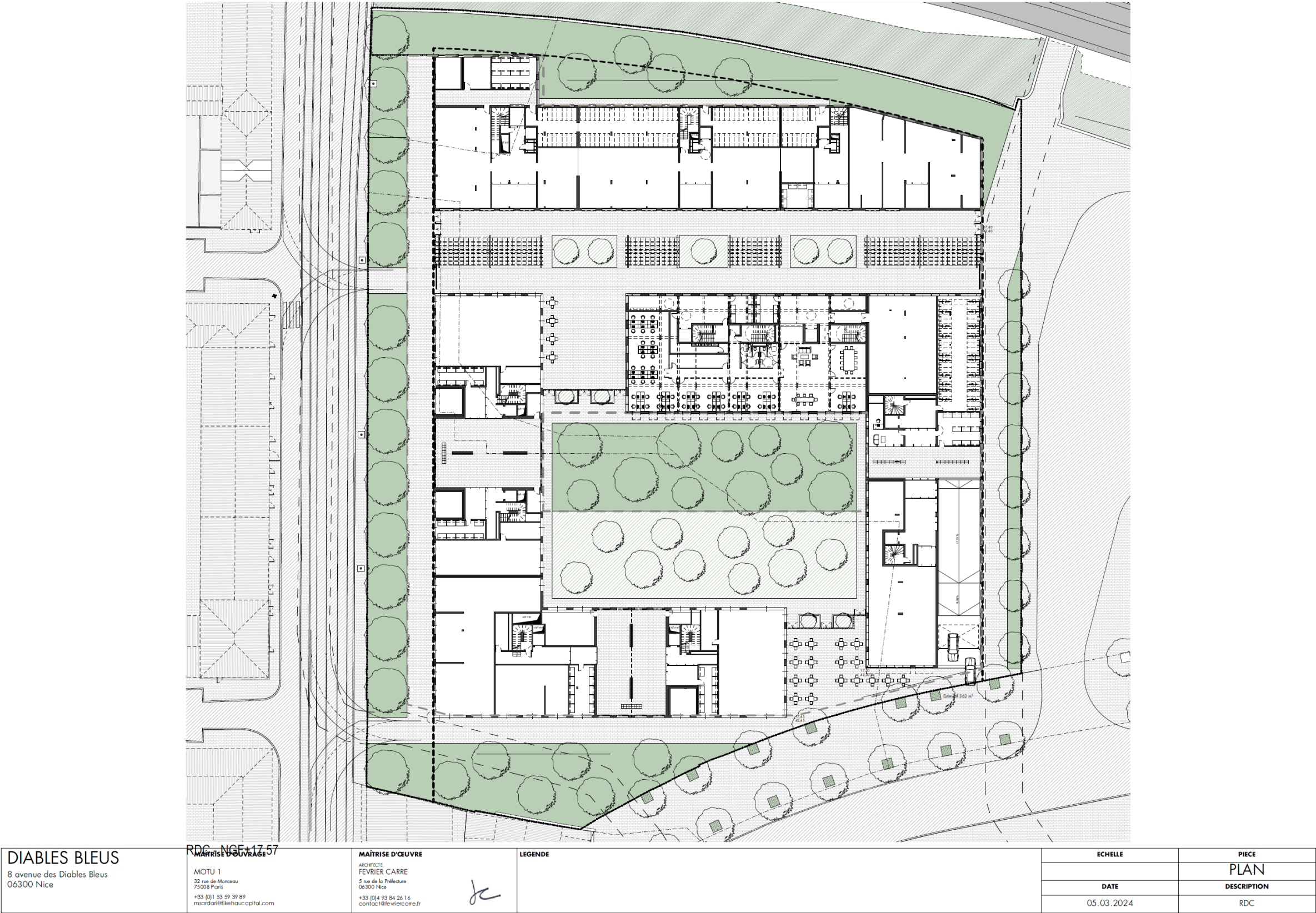


Figure 5 : Plan masse – RDC (Source : MOTU1)



Figure 6 : Plan masse – R-1 (Source : Février Carré - 29/11/2023)

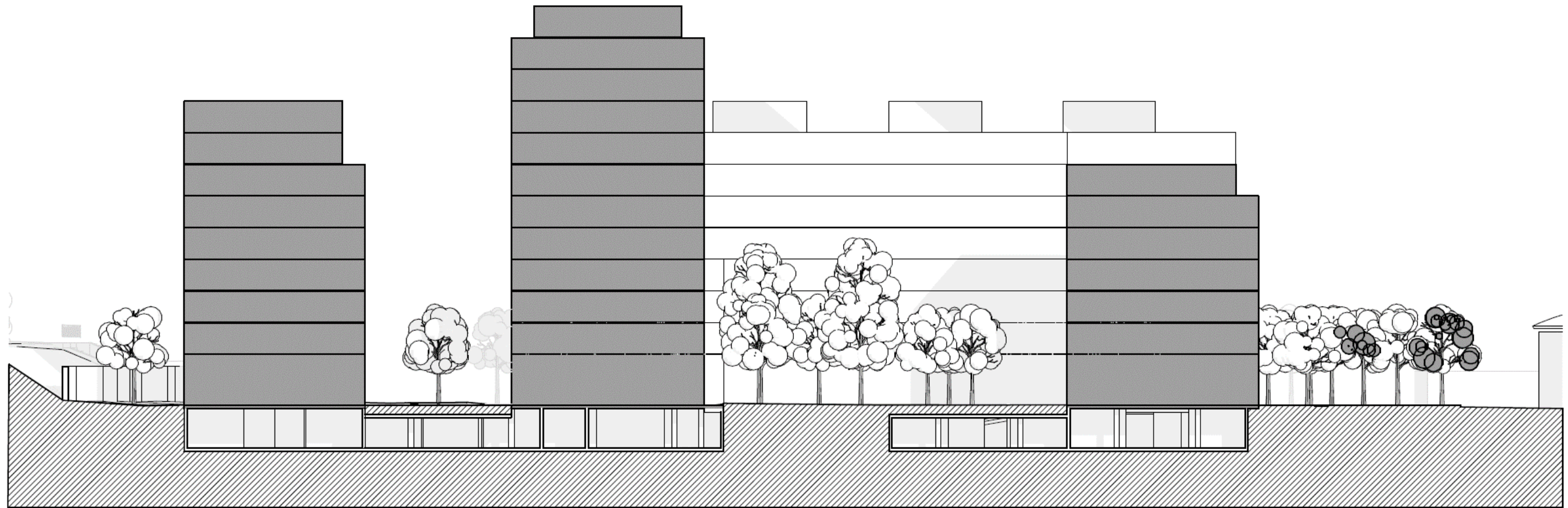


Figure 7 : Vue en coupe du cœur d'îlot (Nord-Sud)

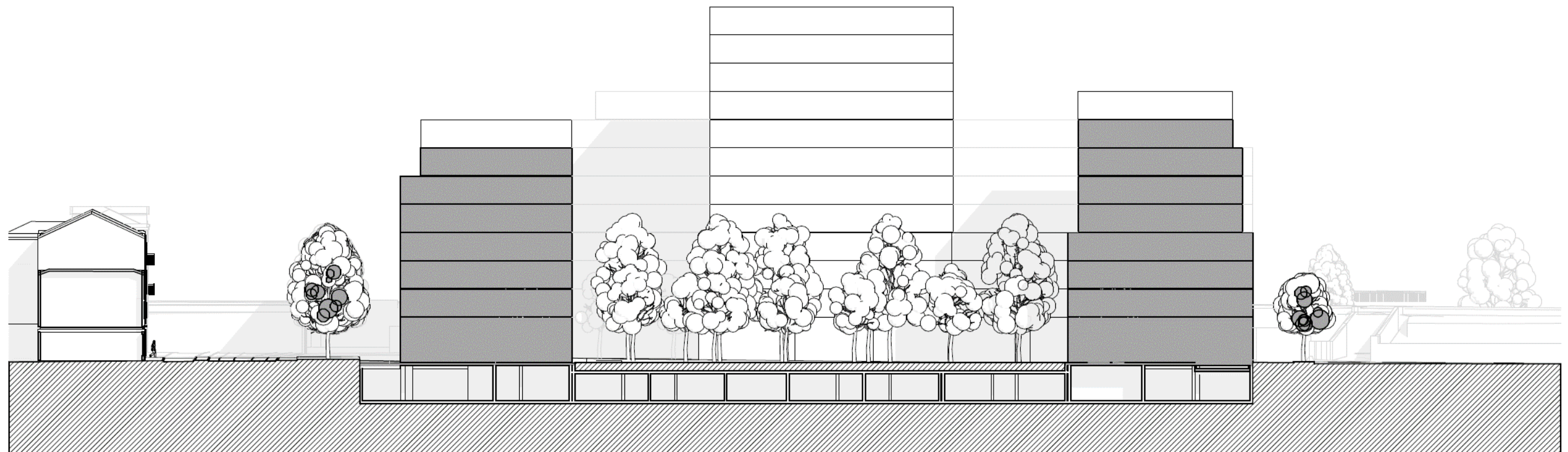


Figure 8 : Vue en coupe du cœur d'îlot (Ouest-Est)

Le niveau de rez-de-chaussée des structures est calé à + 17,57 m NGF, soit la cote moyenne du TN actuel.

Niveau	Cote altimétrique (en m NGF)
TN actuel	+ 17,5
Brut de RdC	+ 17,57
Brut du sous-sol	+ 13,77

Tableau 3 : Cotes altimétriques du projet

A l'heure actuelle, en raison de l'occupation du site, le projet est prévu avec un phasage de démolition/construction en 3 tranches (visibles par les différentes couleurs sur le plan de phasage).

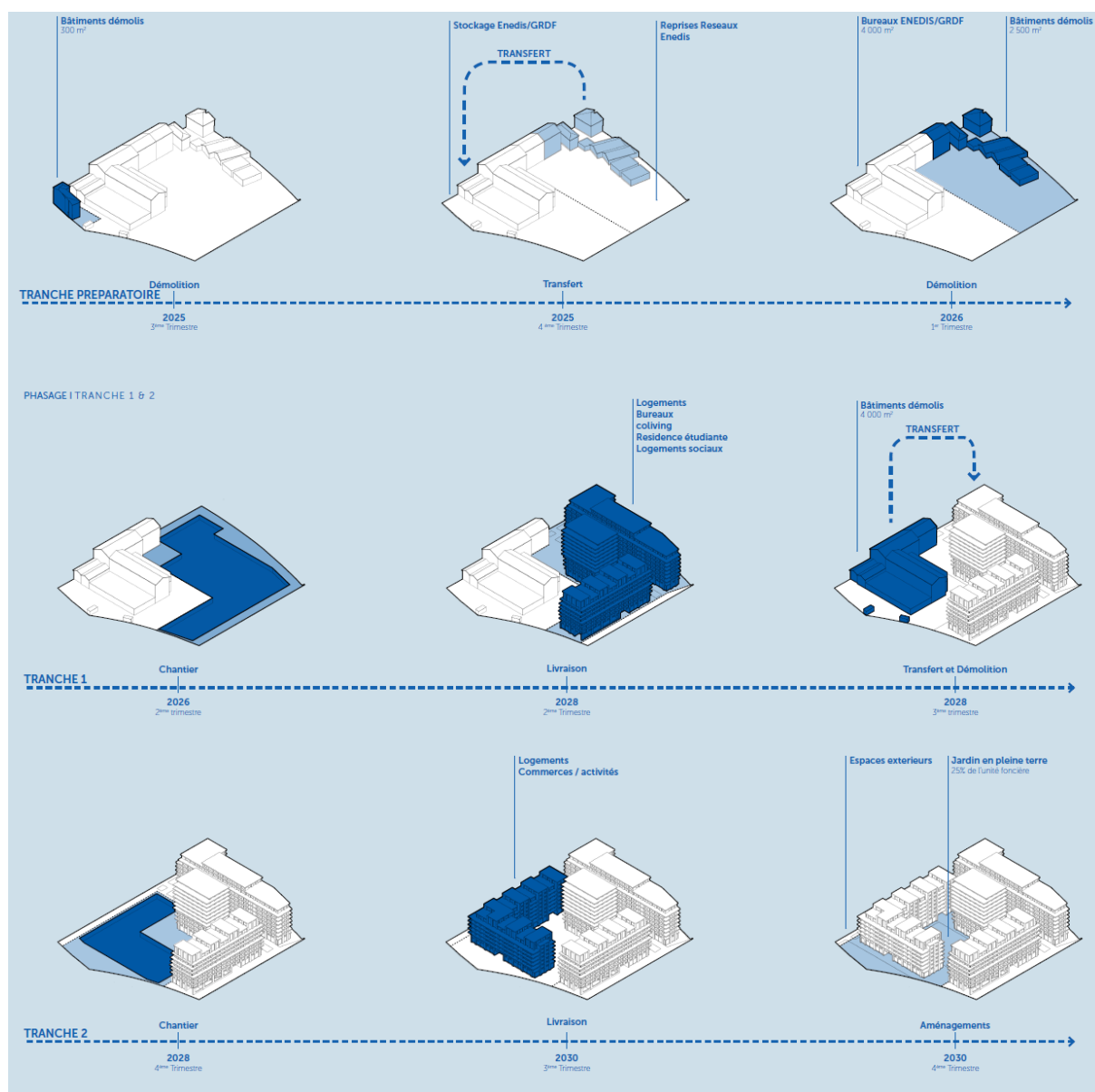


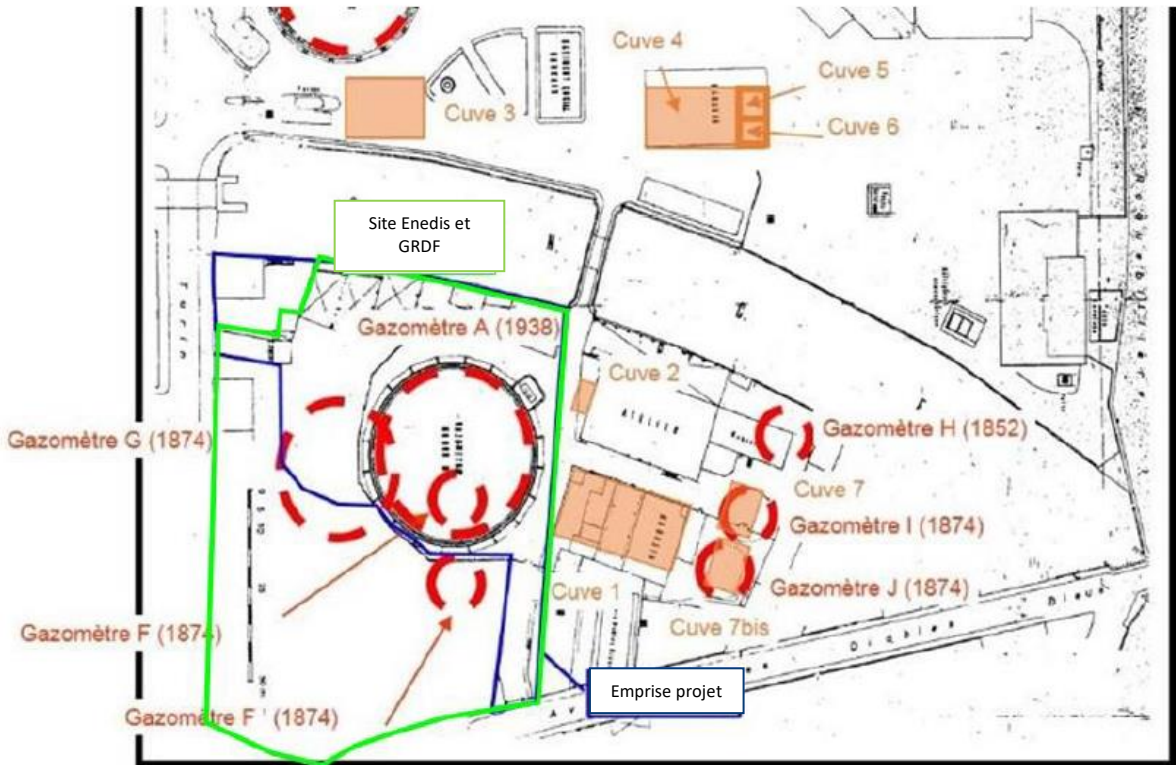
Figure 9 : Phasage envisagé (Source : Février Carré-12/01/2024)

4. Synthèse et mise à jour des études réalisées (INFOS)

4.1. Synthèse des études réalisées

Selon les différentes études réalisées au droit du site, il ressort les éléments suivants :

Thème	Éléments figurant dans les études communiquées appliqués au site d'étude
Géographie	Milieu urbain, site occupé et en activité. Le site est compris dans le périmètre d'une ancienne usine à gaz AUG (Secteur d'Information sur les Sols (SIS) n°SSP00041010101). La limite Nord du site est constituée par un remblai soutenant la voie ferrée mitoyenne. A l'Est se trouve une gare routière. Au Sud et à l'Ouest, le site est bordé par la route ainsi qu'un ensemble de bâtiments.
Géologie	Les sols du site sont composés de remblais sablo-argileux d'origine anthropique provenant des différentes phases d'aménagement de l'AUG (d'une épaisseur comprise entre 1,5 et 3 m environ) surmontant des argiles sableuses, puis des limons en dessous desquels sont localement rencontrées des marnes entre 4 et 4,5 m/TN. Ces formations (argiles et limons) sont représentatives des formations alluvionnaires du Paillon.
Hydrographie / hydrogéologie	Le réseau hydrographique à proximité du site d'étude est essentiellement constitué du fleuve « Le Paillon », qui s'écoule à 80 m à l'Ouest du site. Le niveau d'eau au droit du site s'établit entre 3 et 5 mètres de profondeur. Cette ne présente aucun usage. Une seconde nappe profonde captive contenue dans les niveaux sablo-graveleux profond est présente entre 20 et 28 m de profondeur au droit du site. En raison de l'absence d'usage de ces eaux souterraines, elles n'ont pas été considérées comme sensibles.
Historique des parcelles	Les parcelles d'étude étaient comprises dans l'emprise d'une ancienne usine à gaz ayant fonctionné de 1852 à 1977 et qui s'étendait au nord et à l'est du site d'étude. De 1851 à 1881, la zone d'étude est incluse dans l'emprise de l'AUG originelle. Toutefois, il semblerait que les principales installations de l'AUG (salle des fours, cuves à goudron, ...) étaient localisées à l'est du site, hors périmètre de l'étude. A partir de 1881, suite à un agrandissement de l'usine, les installations de l'AUG ont été délocalisées au nord du site. Dans l'étude historique, il est précisé que les bâtiments d'épuration chimique se sont développés jusqu'en 1930, au sud du site. Aucun stockage de sous-produit n'a été recensé au droit de la zone d'étude. En revanche, le site a abrité 4 gazomètres. 3 gazomètres sont présents en 1874 : gazomètres F, F' et G. Ces ouvrages ont été déconstruits au fur et à mesure des évolutions de l'usine et ont été remplacés par un unique gazomètre (A) d'une capacité de 60 000 m³, à partir de 1938. Les 4 gazomètres de l'ancienne usine à gaz et les remblais pouvant contenir des sous-produits de l'AUG suite au démantèlement de l'usine ont été retenus comme sources potentielles de pollution.

Thème	Éléments figurant dans les études communiquées appliqués au site d'étude
	 On note la présence de cuves (cuve 1 et cuve 2) en limite est de la zone à l'étude. 1964 - 1977 : La totalité des installations de l'AUG sont démantelées. 1924 – à aujourd'hui : Agence clientèle et Agence d'exploitation ENEDIS et GRDF.
Données sur le milieu sol	Parcelle 192 (26 sondages) : Les sondages ont recoupé le radier à environ 3 m de profondeur d'au moins un gazomètre (le dernier gazomètre A, de 45 m de diamètre supposé, construit en 1938 sur site). Les sondages ont mis en évidence des remblais peu impactés organoleptiquement à l'exception : - d'odeurs d'hydrocarbures observées entre 4,5 et 5 m de profondeur sur les sondages SD3, SD6 et SD15 dans la zone de battement de la nappe ; - d'une couche de coke sur les sondages SD7, SD11, SD15 entre 0 et 1,5 m de profondeur et de manière ponctuelle et diffuse en SD1 et S8. Les analyses ont confirmé le faible impact des activités passées sur le site, avec un impact très ponctuel en HAP sur les sondages SD3 et SD6 de 4,5 à 5 m de profondeur et en plomb sur le sondage S9 de 1,5 à 2,4 m de profondeur, et une couche de coke de 50 cm en bordure ouest. Il convient de mentionner que lors de la mise en place du piézomètre Pz2, il a été constaté entre 4 et 10 m de profondeur, dans la zone de battement et dans la zone saturée, des sols noirs et présentant une forte odeur non définie.

Thème	Éléments figurant dans les études communiquées appliqués au site d'étude																												
	 Matériaux impacté PZ2 Un extrait du rapport ERG présente les résultats des investigations effectuées au niveau des gazomètres : <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ouvrage</th><th>Date de mise en place et de démolition</th><th>Sondage</th><th>Dimensions Volume total</th><th>Nature et volume des contenus Contaminant éventuel (concentrations)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gazomètre A</td><td>1938 - 1977</td><td>CH8, G5, G6 et G7 (ERG) SD4, SD5, SD8, SD8', SD9, SD10 et SD14 (ERG) S1 et S2 (BG)</td><td>Volume de 60 000 m3 Diamètre : 45 m Refus entre 2,5 et 2,8 m/TN pour les sondages ERG SD4, SD5, SD8, SD8' SD9 et SD14 Refus pour le sondage ERG SD10 à 3,3 m/TN et refus pour les sondages BG S1 et S2 entre 3 et 3,5 m</td><td>Remblais apparemment non contaminés (pas d'analyse des sols) Présence de fortes teneurs en HCT aliphatiques et aromatiques, BTEX et naphthalène dans les gaz du sol</td></tr> <tr> <td>Gazomètre F</td><td>1874 - 1938</td><td>Inclus dans l'emprise du gazomètre A (SD8, G6, G7 et CH8)</td><td>Diamètre : 20 m Profondeur et volume non connus</td><td>Remblais apparemment non contaminés Pas d'anomalie analytique</td></tr> <tr> <td>Gazomètre F'</td><td>1874 - 1925</td><td>S6 (BG)</td><td>Diamètre : 20 m Profondeur et volume non connus Radier non recoupé en S6, S5 et S7 dans ce secteur</td><td>Gazomètre non retrouvé</td></tr> <tr> <td>Gazomètre G</td><td>1874 - 1938</td><td>S8 et S3 (BG) SD11 situé dans l'emprise supposée ?? (ERG)</td><td>Diamètre : 35 m Refus du SD11 à 4,2 m sur des galets ? S8 : pas de refus (hors gazomètre)</td><td>Présence de coke entre 0,3 et 0,8 m de profondeur Pas d'anomalie analytique</td></tr> </tbody> </table> Parcelles 154 et 163 : Réalisation de 6 sondages au carottier à une profondeur maximale de 5,7 m. • Absence d'impact en polluants traceurs des activités de l'AUG : HCT, HAP, BTEX, indice phénol, cyanures totaux et libres sur l'ensemble des sondages (SC3 non analysé – refus) ; • Présence dans les sols non superficiels d'impact en métaux lourds (plomb et zinc) dans la couche de remblais et présence ponctuelle d'un impact en arsenic, cadmium et cuivre en SC4bis.				Ouvrage	Date de mise en place et de démolition	Sondage	Dimensions Volume total	Nature et volume des contenus Contaminant éventuel (concentrations)	Gazomètre A	1938 - 1977	CH8, G5, G6 et G7 (ERG) SD4, SD5, SD8, SD8', SD9, SD10 et SD14 (ERG) S1 et S2 (BG)	Volume de 60 000 m3 Diamètre : 45 m Refus entre 2,5 et 2,8 m/TN pour les sondages ERG SD4, SD5, SD8, SD8' SD9 et SD14 Refus pour le sondage ERG SD10 à 3,3 m/TN et refus pour les sondages BG S1 et S2 entre 3 et 3,5 m	Remblais apparemment non contaminés (pas d'analyse des sols) Présence de fortes teneurs en HCT aliphatiques et aromatiques, BTEX et naphthalène dans les gaz du sol	Gazomètre F	1874 - 1938	Inclus dans l'emprise du gazomètre A (SD8, G6, G7 et CH8)	Diamètre : 20 m Profondeur et volume non connus	Remblais apparemment non contaminés Pas d'anomalie analytique	Gazomètre F'	1874 - 1925	S6 (BG)	Diamètre : 20 m Profondeur et volume non connus Radier non recoupé en S6, S5 et S7 dans ce secteur	Gazomètre non retrouvé	Gazomètre G	1874 - 1938	S8 et S3 (BG) SD11 situé dans l'emprise supposée ?? (ERG)	Diamètre : 35 m Refus du SD11 à 4,2 m sur des galets ? S8 : pas de refus (hors gazomètre)	Présence de coke entre 0,3 et 0,8 m de profondeur Pas d'anomalie analytique
Ouvrage	Date de mise en place et de démolition	Sondage	Dimensions Volume total	Nature et volume des contenus Contaminant éventuel (concentrations)																									
Gazomètre A	1938 - 1977	CH8, G5, G6 et G7 (ERG) SD4, SD5, SD8, SD8', SD9, SD10 et SD14 (ERG) S1 et S2 (BG)	Volume de 60 000 m3 Diamètre : 45 m Refus entre 2,5 et 2,8 m/TN pour les sondages ERG SD4, SD5, SD8, SD8' SD9 et SD14 Refus pour le sondage ERG SD10 à 3,3 m/TN et refus pour les sondages BG S1 et S2 entre 3 et 3,5 m	Remblais apparemment non contaminés (pas d'analyse des sols) Présence de fortes teneurs en HCT aliphatiques et aromatiques, BTEX et naphthalène dans les gaz du sol																									
Gazomètre F	1874 - 1938	Inclus dans l'emprise du gazomètre A (SD8, G6, G7 et CH8)	Diamètre : 20 m Profondeur et volume non connus	Remblais apparemment non contaminés Pas d'anomalie analytique																									
Gazomètre F'	1874 - 1925	S6 (BG)	Diamètre : 20 m Profondeur et volume non connus Radier non recoupé en S6, S5 et S7 dans ce secteur	Gazomètre non retrouvé																									
Gazomètre G	1874 - 1938	S8 et S3 (BG) SD11 situé dans l'emprise supposée ?? (ERG)	Diamètre : 35 m Refus du SD11 à 4,2 m sur des galets ? S8 : pas de refus (hors gazomètre)	Présence de coke entre 0,3 et 0,8 m de profondeur Pas d'anomalie analytique																									
Infrastructures enterrées	Les gazomètres F, F' et G ont à priori été démantelés pour la mise en place du gazomètre A. Le radier de ce dernier a été rencontré en 12 sondages à 2,8 m de profondeur, avec un diamètre supposé de 45 m. A noter qu'aucune information sur la présence ou l'absence actuelle de la dalle de fond des gazomètres F, F' et G n'a été retrouvée dans les différentes études. Enfin, les installations principales de l'AUG (cuve à goudron, salle des fours ...) n'étaient pas localisées sur les parcelles cédées.																												

Thème	Éléments figurant dans les études communiquées appliqués au site d'étude
Données sur le milieu eaux souterraines	3 piézomètres ont été mis en place par BG au droit du site en 2017 en amont (Pz3), en aval (Pz1) et en latéral aval hydraulique (Pz2) des gazomètres présents au droit de la parcelle d'étude. Ces piézomètres ont confirmé la présence d'une nappe d'eau située entre 3 et 4 m de profondeur avec un sens d'écoulement en direction du sud-est. Les résultats analytiques ont mis en évidence un impact en cyanures (totaux et libres) en amont du site (Pz3) et un impact important sur un seul ouvrage aval (Pz2) concernant l'ensemble des traceurs des AUG (HAP, BTEX, cyanures, indice phénols et ammonium). Cet impact paraît lié à la qualité des sols au droit du piézomètre Pz2.
Données sur le milieu air du sol et air ambiant	Un prélèvement d'air sous dalle couplé à un prélèvement d'air intérieur du local syndical et un prélèvement d'air des gaz de sol au droit du gazomètre A ont été réalisés en 2017. La villa d'habitation étant occupée illégalement, elle n'a fait l'objet d'aucun prélèvement. Les résultats analytiques ont mis en évidence dans les gaz de sol la présence d'hydrocarbures volatiles (la fraction C8-C10), de BTEX et de naphtalène mettant en évidence un transfert des sols et/ou des eaux souterraines vers le milieu air pour ces composés. La mesure d'air intérieur dans le local syndical a montré la présence de BTEX, à des teneurs inférieures aux valeurs de référence, avec toutefois une teneur en benzène proche de la valeur VGAI.
Conclusions / préconisations	Le site est compatible avec son usage tertiaire et industriel dans sa configuration et aménagement actuel. En cas de changement d'usage, nécessité de réaliser un Plan de gestion afin de s'assurer de la compatibilité sanitaire des milieux avec le projet. En cas de terrassement : réalisation d'un Plan de gestion des terres à excaver. Réalisation d'une attestation de prise en compte des problématiques liées aux pollutions accompagnant la demande de permis de construire.

Il est à noter que les coupes des sondages SD1 à S16 ne sont pas disponibles au sein des documents fournis. Aucune donnée concernant l'historique de la parcelle IP191 n'est recensée au sein des différentes études.

La présence de scories mâchefers a été relevée au droit des sondages SD1, SD7, SD8, SD11 et SD15, pouvant engendrer un déclassement des terres en cas de gestion hors site.

Une synthèse de l'implantation de l'ensemble des investigations menées au droit de la zone à l'étude ainsi que des observations et certains résultats pertinents est présentée ci-après.

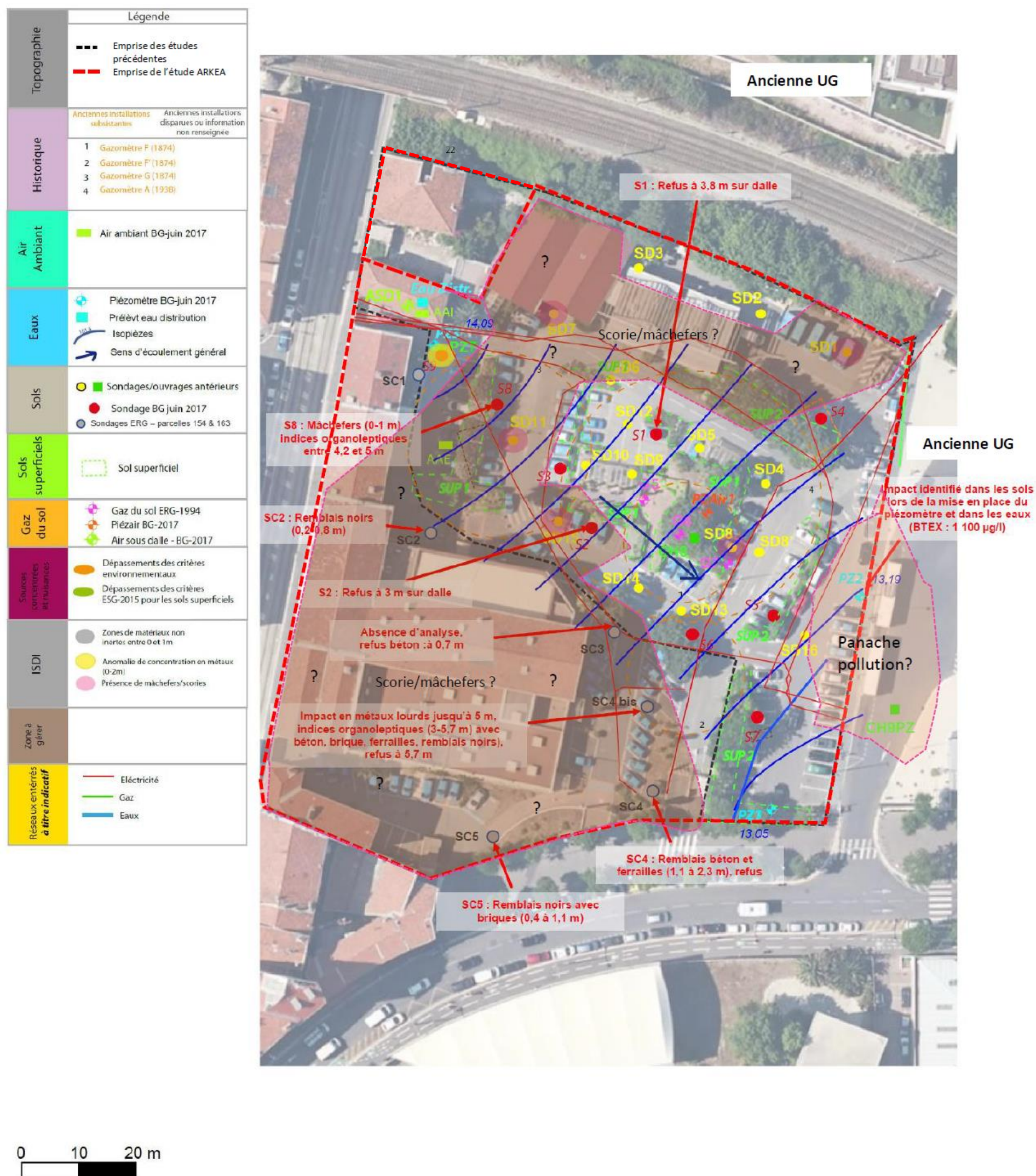


Figure 10 : localisation des investigations menées au droit de la zone d'étude et indices relevés (Source : Synthèse environnementale - BG du 13.09.2017)

Les informations disponibles amènent les commentaires suivants dans le cadre du projet d'aménagement considéré :

- Des éléments d'historique indiquent la présence d'anciennes installations (épuration) au droit du site d'étude, peu ou pas étudié précédemment ;
- Les éléments de diagnostics indiquent la présence de matériaux type déchets dans le sous-sol (mâchefers/scories...), des refus sur (probablement) d'anciens vestiges, la présence d'odeurs ainsi que ponctuellement des concentrations significatives en polluants marqueurs d'AUG (HAP, BTEX, phénols, cyanures...)
- Aucune analyse ISDI n'a été réalisée afin de définir les filières de gestion des déblais issus du terrassement des sous-sols ;
- Absence de caractérisation des sols sous les bâtiments (impact en BTEX dans l'air du bâtiment « local syndical ») ;
- **Absence de caractérisation et de délimitation de l'impact (indices organoleptiques) identifié dans les sols lors de la foration du piézomètre Pz2 (absence d'analyse) ainsi que dans les eaux souterraines à son endroit (benzène, 1000 µg/l) implanté en bordure d'une parcelle qui aurait accueilli par le passé plusieurs cuves de stockage de sous-produits (goudrons).**

4.2. Informations historiques complémentaires

4.2.1. Situation réglementaire

Selon les informations transmises par la DREAL des Alpes Maritimes lors de la visite de leurs services le 1^{er} septembre 2022, aucune installation classée soumise à autorisation n'est recensée au droit du site.

Concernant les installations soumises à déclarations, il ressort après consultation de la DDPP l'existence d'activités soumises à déclaration n'ayant pas fait l'objet d'une déclaration de cessation d'activités.

ACTIVITE	EXPLOITANT	ADRESSES	NMR	DATE	REGIME
Dépôt de liquide inflammable (naphta)	EDF-GDF	20 Rte de Turin	4480	31/03/1977	déclaration
Dépôt liquide inflammable	EDF-GDF	150 rte de turin	8610	22/08/1973	déclaration
hydrocarbures	EDF-GDF	20 Rte de Turin	10051	31/05/1990	déclaration
hydrocarbures	EDF-GDF	20 Rte de Turin	10051	28/05/1980	déclaration
Garage	EDF-GDF	20 Rte de Turin	10635	30/07/1987	déclaration
REFRIGERATION COMPRESSION	EDF	8 Bis avenue des diables bleus	12571	30/09/2004	Déclaration

Tableau 4 : liste des activités soumises à déclaration

Il est à noter que l'ensemble des dossiers a été reversé aux archives départementales des Alpes Maritimes. Celles-ci ont été consultées le 20 mars 2022, exceptée le dossier 12571 pour lequel les documents ne sont pas communicables. **Il ressort que l'ensemble des éléments et activités soumises à déclaration concernent d'anciennes activités au droit des parcelles de l'ancienne usine à gaz situées au Nord de la voie ferrée (Hors site à l'étude).**

Il est à noter qu'en raison de son historique (ancienne usine à gaz), le site est inscrit en **Secteur d'Information sur les Sols (SIS - n°SSP00041010101)**.

Les éléments de la fiche SIS (ensemble du périmètre de l'ancienne usine à gaz) indiquent :

- La présence de cinq cuves contenant au total 1 800m³ de goudron fluide et de solvant « naphta ». Les terres voisines des cuves sont localement souillées aux HAP et BTEX.
- Après avoir mené les études de diagnostic de sites, tirant partie de l'étude de référence, à caractère national, dite " générique " établie par GDF, les travaux des 3 phases se sont déroulés selon les prescriptions des arrêtés préfectoraux (A.P. des 11/03/2004 et 28/07/2003 et 04/01/2005 - traitement des terres polluées par désorption thermique). Les cuves à goudrons et à eaux ammoniacales ont été vidangées, nettoyées et remblayées avec des matériaux sains. 11 cuves ont été concernées. Au total 954 tonnes d'eau souillées ont été détruites en incinération tout comme 1455 tonnes de goudrons et 662 tonnes de remblais. 522 tonnes de terres souillées ont été dépolluées par désorption thermique.
- Les travaux de réhabilitation ont été effectués en 3 phases. Les travaux des phases 1 et 2 ont fait l'objet des AP du 28/07/2003 et du 11/03/2004. Les travaux de ces deux premières phases concernent les terrains situés au Nord de la voir ferrée (32 260 m²). 11 099 Tonnes de terres polluées ont été traitées par désorption thermique hors site. **Les objectifs de réhabilitation ont été atteints.**
- Pour la phase 3 concernant les terrains au Sud de la voie ferrée (**hors site à l'étude**), 1 578 tonnes de terres polluées ont été traitées par désorption thermique hors site. **Les objectifs de l'AP du 04/01/2005 ont été atteints.** Des restrictions d'usages ont été établies sur l'ensemble des parcelles du site, elles concernent la réalisation des canalisations d'eau potable qui devront être en acier et la responsabilité des propriétaires successifs en matière de changement d'usage.
- Parmi les usages futurs retenus pour les terrains « Sud » on notera un gymnase, une voie de bus, une gare routière, des voiries. Des bâtiments seront toujours utilisés par EDF/GDF. Les parcelles non conservées par EDF/GDF ont été vendues à la Mairie de Nice.
- Les objectifs de la réhabilitation en HAP totaux étaient fixés à 500 mg/kg pour les usages sensibles constructibles et 2000 mg/kg pour les usages non sensibles avec isolation de surface. La nappe, présente entre 3 et 5 m de profondeur, est utilisée pour les systèmes de refroidissement en aval du site et pour l'arrosage. Elle est saine, plusieurs contrôles de la qualité des eaux de la nappe le confirment (un suivi piézométrique a été mis en place avec l'avis du BRGM - HAP, BTEX, Ammonium, Ferrocyanure). Le suivi d'observation de la qualité des eaux souterraines, mis en place lors des études, se poursuit au moins un an après la fin des travaux selon AP du 04/01/2005 ; il n'y a pas eu d'anomalies mises en évidence.

4.2.1.1. Arrêté préfectoral du 04/01/2005

L'arrêté préfectoral du 04/01/2005, portant sur la troisième phase de réhabilitation de l'ancienne usine à gaz (parcelles II, VIIIa, VIIIb, IX et X), indique pour les terrains objet de l'actuel projet d'aménagement (parcelles VI et VII), conservés par GDF en 2005 et ne faisant pas partie de cette phase doivent :

- Respecter les critères définis dans le cadre de l'étude semi-générique de réhabilitation des anciennes usines à gaz pour un niveau de risque de 10^{-5} ;
- les valeurs guides suivantes :

- **Partie utile du sol (entre les niveaux 0 m et 0,5 m par rapport au terrain naturel) :**
 - concentration en HAP (16) < 500 mg / kg ;
 - concentration en Benzo(a)pyrène < 77 mg / kg ;
 - concentration en Benzène < 72 mg / kg ;
 - concentration en cyanures totaux < 300 mg/kg ;
 - concentration en ferrocyanures ferriques < 550 mg/kg.
- **En profondeur (inférieure à 0,5 m par rapport au terrain naturel et jusqu'au niveau supérieur de la nappe phréatique) :**
 - concentration en HAP (16) < 500 mg / kg.

Les sols dépollués selon ces critères ne pourront pas faire l'objet d'aménagements de jardins publics. Le cas échéant, une isolation de surface devra être prévue sur les parties non construites.

Dans l'hypothèse où, dans d'autres zones que celles qui sont identifiées comme polluées dans le dossier d'étude et de réhabilitation, les travaux de terrassement, de creusement, etc..., mettraient en évidence des concentrations supérieures aux valeurs guides définies ci-dessus, GDF devra informer l'inspection des installations classées.

Des analyses complémentaires seront alors entreprises afin de déterminer sur les secteurs concernés les risques de migration chimique, les traitements à réaliser, la

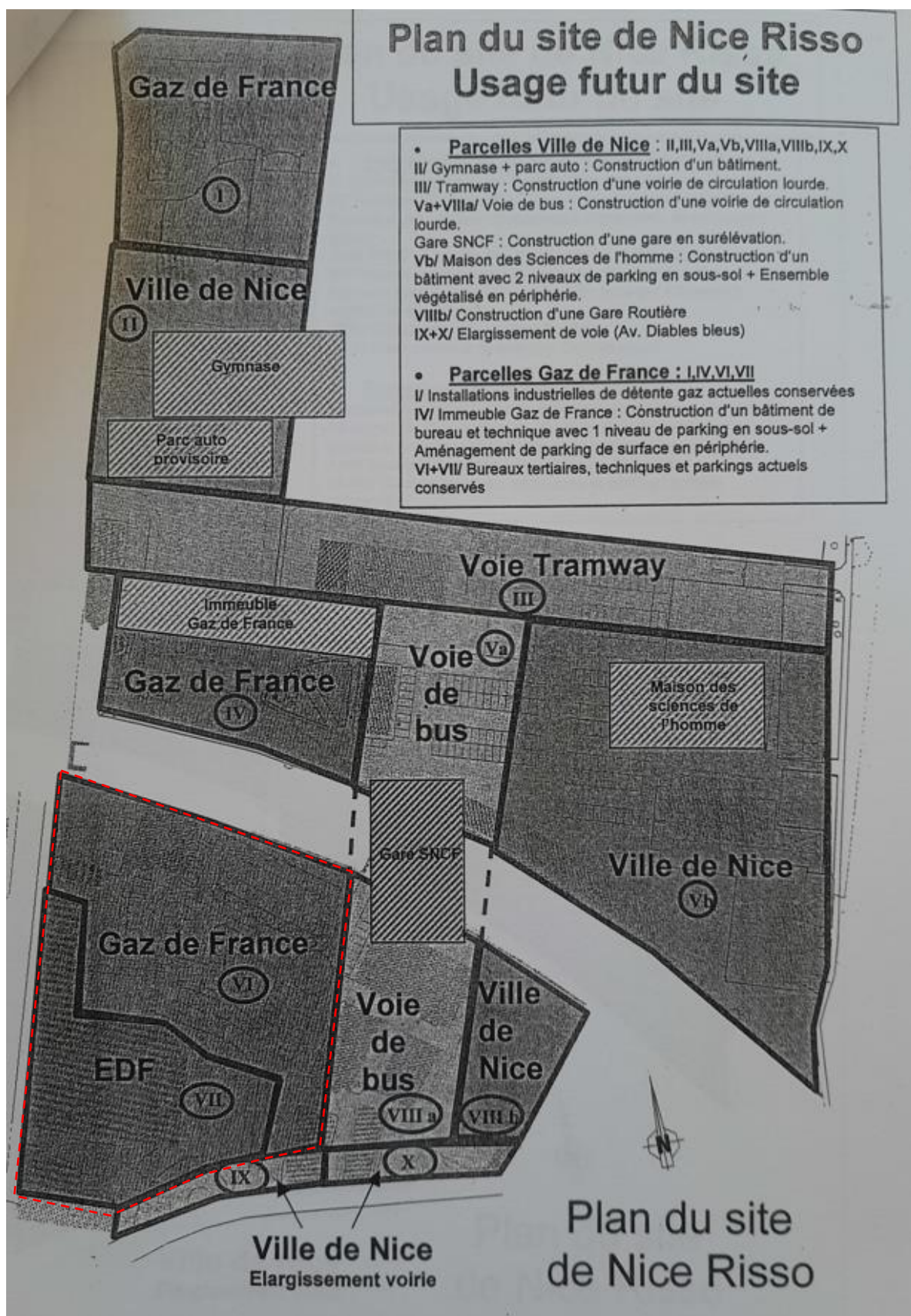


Figure 11 : localisation des parcelles mentionnées dans l'AP du 04/01/2005

4.3. Travaux de réhabilitations réalisés – Hors site

Selon la fiche Infosols SSP0004101 de la base de données Géorisques,

- Les travaux des phases 1 et 2 ont concerné les terrains situés au Nord de la voir ferrée (32 260 m²). 11 099 Tonnes de terres polluées ont été traitées par désorption thermique hors site. **Les objectifs de réhabilitation ont été atteints.**
- les travaux de dépollution de la phase III fixé par l'arrêté préfectoral du 04/01/2005 ont concerné en partie les terrains au Sud de la voie ferrée (parcelles IP 155, 156 et 157 et une partie de la parcelle IP 149 – hors emprise projet). Lors de ces travaux, **1578 tonnes de terres polluées ont été traitées par désorption thermique hors site. Les objectifs de réhabilitation ont été atteints.**

Aucuns travaux n'ont été réalisés au droit de l'emprise du projet.

4.3.1. Parcelle IP 151 (IV) – Nord de la voie ferrée

Selon les données récoltées auprès de la DREAL 06 le 1^{er} septembre 2022 et notamment le rapport EC 02 031/02 de la société EAT Environnement datant de mai 2004 et relatant les travaux de vidanges et remblaiement des cuves 3, 4, 5 et 6 au nord de la voie ferrée (hors site), il ressort les éléments suivants :

- L'existence en 2004 d'une cuve à goudron compartimentée en amont de la zone d'étude (cuve n°3) de 25 m x 16 m et de 3 m de profondeur ;
- Lors des travaux de vidange des cuves réalisés en 2003, la cuve n°3 avait été vidée et remblayée par le passé ;
- 271,10 tonnes d'eaux souillées ont été pompées et éliminées sur l'ensemble des cuves ;
- 221,68 tonnes de goudrons liquides ont été pompées et éliminées sur l'ensemble des cuves ;
- 109,82 tonnes de goudrons imprégnés ont été extraites des cuves et éliminées ;
- 1 883 tonnes de matériaux souillés issus de la cuve 3 ont été évacués hors site.

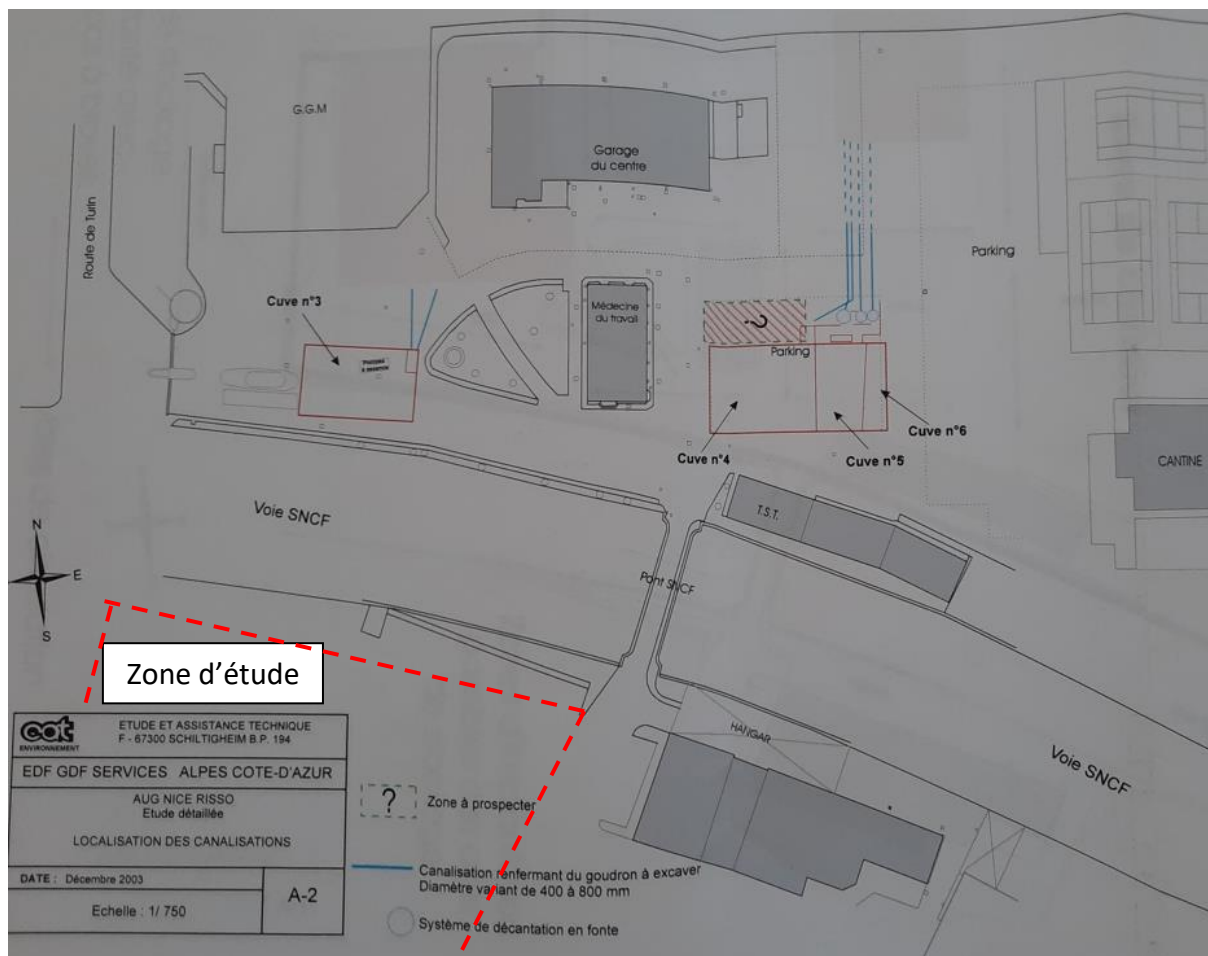


Figure 12 : Localisation des anciennes cuves – parcelle IP151 (Source : rapport EAT)

4.3.2. Parcelle IP 155 (Villa et VIIIb) – Gare routière

L'arrêté préfectoral du 04/01/2005 indique que les terrains de l'actuel gare routière ont été dépollués pour un **usage non sensible recevant une isolation de surface** (voirie).

Selon les données récoltées auprès de la DREAL 06 le 1^{er} septembre 2022 et notamment le rapport EC 04 056Vdc/02 de la société EAT Environnement datant de novembre 2005 et relatant les travaux de vidanges et remblaiement des cuves, il ressort au droit de l'actuelle zone de bus (hors site) :

- L'existence en 2005 de **7 cuves à goudron au sud de la voie ferrée** ;
- La cuve à eau C2 identifiée dans les études ERG Environnement entre 1994 et 2001 s'est avérée être un puits de 3 m de diamètre alimentant probablement l'ancienne usine à gaz ;
- 672,88 tonnes d'eaux souillées ont été pompées et éliminées sur l'ensemble des cuves ;
- 162,94 tonnes de goudrons liquides ont été pompées et éliminées sur l'ensemble des cuves ;
- 959,98 tonnes de goudrons imprégnés ont été extraites des cuves et éliminées ;
- Le remblaiement des cuves avec 3320 m³ des remblais issus des travaux de démolition de la ville et 240 m³ de remblais sains issus du site.

	C1-A	C1-C	C7	C7bis	C8-1	C8-2	C8-3
Longueur (m)	21	21	Circulaire Rayon : 6 m	Circulaire Rayon : 6 m	5	7	7
Largeur (m)	11	11			2	3,50	4,50
Hauteur (m)	3,50	3,50	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Surface (m ²)	230	230	110	110	10	24,50	31,50
Volume (m ³)	805	805	440	440	40	98	126
Nombre de piliers	12	12	1	/	/	/	/

Figure 13 : Caractéristiques des cuves – parcelle IP155 (Source : rapport EAT)

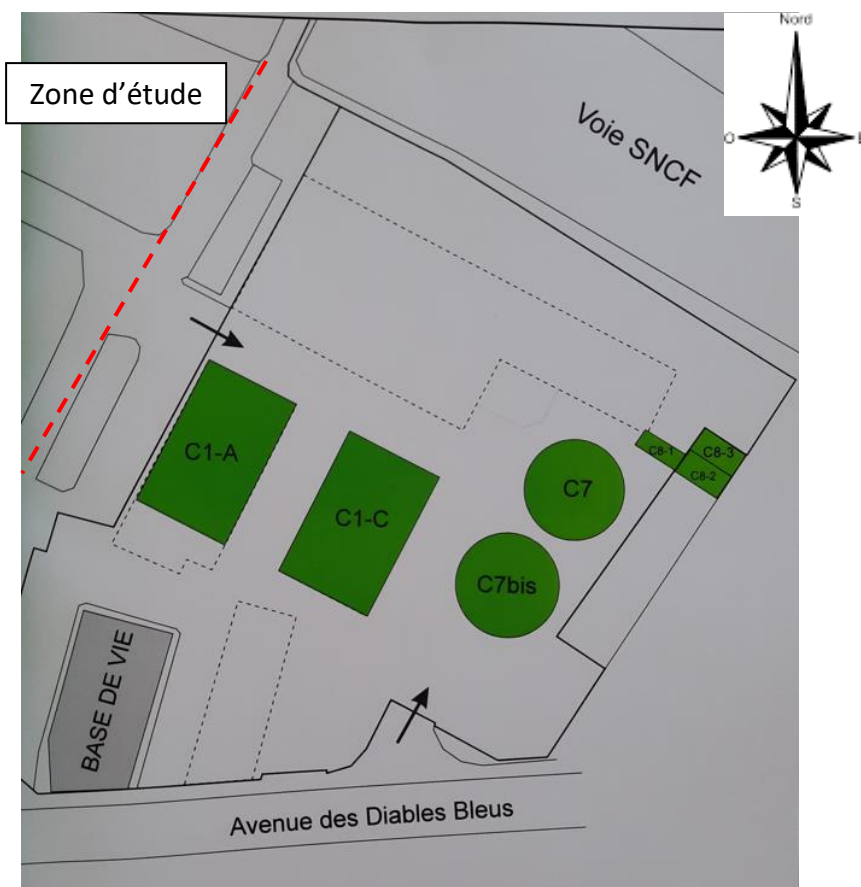


Figure 14 : Localisation des anciennes cuves – parcelle IP155 (Source : rapport EAT)



Figure 15 : Démolition du toit et des piliers de la cuve C1-A après vidange et nettoyage (Source : rapport EAT)



Figure 16 : Vue des piliers et des structures de la cuve C1-CA après vidange (Source : rapport EAT)

4.4. Synthèse

Auparavant occupé par les installations d'une ancienne usine à gaz (gazomètres) jusque dans les années 50, le site est actuellement occupé et exploité par des agences ENEDIS et GRDF (usage tertiaire) ainsi qu'un pavillon à l'angle nord-ouest.

Localisé en rive gauche du Paillon, une nappe superficielle vulnérable s'écoulant vers le sud-est est présente au droit du site entre 3 et 5 mètres de profondeur. Une seconde nappe profonde captive contenue dans les niveaux sablo-graveleux profond est également présente entre 20 et 28 m de profondeur au droit du site. En raison de l'absence d'usage des eaux souterraines superficielles ou profondes, elles ne sont pas considérées comme sensibles.

Des travaux de réhabilitation de l'ancienne usine à gaz ont été réalisés en dehors de l'emprise à l'étude, comprenant notamment la vidange de cuves de goudron et l'élimination de terres polluées à proximité immédiate du site (parcelles de l'actuelle gare routière). Selon l'arrêté préfectoral du 04/01/2005, les objectifs de réhabilitation ont été atteints.

Les études menées au droit du site à l'étude indiquent que celui-ci est compatible avec son usage tertiaire et industriel dans sa configuration et son aménagement actuel.

5. Elaboration d'un programme prévisionnel d'investigations (A130)

Les paragraphes suivants présentent successivement le schéma conceptuel initial déduit de la recherche documentaire et de la visite de site d'une part, et le programme prévisionnel d'investigations en vue de l'identification des éventuels impacts en lien avec les sources potentielles de pollution retenues d'autre part.

5.1. Schéma conceptuel initial

Le schéma conceptuel d'un site consiste à établir, sur la base des données existantes, un bilan factuel de l'état environnemental des milieux.

D'après la méthodologie de gestion des sites et sols pollués du MEDDE, il doit permettre d'appréhender l'état de pollution des milieux et des voies d'exposition au regard d'un aménagement.

Il a pour objectifs de préciser :

- les **sources potentielles de pollution** contenant des substances susceptibles de générer un impact,
- les différents **milieux de transfert** des substances vers un point d'exposition,
- les **cibles** situées au point d'exposition.

Les sources de pollution, milieux de transfert et cibles sont présentés pour l'usage futur dans les paragraphes ci-dessous.

5.1.1. Sources potentielles de pollution

Les sources potentielles de pollutions retenues suite à l'étude historique et documentaire sont présentées dans le tableau suivant. Hors site, les anciennes installations de l'usine à gaz localisées en amont hydrogéologique ou à proximité immédiate constituent des sources potentielles de pollution.

Tableau 5 : synthèse des sources de pollution retenues dans le schéma conceptuel

Localisation	Activité / équipements source potentielle de pollution	Composés associés	Profondeur des sources
Sur site	Anciens gazomètres	HCT HAP BTEX cyanures	Sous le radier des gazomètres
	Remblais éventuels apportés lors des aménagements historiques (mâchefers, scories, béton)	HCT HAP BTEX COHV PCB Métaux	Epaisseur attendue : environ 2 à 3 m
Hors site	Installations de l'ancienne usine à gaz au nord de la voie ferrée	HCT HAP BTEX cyanures	Nappe (env. 4-5 m)
	Installations de l'ancienne usine à gaz (cuves 1 et 2) en limite est du site	HCT HAP BTEX cyanures	Dès la surface (anciennes canalisations) et sous les anciennes cuves

HCT : Hydrocarbures totaux - HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - BTEX : Hydrocarbures mono-aromatiques (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes) - COHV : Composés Organiques Halogénés volatils - PCB : polychlorobiphényles

5.1.2. Voie de transfert

Les vecteurs de transfert (matérialisés par des flèches dans le schéma conceptuel) représentent les voies de migration des substances dans les différents milieux considérés (transfert par envol de poussières, transfert via un dégazage des sols et/ou des eaux souterraines...).

A ce stade de l'étude les vecteurs théoriques retenus sont :

1. « Transfert et dégazage de composés volatils depuis les sols » en raison de la présence potentielle de composés volatils dans les sols/remblais.
2. « Transfert de composés volatils potentiels à travers les canalisations d'eau potable circulant sur le site » en raison de la présence de canalisations AEP au droit de la zone d'étude ;
3. « Transfert potentiel de composés des sols vers les eaux souterraines » : en raison de la lithologie perméable au-dessus de la nappe et de sa profondeur attendue (4 à 5 m) ;
4. « Transfert et dégazage de composés volatils depuis les eaux souterraines » en raison de la lithologie perméable au-dessus de la nappe et de sa profondeur attendue (4 à 5 m).

Les vecteurs théoriques non retenus sont :

1. « Sol de surface non recouverts » puisque les sols sont recouverts d'enrobés ou de terre végétale ;
2. « Transfert de composés présents dans les sols vers les végétaux » en raison de l'absence de potager ;
3. « Envol de poussières des sols de surface non recouverts » en raison du recouvrement des sols.

5.1.3. Cibles

Les cibles actuelles sont les salariés ENEDIS et GRDF dans l'aménagement actuel du site.
Dans le cadre de l'usage futur, les cibles seront les salariés, visiteurs et résidents (adultes et enfants).

5.1.4. Voies d'exposition et scénarii retenus

Le tableau ci-dessous présente les scénarii d'exposition pertinents proposés (scénarii potentiels) à ce stade du diagnostic. Il pose les hypothèses de travail sur lesquelles se fondent les choix de conclusion de ce diagnostic du site et/ou des recommandations d'investigations d'éventuelles phases ultérieures.

Tableau 6 : Scénarii d'exposition retenus

	Modalités d'exposition	Voies d'exposition
Ingestion de sols de surface	Sols recouverts	Non retenue
Inhalation de poussières	Sols recouverts	Non retenue
Ingestion indirecte de végétaux aériens et/ou racinaires autoproduits	Absence de potagers sur le site à ce jour	Non retenue
Ingestion d'eau de nappe	Absence de puits sur site	Non retenue
Ingestion d'eau du robinet	Conduites AEP au droit de la zone d'étude, <u>absence d'anomalie relevée en 2007 et 2017 par ERG</u>	Non retenue
Inhalation de composés volatils issus du sol ou des eaux souterraines dans l'air intérieur de bâtiments	Présence de bâtiment dans la zone d'étude	Retenue
Inhalation de composés volatils issus du sol dans l'air extérieur	Aération naturelle de l'espace extérieur (dilution) et temps d'exposition faible (moins de 2 heures par jour).	Non retenue première approche

Sur la base des informations connues pour l'aménagement actuel, le scénario d'exposition retenu est l'inhalation de composés volatils issus du sol ou des eaux souterraines dans l'air intérieur de bâtiments.

5.2. Programme d'investigations

Le programme prévisionnel d'investigations est relatif :

- ✓ Aux compléments d'historique à apporter concernant l'emprise du site étudié par Motu 1 ;
- ✓ Au projet d'aménagement initial datant de mars 2022 comprenant 2 niveaux de sous-sols ;
- ✓ Aux investigations sur les sols à réaliser dans la **zone du piézomètre PZ2** où a été mise en évidence une contamination dans les sols lors de la foration et au droit des bâtiments non investigués (accessibilité à confirmer au préalable) ;
- ✓ Aux investigations systématiques (maillage) afin de disposer des éléments permettant de chiffrer le coût de gestion des terres excavées dans le cadre du chantier grâce à une caractérisation de la qualité environnementale **des futurs déblais** (notamment dans la zone de battement de nappe) vis-à-vis des seuils ISDI. A ce stade, un maillage relativement lâche d'environ 20 par 20 m a été retenu, sur l'ensemble du site. Le maillage sera réalisé à l'aide d'une sondeuse mécanique sur chenille, soit 26 sondages au droit des parcelles 154, 163 et 182 étudiées lors de la première phase d'investigations.

NB : ce maillage est proposé en première approche compte-tenu de l'existant, afin de cerner les enjeux associés à la problématique de gestion de terres excavées (1 analyse permettant

de définir l'exutoire de 400 m³ / 720 t, ce qui reste peu précis). Toutefois, au vu de notre REX concernant les sites d'AUG, d'anciennes infrastructures non recensées peuvent être rencontrées au droit du terrain, pour certaines encore remplies de produits. Aussi, un maillage plus fin permet de limiter les aléas en phase chantier.

- ✓ Aux investigations permettant de mener les études relatives à la réhabilitation du site pour l'usage futur (seuil de réhabilitation, CMA, études sanitaires, ...) : caractérisation de la qualité des sols en place après création des sous-sols ;
- ✓ Aux investigations à réaliser au droit de la parcelle « ENGIE » IP 191 dans le cadre de l'acquisition de celle-ci en 2023.

Enfin, un complément sur la **qualité de la nappe** est proposé avec le prélèvement des 3 piézomètres existants et la mise en œuvre de trois piézomètres complémentaires afin de confirmer le schéma des écoulements et de définir en première approche la qualité des eaux à gérer lors du rabattement de la nappe nécessaire pour la mise en œuvre des sous-sols. Lors des investigations à mener au droit de la parcelle « ENGIE », un 4^{ème} piézomètre sera implanté (amont supposé).

Le site étant localisé au droit d'un SIS (Secteur d'Information sur les Sols), et du fait du contexte de reconversion envisagé (reconversion d'un site industriel ICPE vers un site à usage mixte logements/tertiaire), une ATTES selon la norme NF X 31-520-5 est à joindre au permis de construire. Dans un premier temps, les investigations ont pour objectif la caractérisation de la qualité des sols au droit du site en fonction de l'usage actuel et des sources potentielles de pollution identifiées et la caractérisation des futurs déblais de terrassement liés au projet d'aménagement.

Antea Group rappelle que la localisation des investigations est proposée sur la base des informations renseignées par le client.

Tableau 7 : Investigations proposées

Zones concernées	Sources potentielles de pollution	Investigations	Programme analytique	Observation / Justification
SOL				
Bâtiments et pourtour PZ2	Anciens gazomètres Remblais Ancienne cuve en limite est de la zone à l'étude	5 sondages de 6,5 m de prof ou refus	C5 C40+CAV+HAP+PCB + cyanures	Caractérisation des zones non investiguées (bâtiments <u>dans la limite des possibilités d'intervention</u>) et des indices organoleptiques relevés lors de la foration du Pz2
Ensemble des parcelles 154, 163 et 192	Anciens gazomètres Remblais	24 sondages à 6,5 m ou refus	Pack ISDI + 12 Mtx + COHV + cyanures COT + Granulométrie	Caractérisation des terres devant être excavées dans le cadre du projet d'aménagement et des sols sous-jacents
Parcelle « ENGIE » IP 191	Emprise de l'ancienne usine à gaz	4 sondages à 3 et 6 m (demande VALGO SCAN)	Pack ISDI + 12 Mtx + COHV + cyanures	Caractérisation des terres devant être excavées dans le cadre du projet d'aménagement et des sols sous-jacents
Eaux SOUTERRAINES				
Ensemble des parcelles 154, 163 et 192	-	3 piézomètres (PVC/PEHD diamètre 51/60 mm) à 10 m de profondeur, crépinés entre 3 et 10 m	Pack HCT HAP COHV BTEX PCB	Implantation : 1 en amont et 2 en aval + 3 piézomètres existants 2 campagnes de mesures <i>Prélèvement de gaz de nappe non prévu initialement mais réalisés suite aux premières investigations</i>
Parcelle « ENGIE » IP 191	-	1 piézomètre (PVC/PEHD diamètre 51/60 mm) à 10 m de profondeur, crépinés entre 2 et 10 m	Pack HCT HAP COHV BTEX PCB	1 campagne de mesure <i>Prélèvement de gaz de nappe non prévu initialement mais réalisés suite aux premières investigations</i>
AIR DU SOL				
Ensemble du site	-	3 piézomètres gaz (PEHD diamètre 1 pouce) à 1,5 m de profondeur, crépinés entre 0,5 et 1,5 m	Pack TPH, HAP, BTEX	Implantation déterminées suite aux résultats des investigations sur les sols/ eaux souterraines / au droit des zones les plus impactées
<i>HCT : Hydrocarbures totaux (C10-C40) ; MTX : Métaux lourds (plomb, arsenic, cuivre, mercure, nickel, zinc, cadmium, chrome) ; HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques ; BTEX : Hydrocarbures monoaromatiques (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes) ; COHV : Composés Organohalogénés Volatils ; PCB : Polychlorobiphényles.</i> <i>Bilan ISDI : analyses sur sol sec (matière sèche, HAP, BTEX, PCB, COT, HCT), analyses sur éluats (test de lixiviation avec recherche de 12 métaux lourds, fluorures, sulfates, chlorures, fraction soluble indice phénol, Carbone Organique Total) ; CNé : Cyanures totaux sur éluat</i>				



Figure 17 : Localisation des investigations proposées sur plan de réseau ENEDIS – 2022 (avant acquisition de la parcelle IP191)

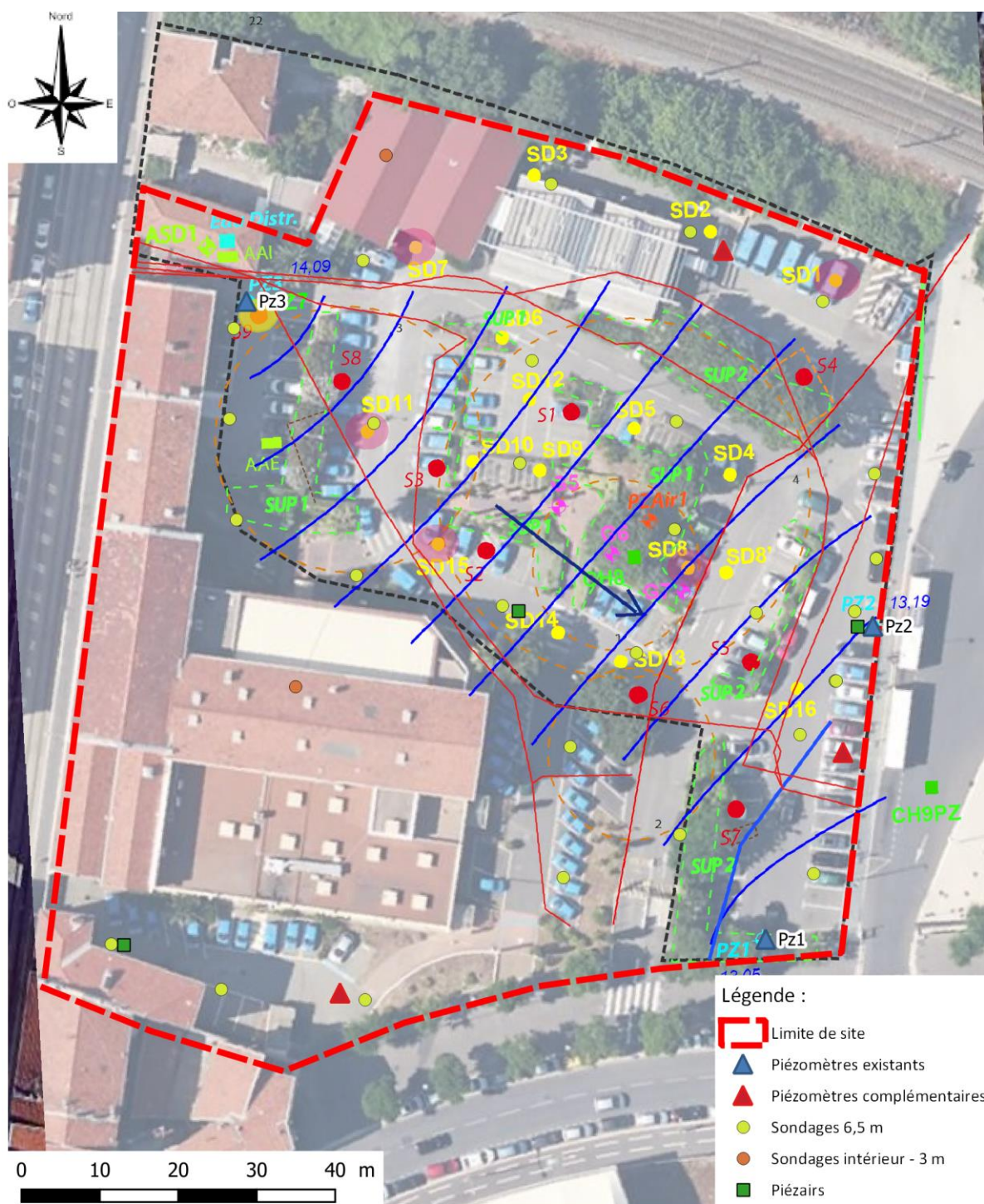


Figure 18 : Localisation prévisionnelle des investigations vis-à-vis des investigations ERG et BG – 2022 (avant acquisition de la parcelle IP191)



Figure 19 : Localisation prévisionnelle des investigations au droit de la parcelle IP 191 – 2023

6. Investigations sur site

6.1. Objectifs

L'objectif des investigations sur les milieux sol, eau souterraine et air du sol est :

- d'identifier et/ou caractériser la qualité des sols au droit des sources potentielles de pollution identifiées,
- de caractériser les vecteurs de transfert,
- de caractériser les milieux d'exposition de la population (travailleurs, riverains, population générale),
- d'obtenir les éléments nécessaires à la réalisation du projet de construction.

6.2. Sécurité de l'intervention

6.2.1. Plan de prévention

Antea Group a pris connaissance et signé le Plan de Prévention interne au site établi le 02/05/2022 par NEXITY pour ENEDIS. En parallèle, Antea Group a transmis sa fiche d'analyse des risques (FAR) au propriétaire et client, MOTU 1 en date du 28/04/2022.

Concernant les investigations de la parcelle « ENGIE » n°191 réalisées en février 2023, Antea Group a pris connaissance et signé le Plan de Prévention interne au site établi le 03/02/2023 par ENGIE. En parallèle, Antea Group a transmis sa fiche d'analyse des risques (FAR) au propriétaire et client, MOTU 1 en date du 30/01/2023.

Les risques auxquels a été exposée l'équipe d'Antea Group intervenant sur site ont été évalués et des mesures de prévention relatives ont été mises en place dont la validation des points de sondages à l'aide d'un géoradar au droit des zones sensibles vis-à-vis des réseaux enterrés.

6.2.2. Sécurisation vis-à-vis des réseaux enterrés

6.2.2.1. DT/DICT

Conformément à la réglementation en vigueur, les DT/DICT conjointes (Déclaration de Travaux et Déclarations d'Intention de Commencement de Travaux) ont été établies et traitées par Antea Group préalablement aux travaux sur site.

6.2.2.2. Détecteur de réseau

Une inspection au détecteur de réseaux (sous tension) a été réalisée au droit de chacun des sondages afin de valider l'absence de réseaux en complément des plans et réponses obtenues suite aux DICT.

Les inspections au détecteur de réseaux ont été réalisées par un ingénieur d'Antea Group.

6.2.2.3. Sécurisation par géodétection

Afin de sécuriser les points de sondages sensibles vis-à-vis des réseaux enterrés et de la densité importante de ceux-ci au droit du site, la société SE2T (sous-traitant d'Antea Group) est intervenue les 9 et 10 mai 2022 afin de valider l'implantation des sondages à l'aide d'un géoradar.



Figure 20 : Illustration de la détection des réseaux enterrés au géoradar

6.2.3. Contrôle de la présence potentielle d'amiante dans les enrobés

Deux prélèvements d'enrobé pour la recherche d'amiante et le contrôle des teneurs en HAP totaux ont été réalisés par BG en 2017 (cf. rapport Synthèse environnementale - BG du 13.09.2017 (FF0109.96_RN001/Est)).

Deux échantillons composites d'enrobé ont été réalisés, représentatifs de deux secteurs de la zone de parking, avec des agrégats prélevés sur ces deux secteurs.

- Échantillon « Enrobé 1 », correspondant à la partie Nord du parking ;
- Échantillon « Enrobé 2 », correspondant à la partie Sud du parking.

Sur les deux secteurs de parking caractérisés, il n'a pas été détecté d'amiante ni de HAP. Seules des traces de phénanthrène sont détectées sur les deux échantillons.

Réf. échantillon		Enrobé 1	Enrobé 2
Paramètre	Unité		
matière sèche	% massique	99.5	99.2
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES			
indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg MS	<0.5	<0.5
dibenzo(ah)anthracène	mg/kg MS	<0.5	<0.5
benzo(a)pyrène	mg/kg MS	<0.5	<0.5
fluorène	mg/kg MS	<0.5	<0.5
acénaphthylène	mg/kg MS	<0.5	<0.5
naphtalène	mg/kg MS	<0.5	<0.5
acénaphène	mg/kg MS	<0.5	<0.5
benzo(k)fluoranthène	mg/kg MS	<0.5	<0.5
fluoranthène	mg/kg MS	<0.5	0.51
anthracène	mg/kg MS	<0.5	<0.5
phénanthrène	mg/kg MS	0.76	0.80
pyrène	mg/kg MS	<0.5	<0.5
benzo(b)fluoranthène	mg/kg MS	<0.5	<0.5
chrysène	mg/kg MS	<0.5	<0.5
benzo(a)anthracène	mg/kg MS	<0.5	<0.5
benzo(ghi)pérylène	mg/kg MS	<0.5	<0.5
Somme des HAP (16) - EPA	mg/kg MS	<8.0	<8.0
RECHERCHE QUALITATIVE D'AMIANTE			
résultats d'amiante	-	Pas d'amiante détecté	Pas d'amiante détecté

Tableau 8 : Résultats des analyses sur enrobé (source : rapport BG n° FF0109.96_RN001/Est)

6.3. Investigations sur les sols (A200)

6.3.1. Réalisation des sondages sur site

6.3.1.1. Parcelles IP 154, 163 et 192

La stratégie d'implantation des sondages a été définie de manière à respecter au plus près le plan d'implantation prévisionnel défini en amont et validé avec MOTU 1. L'implantation a ensuite été adaptée aux possibilités d'accès et de réseaux.

Au total 29 sondages ont été réalisés du 09/05/2022 au 11/05/2022 :

- 27 sondages, nommés SX, où X correspond au numéro du sondage, entre 1 et 6,5 mètres de profondeur à la géoprobe/ carottier battu,
- 2 sondages, nommés SwX, où X correspond au numéro du sondage, entre 0 et 1 mètres de profondeur au carottier portatif.

Il est à noter que les sondages initialement prévus au sein des bâtiments, ont été réalisés en extérieur en raison de l'usage de ceux-ci par ENEDIS et GRDF et du refus du site.

Le tableau suivant présente les sondages réalisés :

Tableau 9 : Sondages réalisés – Parcelles 154, 163 et 192

Sondage	Profondeur prévisionnelle (m)	Profondeur atteinte (m)	Remarques
S1	6,5m	6,5m	/
S2	6,5m	4,7m	Refus sur béton
S3	6,5m	6,5m	/
S4	6,5m	2m	Refus sur béton
S5	6,5m	1,1m	Refus sur béton
S6	6,5m	2,7m	Refus sur béton
S7	6,5m	5,5m	Refus sur béton
S8	6,5m	7m	/
S9	6,5m	5,7m	Refus sur béton
S10	6,5m	6,5m	/
S11	6,5m	6,5m	/
S12	6,5m	2,7m	Refus sur béton
S13	6,5m	6,5m	/
S14	6,5m	6,5m	/
S15	6,5m	6,5m	/
S16	6,5m	6,5m	/
S17	6,5m	2,2m	Refus sur béton
S18	6,5m	5,8m	Refus sur béton
S19	6,5m	2,7m	Refus sur béton ?
S20	6,5m	6,5m	/
S21	6,5m	2,2m	Refus sur béton
S22	6,5m	2,2m	Refus sur béton
S23	6,5m	0,7m	Refus sur béton
S24	6,5m	3,7m	Refus sur béton
S25	6,5m	6,5m	/
S26	6,5m	6,5m	/
S27	6,5m	6,5m	/
Sw1	3m	1m	Refus sur point dur
Sw1Bis	3m	1,1m	Refus sur point dur

Le matériel utilisé (géoprobe et carottier portatif) a été mis à disposition par l'entreprise Abysses environnement sous la supervision d'Antea Group.

Des refus ont été rencontrés au droit de plusieurs sondages :

- Sw1 et Sw1Bis
- S2, S4, S5, S6, S7, S9, S12, S17, S18, S19, S21, S22, S23, S24. Présence d'une dalle béton, limitant les investigations en profondeur au droit de ces sondages.

Concernant les sondages S1, S2, S3, S4, S15, S17, S20 et S23, ils ont dû être décalés afin de se prémunir des risques liés aux réseaux enterrés. Les sondages restent cependant disposés à proximité directe de la zone ciblée.

La figure suivante illustre les différentes méthodes de forages employées.



Figure 21 : Illustration du sondage Sw1 à gauche et S12 à droite

6.3.1.3. Parcelle IP 191

La stratégie d'implantation des sondages a été définie de manière à respecter au plus près le plan d'implantation prévisionnel défini. L'implantation a ensuite été adaptée aux possibilités d'accès et de réseaux.

Au total 5 sondages ont été réalisés du 06/02/2023 au 07/02/2023 :

- 4 sondages, T1, T2, T2 bis, T3 et T4, entre 2,2 et 6 mètres de profondeur à la tarière mécanique,
- 1 sondage, nommés T1, entre 0 et 3 mètres de profondeur au carottier portatif au sein du sous-sol du pavillon.

Le tableau suivant présente les sondages réalisés :

Tableau 10 : Sondages réalisés – Parcelle 191

Sondage	Profondeur prévisionnelle (m)	Profondeur atteinte (m)	Remarques
T1	3 m	3 m	/
T2	6 m	3 m	Refus sur élément grossier
T2bis	6 m	2,1 m	Refus sur élément grossier
T3	6 m	6 m	/
T4	6 m	10 m	Sondage prolongé pour installation d'un piézomètre

Le matériel utilisé (tarière mécanique et carottier portatif) a été mis à disposition par l'entreprise Astaruscle sous la supervision d'Antea Group.

Des refus ont été rencontrés au droit des sondages T2 et T2bis liés à la présence de blocs au sein des remblais.

La localisation des sondages réalisés est présentée dans la figure suivante :



Figure 22 : Localisation des sondages réalisés et des refus – sur image satellite

L'ensemble des sondages a été immédiatement rebouché avec les matériaux extraits directement après l'observation organoleptique et la prise d'échantillons.

Pour les sondages sur enrobé, ils ont été rebouchés via un enrobé à froid compacté.

Un relevé GPS de précision a été effectué sur les points de sondage par l'entreprise SE2T, et est présenté ci-dessous :

Tableau 11 : Coordonnées des sondages de sol (SE2T)

	Point	X (Lambert 93)	Y (Lambert 93)	Z (m NGF)
2022	S1	1045227,24	6299307,34	17,63
	S2	1045240,95	6299305,73	17,495
	S3	1045250,23	6299299,37	17,556
	S4	1045275,98	6299315,46	17,517
	S5	1045282,79	6299330,55	17,794
	S6	1045275,67	6299347,41	17,9
	S7	1045242,47	6299362,42	18,168
	S8	1045252,45	6299364,65	18,178
	S9	1045243,42	6299370,09	18,103
	S10	1045239,95	6299383,63	18,105
	S11	1045264,93	6299391,47	17,974
	S12	1045275,79	6299365,29	17,967
	S13	1045278,17	6299378,79	18,067
	S14	1045283	6299400,11	17,773
	S15	1045302,35	6299387,35	17,545
	S15	1045302,69	6299386,81	17,51
	S16	1045316,67	6299382,7	17,471
	S17	1045303,52	6299365,88	17,547
	S18	1045294,7	6299354,28	17,839
	S19	1045291,57	6299343,46	17,949
	S20	1045302,82	6299317,41	17,459
	S21	1045305,72	6299344,49	17,564
	S22	1045309,02	6299352,46	17,57
	S23	1045320,42	6299346,23	17,295
	S24	1045317,49	6299335,17	17,46
	S25	1045316,41	6299328,94	17,556
	S26	1045311,39	6299317,08	17,496
	S27	1045256,3	6299390,24	18,271
2023	T1	1045239,27	6299411,074	16,083
	T2	1045238,908	6299400,044	18,19
	T2bis	1045241,204	6299397,05	18,24
	T3	1045250,928	6299402,786	18,26
	T4	1045253,43	6299410,706	18,209

6.3.2. Suivi des travaux et prélèvement des échantillons sur site

L'intervenant d'Antea Group, présent constamment lors des investigations, a assuré le respect du Plan de Prévention, dirigé les sondages, noté les coupes techniques, choisi et constitué les échantillons nécessaires à la caractérisation analytique des sols traversés.

La stratégie d'échantillonnage des sols a été adaptée au besoin de l'étude en fonction de la nature des informations recherchées :

- Caractérisation des terres devant être excavées dans le cadre du projet d'aménagement sous-jacent.
- Caractérisation des sols au niveau des zones n'ayant pas fait l'objet d'une caractérisation lors des précédents diagnostics environnementaux.

Pour cela la stratégie d'échantillonnage a consisté en un échantillonnage par tranche de 1m.

Les coupes des sondages sont présentées en Annexe III et précisent notamment la technique de foration, les lithologies observées et l'agencement des échantillons prélevés.

Les échantillons ont été conditionnés dans des flacons en verre étanches neufs de qualité laboratoire, soigneusement étiquetés dès leur conditionnement, conservés dans des glacières limitant le risque d'altération et expédiés au laboratoire.

Les échantillons de sol ont été envoyés au laboratoire WESSLING les 10 et 11 mai 2022 et réceptionnés les 11 et 12 mai 2022. Ceux de la parcelle 191 ont été envoyés au laboratoire WESSLING le 7 février 2023 et réceptionnés les 8 février 2023.

6.3.3. Programme analytique des sols

Le programme analytique a été établi en fonction des objectifs de l'étude, sur la base des informations disponibles et en particulier sur les sources potentielles de pollution identifiées sur site.

Le programme analytique général est synthétisé dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Descriptif du programme analytique réalisé sur les échantillons de sols

Sondages	Profondeur (m)	Profondeur d'échantillonnage	Analyses réalisées				
			Pack ISDI / 12 métaux / cyanure libre et totaux	COHV	HC(C5-C10) + HC (C10-C40) / BTEX / HAP / PCB	COT	Granulométrie
S1	6,5	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
S2	4,7	6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m		x	x		
		3 - 4m		x	x		
S3	6,5	4-4,7m	x	x		x	x
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m		x	x		
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		

Sondages	Profondeur (m)	Profondeur d'échantillonnage	Analyses réalisées				
			Pack ISDI / 12 métaux / cyanure libre et totaux	COHV	HC(C5-C10) + HC (C10-C40) / BTEX / HAP / PCB	COT	Granulométrie
S4	2	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
S5	1,1	0 - 1m	x	x			
S6	2,7	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
S7	5,5	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
S8	6,5	5 - 5,5m	x	x			
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
S9	5,7	5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
S10	6,5	4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
S11	6,5	3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
S12	2,7	2 - 3m	x	x			
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
S13	6,5	2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m		x	x		
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
S14	6,5	1 - 2m	x	x		x	x
		2 - 3m	x	x		x	x
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
S15	6,5	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
S16	6,5	6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
S17	6,5	5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
S18	6,5	4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
S19	6,5	3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
S20	6,5	2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
S21	6,5	1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
S22	6,5	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
S23	6,5	6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
S24	6,5	5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
S25	6,5	4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
S26	6,5	3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
S27	6,5	2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
S28	6,5	1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
S29	6,5	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
S30	6,5	6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
S31	6,5	5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
S32	6,5	4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
S33	6,5	3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
S34	6,5	2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
S35	6,5	1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
S36	6,5	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
S37	6,5	6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
S38	6,5	5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
S39	6,5	4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
S40	6,5	3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			

Sondages	Profondeur (m)	Profondeur d'échantillonnage	Analyses réalisées				
			Pack ISDI / 12 métaux / cyanure libre et totaux	COHV	HC(C5-C10) + HC (C10-C40) / BTEX / HAP / PCB	COT	Granulométrie
S17	2,2	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 2,2m		x	x		
S18	5,8	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 5,8m	x	x			
S19	2,7	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 2,7m	x	x			
S20	6,5	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
S21	2,2	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 2,2m		x	x		
S22	2,2	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 2,2m		x	x		
S23	0,7	0 - 7m	x	x			
S24	3,7	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x		x	x
		3 - 3,7m		x	x	x	x
S25	6,5	0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
S26	6,5	6 - 6,5m		x	x	x	x
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
		4 - 5m	x	x			
S27	6,5	5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
		3 - 4m	x	x			
S28	6,5	4 - 5m	x	x			
		5 - 6m	x	x			
		6 - 6,5m		x	x		
		0 - 1m	x	x			
		1 - 2m	x	x			
		2 - 3m	x	x			
Sw1	1	0 - 1m	x	x			
Sw1Bis	1,1	0 - 1,1m	x	x			
T1	3	0,2-1 m	x	x			
		1-2 m	x	x			
		2-3 m	x	x			
T2	3	0-1 m	x	x			
		1-2 m	x	x			
		2-3 m	x	x			
T2Bis	2,1	0-1 m	x	x			
		1,2-2 m	x	x			
T3	6	0-1 m	x	x			
		1-2 m	x	x			
		2-3 m	x	x			
		3-4 m	x	x			
		4-5 m	x	x			
		5-6 m	x	x			

Sondages	Profondeur (m)	Profondeur d'échantillonnage	Analyses réalisées				
			Pack ISDI / 12 métaux / cyanure libre et totaux	COHV	HC(C5-C10) + HC (C10-C40) / BTEX / HAP / PCB	COT	Granulométrie
T4	10	0,2-1 m	x	x			
		1-2 m	x	x			
		2-3 m	x	x			
		3-4 m	x	x			
		4-5 m	x	x			
		5-6 m	x	x			
		6-8 m			x		
		8-10 m			x		

Les échantillons ont été analysés par le laboratoire WESSLING France à Saint-Quentin Fallavier (38), accrédité par le COFRAC.

6.4. Investigations sur les eaux souterraines (A210)

6.4.1. Réalisation des piézomètres

L'implantation des piézomètres a été réalisée de manière à obtenir des informations complémentaires sur la qualité des eaux souterraines en amont et en aval du site et à permettre de confirmer le schéma des écoulements et de statuer sur l'état de la nappe sur l'ensemble du site.

Au total, 4 nouveaux piézomètres ont été implantés dans la nappe des alluvions du Paillon :

- 2 piézomètres en aval hydraulique,
- 2 piézomètres en amont hydraulique.

La figure suivante présente le plan de localisation des piézomètres au droit du site incluant les 4 nouveaux ouvrages ainsi que les deux ouvrages réalisés dans le cadre de l'étude géotechnique. Il est à noter que ces deux ouvrages n'ont pas fait l'objet de relevés et prélèvements dans le cadre de la présente étude.



Figure 23 : Plan de localisation des piézomètres au droit du site – fond satellite

La méthode retenue a été la foration à l'Odex. La foreuse a été mise à disposition par Abyss Environnement du 02/05/2022 au 03/05/2022. En raison des accès, le piézomètre Pz7 a été réalisé à la tarière mécanique mise à disposition par la société Astaruscle.

L'ensemble des travaux a été supervisé par un intervenant d'Antea Group, présent constamment qui a assuré le respect du Plan de Prévention, dirigé les forages et noté les coupes techniques. Tout le matériel utilisé lors de la construction des piézomètres (train de tiges, tubes pleins, tubes crépinés etc.) a été soigneusement nettoyé avant et entre chaque utilisation.

Les cuttings de forage de l'ouvrage Pz5 ont été stockés en big-bag et prélevés pour analyse. Après retour des analyses et en l'absence d'impact, les cuttings du Pz5 ainsi que les cuttings des autres ouvrages ont été régaliés sur site.

Les piézomètres mis en place ont été équipés :

- d'un tube plein PEHD de diamètre 51/63 mm de 0 à 2 ou 3 m,
- d'un tube crépiné PEHD de diamètre 51/63 mm de 2 ou 3 m à 10 m,
- d'un bouchon de fond,
- d'un massif filtrant jusqu'à un mètre au-dessus du tube crépiné,
- d'un bouchon d'argile,
- d'un coulis de béton jusqu'au ras du sol,
- d'une couche de béton,
- d'un bouchon hermétique en surface,
- d'une bouche à clé ras de sol avec capot cadenassé.

L'équipement des piézomètres est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Equipement des piézomètres

Aquifère capté	Ouvrages	Localisation	Tube plein (m/sol)	Tube crépiné (m/sol)	Bouche ras de sol / capot hors sol
Alluvions du Paillon	Pz4	Amont latéral hydraulique	0 – 3m	3-10m	Ras de sol
Alluvions du Paillon	Pz5	Aval hydraulique	0 – 3m	3-10m	Ras de sol
Alluvions du Paillon	Pz6	Aval latéral hydraulique	0 – 3m	3-10m	Ras de sol
Alluvions du Paillon	Pz7	Amont hydraulique	0 – 2 m	2-10m	Capot métallique

Les coupes des piézomètres sont présentées en Annexe V.

Les ouvrages ont été nivelés par la société SE2T.

Les coordonnées relevées sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 14 : Coordonnées et cote NGF des piézomètres

Ouvrages	Lambert 93	Altitude de l'ouvrage (m NGF du repère)
Pz4	X : 1045315,688 Y : 6299398,546	Sol : 17,806 PEHD : 17,735
Pz5	X : 1045315,149 Y : 6299317,096	Sol : 17,410 PEHD : 17,344
Pz6	X : 1045250,990 Y : 6299299,281	PEHD : 17,606
Pz7	X : 1045253,201 Y : 6299410,688	Sol : 18,209 Capot métallique : 19,038

6.4.2. Echantillonnage des eaux souterraines

Deux campagnes de prélèvements ont été réalisées par Antea Group en mai et juillet 2022. Les purges et prélèvements d'échantillons d'eaux souterraines ont été réalisés par Antea Group le 12/05/2022 et 22/07/2022 au droit de l'ensemble des piézomètres présents sur site.

L'échantillonnage au droit de chaque piézomètre s'est effectué de l'amont vers l'aval dans l'ordre suivant : Pz 3 – Pz6 – Pz4 – Pz1 – Pz5 – Pz2.

Suite à la pose du piézomètre Pz7 au droit de la parcelle « ENGIE » le 7 février 2023, celui-ci a fait l'objet d'un prélèvement dès le 8 février 2023 en raison de l'urgence du rendu.

6.4.2.1. Purgé des piézomètres avant prélèvement

Avant échantillonnage, le niveau d'eau au droit de chaque piézomètre a été relevé et les piézomètres ont été purgés. Les paramètres physico-chimiques pH, température, conductivité, potentiel redox ont été relevés environ toutes les cinq minutes.

La purge a été réputée complète lorsque l'une des deux conditions suivantes ont été respectées :

- les paramètres physico-chimiques sont stabilisés,
- un volume minimal égal à deux fois la colonne d'eau initialement présente dans l'ouvrage aura été purgé.

Une purge statique a été réalisée avec la pompe positionnée en bas de colonne d'eau.

Les fiches de purge et de prélèvement des eaux souterraines sont fournies en Annexe IV.

6.4.2.2. Prélèvement des eaux souterraines

Les prélèvements ont été réalisés selon le fascicule AFNOR relatif au prélèvement et à l'échantillonnage des eaux souterraines publié en décembre 2017 (NF X 31-615).

Les prélèvements de la 1^{ère} campagne ont eu lieu 10 jours après l'installation des piézomètres, pour garantir le retour à l'équilibre du milieu eaux souterraines suite à l'installation des ouvrages.

Pour échantillonner les eaux situées en milieu de colonne, les prélèvements ont été réalisés en sortie de pompe à bas débit (inférieur à 4 l/min) pour chacun des piézomètres installés.

La pompe a été nettoyée et les tuyaux d'exhaures changés entre chaque point de prélèvement.

Les échantillons ont été conditionnés dans des flacons adaptés aux paramètres analysés transmis par le laboratoire d'analyse, soigneusement étiquetés dès leur conditionnement, et conservés dans une glacière jusqu'au laboratoire.

Les échantillons d'eaux souterraines de mai 2022 ont été envoyés au laboratoire WESSLING le 12/05/2022 et réceptionnés le 13/05/2022. Ceux de juillet 2022 ont été envoyés au laboratoire WESSLING le 22/07/2022 et réceptionnés le 25/07/2022.

L'échantillon d'eaux souterraines (Pz7) de février 2023 a été envoyé au laboratoire WESSLING le 08/02/2023 et réceptionnés le 09/02/2023.

6.4.3. Programme analytique des eaux souterraines

Le programme analytique a pour objectif de déterminer la présence ou l'absence d'un impact sur la nappe superficielle au droit du site.

Un échantillon a été prélevé dans chaque ouvrage. Pour l'ensemble des piézomètres, les paramètres analysés sont les suivants : HCT / COHV / HAP / BTEX / Cyanures libres et totaux.

Les échantillons ont été analysés par le laboratoire WESSLING France à Saint-Quentin Fallavier (38), accrédité COFRAC.

6.5. Investigations sur les gaz du sol et des eaux souterraines (A230)

Les prélèvements de gaz du sol et issues des souterraines permettent de mesurer la concentration des substances volatiles présentes dans l'air du sol et tiennent compte ainsi du dégazage des substances à partir du sol et des eaux souterraines.

6.5.1. Réalisation des ouvrages

6.5.1.1. Piézomètres « gaz »

Trois (3) piézomètres « gaz » ont été implantés au droit du site au niveau des zones identifiées comme les plus impactées suite aux résultats des investigations transmises au stade offre et au regard du projet d'aménagement transmis en mars 2022.

La figure suivante présente le plan de localisation des piézomètres « gaz ».



Figure 24 : Plan de localisation des piézomètres « gaz »

Les piézomètres « gaz » ont été réalisés à l'aide d'un carottier battu par l'entreprise spécialisée Abysses Environnement.

L'ensemble des travaux a été supervisé par un intervenant d'Antea Group présent constamment qui a assuré le respect du plan de prévention, dirigé les forages et noté les coupes techniques.

Les piézomètres « gaz » mis en place ont été équipés :

- d'un tube plein PEHD entre 0 et 0,5 mètre de profondeur, de diamètre 25/32 mm,
- d'un tube crépiné PEHD entre 0,5 et 1,5 mètre de profondeur, de diamètre 25/32 mm,
- d'un bouchon de fond hermétique,
- d'un massif filtrant sur 1,2m,
- d'un bouchon de bentonite sur 0,2 mètres d'épaisseur,
- puis du ciment jusqu'à la surface,
- d'un bouchon hermétique en surface,
- d'une bouche à clés ras de sol.

Les coupes des piézomètres « gaz » sont fournies en Annexe V du présent rapport.

6.5.2. Prélèvement des gaz du sol

Deux campagnes de prélèvements ont été réalisées par Antea Group en mai et juillet 2022.

Les prélèvements des échantillons des gaz du sol ont été réalisés les 19/05/2022 et 21/07/2022.

Les prélèvements ont été réalisés selon le fascicule AFNOR relatif au prélèvement et à l'échantillonnage des gaz du sol en juillet 2017 (NF ISO 18400-204). Les prélèvements ont eu lieu 9 jours après l'installation des ouvrages afin de garantir le séchage de l'équipement installé (en particulier la bentonite et le ciment), garantie d'une étanchéité de l'ouvrage.

Les prélèvements d'échantillons de gaz du sol ont été effectués au moyen d'une pompe bas débit spécifique à ce type de prélèvement (type Gilair 5©– débitmètre électronique).

Une purge préalable de 10 min a été réalisée à un débit d'environ 0,5 L/min avant prélèvement au droit de chaque piézomètre « gaz » de manière à purger par renouvellement de 5 volumes d'air présent dans l'ouvrage.

Les gaz du sol ont été prélevés sur un support ou cartouche adsorbante spécifique aux substances recherchées (charbon actif, XAD2, Carulite).

La cartouche adsorbante comprend une plage de mesure et une plage de contrôle, afin de s'assurer de l'absence de saturation du support de prélèvement.

La ligne de prélèvement est la suivante : les cartouches adsorbantes ont été reliées aux piézaires via un tube en matériaux inertes (polyéthylène) plongé dans l'ouvrage et relié à une pompe (prélèvement actif). Un schéma représentant le dispositif de prélèvement est présenté en Figure 25.

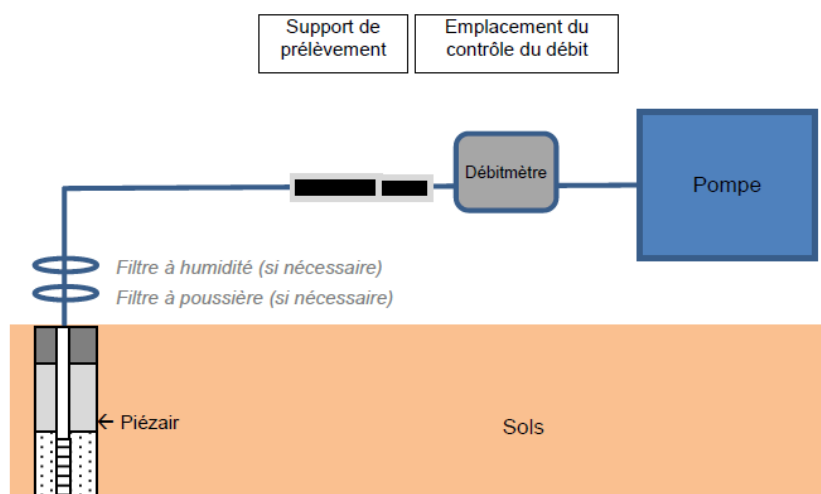


Figure 25 : Dispositif de prélèvement des gaz de sol

Un ingénieur d'Antea Group a réalisé les prélèvements, selon le déroulement suivant :

- vérification de la profondeur de l'ouvrage et de l'absence manifeste d'eau en fond d'ouvrage,
- réalisation d'une purge du volume mort d'air présent dans l'ouvrage,
- mise en place de la ligne de prélèvement pour l'échantillon longue durée,
- une fois le prélèvement long réalisé, mise en place de la ligne de prélèvement pour l'échantillon courte durée.

Un échantillon a ainsi été réalisé par piézomètre :

- un prélèvement de longue durée (entre 2 et 4 h selon l'ouvrage) qui permet d'obtenir des limites de quantification suffisamment basses en cas de faible impact de l'air du sol,

Les durées et débits de prélèvement sont adaptés aux objectifs de l'étude, en cohérence avec les limites de quantification adéquates au regard des critères de comparaison retenus pour l'interprétation des concentrations observées et de façon à être représentatifs d'une durée d'exposition suffisante.

Par ailleurs, afin de valider l'absence d'interférence au moment des prélèvements et du transport, deux blancs ont été réalisés. Pour ce faire, un support d'air a été traité de façon identique aux échantillons, à l'exception de l'air du sol ayant circulé au travers de la cartouche de prélèvement :

- Pour évaluer les éventuelles interférences présentes lors des prélèvements : les supports de blanc ont été ouverts à chaque ouverture des tubes de prélèvement puis refermés lors de la phase de pompage. Ils ont été ré-ouverts à chaque désinstallation des tubes de prélèvement. Les mêmes tubes de blanc sont utilisés pour l'installation/désinstallation des différents points de prélèvement. Les blancs sont finalement fermés et conditionnés dans les mêmes conditions que les autres échantillons.
- Pour évaluer les éventuelles interférences présentes lors du conditionnement et du transport des échantillons : les tubes de blanc sont ouverts lors du conditionnement du premier tube correspondant puis fermés et stockés dans la glacière comme les autres échantillons pendant toute la durée du stockage.

Aucun pompage n'a été réalisé sur cet échantillon, nommé « blanc ». Il a fait l'objet des mêmes analyses que les échantillons d'air.

Les débits ont, de plus, été vérifiés pour chaque point de mesure, avant et après le pompage grâce à un débitmètre à bulle placé entre le tube de prélèvement et la pompe. Ces mesures de débit

permettent de définir le volume d'air ayant circulé au travers du support (en utilisant le temps de prélèvement). Aucune dérive significative du débit n'a été observée entre le début et la fin du prélèvement ce qui valide la représentativité des prélèvements.

Une fois la phase de prélèvement terminée, les tubes ont été obturés à chaque extrémité à l'aide de capuchons en polyéthylène. Les supports ont été étiquetés dès leur conditionnement et conservés dans une glacière jusqu'au laboratoire.

Le tableau suivant résume les paramètres de prélèvement des gaz du sol :

Tableau 15 : Paramètres de prélèvement des gaz du sol – mai 2022

Ouvrage	Support	Paramètre analysé	Temps de prélèvement (min)	Débit (L/min)
Pzair1	Charbon actif	TPH BTEX COHV	121 min	0,525
	Carulite	Mercure	42 min	0,532
	XAD-2	HAP	116 min	0,518
Pzair2	Charbon actif	TPH BTEX COHV	117min	0,530
	Carulite	Mercure	31min	0,527
	XAD-2	HAP	116min	0,543
Pzair3	Charbon actif	TPH BTEX COHV	121min	0,525
	Carulite	Mercure	42min	0,518
	XAD-2	HAP	116min	0,532

Tableau 16 : Paramètres de prélèvement des gaz du sol – juillet 2022

Ouvrage	Support	Paramètre analysé	Temps de prélèvement (min)	Débit (L/min)
Pzair1	Charbon actif	TPH BTEX COHV	120 min	0,501
	Carulite	Mercure	30 min	0,501
	XAD-2	HAP	120 min	0,496
Pzair2	Charbon actif	TPH BTEX COHV	120 min	0,497
	Carulite	Mercure	30 min	0,497
	XAD-2	HAP	120 min	0,467
Pzair3	Charbon actif	TPH BTEX COHV	120 min	0,507
	Carulite	Mercure	42 min	0,517
	XAD-2	HAP	120 min	0,519

Les fiches de prélèvement détaillées des deux campagnes sont présentées en Annexe VI. Des photographies des prélèvements des piézomètres « gaz » sont également présentées.

Les supports ont été étiquetés dès leur conditionnement et conservés dans une glacière jusqu'au laboratoire.

Les échantillons prélevés lors de la campagne de mai ont été envoyés le 20/05/2022 au laboratoire WESSLING et réceptionnés le 23/05/2022. Ceux de juillet 2022 ont été envoyés au laboratoire WESSLING le 22/07/2022 et réceptionnés le 25/07/2022.

6.5.3. Prélèvement des gaz issues des eaux souterraines

Afin de caractériser le dégazage de la nappe suite à la détection de Benzène au sein des eaux souterraines, Antea Group a procédé le 21 juillet 2022 (Pz2 et Pz4) et le 8 février 2023 (Pz7) à :

- La réalisation d'une purge du volume mort d'air présent dans l'ouvrage,
- La réalisation des prélèvements par conteneurs en dépression (canisters 6L) via une canne de prélèvement plongée au droit des piézomètres, présentant des impacts en composés volatils.
- Des mesures à la sonde PID seront réalisées dans le piézomètre avant et après prélèvement,
- La rédaction des fiches de prélèvements.



Figure 26 : Réalisation du prélèvement d'air (canister 6L) – Pz4

Les échantillons prélevés ont été envoyés le 23/05/2022 au laboratoire TERA Environnement et réceptionnés le 26/07/2022.

L'échantillon prélevé le 08/02/2023 a été envoyé le 09/02/2023 au laboratoire TERA Environnement et réceptionnés le 10/02/2023.

6.5.4. Programme analytique des gaz du sol et issues des eaux souterraines

Le programme analytique intègre les paramètres suivants pour les 3 ouvrages : hydrocarbures volatils C5 à C16, COHV, HAP, BTEX, mercure.

Les analyses ont porté sur la couche de mesure et la couche de contrôle¹ afin de vérifier l'absence de phénomène de claquage ou saturation² des supports conformément aux règles de l'art.

Les échantillons d'air du sol ont été analysés par le laboratoire WESSLING France à Saint-Quentin Fallavier (38), qui détient une accréditation du COFRAC et est agréé par le Ministère en charge de l'Environnement.

Les échantillons, nommés « blanc », ont fait l'objet des mêmes analyses que les échantillons de gaz du sol.

Concernant les gaz issus des eaux souterraines, seuls les hydrocarbures volatils C5 à C16, COHV, BTEX et naphthalène ont été analysés par le laboratoire TERA Environnement.

6.5.5. Conditions météorologiques

Les prélèvements de gaz de sol sont sensibles aux variations météorologiques, ainsi les conditions météorologiques ont été étudiées 3 jours avant et 1 jour après la date de prélèvement, d'après la station météorologique de Nice.

6.5.5.1. Campagne de mai 2022

Afin d'observer l'évolution des paramètres, les conditions météorologiques ont été observées du 16 au 20 mai 2022, elles sont reprises ci-dessous.

- Le taux d'humidité est de 73 % le jour des prélèvements. Du 16/05/2022 au 19/05/2022, ce taux a présenté une moyenne de 74%. Les conditions étaient donc plutôt favorables à la mobilisation des gaz en extérieur.
- Les températures ont varié entre 19,1°C (minimum le matin) et 24,8°C (maximum l'après-midi) le 19/05/2022. Les trois jours précédents les températures ont montré des variations allant de 15,7 à 23,2°C. Ces conditions sont moyennement favorables à la mobilisation des composés volatils.
- La pression atmosphérique moyenne a varié entre 1 020 et 1 022 hPa du 16 au 19 mai 2022. Le jour des prélèvements, elle était d'ordre de 1 024 hPa. Cela correspond à une période anticyclonique, conditions moyennement favorables à la mobilisation des gaz.

¹ Une cartouche de support spécifique utilisée pour le prélèvement des substances présentes en phase vapeur dans l'air comporte une couche de mesure et une couche de contrôle, cette dernière permettant de contrôler la non saturation de la couche de mesure et ainsi de valider l'échantillonnage.

² Mauvaise adsorption des substances sur le support, pouvant être liée, soit à des concentrations dans l'air trop importantes, soit à une humidité trop importante, soit à la présence d'une molécule interférant le piégeage des molécules recherchées.

Compte tenu des conditions météorologiques mesurées entre le 16 et le 19 mai 2022, les prélèvements de gaz du sol ont été effectués dans des conditions moyennement favorables à la mobilisation des gaz en extérieur.

6.5.5.2. Campagne de juillet 2022

Afin d'observer l'évolution des paramètres, les conditions météorologiques ont été observées du 18 au 22 juillet, elles sont reprises ci-dessous.

- Le taux d'humidité est de 60 % le jour des prélèvements. Du 18/07/2022 au 22/07/2022, ce taux a présenté une moyenne de 59%. Les conditions étaient donc plutôt favorables à la mobilisation des gaz en extérieur.
- Les températures ont varié entre 26,7°C (minimum le matin) et 30,7°C (maximum l'après-midi) le 21/07/2022. Les trois jours précédents les températures ont montré des variations allant de 27,3 à 34°C. Ces conditions sont favorables à la mobilisation des composés volatils.
- La pression atmosphérique moyenne a varié entre 1 016 et 1 018 hPa du 18 au 21 juillet 2022. Le jour des prélèvements, elle était d'ordre de 1 016 hPa. Cela correspond à une période anticyclonique, conditions moyennement favorables à la mobilisation des gaz.

Compte tenu des conditions météorologiques mesurées entre le 18 et le 21 juillet 2022, les prélèvements de gaz du sol ont été effectués dans des conditions favorables à la mobilisation des gaz en extérieur.

6.5.5.3. Campagne de février 2023

Afin d'observer l'évolution des paramètres, les conditions météorologiques ont été observées du 5 au 9 février, elles sont reprises ci-dessous.

- Le taux d'humidité est de 40 % le jour des prélèvements. Du 05/02/2023 au 07/02/2023, ce taux a présenté une moyenne de 47%. Les conditions étaient donc plutôt favorables à la mobilisation des gaz en extérieur.
- Les températures ont varié entre 2,1°C (minimum le matin) et 10,6°C (maximum l'après-midi) le 08/02/2023. Les trois jours précédents les températures ont montré des variations allant de 6,7 à 13,9°C. Ces conditions sont moyennement favorables à la mobilisation des composés volatils.
- La pression atmosphérique moyenne a varié entre 1 026 et 1 031 hPa du 5 au 8 février 2023. Le jour des prélèvements, elle était d'ordre de 1 031 hPa. Cela correspond à une période anticyclonique, conditions peu favorables à la mobilisation des gaz.

Compte tenu des conditions météorologiques mesurées entre le 5 et le 9 février 2023, les prélèvements de gaz du sol ont été effectués dans des conditions moyennement favorables à la mobilisation des gaz en extérieur.

6.6. Maîtrise des impacts environnementaux de l'intervention

Afin de limiter au maximum les impacts environnementaux de son intervention Antea Group a mis en œuvre différentes mesures qui sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 17 : Disposition prises pour la maîtrise des impacts environnementaux

Opérations	Dispositions prises
Sondages de sols	Les cuttings excédentaires ont été remis en place
Forage des piézomètres	Les cuttings et boues de forage de Pz5 ont été recueillis dans des Big Bag qui ont été stockés sur site sur une zone dédiée pour gestion par MOTU 1. Après retour d'analyse des cuttings (absence d'impact), ceux-ci ont été régalez sur site Les cuttings des autres ouvrages ont été régalez sur site
Développement et purge des piézomètres	Les eaux de purges ont été rejet dans le réseau d'eau pluvial après traitement sur charbon actif
Forage des piézomètres « gaz »	Les cuttings de forage des piézomètres « gaz » ont été régalez sur site
Enrobés	Pour les sondages sur enrobé, ils ont été rebouchés via un enrobé à froid compacté

6.7. Limites de la méthode d'investigation

Les sondages ponctuels ne peuvent offrir une vision continue de l'état des terrains du site.

Leur implantation et leur densité permettent d'avoir une vision représentative de l'état du sous-sol, sans que l'on puisse exclure l'existence d'une anomalie d'extension limitée entre deux sondages et/ou à plus grande profondeur, qui pourrait échapper à nos investigations.

Les sondages permettent par ailleurs de caractériser les terres autour des installations enterrées, sans qu'il ne puisse être exclu un impact des terrains au droit même de ces structures.

Par ailleurs, le diagnostic rend compte de l'état du milieu à un instant donné. Des événements ultérieurs anthropiques ou naturels (exemple : variation du niveau de la nappe liée à une saisonnalité) peuvent modifier la situation observée à cet instant.

Enfin, un diagnostic de pollution éventuelle du sous-sol a pour seule fonction de renseigner sur l'état chimique de contamination éventuelle du sous-sol et des éventuelles contraintes engendrées par cette contamination pour le projet d'aménagement. Toute utilisation en dehors de ce contexte (dans un but géotechnique par exemple pour déterminer des assises de fondation) ne saurait engager la responsabilité d'Antea group.

7. Résultats des investigations et interprétation (A270)

7.1. Préambule

Diagnostic de pollution

Le diagnostic de pollution des milieux doit permettre de caractériser les différents milieux investigués (sols, eaux souterraines et gaz du sol) et d'identifier, localiser et dimensionner les éventuels polluants présents dans les sols.

L'interprétation des résultats obtenus devra permettre de répondre aux objectifs initiaux définis. Celle-ci est réalisée par comparaison des résultats entre eux et également par comparaison à des valeurs de référence ou des valeurs guides. Ces valeurs ne sont pas nécessairement des seuils de réhabilitation, ni des seuils de risque sanitaire. Elles peuvent parfois être réglementaires. Il est ainsi nécessaire de garder à l'esprit l'objectif à atteindre par les investigations menées.

Les résultats du diagnostic de pollution permettront également de statuer sur l'existence ou non de zones de pollution concentrée sur la zone d'étude.

Pollution concentrée

La mise à jour de 2017 de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués précise que « lorsque des pollutions concentrées sont identifiées [...] la priorité consiste d'abord à déterminer les modalités de suppression des pollutions concentrées, plutôt que d'engager des études pour justifier leur maintien en l'état, en s'appuyant sur la qualité déjà dégradée des milieux ou sur l'absence d'usage de la nappe ».

La définition de la pollution concentrée donnée par cette même méthodologie est la suivante : « volume fini de milieu souterrain au sein duquel les concentrations en une ou plusieurs substances sont significativement supérieures aux concentrations de ces mêmes substances à proximité immédiate de ce volume même en l'absence d'émission dans l'environnement ».

L'existence ou non de zones de pollution concentrée doit être établie par la convergence des résultats obtenus d'au moins deux des méthodes suivantes :

- Interprétation des constats de terrain.
- Interprétation cartographique.
- Analyse statistique.
- Bilan massique.
- Détermination de la présence d'une phase organique dans les sols.
- Approche géostatistique.

La pollution concentrée, si elle est facilement accessible et non associée à une pollution diffuse, peut être traitée directement sans passer par le plan de gestion.

Selon le cas un plan de gestion intégrant une étude des risques sanitaires et environnementaux ainsi qu'un bilan cout/avantage pourra être réalisé afin de déterminer les modes de gestion les plus adaptés.

7.2. Valeurs de comparaison

Valeurs de comparaison

L'interprétation des résultats se fait par comparaison des résultats entre eux et également par comparaison à des valeurs de référence ou des valeurs guides. Ces valeurs ne sont pas nécessairement des seuils de réhabilitation, ni des seuils de risque sanitaire. Elles peuvent parfois être réglementaires. Il est ainsi nécessaire de garder à l'esprit l'objectif à atteindre par les investigations menées.

Le tableau suivant présente les valeurs de comparaison utilisées dans le cadre de cette étude :

Tableau 18 : Valeurs de référence ou de comparaison

Milieu	Valeurs de référence ou de comparaison
Sol	La valeur de fond géochimique national : « Teneurs totales en élément traces dans les sols (France) » du Programme ASPITET de l'INRA (http://etm.oreans.inra.fr/). Le Haut Conseil de Santé Publique a rédigé un avis en juin 2014³, indiquant différents niveaux de gestion concernant le plomb en cas d'exposition potentielle d'enfants par contact direct avec les sols : • un niveau d'alerte pour une concentration moyenne en plomb de 300 mg/kg dans les sols, • un niveau de vigilance pour une concentration moyenne de 100 mg/kg dans les sols, impliquant la réalisation d'une étude de risque sanitaire fondée sur la VTR proposée par l'EFSA (5 10⁻⁴ mg/kg/j)⁴. Les hydrocarbures sont naturellement non décelés dans les sols ordinaires, à l'exception des hydrocarbures dans les sols forestiers (humus). Dès lors, l'existence d'une contamination, aussi infime soit elle, du milieu SOL par les hydrocarbures (HCT ou BTEX) peut être appréhendée par comparaison des concentrations mesurées avec les limites de quantification du laboratoire. Pour les HAP, le Guide méthodologique sur les hydrocarbures aromatiques polycycliques de l'INERIS (rapport n°66244-DESP-R01 du 18/08/2005) indique que les teneurs en HAP, dans les sols de terrains peu arborés, liées à des sources naturelles telles que les incendies de forêt ou la synthèse par la végétation sont de l'ordre de 0,1 à 1 mg/kg de sol pour la somme des 16 HAP. Les sols de forêt, généralement riches en matière organique, présentent des teneurs plus élevées, de l'ordre de 10 mg/kg. La valeur de bruit de fond pour les HAP est considérée ici égale à 1 mg/kg MS. Pour les polluants organiques chimiques, ces substances ne sont normalement pas présentes dans l'environnement. Donc, le constat de leur présence témoigne d'une contamination (même limitée).
Sol (terres excavées)	En l'absence de valeur française réglementaire sur les sols excavés ou à excaver, les résultats analytiques ont été comparés, à titre indicatif, aux critères d'acceptation en installation de stockage de déchets inertes (ISDI) de l'arrêté du 12 décembre 2014. Ces valeurs s'appliquent dans le cadre du transfert de terres excavées vers une ISDI et ne représentent pas des seuils de réhabilitation (ceux-ci sont définis selon une démarche d'évaluation des risques propre à chaque site). Afin de mettre en évidence la présence ou l'absence de contraintes en termes de gestion des éventuels déblais, les résultats d'analyses relatifs aux échantillons de sols ont également été comparés aux valeurs présentes dans l'arrêté du 12 décembre 2014 fixant la liste de types de déchets inertes admissibles dans des installations de stockage de déchets inertes et les conditions d'exploitation de ces installations.

³ HCSP, « Expositions au plomb : détermination de nouveaux objectifs de gestion », juin 2014.

⁴ L'EFSA recommande de retenir une plombémie critique de 12 µg/L.

Composés analysés	Unité	Seuils ISDI selon AM du 12/12/14
Sur brut		
COT	mg/kg MS	30000*
HCT C ₁₀ -C ₄₀	mg/kg MS	500
HAP	mg/kg MS	50
PCB	mg/kg MS	1
BTEX	mg/kg MS	6
Sur lixiviat		
COT	mg/kg MS	500*
Fraction soluble	mg/kg MS	4000**
Chlorures	mg/kg MS	800**
Fluorures	mg/kg MS	10
Sulfates	mg/kg MS	1000**
Indice phénol	mg/kg MS	1
Métaux		
Antimoine	mg/kg MS	0,06
Arsenic	mg/kg MS	0,5
Baryum	mg/kg MS	20
Chrome	mg/kg MS	0,5
Cuivre	mg/kg MS	2
Molybdène	mg/kg MS	0,5
Nickel	mg/kg MS	0,4
Plomb	mg/kg MS	0,5
Zinc	mg/kg MS	4
Mercure	mg/kg MS	0,01
Cadmium	mg/kg MS	0,04
Sélénium	mg/kg MS	0,1

**Il est à noter que pour les sols, une limite plus élevée en COT sur brut peut être admise, à condition que la valeur limite de 500 mg/kg de matière sèche soit respectée pour le COT total sur éluât.*

***Si le déchet ne respecte pas au moins une des valeurs fixées pour le chlorure, le sulfate ou la fraction soluble, le déchet peut être encore jugé conforme aux critères d'admission s'il respecte soit les valeurs associées au chlorure et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble*

Eaux souterraines	Les valeurs analytiques des eaux souterraines sont comparées à titre indicatif - à l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine, notamment à : - L'annexe I-1 : Limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. - L'annexe II : Limites de qualité des eaux brutes de toute origine utilisée pour la production d'eau destinées à la consommation humaine. - Normes de qualité des eaux souterraines issues de l'annexe 1 de l'arrêté du 17/12/2008 modifiée par l'arrêté du 17/07/2012 - par défaut le cas échéant aux normes usuelles dans d'autres pays ou aux normes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) pour les eaux de consommation.
Gaz du sol	Pour les gaz du sol, en l'absence de valeurs de gestion ou de référentiel d'interprétation, un constat de présence ou d'absence est d'abord effectué. Un composé est détecté chaque fois que sa concentration apparaît supérieure à la limite de quantification (LQ) du laboratoire.

7.3. Résultats obtenus dans les sols

7.3.1. Observations de terrain

7.3.1.1. Lithologie

Les terrains rencontrés sont les suivants :

- Enrobé entre 0 et 10 cm d'épaisseur,
- Remblais sablo-graveleux beiges entre 0,4 et 1,0 m d'épaisseur,
- Présence d'une dalle béton entre 0,5 -1m / 3 m et vers 5,5m au droit de nombreux ouvrages (S1, S2, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S12, S14, S23, S25),
- Argiles brunes à verts plus ou moins sableuses, correspondant à des remblais avec présence de mâchefers sur certains sondages et au terrain naturel sur d'autres, avec cailloutis mm à cm entre 1 et 6,50 m.

Des terrains plus marneux sont ponctuellement rencontrés au droit de certain sondages et sur des horizons très limités (<1m) (S1, S11).

Des niveaux d'eaux ont été rencontrés ponctuellement entre 4,5 et 6m de profondeur au droit de S1, S3, S9, S16, S18, S25, S26 et T4.

7.3.1.2. Observations organoleptiques

Des imprégnations noirâtres, des mâchefers, des odeurs d'HCT ainsi que des valeurs importantes au PID ont été relevées au droit des sondages suivants :

Sondage	S2	S3	S8	S9	S10	S11	S13
Odeur	-	HCT 4-5m	-	HCT 3,5m	-	HCT 0-1m	HCT 4-6m
PID (PPM)	0	0	0	0	0	0	27
indices visuels	mâchefers et passage noirâtre entre 3,5 et 4m	mâchefers et passage noirâtre entre 1-2m puis 3-4m	Mâchefers entre 0,5 et 1 m puis entre 4,2 et 4,4m	imprégnation noires huileuses entre 3 et 4,5m	mâchefers entre 1,6 et 2m	mâchefers noires	horizon huileux et noirâtre entre 1,25 et 1,80m puis 4 et 6,50m

Sondage	S14	S16	S18	S20	S21	S24	S25
Odeur	HCT 4-6,5m	-	HCT 3-5,8m	HCT 4,5 - 5m	-	HCT 1-6m	HCT 4-6,5m
PID (PPM)	3,4	0	0	0	0	491	0
indices visuels	imprégnation noire entre 3,10 et 6,50m	mâchefers entre 4 et 4,4m	mâchefers vers 2,5m, argiles imprégnées de noires entre 3,3 et 5,80m	imprégnation noirâtre entre 5 et 6,5m	mâchefers vers 2m	Imprégnations noires entre 1 et 3m mâchefers vers 3,5m	mâchefers vers 1,5m et imprégnations liquides noirâtres (goudrons ?) entre 4 et 6,5m

Sondage	S27	Sw1	T2	T3	T4
Odeur	HCT 5-6m	-	HCT 2-3m	HCT 0-6m	HCT 4-10m
PID (PPM)	0	0	10	5 à 13	2 à 390
indices visuels	-	mâchefers entre 0,5 et 1m	-	-	Indices d'impacts au sein des horizons saturés > 4 m

7.3.1.3. Analyses granulométriques

Les analyses granulométriques en laboratoire ont montré les résultats suivants.

	Unité	S14 0-1m	S14 1-2m	S24 3-4m	S2 4-5m	S25 6-6,5m
Granulométrie						
Argile (< 2 µm)	g/kg MB	37,1	34,2	11,1	16,6	18,6
Limons fins (2 à 20 µm)	g/kg MB	87,6	293,8	43,6	142,7	221,9
Limons grossiers (20 à 50 µm)	g/kg MB	2,1	53	10,1	20,4	78,1
Sables fins (50 à 200 µm)	g/kg MB	134,1	453,5	109,1	127,2	370
Sables grossiers (200 à 2000 µm)	g/kg MB	298,8	163,9	418,2	272,4	200,9
Fraction > 2 mm	g/kg MB	440,3	1,5	408	420,8	110,6
Granulométrie %						
Argile (< 2 µm)	%	3,71	3,42	1,11	1,66	1,86
Limons (2 à 50 µm)	%	8,97	34,68	5,37	16,31	30,00
Sables fins (50 à 200 µm)	%	13,41	45,35	10,91	12,72	37,00
Sables grossiers (200 à 2000 µm)	%	29,88	16,39	41,82	27,24	20,09
Fraction > 2 mm	%	44,03	0,15	40,80	42,08	11,06
		Sable grossier limoneux	Limons sableux	Sable grossier	Limons sableux grossier	Limon argilo- sableux

7.3.2. Résultats des analyses de sol en laboratoire

Les tableaux de résultats présentés pages suivantes font apparaître des valeurs de référence présentées précédemment. Ces valeurs sont utilisées à titre indicatif afin de détecter toute éventuelle anomalie dans les sols.

La dénomination des échantillons analysés fait référence au nom du sondage et à la profondeur échantillonnée. Par exemple l'échantillon S1 (0-1) est représentatif des sols échantillonnés entre 0 et 1 m au droit du sondage S1.

Les valeurs précédées du sigle « < » sont inférieures à la limite de quantification (LQ) du laboratoire (substance non quantifiée).

Les résultats sont présentés de la manière suivante :

- en **gras rouge** pour les paramètres comparables aux critères d'acceptations des terres en ISDI (selon l'arrêté du 12/12/2014),
- en **orange** pour les éléments traces métalliques sur brut comparés au bruit de fond géochimique les Gammes de valeurs observées dans le cas de fortes anomalies (INRA),
- en **jaune** les Gammes de valeurs observées dans le cas d'anomalies naturelles modérées (INRA),
- en **vert** pour les éléments traces métalliques sur brut comparés au bruit de fond géochimique = « Teneurs totales en métaux lourds dans les sols français – Gamme de valeurs couramment observées dans les sols ordinaires de toutes granulométries » - Résultats généraux du programme ASPITET (INRA / ASPITET 2000),
- en **gras noir** pour les éléments traces métalliques sur brut comparés aux teneurs RMQS (Réseau de Mesures de la Qualité des Sols).

Analyses	Unité	"sols ordinaires"	"anomalies naturelles modérées"	"fortes anomalies naturelles"
Arsenic (As)	mg/kg MS	1 à 25	30 à 60	60 à 284
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,05 à 0,45	0,70 à 2	2 à 46,3
Chrome (Cr)	mg/kg MS	10 à 90	90 à 150	150 à 3 180
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	2 à 20	20 à 62	65 à 160
Mercure (Hg)	mg/kg MS	0,02 à 0,1	0,15 à 2,3	-
Plomb (Pb)	mg/kg MS	9 à 50	60 à 90	100 à 10 180
Nickel (Ni)	mg/kg MS	2 à 60	60 à 130	130 à 2 076
Zinc (Zn)	mg/kg MS	10 à 100	100 à 250	250 à 11 426

Tableau 19. Correspondance des résultats analytiques sur les sols (métaux et métalloïdes)

Les bordereaux d'analyse sont présentés en Annexe VII.

Des commentaires ou non-conformités par rapport au COFRAC sont relevés par le laboratoire. Ils sont synthétisés dans le tableau ci-dessous. Ces commentaires n'ont pas d'influence notable sur les résultats d'analyses.

Tableau 20 : Commentaires ou non-conformités par rapport au COFRAC relevés par le laboratoire

Echantillon / Composé	Exclusion COFRAC	Commentaire
S2 (0-1), S2 (4-5), S3 (2-3), S8 (4-5), S8 (5-5,5), S8 (5,5-6), S9 (4-5), S10 (1-2), S10 (2-3), S10 (4-5), S10 (5-6), S17 (0-1), S18 (0-1), SW1 (0-1), SW1bis (0-1), S21 (1-2), S25 (1-2), S25 (5-6) / pH	pH hors méthode car supérieur à 10	Incidence possible sur le déclassement des terres

Les concentrations maximales relevées en HAP et hydrocarbures totaux détectées dans les sols sont localisées sur les figures suivantes.

Sondage	Unité	Valeurs de référence existantes					S1						S2						S3						S4	S5	S6			
Nom de l'échantillon		INRA - Programme Aspitet - Bruit de fond			Données européennes - France	RMQS cellule 2044		S1 0-1m	S1 1-2m	S1 2-3m	S1 3-4m	S1 4-5m	S1 5-6m	S2 0-1m	S2 1-2m	S2 2-3m	S2 3-4m	S2 4-5m	S3 0-1m	S3 1-2m	S3 2-3m	S3 3-4m	S3 4-5m	S3 5-6m	S4 0-1m	S5 0-1m	S6 0-1m	S6 1-2m	S6 2-2,7m	
		Valeurs nationales																												
		soils "ordinaires"	anomalies naturelles modérées	anomalies naturelles fortes	FOREGS 2005	0-0,3 m de prof.	0,3-0,5 m de prof.																							
Eléments traces (ET) - métaux et métalloïdes																														
Antimoine (Sb)	mg/kg MS				1,53			<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	-	-	<1,0	<1,0	-	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	2	<1,0	<1,0	<1,0		
Arsenic (As)	mg/kg MS	25	60	284	22			6	6	7	40	5	5	3	7	-	-	4	7	-	41	32	9	10	9	36	2	21	14	
Baryum (Ba)	mg/kg MS				663			53	88	86	35	48	44	22	89	-	-	77	110	-	190	120	99	53	130	640	8	44	82	
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,45	2	46,3	0,31	1,38	0,961	<0,4	<0,4	<0,4	1,9	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	-	-	<0,4	<0,4	-	0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,5	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	
Chrome (Cr)	mg/kg MS	90	150	3180	129	152,82	172,65	14	25	24	20	13	14	6	10	-	-	9	23	-	25	20	14	16	17	24	3	14	22	
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	20	62	160	34,8	51,15	50,97	9	10	10	120	7	7	5	36	-	-	21	14	-	63	42	21	7	45	110	4	10	10	
Mercurc (Hg)	mg/kg MS	0,1	2,3		0,071			<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	-	-	<0,1	<0,1	-	0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Molybdène (Mo)	mg/kg MS				1,56	3,26	2,85	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	2	-	-	2	<1,0	-	2	2	<1,0	<1,0	2	13	<1,0	<1,0	<1,0	
Nickel (Ni)	mg/kg MS	60	130	2076	58,5	94,4	98,85	14	15	16	36	10	14	6	32	-	-	13	17	-	19	17	13	15	23	62	4	14	16	
Plomb (Pb)	mg/kg MS	50	90	10180	36,4	79,85	50,07	43	13	17	78	<10	<10	<10	80	-	-	14	17	-	80	40	26	<10	130	120	<10	24	21	
Sélénium (Se)	mg/kg MS	0,7	2	4,5				<1,0	<1,0	<1,0	2	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	-	-	<1,0	<1,0	-	3	2	<1,0	<1,0	<1,0	2	<1,0	<1,0	<1,0	
Zinc (Zn)	mg/kg MS	100	250	11426	107	233,8	213,5	32	43	43	480	30	28	25	31	-	-	18	57	-	180	93	78	29	470	100	17	33	37	

Sondage	Unité	Valeurs de référence existantes						S7						S8						S9						S10						S11					
Nom de l'échantillon		INRA - Programme Aspitet - Bruit de fond			Données européennes - France	RMQS cellule 2044		S7 0-1m	S7 1-2m	S7 2-3m	S7 3-4m	S7 4-5m	S7 5-5,5m	S8 0-1m	S8 1-3m	S8 3-4m	S8 4-5m	S8 5-5,5m	S8 5-5,6m	S9 0-1m	S9 1-2m	S9 2-3m	S9 3-4m	S9 4-5m	S9 5-6m	S10 0-1m	S10 1-2m	S10 2-3m	S10 3-4m	S10 4-5m	S10 5-6m	S11 0-1m	S11 1-2m	S11 2-3m	S11 3-4m	S11 4-5m	S11 5-6m
		Valeurs nationales																																			
		soils "ordinaires "	anomalies naturelles modérées	anomalies naturelles fortes	FOREGS 2005	0-0,3 m de prof.	0,3-0,5 m de prof.																														
Eléments traces (ET) - métaux et métalloïdes																																					
Antimoine (Sb)	mg/kg MS				1,53			<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	12	<1,0	<1,0	<1,0	4	2	1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	3	<1,0	<1,0	1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Arsenic (As)	mg/kg MS	25	60	284	22			11	10	5	6	5	8	120	8	5	6	29	13	15	8	8	29	6	9	3	8	5	3	6	7	4	11	5	4	6	6
Baryum (Ba)	mg/kg MS				663			130	54	50	43	39	42	590	100	48	71	110	52	100	53	150	130	44	900	6	42	29	34	35	33	91	36	35	25	48	46
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,45	2	46,3	0,31	1,38	0,961	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	1,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,5	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Chrome (Cr)	mg/kg MS	90	150	3180	129	152,82	172,65	19	18	16	15	13	15	32	18	15	9	11	8	16	19	15	14	11	18	3	10	8	5	12	7	9	8	9	8	20	16
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	20	62	160	34,8	51,15	50,97	24	8	8	7	7	8	220	18	7	10	21	7	39	8	14	20	18	37	4	12	7	5	16	7	29	20	8	5	9	7
Mercurc (Hg)	mg/kg MS	0,1	2,3		0,071			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,9	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,2	0,2	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Molybdène (Mo)	mg/kg MS				1,56	3,26	2,85	2	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	9	2	<1,0	1	2	<1,0	1	<1,0	<1,0	1	<1,0	2	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1	<1,0	2	3	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Nickel (Ni)	mg/kg MS	60	130	2076	58,5	94,4	98,85	33	18	15	14	12	14	70	20	14	10	25	12	19	18	16	17	12	29	6	8	9	6	8	7	21	13	9	7	18	16
Plomb (Pb)	mg/kg MS	50	90	10180	36,4	79,85	50,07	21	15	<10	<10	<10	<10	1000	54	<10	53	170	72	130	12	50	100	51	110	<10	39	15	<10	20	19	36	34	28	19	<10	<10
Sélénium (Se)	mg/kg MS	0,7	2	4,5				<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	4	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Zinc (Zn)	mg/kg MS	100	250	11426	107	233,8	213,5	33	31	31	28	24	28	510	33	26	22	18	14	100	32	35	74	46	51	23	65	32	28	47	42	30	47	24	20	36	29

Sondage	Unité	Valeurs de référence existantes					S12			S13			S14						S15						S16						S17			
Nom de l'échantillon		INRA - Programme Aspitet - Bruit de fond			Données européennes - France	RMQS cellule 2044		S12 0-1m	S12 1-2m	S12 2-2,8m	S13 0-1m	S13 1-2m	S13 3-4m	S13 5-6m	S14 0-1m	S14 1-2m	S14 2-3m	S14 3-4m	S14 4-5m	S14 5-6m	S15 0-1m	S15 1-2m	S15 2-3m	S15 3-4m	S15 4-5m	S15 5-6m	S16 0-1m	S16 1-2m	S16 2-3m	S16 3-4m	S16 4-5m	S16 5-6m	S17 0-1m	S17 1-2m
		Valeurs nationales			FOREGS 2005	0-0,3 m de prof.	0,3-0,5 m de prof.																											
		soils "ordinaires"	anomalies naturelles modérées	anomalies naturelles fortes																														
Eléments traces (ET) - métaux et métalloïdes																																		
Antimoine (Sb)	mg/kg MS				1,53		<1,0	<1,0	<1,0	3	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	17	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	
Arsenic (As)	mg/kg MS	25	60	284	22		7	7	7	30	7	6	7	24	5	6	7	7	5	6	6	6	6	6	5	6	13	74	6	10	3	2	10	
Barium (Ba)	mg/kg MS				663		58	60	53	250	43	44	47	140	43	46	47	53	41	51	43	37	46	41	38	74	64	110	48	48	36	28	48	
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,45	2	46,3	0,31	1,38	<0,4	<0,4	<0,4	0,9	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	1,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	
Chrome (Cr)	mg/kg MS	90	150	3180	129	152,82	25	19	27	11	8	19	19	14	10	13	14	18	14	6	15	15	20	16	18	8	11	19	19	17	12	19	26	
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	20	62	160	34,8	51,15	6	11	8	68	7	18	20	48	7	13	8	9	6	18	11	11	9	7	8	15	16	100	10	11	7	6	12	
Mercurc (Hg)	mg/kg MS	0,1	2,3		0,071		<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,2	<0,1	0,1	0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	
Molybdène (Mo)	mg/kg MS				1,56	3,26	<1,0	<1,0	<1,0	3	<1,0	<1,0	<1,0	6	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	2	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0		
Nickel (Ni)	mg/kg MS	60	130	2076			13	21	17	27	7	15	16	31	12	14	14	19	13	9	15	15	18	15	14	12	8	24	19	17	9	8	18	
Plomb (Pb)	mg/kg MS	50	90	10180	36,4	79,85	21	25	16	1600	150	100	110	88	14	26	<10	<10	<10	100	15	<10	11	<10	<10	74	63	680	13	48	15	<10	30	
Sélénium (Se)	mg/kg MS	0,7	2	4,5			<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0		
Zinc (Zn)	mg/kg MS	100	250		107	233,8	33	43	38	560	41	39	42	34	25	31	26	33	25	56	31	28	36	29	30	64	40	230	36	50	26	32	41	

Sondage	Unité	Méthode analytique		Valeurs de référence existantes				T1			T2			T2bis		T3						T4								
Nom de l'échantillon				INRA - Programme Aspitet - Bruit de fond			Données européen	RMQS cellule 2044	T1 : 0-2-1 m	T1 : 1-2 m	T1 : 2-3 m	T2 : 0-1 m	T2 : 1-2 m	T2 : 2-3 m	T2bis : 0-1 m	T2bis : 1-2-2 m	T3 : 0-1 m	T3 : 1-2 m	T3 : 2-3 m	T3 : 3-4 m	T3 : 4-5 m	T3 : 5-6 m	T4 : 0-2-1 m	T4 : 1-2 m	T4 : 2-3 m	T4 : 3-4 m	T4 : 4-5 m	T4 : 5-6 m	T4 : 6-8 m	T4 : 8-10 m
Eléments traces (ET) - métaux et métalloïdes																														
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	NF EN ISO 17294-2				1,53			<1,0	<1,0	<1,0	1,0	1,0	<1,0	2,0	1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Arsenic (As)	mg/kg MS	NF EN ISO 17294-2	25	60	284	22			3,0	3,0	3,0	4,0	5,0	4,0	7,0	6,0	6,0	5,0	4,0	5,0	4,0	4,0	6,0	7,0	4,0	5,0	4,0	5,0	5,0	4,0
Baryum (Ba)	mg/kg MS	NF EN ISO 17294-2				663			37	23	27	61	49	61	87	43	89	49	50	44	46	40	80	34	31	42	51	62	43	41
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	NF EN ISO 17294-2	0,45	2	46,3	0,31	1,38	0,961	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Chrome (Cr)	mg/kg MS	NF EN ISO 17294-2	90	150	3180	129	152,82	172,65	9,0	9,0	9,0	10	10	11	11	9,0	12	12	12	13	15	15	11	7,0	9,0	9,0	10	13	16	17
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	NF EN ISO 17294-2	20	62	160	34,8	51,15	50,97	12	8,0	7,0	7,0	13	11	16	11	20	10	11	12	9,0	8,0	32	9,0	10	8,0	7,0	6,0	6,0	6,0
Mercure (Hg)	mg/kg MS	NF EN ISO 17294-2	0,1	2,3		0,071			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,3	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Molybdène (Mo)	mg/kg MS	NF EN ISO 17294-2				1,56	3,26	2,85	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,0	<1,0	1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Nickel (Ni)	mg/kg MS	NF EN ISO 17294-2	60	130	2076	58,5	94,4	98,85	9,0	8,0	9,0	10	16	11	15	10	12	12	11	12	13	13	9,0	6,0	9,0	10	8,0	12	14	14
Plomb (Pb)	mg/kg MS	NF EN ISO 17294-2	50	90	10180	36,4	79,85	50,07	21	<10	<10	21	28	34	89	320	66	28	38	25	18	14	80	30	22	21	15	63	<10	<10
Sélénium (Se)	mg/kg MS	NF EN ISO 17294-2	0,7	2	4,5				<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Zinc (Zn)	mg/kg MS	NF EN ISO 17294-2	100	250	11426	107	233,8	213,5	45	19	30	29	25	49	34	25	67	31	36	37	33	30	120	20	27	34	32	35	28	28

Tableau 21 : Résultats d'analyses en métaux lourds obtenus sur les sols

Rapport n°118266 version E du 22 mars 2024

Sondage	Unité	Valeurs Seuil ISDI	S6			S7					S8						S9								
Nom de l'échantillon			S6 0-1m	S6 1-2m	S6 2-2,7m	S7 0-1m	S7 1-2m	S7 2-3m	S7 3-4m	S7 4-5m	S7 5-5,5m	S8 0-1m	S8 1-3m	S8 3-4m	S8 4-5m	S8 5-5,5m	S8 5-5,6m	S8 6-6,5m	S9 0-1m	S9 1-2m	S9 2-3m	S9 3-4m	S9 4-5m	S9 5-6m	
Caractéristiques physico-chimiques sur brut																									
Matière sèche (MS)	%		97,8	82,7	82,3	84,6	80,7	81,3	79,7	80,4	80,1	94,9	83,6	84,9	82,5	87,3	78,6	92,5							
COT sur brut	mg/kg MS	30000	22000	20000	19000	20000	21000	19000	19000	17000	12000	39000	24000	20000	10000	18000	2400		9900	20000	20000	62000	15000	40000	
Hydrocarbures totaux (HCT)																									
Somme des C5	mg/kg MS																	<1,5							
Somme des C6	mg/kg MS																	<1,5							
Somme des C7	mg/kg MS																	<1,5							
Somme des C8	mg/kg MS																	<1,5							
Somme des C9	mg/kg MS																	<1,5							
Somme des C10	mg/kg MS																	<1,5							
Indice hydrocarburé (C5-C10)	mg/kg MS																	<10,0							
Fraction C10-C12	mg/kg MS		<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	
Fraction C12-C16	mg/kg MS		<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	26	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	
Fraction C16-C21	mg/kg MS		<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	26	<20	<20	<20	24	<20	<20	<20	<20	<20	<20	120	53	46	
Fraction C21-C35	mg/kg MS		<20	<20	68	<20	<20	<20	<20	<20	<20	50	54	<20	72	30	<20	<20	<20	<20	<20	280	94	96	
Fraction C35-C40	mg/kg MS		<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	24	<20	<20	
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg MS	500	<20	<20	85	<20	<20	<20	51	29	86	71	75	<20	120	52	<20	29	29	<20	<20	460	160	150	
Composés (mono-)aromatiques volatils (CAV)																									
Benzène	mg/kg MS	6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,57	<0,1	0,22	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Toluène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Ethylbenzène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
m,p-Xylène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
o-Xylène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Somme BTEX	mg/kg MS		-	-	-	-	-	-	0,25	-	-	-	-	-	-	-	0,68	-	0,22	-	-	-	-	-	-
Isopropylbenzène (Cumène)	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
1,2,4-Triméthylbenzène (pseudo-Cumène)	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,25	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
1,3,5-Triméthylbenzène (Mésitylène)	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
m-, p-Ethyltoluène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
o-Ethyltoluène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Somme CAV	mg/kg MS		-	-	-	-	-	-	0,25	-	-	-	-	-	-	-	0,69	-	0,22	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (Hu)																									
Naphtalène	mg/kg MS	50	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2,6	1,4	2,4	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	0,27	0,31	0,25	<0,05	<0,05	<0,05	0,14	0,06	0,13	
Acénaphthylène	mg/kg MS		<0,05	<0,05	0,06	<0,05	0,22	0,12	0,49	0,09	1,1	0,35	0,57	0,08	0,61	0,21	0,11	0,12	0,28	0,23	<0,05	1,1	0,46	0,42	
Acénaphthène	mg/kg MS		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,4	0,62	1,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,29	<0,05	<0,05	
Fluorène	mg/kg MS		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,1	0,4	1,5	<0,05	<0,05	<0,05	0,29	0,18	0,32	0,16	<0,05	<0,05	<0,05	1,3	0,33	0,12	
Phénanthrène	mg/kg MS		<0,05	<0,05	0,17	0,07	<0,05	<0,05	2,3	0,87	3,2	0,37	0,28	0,07	2,4	1,8	1,1	1,5	0,06	<0,05	<0,05	0,34	0,1	3,5	2,6
Anthracène	mg/kg MS		<0,05	<0,05	0,09	<0,05	0,2	0,1	0,75	0,3	1	0,3	0,36	<0,05	0,79	0,52	0,09	0,39	0,13	0,16	0,1	3,6	1,7	0,87	
Fluoranthène *	mg/kg MS		<0,05	0,08	0,36	0,11	0,11	0,07	0,55	0,32	0,82	1,6	1,3	0,14	3,6	2,7	0,11	1,9	0,27	0,12	0,48	11	7,4	8,3	
Pyrrène	mg/kg MS		<0,05	0,07	0,33	0,11	0,3	0,16	0,65	0,39	0,95	1,5	1,4	0,14	2,8	1,9	<0,05	1,4	0,42	0,16	0,37	8,2	6,1	6,3	
Benzo(a)anthracène	mg/kg MS		<0,05	<0,05	0,19	0,11	0,21	0,07	0,15	0,11	0,32	1,1	1,6	0,12	2,1	1,3	<0,05	0,79	0,24	0,16	0,17	4	2,8	2,7	
Chrysène	mg/kg MS		<0,05	<0,05	0,17	0,09	0,16	<0,05	0,13	0,1	0,26	0,92	1,1	0,12	1,5	0,92	<0,05	0,62	0,18	0,12	0,16	3,1	2,3	3,1	
Benzo(b)fluoranthène *	mg/kg MS		<0,05	0,07	0,26	0,21	0,27	0,1	0,08	<0,05	0,22	1,8	2,6	0,21	2,8	1,5	<0,05	0,96	0,39	0,26	0,21	3,7	3,3	4,3	
Benzo(k)fluoranthène *	mg/kg MS		<0,05	<0,05	0,11	0,09	0,12	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	0,72	1,1	0,08	1,1	0,58	<0,05	0,37	0,16	0,11	0,09	1,4	1,5	1,7	
Benzo(a)pyrrène *	mg/kg MS		<0,05	<0,05	0,19	0,19	0,27	0,1	0,06	<0,05	0,24	1,3	1,9	0,14	1,9	1,1	<0,05	0,71	0,39	0,2	0,14	3	2,8	2,7	
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg MS		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,38	<0,38	<0,05	<0,38	<0,13	<0,05	<0,13	<0,06	<0,05	<0,05	<0,38	<0,33	<0,34	
Indéno(1,2,3-c,d)pyrrène *	mg/kg MS		<0,05	<0,05	0,13	0,13	0,11	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	1	1,4	0,11	1,4	0,7	<0,05	0,48	0,21	0,11	0,1	1,4	1,7	1,8	
Benzo(g,h,i)pyrrène *	mg/kg MS		<0,05	<0,05	0,12	0,14	0,11	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	1	1,3	0,09	1,3	0,65	<0,05	0,44	0,21	0,1	0,1	1,4	1,7	1,8	
Somme des 16 HAP (EPA)	mg/kg MS		-	0,23	2,2	1,3	2,1	0,73	10,2	4,6	13,4	11,8	15	1,3	22,6	14,4	2,1	10,2	2,9	1,7	2,2	82,8	35,8	36,7	
Composés Organo-Chlorés Aliphatiques Volat																									
Tétrachloroéthylène (Perchloroéthylène - PCE)	mg/kg MS	1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
Trichloroéthylène (TCE)	mg/kg MS		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
Cis-1,2-Dichloroéthène (cis-1,2-DCE)	mg/kg MS		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
Trans-1,2-Dichloroéthylène (trans-1,2-DCE)	mg/kg MS		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
1,1-Dichloroéthylène (1,1-DCE)	mg/kg MS		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2																

Sondage	Unité	Valeurs Seuil ISDI	S10							S11							S12			S13							
Nom de l'échantillon			S10 0-1m	S10 1-2m	S10 2-3m	S10 3-4m	S10 4-5m	S10 5-6m	S10 6-6,5m	S11 0-1m	S11 1-2m	S11 2-3m	S11 3-4m	S11 4-5m	S11 5-6m	S11 6-6,5m	S12 0-1m	S12 1-2m	S12 2-2,8m	S13 0-1m	S13 1-2m	S13 2-3m	S13 3-4m	S13 4-5m	S13 5-6m	S13 6-6,5m	
Caractéristiques physico-chimiques sur brut																											
Matière sèche (MS)	%		97,9	85,6	95,5	96,7	97,1	97,4	96,5	95,8	87,6	89,6	98,2	80,8	79	85,6	82,7	83,4	81,4	95,8	79,4	91,3	93,8	81,6	76,4	75,4	
COT sur brut	mg/kg MS	30000	12000	20000	16000	15000	14000	14000		42000	24000	18000	29000	15000	12000		24000	17000	27000	25000	48000		13000				
Hydrocarbures totaux (HCT)																											
Somme des C5	mg/kg MS								<1,5							<1,5								<1,5		<1,5	
Somme des C6	mg/kg MS								<1,5							<1,5								<1,5		3,98	
Somme des C7	mg/kg MS								<1,5							<1,5								<1,5		<1,5	
Somme des C8	mg/kg MS								<1,5							<1,5								<1,5		<1,5	
Somme des C9	mg/kg MS								<1,5							<1,5								<1,5		<1,5	
Somme des C10	mg/kg MS								<1,5							<1,5								<1,5		14,6	
Indice hydrocarbure (C5-C10)	mg/kg MS								<10,0							<10,0								<10,0		18,6	
Fraction C10-C12	mg/kg MS		<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	
Fraction C12-C16	mg/kg MS		<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	25	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	
Fraction C16-C21	mg/kg MS		<20	<20	<20	29	<20	<20	<20	<20	140	<20	35	28	<20	33	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	28	
Fraction C21-C35	mg/kg MS		<20	<20	48	56	87	91	130	98	750	27	130	330	<20	110	<20	37	<20	74	49	<20	<20	<20	<20	<20	
Fraction C35-C40	mg/kg MS		<20	<20	<20	<20	22	25	33	<20	110	<20	41	54	<20	23	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg MS	500	<20	<20	68	100	120	130	190	130	1000	51	210	420	<20	180	<20	60	<20	100	62	<20	<20	<20	<20	66	
Composés (mono-)aromatiques volatils (CAV)																											
Benzène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Toluène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Ethylbenzène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
m,p-Xylène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
o-Xylène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Somme BTEX	mg/kg MS	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Isopropylbenzène (Cumène)	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
1,2,4-Triméthylbenzène (pseudo-Cumène)	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
1,3,5-Triméthylbenzène (Mésitylène)	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
m-, p-Ethyltoluène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
o-Ethyltoluène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Somme CAV	mg/kg MS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)																											
Naphthalène	mg/kg MS		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,58	<0,05	0,06	0,16	<0,05	0,08	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,34	0,69	1,7
Acénaphthylène	mg/kg MS		<0,05	<0,05	0,08	0,09	0,21	0,2	0,29	0,45	1,8	<0,05	0,16	0,27	<0,05	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	0,41	0,14	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	0,09	0,38
Acénaphthène	mg/kg MS		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,14	0,21	0,11	0,23	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	0,43	1,5	
Fluorène	mg/kg MS		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	0,75	0,16	0,56	0,12	<0,05	0,47	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,41	1,3	
Phénanthrène	mg/kg MS		<0,05	0,28	0,09	0,12	0,1	0,11	0,2	0,74	7,8	1,3	4,8	2	<0,05	5,3	<0,05	<0,05	<0,05	0,98	0,3	<0,05	<0,05	<0,05	0,68	3,2	
Anthracène	mg/kg MS		<0,05	0,07	0,14	0,17	0,34	0,33	0,48	0,53	3,8	0,69	3,3	0,79	<0,05	2	<0,05	<0,05	<0,05	0,5	0,2	<0,05	<0,05	<0,05	0,18	1	
Fluoranthène *	mg/kg MS		<0,05	0,37	0,32	0,4	0,79	0,77	1,1	1,3	17	0,87	3,6	4,1	<0,05	3,7	<0,05	<0,05	<0,05	2,8	1	<0,05	<0,05	<0,05	0,18	0,99	
Pyrrène	mg/kg MS		<0,05	0,28	0,28	0,35	0,72	0,69	1	1,5	17	0,64	2,5	3,3	<0,05	2,6	<0,05	<0,05	<0,05	2,5	0,93	0,05	<0,05	<0,05	0,22	1,2	
Benzo(a)anthracène	mg/kg MS		<0,05	0,15	0,22	0,26	0,6	0,56	0,84	1,1	14	0,57	2,3	4,6	<0,05	2,3	<0,05	<0,05	<0,05	1,7	1,2	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	0,42	
Chrysène	mg/kg MS		<0,05	0,14	0,19	0,23	0,49	0,47	0,69	1	11	0,49	1,9	3,7	<0,05	2	<0,05	<0,05	<0,05	1,5	1	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	0,31	
Benzo(b)fluoranthène *	mg/kg MS		<0,05	0,23	0,35	0,35	0,76	0,71	1	4,5	33	1	4,3	15	0,11	3,7	<0,05	<0,05	<0,05	2,7	2,1	0,14	<0,05	<0,05	0,12	0,31	
Benzo(k)fluoranthène *	mg/kg MS		<0,05	0,08	0,14	0,14	0,3	0,29	0,42	1,7	14	0,39	1,7	5,8	<0,05	1,5	<0,05	<0,05	<0,05	1	0,93	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,13	
Benzo(a)pyrrène *	mg/kg MS		<0,05	0,12	0,22	0,24	0,54	0,49	0,74	3,3	24	0,78	3,5	12	0,09	3,2	<0,05	<0,05	<0,05	2,1	1,6	0,1	<0,05	<0,05	0,1	0,33	
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg MS		<0,05	<0,05	<0,07	<0,05	<0,13	<0,12	<0,17	<1,5	<15,5	<0,3	<0,76	<2,6	<0,05	<0,67	<0,05	<0,05	<0,05	<0,33	<0,33	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Indéno[1,2,3-c,d]pyrrène *	mg/kg MS		<0,05	0,12	0,19	0,19	0,35	0,32	0,49	3,9	18	0,59	2,7	9,5	<0,05	2,3	<0,05	<0,05	<0,05	1,7	1,1	0,09	<0,05	<0,05	<0,05	0,12	
Benzo(g,h,i)pyrrène *	mg/kg MS		<0,05	0,12	0,19	0,18	0,33	0,31	0,48	4,1	17	0,59	2,4	8,5	0,06	2,2	<0,05	<0,05	<0,05	1,6	1,1	0,08					

Sondage	Unité	Valeurs Seuil ISDI	S14							S15							S16							S17			
Nom de l'échantillon			S14 0-1m	S14 1-2m	S14 2-3m	S14 3-4m	S14 4-5m	S14 5-6m	S14 6-6,5m	S15 0-1m	S15 1-2m	S15 2-3m	S15 3-4m	S15 4-5m	S15 5-6m	S15 6-6,5m	S16 0-1m	S16 1-2m	S16 2-3m	S16 3-4m	S16 4-5m	S16 5-6m	S16 6-6,5m	S17 0-1m	S17 1-2m	S17 2-2,20m	
Caractéristiques physico-chimiques sur brut																											
Matière sèche (MS)	%		78,4	86,8	83,9	80,7	79,2	76,8	78	93	84,7	85,4	81,7	79,7	80,9	79,5	89,3	84	84	81,4	82,7	92,5	80	97,2	84,3	91,9	
COT sur brut	mg/kg MS	30000	38000	16000	17000	22000	17000	16000		24000	11000	11000	16000	14000	12000		26000	18000	42000	18000	12000	15000		22000	20000		
Hydrocarbures totaux (HCT)																											
Somme des C5	mg/kg MS								<1,5							<1,5							<1,5			<1,5	
Somme des C6	mg/kg MS								<1,5							<1,5							<1,5			<1,5	
Somme des C7	mg/kg MS								<1,5							<1,5							<1,5			<1,5	
Somme des C8	mg/kg MS								<1,5							<1,5							<1,5			<1,5	
Somme des C9	mg/kg MS								<1,5							<1,5							<1,5			<1,5	
Somme des C10	mg/kg MS								<1,5							<1,5							<1,5			<1,5	
Indice hydrocarbure (C5-C10)	mg/kg MS								<10,0							<10,0							<10,0			<10,0	
Fraction C10-C12	mg/kg MS		<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	
Fraction C12-C16	mg/kg MS		<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	
Fraction C16-C21	mg/kg MS		36	<20	<20	<20	<20	<20	<20	54	<20	<20	<20	<20	<20	<20	38	31	39	<20	30	<20	<20	<20	<20	<20	
Fraction C21-C35	mg/kg MS		410	<20	<20	<20	<20	<20	<20	200	<20	<20	<20	<20	<20	<20	120	100	96	<20	59	<20	<20	<20	<20	<20	
Fraction C35-C40	mg/kg MS		36	<20	<20	<20	<20	<20	<20	27	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg MS	500	500	<20	<20	<20	<20	<20	<20	290	<20	<20	<20	<20	<20	<20	180	140	140	<20	97	38	<20	<20	<20	<20	
Composés (mono-)aromatiques volatils (CAV)																											
Benzène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Toluène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Ethylbenzène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
m,p-Xylène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
o-Xylène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Somme BTEX	mg/kg MS	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Isopropylbenzène (Cumène)	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
1,2,4-Triméthylbenzène (pseudo-Cumène)	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
1,3,5-Triméthylbenzène (Mésitylène)	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
m-, p-Ethyltoluène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
o-Ethyltoluène	mg/kg MS		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Somme CAV	mg/kg MS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)																											
Naphthalène	mg/kg MS		<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	5,1	4	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,13	0,13	0,15	<0,05	0,08	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Acénaphthylène	mg/kg MS		1,3	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	0,25	0,27	0,68	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,64	0,39	0,5	<0,05	0,36	0,42	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Acénaphthène	mg/kg MS		<0,5	<0,05	<0,05	0,11	1	0,26	0,19	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Fluorène	mg/kg MS		<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	0,56	0,17	0,21	0,11	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,17	0,08	0,1	<0,05	0,13	0,18	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Phénanthrène	mg/kg MS		1,2	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	<0,05	0,1	1,8	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,8	1,8	2,7	<0,05	4	3,4	<0,05	<0,05	<0,05	
Anthracène	mg/kg MS		0,96	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,85	0,89	1,2	<0,05	0,98	0,79	<0,05	<0,05	<0,05	
Fluoranthène *	mg/kg MS		3,3	0,15	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	6,7	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	4,5	6,1	10	<0,05	7,6	3,4	<0,05	<0,05	
Pyrrène	mg/kg MS		5,1	0,16	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	6	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	4,1	5,1	7,5	<0,05	6,4	2,7	<0,05	<0,05	
Benzo(a)anthracène	mg/kg MS		5,6	0,33	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	4,3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	3	4,9	4,5	<0,05	3	1,1	<0,05	<0,05	<0,05	
Chrysène	mg/kg MS		5	0,25	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	3,4	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2,5	4	3,6	<0,05	2,5	0,95	<0,05	<0,05	<0,05	
Benzo(b)fluoranthène *	mg/kg MS		24	0,63	0,13	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	7,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	4,7	7,5	6	<0,05	4,2	1,3	<0,05	<0,05	
Benzo(k)fluoranthène *	mg/kg MS		9,9	0,28	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2,7	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,8	2,6	2,3	<0,05	1,6	0,51	<0,05	<0,05	
Benzo(a)pyrène *	mg/kg MS		15	0,45	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	5,8	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	3,8	5,2	4,6	<0,05	3,3	1	<0,05	<0,05	
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg MS		<1,4	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<1,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène *	mg/kg MS		14	0,29	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	4,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2,6	4,2	3,5	<0,05	2,3	0,63	<0,05	<0,05	<0,	

Rapport n°118266 version E du 22 mars 2024

Rapport n°118266 version E du 22 mars 2024

Rapport n°118266 version E du 22 mars 2024

Légende résultats d'analyses :

Tableau 22 : Résultats d'analyses obtenus sur les sols

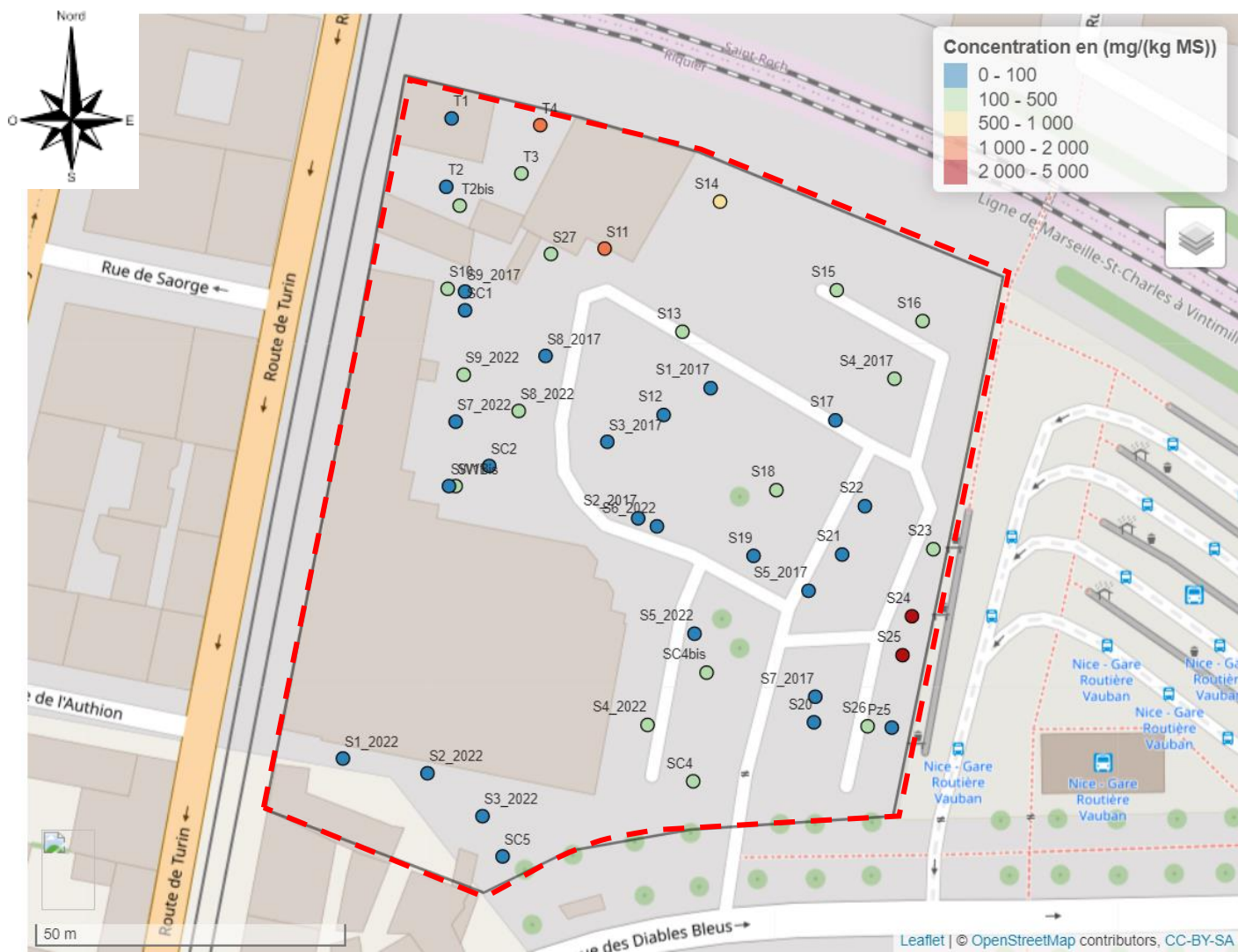


Figure 27 : Cartographie des teneurs maximales en hydrocarbures totaux quantifiées dans les sols

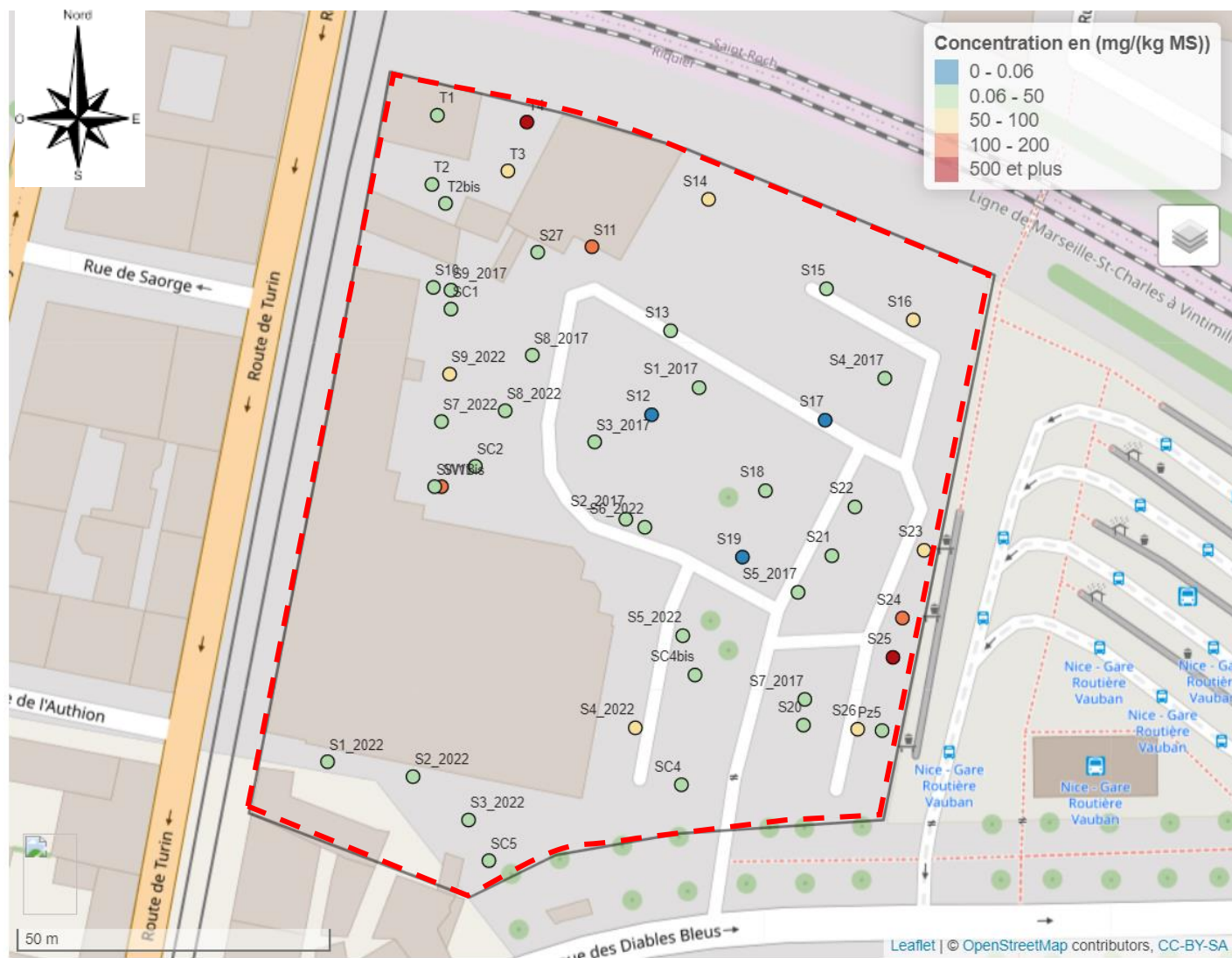


Figure 28 : Cartographie des teneurs maximales en HAP quantifiées dans les sols

7.3.3. Interprétation des résultats analytiques sur les sols

Les résultats d'analyses mettent en évidence les éléments suivants :

Eléments sur brut :

- Métaux sur brut :
 - La présence d'anomalie modérées à fortes en Arsenic, cuivre, plomb et zinc à différentes profondeurs liés à la présence de mâchefers dans les sols :
 - Horizon superficiel entre 0 et 1 m composé de remblais : S4, S5, S8, S13 et S24 ;
 - Remblais en profondeur entre 2 et 3 m ou 3 et 4 m : S1, S3, S9, S13, S16, S25
 - Horizon profond (> 5 m) : S8 ; S9, S13, S25 et Pz5.
 - L'absence d'anomalie sur les autres sondages, avec des teneurs inférieures ou de l'ordre des limites de quantification et/ou comprises dans la gamme de valeurs couramment observées dans les sols ordinaires de toutes granulométries.
- Hydrocarbures Totaux (HCT C10-C40) :
 - La présence d'un **impact en limite est du site au droit des sondages S24 et S25** entre 2 et 6,5 m avec des teneurs significatives comprises entre 1 000 et 4 200 mg/kg ;
 - La présence d'un impact en limite Nord-ouest du site dans la zone **saturée entre 6 et 10 m au droit de T4** avec des teneurs comprises entre 1 500 et 1 700 mg/kg ;
 - Un **impact au droit des sondages S11, S14 et T4** (nord nord-ouest du site) à proximité d'une ancienne cokerie entre 0 et 2 m avec des teneurs comprises entre 500 et 1 000 mg/kg ;
 - L'absence d'anomalie au droit des autres sondages (teneurs inférieures au seuil ISDI fixé à 500 mg/kg).
- Hydrocarbures volatils (HC C5-C10) : des teneurs en HC C5-C10 toujours inférieures aux limites de quantification du laboratoire pour l'ensemble des échantillons excepté au droit des échantillons profonds réalisés au droit **de S24 et S25** (limite est du site) avec des teneurs comprises en 51 et 68,1 mg/kg.
- Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) :
 - Un bruit de fond sur l'ensemble des échantillons avec des teneurs comprises entre 0,23 et 48,5 mg/kg en HAP inférieures au seuil ISDI défini dans l'arrêté ministériel du 12/12/2014 (50 mg/kg) ;
 - Des teneurs supérieures au seuil ISDI (> 50 mg/kg) au droit de **S4 (1-2), S9 (3-4), S11 (1-2 et 4-5), S14 (0-1), S16 (2-3), T3 (0-1) et T4 (0,2-1, 6-10) et en limite est du site au droit de S23 (0-1), S24 (1-4 m), S25 (2-6,5m) et S26 (0-1).**
- Composés Aromatiques Volatils (CAV dont BTEX) : des teneurs en CAV/BTEX toujours inférieures ou proches des limites de quantification du laboratoire pour l'ensemble des échantillons, exceptés au droit des sondages **S24 et S25** (limite est du site) présentant des teneurs significatives entre 3 et 6,5 m (zone non saturée et zone saturée) avec des teneurs en BTEX comprises en 3 et 24 mg/kg et **dans la zone saturée entre 6 et 10 m au droit de T4** avec des concentrations en BTEX de 11,1 et 35,2 mg/kg.

- Polychlorobiphényles (PCB) : des teneurs en PCB inférieures ou proches des limites de quantification du laboratoire pour l'ensemble des échantillons.
- Cyanures totaux et aisément libérables :
 - des teneurs en cyanures totaux comprises entre 0,12 et 20 mg/kg sur l'ensemble des sondages ;
 - un impact en cyanures totaux au droit des sondages S13 (0-1) et S14 (3-4) avec des teneurs respectives de 91 et 150 mg/kg ;
 - des teneurs en cyanures aisément libérables inférieures ou proche des limites de quantification du laboratoire pour l'ensemble des échantillons.

Eléments sur éluât :

- Des teneurs inférieures ou de l'ordre de grandeur des limites de quantification du laboratoire, et toujours inférieures au seuil ISDI défini dans l'arrêté ministériel du 12/12/2014 pour l'ensemble des échantillons analysés, exceptés en :
 - Antimoine au droit S9 (5-6), S10 (1-3), S16 (2-3), T2bis (0-1, 1,2-2),
 - Chrome au droit de S2 (0-1),
 - Fluorures au droit de S1 (2-3), S6 (1-2 & 2-2,7), S12 (0-1 & 2-3), S16 (2-3) et S21 (1-2),
 - Fraction soluble et/ou sulfates au droit de S2 (1-2 & 4-5), S3 (2-6), S11 (1-3), S14 (0-3), S16 (1-3), T1 (0,2-1), T2bis (0-1, 1,2-2) et T3 (0-1).

7.4. Résultats obtenus dans les eaux souterraines

7.4.1. Observations de terrain lors de la réalisation des piézomètres

7.4.1.1. Lithologie

Les terrains rencontrés à la foration sont relativement similaires entre Pz4, Pz6 et Pz7 avec la succession lithologique suivante depuis la surface :

- Enrobé entre 0 et 0,1 m de profondeur,
- Remblais sablo-graveleux beige entre 0,1 et 0,8 m
- Sables argileux à argiles sableuses entre 0,8 et 5 m
- Argiles sableuses à sables argileux verte entre 5 et 10m

Concernant les terrains au droit de Pz 5, la succession lithologique suivante a été rencontrée :

- Enrobé entre 0 et 0,1 m de profondeur,
- Remblais sablo graveleux beige entre 0,1 et 2m
- Argiles sableuses brunes entre 2 et 4 m
- Argiles sableuses brunes à noirâtres avec légère odeur d'HCT entre 4 et 8m
- Argiles sableuses brunes à noirâtres entre 8 et 9m.

Les arrivées d'eaux, en raison de la mise en œuvre d'un tubage à l'avancement, ont été rencontrées :

- A 9m lors de la foration au droit de Pz4,
- A 10 m au droit de Pz6
- A 6m au droit de Pz5 après redémarrage de la machine suite à une mise à l'arrêt de 15 min.

7.4.1.2. Observations organoleptiques

Aucun indice organoleptique de pollution des sols ou des eaux souterraines n'a été constaté lors de la foration du piézomètre Pz4.

Une mesure PID de 0,7 a été réalisée au droit de Pz6 sur l'horizon 5-6m (argiles vertes).

Concernant l'ouvrage Pz5, plusieurs indices organoleptiques ont été relevés :

- Légère odeur d'hydrocarbure entre 4 et 8m de profondeur,
- Imprégnation noirâtre (goudrons ?) des argiles brunes entre 4 et 10m (très marquée entre 5 et 7m)

Concernant l'ouvrage Pz7, des odeurs d'hydrocarbures ont été relevés entre 4 et 10 m, associées à de teneurs en volatils relevées au PID entre 2 et 390 ppm.

7.4.2. Piézométrie

7.4.2.1. Campagne de mai 2022

Le tableau ci-dessous présente les mesures piézométriques obtenues le 12/05/2022 au droit de chaque piézomètre.

Tableau 23 : Mesures piézométriques et épaisseur de flottant le 12/05/2022

Ouvrages	Nature du repère	Hauteur du repère (m/sol)	Cote du repère (m NGF)*	Profondeur de la nappe (m/repère)	Cote de la nappe (m NGF)	Epaisseur de flottant (m)
Pz1	Ras de sol	0	17,435	4,41	13,025	0
Pz2	Ras de sol	0	17,39	4,27	13,12	0
Pz3	Ras de sol	0	18,063	4,05	14,013	0
Pz4	Ras de sol	0	17,806	4,51	13,296	0
Pz5	Ras de sol	0	17,41	4,43	12,98	0
Pz6	Ras de sol	0	17,606	4,10	13,506	0

* : cote nivelée par SE2T

Les relevés d'eau réalisés le 12/05/2022 ont permis de dresser une carte piézométrique (présentée dans la figure suivante).

Les niveaux piézométriques relevés permettent de mettre en évidence un sens d'écoulement de la nappe de l'ouest nord-ouest du site vers l'est sud-est. L'ouvrage Pz3 est représentatif de l'amont hydraulique du site et Pz1 et Pz5 de l'aval hydraulique.



Figure 29 : Carte piézométrique interprétative de la zone d'étude – mai 2022

7.4.2.2. Campagne de juillet 2022

Le tableau ci-dessous présente les mesures piézométriques obtenues le 22/07/2022 au droit de chaque piézomètre.

Tableau 24 : Mesures piézométriques et épaisseur de flottant le 22/07/2022

Ouvrages	Nature du repère	Hauteur du repère (m/sol)	Cote du repère (m NGF)	Profondeur de la nappe (m/repère)	Cote de la nappe (m NGF)	Epaisseur de flottant (m)
Pz1	Ras de sol	0	17,435	4,62	12,815	0
Pz2	Ras de sol	0	17,39	4,38	13,01	0
Pz3	Ras de sol	0	18,063	3,98	14,083	0
Pz4	Ras de sol	0	17,806	4,69	13,12	0
Pz5	Ras de sol	0	17,41	4,57	12,84	0
Pz6	Ras de sol	0	17,606	3,91	13,696	0

Les relevés d'eau réalisés le 22/07/2022 ont permis de dresser une carte piézométrique (présentée dans la figure suivante).

Les niveaux piézométriques relevés en juillet 2022 confirment le sens d'écoulement de la nappe de l'ouest nord-ouest du site vers l'est sud-est.



7.4.3. Observations organoleptiques lors de l'échantillonnage des eaux souterraines

Les observations recueillies lors des opérations de prélèvement des eaux souterraines sont présentées dans les tableaux ci-après.

7.4.3.1. Campagne de mai 2022

Tableau 25 : Observations organoleptiques lors de l'échantillonnage des eaux souterraines – mai 2022

Ouvrage	Aspect	Odeur	Irisation	Flottant / Plongeant	Mesure PID à l'ouverture du capot
Pz1	Grise, chargée en MES	Non	Non	Non	0
Pz2	Noire	Non	Non	Non	0
Pz3	Grise, légèrement trouble	Non	Non	Non	0
Pz4	Grise, légèrement trouble	Non	Non	Non	0
Pz5	Grise, légèrement trouble	Non	Non	Non	0
Pz6	Brune	Non	Non	Non	0

7.4.3.2. Campagne de juillet 2022

Tableau 26 : Observations organoleptiques lors de l'échantillonnage des eaux souterraines – juillet 2022

Ouvrage	Aspect	Odeur	Irisation	Flottant / Plongeant	Mesure PID à l'ouverture du capot
Pz1	Grise, chargée en MES	Non	Non	Non	1,5
Pz2	Noire	hct	Non	Non	8,1
Pz3	Clair	Non	Non	Non	7,9
Pz4	Grise, légèrement trouble	Non	Non	Non	0
Pz5	Noirâtre	Non	Non	Non	0
Pz6	Grise, légèrement trouble	Non	Non	Non	5

Contrairement à la campagne de mai réalisée, des teneurs en PID traduisant un dégazage de la nappe ont été relevées.

7.4.4. Paramètres physico-chimiques mesurés *in situ*

7.4.4.1. Campagne de mai 2022

Le pH, la température, la conductivité et le potentiel d'oxydoréduction ont été mesurés sur le terrain le 12/05/2022 à l'aide d'une sonde multi-paramètres étalonnée. Les mesures obtenues sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 27 : Paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* le 12/05/2022

Ouvrages	Localisation	Température (°C)	Conductivité (μS/cm)	pH	Eh (mV)
Pz1	Aval	20,8	842	6,96	-66
Pz2	Aval	18,2	1238	7,09	-105
Pz3	Amont	15,4	1113	7,10	283
Pz4	Latéral	17,9	1394	6,89	27
Pz5	Aval	20,4	759	7,17	-103
Pz6	Latéral	15,8	998	7,26	57

Les paramètres physico-chimiques mettent en évidence :

- Des pH proches de la neutralité et dans la même gamme de valeur au droit de l'ensemble des ouvrages,
- Des températures variant entre 15,4 et 20,8 °C, avec les températures les plus fortes mesurées en aval hydraulique (Pz1, Pz2, Pz5) au sud-est du site,
- Des potentiels redox compris entre -105 et 283 mV, avec des potentiels négatifs localisés en aval hydraulique (Pz1, Pz2, Pz5),
- Des conductivités comprises entre 759 et 1239 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sans tendance de répartition.

7.4.4.2. Campagne de juillet 2022

Le pH, la température, la conductivité, l' O_2 dissous et le potentiel d'oxydoréduction ont été mesurés sur le terrain le 12/05/2022 à l'aide d'une sonde multi-paramètres étalonnée. Les mesures obtenues sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 28 : Paramètres physico-chimiques mesurés in situ le 12/05/2022

Ouvrages	Localisation	Température (°C)	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Eh (mV)
Pz1	Aval	21,8	999	7,16	127
Pz2	Aval	20,9	1 228	7,33	23
Pz3	Amont	20,0	853	7,45	505
Pz4	Latéral	19,8	124	8,14	292
Pz5	Aval	21,9	847	7,36	99
Pz6	Latéral	21,0	951	7,54	430

Les paramètres physico-chimiques mettent en évidence :

- Des pH proches de la neutralité et dans la même gamme de valeur au droit de l'ensemble des ouvrages,
- Des températures stables entre chaque piézomètre, variant entre 19,8 et 21,8 C,
- Des potentiels redox compris entre -99 et 505 mV,
- Des conductivités comprises entre 124 et 1228 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sans tendance de répartition.

7.4.4.3. Observations en Pz7 – février 2023

Le tableau ci-dessous présente les mesures piézométriques obtenues le 01/02/2023 au droit de Pz1, Pz3, Pz4, Pz5, Pz6, SC1, SC3 et le 08/02/2023 au droit de Pz7.

Tableau 29 : Mesures piézométriques et épaisseur de flottant le 01/02/2023

Ouvrages	Nature du repère	Hauteur du repère (m/sol)	Cote du repère (m NGF)	Profondeur de la nappe (m/repère)	Cote de la nappe (m NGF)	Epaisseur de flottant (m)
Pz1	Ras de sol	0	17,435	4,30	13,135	0
Pz2	Ras de sol	0	17,39	nm	nm	0
Pz3	Ras de sol	0	18,063	4,04	14,023	0
Pz4	Ras de sol	0	17,806	4,41	13,396	0
Pz5	Ras de sol	0	17,41	4,29	13,12	0
Pz6	Ras de sol	0	17,606	4,01	13,596	0
Pz7	Capot	0,83	19,39	5,06	14,33	Pellicule
SC1	Ras de sol	0	17,53	2,3	15,23	0
SC2	Ras de sol	0	18,16	4,65	13,51	0

Nm : non mesuré

Les niveaux piézométriques relevés en février 2023 confirment le sens d'écoulement de la nappe de l'ouest nord-ouest du site vers l'est sud-est.

Tableau 30 : Observations organoleptiques lors de l'échantillonnage des eaux souterraines – Pz7 – février 2023

Ouvrage	Aspect	Odeur	Irisation	Flottant / Plongeant	Mesure PID à l'ouverture du capot
Pz7	Légèrement trouble	hydrocarbures	Non	Pellicule de flottant	85

Tableau 31 : Paramètres physico-chimiques mesurés in situ le 08/02/2023

Ouvrage	Localisation	Température (°C)	Conductivité (μS/cm)	pH	Eh (mV)
Pz7	Amont	17,3	879	7,60	-323

Les indices organoleptiques relevés au droit de Pz7 mettent en évidence un impact des eaux souterraines en hydrocarbures.



Figure 31 : Gouttelettes d'hydrocarbures relevées au droit de Pz7 le 8 février 2023

Il est à noter que les deux ouvrages piézométriques SC1 et SC2 mis en place lors des investigations géotechniques ont fait l'objet d'un suivi des niveaux d'eau sur une période de 6 mois, du 30 juin 2022 au 11 janvier 2023 (Rapport Antea n°121952 - Version A du 13/02/2023 - Etude hydrogéologique au stade AVP). Lors du retrait de la sonde enregistreuse le 11 janvier 2023, des indices d'hydrocarbures (gouttelettes) ont été relevés au droit de SC1.

L'ouvrage SC1 met en évidence un niveau à 2,3 m/sol, soit environ 2 m au-dessus des niveaux relevés au droit des autres ouvrages sans explication évidente à ce stade.

7.4.5. Résultats des analyses d'eaux souterraines en laboratoire

Les tableaux de résultats présentés pages suivantes font apparaître des valeurs de référence présentées précédemment. Ces valeurs sont utilisées à titre indicatif afin de détecter toute éventuelle anomalie dans les eaux souterraines.

La dénomination des échantillons analysés fait référence au nom de l'ouvrage dans lequel l'échantillon a été prélevé. Par exemple l'échantillon PZ1 est représentatif des eaux souterraines prélevées dans l'ouvrage PZ1.

Les valeurs précédées du sigle « < » sont inférieures à la limite de quantification (LQ) du laboratoire (substance non quantifiée).

Les résultats sont présentés de la manière suivante dans les tableaux et sur les cartographies :

- en **caractère gras** : les valeurs supérieures à la limite de quantification du laboratoire,
- en **caractère vert** : les valeurs supérieures aux valeurs de l'annexe I et II de l'arrêté du 11/01/2007
- en **caractère jaune** : les valeurs supérieures aux valeurs de la circulaire du 23/10/2012
- en **caractère orange** : les valeurs supérieures aux valeurs de référence définies par l'OMS en 2011.

Les bordereaux d'analyses sont présentés en Annexe VIII.

Tableau 32 : Résultats d’analyses obtenus sur les eaux souterraines (mai et juillet 2022)

Nom du point de prélèvemet	Unité	Valeurs réglementaire françaises pour les eaux destinées à la consommatio humaine (arrêté du 11/01/2007)		Valeurs de référence Circulaire 23/10/212	Valeurs de référence OMS 2017	Pz3		Pz6		Pz4		Pz1		Pz5		Pz2	
Campagne de prélèvement		Annexe I	Annexe II			Mai 2022	Juillet 2022	Mai 2022	Juillet 2022	Mai 2022	Juillet 2022	Mai 2022	Juillet 2022	Mai 2022	Juillet 2022	Mai 2022	Juillet 2022
Position hydraulique						Amont		Latéral		Latéral		Aval		Aval		Aval	
HCT																	
Indice hydrocarbure C10-C40	mg/l E/L	-	-	1	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,57	0,52	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	0,17	0,26
Hydrocarbures > C10-C12	mg/l E/L	-	-	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,27	0,19	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	0,1
Hydrocarbures > C12-C16	mg/l E/L	-	-	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,27	0,31	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	0,13
Hydrocarbures > C16-C21	mg/l E/L	-	-	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Hydrocarbures > C21-C35	mg/l E/L	-	-	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Hydrocarbures > C35-C40	mg/l E/L	-	-	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Indice hydrocarbure (C5-C10)	µg/l E/L			1000	-	<50,0	<50,0	<50,0	<50,0	<50,0	106	<50,0	<50,0	<50,0	<50,0	89,0	<50,0
Somme des C5	µg/l E/L	-	-	-	-	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0
Somme des C6	µg/l E/L	-	-	-	-	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0
Somme des C7	µg/l E/L	-	-	-	-	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0
Somme des C8	µg/l E/L	-	-	-	-	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	11	41	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	35	11
Somme des C9	µg/l E/L	-	-	-	-	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0
Somme des C10	µg/l E/L	-	-	-	-	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	26	65	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	54	27
Cations, anions et éléments non métalliques																	
Cyanures totaux (CN)	mg/l E/L	0,05	0,05	0,05	-	1,8	0,89	0,34	0,37	0,49	0,36	0,077	0,066	0,062	0,062	0,1	0,094
Cyanures aisément libérables (CN)	mg/l E/L	-	-	0,05	-	0,029	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Hydrocarbures halogénés volatils (COHV)																	
Chlorure de vinyle	µg/l E/L	0,5	-	0,5	0,3	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Dichlorométhane	µg/l E/L	-	-	-	20	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
cis-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	-	-	-	50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	-	-	-	50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Trichlorométhane	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Tétrachlorométhane	µg/l E/L	-	-	-	4	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Trichloroéthylène	µg/l E/L	-	-	-	20	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Tétrachloroéthylène	µg/l E/L	-	-	-	40	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
1,1-Dichloroéthane	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
1,1-Dichloroéthylène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Somme des COHV	µg/l E/L	-	-	-	-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Benzène et aromatiques (CAV - BTEX)																	
Benzène	µg/l E/L	1	-	1	10	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	17	58	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	65	<0,5
Toluène	µg/l E/L	-	-	700	700	<0,5	<0,5	1,8	<0,5	1,7	<0,6	1,4	<0,5	1,1	<0,5	3,0	<0,5
Ethylbenzène	µg/l E/L	-	-	300	300	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,4	4,4	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	4,1	<0,5
o-Xylène	µg/l E/L	-	-	500	500	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,1	4,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,6	5,1
m-, p-Xylène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,6	<0,5	2,1	1,9	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	8,2	3,2
Cumène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	6,5	8,9	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,0	<0,5
Mésitylène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,1	1,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,1	0,8
o-Ethyltoluène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	17	29	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,7	3,5
m-, p-Ethyltoluène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,0	1,3	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,8	1,1
Pseudocumène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,2	13,1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,0	<0,5
Somme des CAV	µg/l E/L	-	-	-	-	-/-	-/-	1,8	-/-	53	110	1,4	-/-	1,1	-/-	92	14
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)																	
Naphtalène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	29	3,5	0,29	0,02	0,13	<0,02	26	<0,14
Acénaphtylène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1,4	1,2	<0,02	<0,02	0,03	0,03	6,9	1,8
Acénaphène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	85	98	0,97	0,09	0,77	0,15	20	5,0
Fluorène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	11	13	0,11	<0,02	0,09	0,02	3,7	1,0
Phénanthrène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1,8	2,0	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	0,5	<0,14
Anthracène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,39	0,6	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,5	<0,09
Fluoranthène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	0,06	<0,02	<0,02	0,02	0,11	0,87	2,2
Pyrène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	0,02	<0,02	<0,02	0,04	0,06	<0,02	<0,02	0,02	0,11	0,64	1,7
Benzo(a)anthracène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,06	0,11	0,16
Chrysène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,08	0,1
Benzo(b)fluoranthène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,06	<0,02	0,06
Benzo(k)fluoranthène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	0,02
Benzo(a)pyrène	µg/l E/L	0,01	-	0,01	0,7	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,05	<0,02	0,05
Dibenzo(a,h)anthracène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Indéno(1,2,3,c,d)pyrène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,02
Benzo(g,h,i)peryène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,02
Somme des 4 HAP	µg/l E/L	0,1	-	0,1	-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,12	-/-	0,08
Somme des 6 HAP	µg/l E/L	-	1	1	-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,04	-/-	-/-	-/-	0,02	0,28	0,87	2,3
Somme des HAP	µg/l E/L	-	-	-	-	-/-	-/-	-/-	-/-	130	120	1,4	0,11	1,1	0,7	59	12

Nom du point de prélèvement	Unité	Valeurs réglementaire françaises pour les eaux destinées à la consommation humaine (arrêté du 30/12/2022)		Valeurs de référence Circulaire 23/10/212	Valeurs de référence OMS 2017	Pz7
Campagne de prélèvement		Annexe I	Annexe II			08/02/2023
Position hydraulique						Amont
Ph	-	>6,5<9				7,8
HCT						
Indice hydrocarbure C10-C40	mg/l E/L		1	1	-	7
Hydrocarbures > C10-C12	mg/l E/L	-	-	-	-	5,4
Hydrocarbures > C12-C16	mg/l E/L	-	-	-	-	1,3
Hydrocarbures > C16-C21	mg/l E/L	-	-	-	-	<0,25
Hydrocarbures > C21-C35	mg/l E/L	-	-	-	-	<0,25
Hydrocarbures > C35-C40	mg/l E/L	-	-	-	-	<0,25
Indice hydrocarbure (C5-C10)	µg/l E/L			1000	-	2300
Somme des C5	µg/l E/L	-	-	-	-	<80
Somme des C6	µg/l E/L	-	-	-	-	<80
Somme des C7	µg/l E/L	-	-	-	-	170
Somme des C8	µg/l E/L	-	-	-	-	<80
Somme des C9	µg/l E/L	-	-	-	-	320
Somme des C10	µg/l E/L	-	-	-	-	1 800
Cations, anions et éléments non métalliques						
Cyanures totaux (CN)	mg/l E/L	0,05	0,05	0,05	-	0,41
Cyanures aisément libérables (CN)	mg/l E/L	-	-	0,05	-	<0,05
Hydrocarbures halogénés volatils (COHV)						
Chlorure de vinyle	µg/l E/L	0,5	-	0,5	0,3	<0,5
Dichlorométhane	µg/l E/L	-	-	-	20	<0,5
cis-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	-	-	-	50	<0,5
trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	-	-	-	50	<0,5
Trichlorométhane	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,5
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,5
Tétrachlorométhane	µg/l E/L	-	-	-	4	<0,5
Trichloroéthylène	µg/l E/L	10	-	-	20	<0,5
Tétrachloroéthylène	µg/l E/L		-	-	40	<0,5
1,1-Dichloroéthane	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,5
1,1-Dichloroéthylène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,5
Somme des COHV	µg/l E/L	-	-	-	-	-/-
Benzène et aromatiques (CAV - BTEX)						
Benzène	µg/l E/L	1	-	1	10	160
Toluène	µg/l E/L	-	-	700	700	190
Ethylbenzène	µg/l E/L	-	-	300	300	220
o-Xylène	µg/l E/L	-	-	500	500	320
m-, p-Xylène	µg/l E/L	-	-	-	-	150
Cumène	µg/l E/L	-	-	-	-	17
Mésitylène	µg/l E/L	-	-	-	-	100
o-Ethyltoluène	µg/l E/L	-	-	-	-	34
m-, p-Ethyltoluène	µg/l E/L	-	-	-	-	17
Pseudocumène	µg/l E/L	-	-	-	-	97
Somme des CAV	µg/l E/L	-	-	-	-	1305
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)						
Naphtalène	µg/l E/L	-	-	-	-	3 400
Acénaphtylène	µg/l E/L	-	-	-	-	140
Acénaphène	µg/l E/L	-	-	-	-	180
Fluorène	µg/l E/L	-	-	-	-	91
Phénanthrène	µg/l E/L	-	-	-	-	94
Anthracène	µg/l E/L	-	-	-	-	21
Fluoranthène	µg/l E/L	-	-	-	-	15
Pyrène	µg/l E/L	-	-	-	-	12
Benzo(a)anthracène	µg/l E/L	-	-	-	-	3
Chrysène	µg/l E/L	-	-	-	-	2,5
Benzo(b)fluoranthène*	µg/l E/L	-	-	-	-	2,5
Benzo(k)fluoranthène*	µg/l E/L	-	-	-	-	1
Benzo(a)pyrène	µg/l E/L	0,01	-	0,01	0,7	2,3
Dibenzo(a,h)anthracène	µg/l E/L	-	-	-	-	<0,23
Indéno(1,2,3,c,d)pyrène*	µg/l E/L	-	-	-	-	1,1
Benzo(g,h,i)pérylène*	µg/l E/L	-	-	-	-	1,2
Somme des 4 HAP (*)	µg/l E/L	0,1	-	0,1	-	5,8
Somme des 6 HAP (*+*)	µg/l E/L	-	1	1	-	23
Somme des HAP	µg/l E/L	-	-	-	-	4000

Tableau 33 : Résultats d'analyses obtenus sur les eaux souterraines (Pz7 – février 2023)

7.4.6. Interprétation des résultats sur les eaux souterraines

7.4.6.1. Campagne de mai 2022

Les résultats de la campagne de mai 2022 mettent en évidence les points suivants :

- Concernant les hydrocarbures totaux, des teneurs ont été quantifiées uniquement au droit de **Pz4** (position latéral hydraulique) et **Pz2** (aval hydraulique) à des teneurs de 0,17 et 0,57 mg/l, inférieures aux critères de référence lorsqu'ils existent, traduisant un léger impact de la nappe.
- Les cyanures sont quantifiés sur **l'ensemble des ouvrages** avec un dépassement des valeurs réglementaires et de référence de qualité des eaux souterraines fixées à 0,05 mg/l. Les teneurs sont comprises entre 0,07 et 1,8 mg/L, avec les teneurs maximales mesurées au droit de Pz3, en position d'amont hydraulique du site. On note l'absence de détection des cyanures libres, excepté au droit de Pz3.
- Aucune quantification en COHV au droit de l'ensemble des ouvrages du site.
- Concernant les BTEX et les CAV, ils sont majoritairement quantifiés au droit de **Pz4** (position latéral hydraulique) et **Pz2** (aval hydraulique), avec un dépassement de la valeur de référence de l'OMS pour le **benzène** (17 et 65 µg/l) traduisant un **impact des eaux souterraines**.
Au droit des autres ouvrages, ces composés ne sont pas quantifiés ou à des concentrations inférieures aux critères de comparaison.
- Concernant les HAP, des teneurs ont été quantifiées au droit de Pz1, Pz2, Pz4 et Pz6, sans dépassement des valeurs réglementaires et de référence de qualité des eaux souterraines pour la somme de 4 et 6 HAP. On note cependant des **concentrations significatives en Naphtalène en Pz2 et Pz4** (26 et 29 µg/l).

7.4.6.2. Campagne de juillet 2022

Les résultats de la campagne de juillet 2022 mettent en évidence les points suivants :

- Concernant les hydrocarbures totaux, des teneurs ont été quantifiées uniquement au droit de **Pz4** (position latéral hydraulique) et **Pz2** (aval hydraulique) à des teneurs de 0,26 et 0,52 mg/l, inférieures aux critères de référence lorsqu'ils existent, traduisant un léger impact de la nappe.
- Les cyanures sont quantifiés sur **l'ensemble des ouvrages** avec un dépassement des valeurs réglementaires et de référence de qualité des eaux souterraines fixées à 0,05 mg/l. Les teneurs sont comprises entre 0,062 et 0,89 mg/L, avec les teneurs maximales mesurées au droit de Pz3, en position d'amont hydraulique du site. On note l'absence de détection des cyanures libres lors de cette campagne.
- Aucune quantification en COHV au droit de l'ensemble des ouvrages du site.
- Concernant les BTEX et les CAV, ils sont majoritairement quantifiés au droit de **Pz4 (position latéral hydraulique) et Pz2 (aval hydraulique)**, avec un dépassement de la valeur de référence de l'OMS pour le **benzène** (58 µg/l en Pz4) traduisant un **impact des eaux souterraines**.
Au droit des autres ouvrages, ces composés ne sont pas quantifiés ou à des concentrations inférieures aux critères de comparaison.
- Concernant les HAP, des dépassements des valeurs réglementaires et de référence de qualité des eaux souterraines pour la somme de 4 et 6 HAP sont relevés au droit de **Pz2 et Pz5**. Les HAP sont relevés également en Pz1, Pz3 et Pz4.

7.4.6.3. Evolution entre les campagnes

Entre les campagnes de mai et juillet 2022, on note :

- Des concentrations stables en hydrocarbures totaux, cyanures et HAP, avec cependant une baisse des teneurs en Naphtalène.
- Une **légère diminution des concentrations en BTEX au droit de l'ensemble des ouvrages**, excepté au droit de Pz4 qui met en évidence une augmentation en BTEX et notamment en Benzène.

En conclusion, les résultats analytiques mettent en évidence :

- un impact en cyanures en amont du site au droit de Pz3, et un marquage plus modéré au niveau des autres piézomètres (baisse significative de la teneur relevée en amont vers l'aval),
- un impact en benzène, hydrocarbures totaux et HAP localisés sur les parties nord et est du site au droit de Pz2 et Pz4 traduisant les impacts identifiés dans le milieu sol en limite nord et est du site, à proximité de Pz2 (S23, S24 et S25) et dans une moindre mesure au nord à proximité de Pz4 (S14).

La cartographie ci-après indique les principales valeurs mesurées en COHV, BTEX et hydrocarbures lors des deux campagnes.

7.4.6.4. Prélèvement de Pz7 – février 2023

Les résultats du prélèvement réalisé au droit de Pz7 en février 2023 mettent en évidence un **impact significatif des eaux souterraines en hydrocarbures en amont du site** avec notamment :

- Une concentration de **7 mg/l en hydrocarbures totaux C10-C40**, sept fois supérieures à la valeur de comparaison fixée à 1 mg/l, traduisant un impact de la nappe.
- Des impacts en hydrocarbures volatils C5-C10 et CAV sont relevés dont une forte concentration en **benzène (160 µg/l)**.
- Un impact en HAP avec des teneurs supérieures aux valeurs réglementaires et de référence de qualité des eaux souterraines pour la somme de 4 et 6 HAP. On note une **concentration significative en Naphtalène (3 400 µg/l)**.
- Les cyanures totaux sont quantifiés (0,41 mg/l) avec un dépassement des valeurs réglementaires et de référence de qualité des eaux souterraines fixées à 0,05 mg/l. On note l'absence de détection des cyanures libres.
- L'absence de quantification des COHV.

Il est à noter que les impacts identifiés au droit de Pz7 sont relevés dans une moindre mesure au droit de Pz4 lors des campagnes de suivi réalisées en mai et juillet 2022 et indiquent la présence potentielle d'une source de pollution provenant des anciennes activités exercées sur la partie nord du site, voire des anciennes activités de l'ancienne usine à gaz et notamment des cuves enterrées présentes au Nord de la voie ferrées (hors site).



Figure 32 : Cartographie des teneurs quantifiées dans les eaux souterraines – mai et juillet 2022

7.5. Résultats obtenus dans les gaz du sol

7.5.1. Observations de terrain

7.5.1.1. Lithologie

Les terrains rencontrés sont les suivants :

- enrobé,
- remblais sablo-graveleux beige entre 0,1 et 0,7 m de profondeur,
- argiles sableuses brunes entre 0,7 et 1,5 m de profondeur.

A noter que des mâchefers ont été retrouvées au droit de 2 ouvrages sur 3 entre 0,7 et 1m.

7.5.1.2. Observations organoleptiques

Préalablement aux prélèvements, lors de la phase de purge, des mesures semi-quantitatives ont été réalisées dans chaque ouvrage, aucune détection de volatil n'a été relevé au PID⁵.

7.5.2. Résultats des analyses en laboratoire

Les bordereaux d'analyses fournis par le laboratoire présentent les résultats en µg/support. La conversion en concentration a été réalisée en appliquant le volume d'air prélevé à la quantité retrouvée sur le tube, en utilisant la formule suivante :

$$C_i = \frac{M_i}{V_i}$$

$$\text{et } V_i = D_i * T_i$$

avec :

i	: le nom de la substance
C_i	: la concentration dans l'air intérieur de la substance i (en µg/m ³)
M_i	: la masse absolue mesurée par le laboratoire (en µg)
V_i	: le volume pompé pour le support correspondant (en m ³)
D_i	: le débit de la pompe relié au support correspondant (en L/min, c'est-à-dire des millièmes de m ³ /min)
T_i	: le temps de prélèvement pour la pompe correspondante (en min)

⁵ PID : Photo Ionisation Detector (mesure semi-quantitative de composés organiques volatils)

Les résultats sous forme de concentration sont présentés dans le tableau en page suivante.

La dénomination des échantillons analysés fait référence au nom de l'ouvrage dans lequel l'échantillon a été prélevé.

Les résultats sont comparés entre eux car il n'existe pas de valeur de référence pour les gaz du sol (ces données seront employées dans l'EQRS pour caractériser les éventuels risques sanitaires pour les usagers du site).

Les valeurs précédées du sigle « < » sont inférieures à la limite de quantification (LQ) du laboratoire (substance non quantifiée).

Les valeurs présentées en caractères noirs sont supérieures à la limite de quantification du laboratoire.

Les analyses ont porté sur la couche de mesure et la couche de contrôle⁶.

Ne sont présentés dans le tableau suivant que les résultats obtenus sur la couche de mesure.

En effet, les résultats obtenus pour la couche de contrôle sont tous inférieurs à la limite de quantification. Ce résultat garantit que les supports de prélèvement ont capté la totalité des composés et ne sont pas saturés, et donc que l'échantillonnage sur les couches de mesure est représentatif de l'air ayant circulé au travers des supports (assurant ainsi une interprétation fiable des résultats obtenus pour les couches de mesure).

D'autre part, les résultats du blanc de terrain et transport indiquent des teneurs inférieures à la limite de quantification du laboratoire pour l'ensemble des paramètres recherchés. Ceci indique l'absence d'interférence extérieure au moment des prélèvements et du transport.

Les bordereaux d'analyses sont présentés en Annexe IX.

⁶ Une cartouche de support spécifique utilisée pour le prélèvement des substances présentes en phase vapeur dans l'air comporte une couche de mesure et une couche de contrôle, cette dernière permettant de contrôler la non saturation de la couche de mesure et ainsi de valider l'échantillonnage.

Tableau 34 : Résultats d'analyses obtenus sur les gaz du sol

Composés	Unité	Pzair1		Pzair2		Pzair3		Blanc
		Mai 2022	Juillet 2022	Mai 2022	Juillet 2022	Mai 2022	Juillet 2022	
Métal								
Mercuré gazeux (-Hg)(c)	mg/m ³	<0,00023	<0,00033	<0,00032	<0,00034	<0,00023	<0,00024	-
Pack BTEXN								
Benzène	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0032	<0,0033	-
Toluène	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0032	0,0054	-
Ethylbenzène	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0032	<0,0033	-
m+p - Xylène	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0032	<0,0033	-
o - Xylène	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0032	<0,0033	-
Cumène	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0032	<0,0033	-
m-, p-Ethyltoluène	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0032	<0,0033	-
1,3,5-Triméthylbenzène (Mésitylène)	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0032	<0,0033	-
o-Ethyltoluène	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0032	<0,0033	-
1,2,4-Triméthylbenzène (Pseudocumène)	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0032	<0,0033	-
Naphtalène	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0032	<0,0033	-
Coupees TPH C6-C16								
Hydrocarbures aromatiques C6-C7	mg/m ³	<0,02	<0,0166	<0,02	<0,018	<0,02	<0,016	-
Hydrocarbures aromatiques C7-C8	mg/m ³	<0,02	<0,0166	<0,02	<0,018	<0,02	<0,016	-
Hydrocarbures aromatiques C8-C9	mg/m ³	<0,02	<0,0166	<0,02	<0,018	<0,02	<0,016	-
Hydrocarbures aromatiques C9-C10	mg/m ³	<0,02	<0,0166	<0,02	<0,018	<0,02	<0,016	-
Hydrocarbures aromatiques C10-C11	mg/m ³	<0,02	<0,0166	<0,02	<0,018	<0,02	<0,016	-
Hydrocarbures aromatiques C11-C12	mg/m ³	<0,02	<0,0166	<0,02	<0,018	<0,02	0,128	-
Hydrocarbures aromatiques C12-C13	mg/m ³	<0,02	<0,0166	<0,02	<0,018	<0,02	0,128	-
Hydrocarbures aromatiques C13-C14	mg/m ³	<0,02	<0,0166	<0,02	<0,018	<0,02	0,104	-
Hydrocarbures aromatiques C14-C15	mg/m ³	<0,02	<0,0166	<0,02	<0,018	<0,02	0,033	-
Hydrocarbures aromatiques C15-C16	mg/m ³	<0,02	<0,0166	<0,02	<0,018	<0,02	0,016	-
Hydrocarbures aliphatiques C5-C6	mg/m ³	<0,08	<0,083	<0,08	<0,091	<0,08	<0,082	-
Hydrocarbures aliphatiques C6-C7	mg/m ³	<0,08	<0,083	<0,08	<0,091	<0,08	<0,082	-
Hydrocarbures aliphatiques C7-C8	mg/m ³	<0,08	<0,083	<0,08	<0,091	<0,08	<0,082	-
Hydrocarbures aliphatiques C8-C9	mg/m ³	<0,08	<0,083	<0,08	<0,091	<0,08	<0,082	-
Hydrocarbures aliphatiques C9-C10	mg/m ³	<0,08	<0,083	<0,08	<0,091	<0,08	<0,082	-
Hydrocarbures aliphatiques C10-C11	mg/m ³	<0,08	<0,083	<0,08	<0,091	<0,08	0,163	-
Hydrocarbures aliphatiques C11-C12	mg/m ³	<0,08	<0,083	<0,08	<0,091	<0,08	0,576	-
Hydrocarbures aliphatiques C12-C13	mg/m ³	<0,08	<0,083	<0,08	<0,091	<0,08	0,823	-
Hydrocarbures aliphatiques C13-C14	mg/m ³	<0,08	<0,083	<0,08	<0,091	<0,08	0,510	-
Hydrocarbures aliphatiques C14-C15	mg/m ³	<0,08	<0,083	<0,08	<0,091	<0,08	<0,099	-
Hydrocarbures aliphatiques C15-C16	mg/m ³	<0,08	<0,083	<0,08	<0,091	<0,08	<0,082	-
HAP								
Naphtalène	mg/m ³	<0,000162	0,000219	<0,000159	0,000209	<0,000162	<0,000994	-
Acénaphène	mg/m ³	<0,000162	<0,000168	<0,000159	<0,000190	<0,000162	<0,000166	-
Fluorène	mg/m ³	<0,000162	<0,000168	<0,000159	<0,000190	<0,000162	<0,000166	-
Phénanthrène	mg/m ³	<0,000162	<0,000168	<0,000159	<0,000190	<0,000162	<0,000166	-
Anthracène	mg/m ³	<0,000162	<0,000168	<0,000159	<0,000190	<0,000162	<0,000166	-
Fluoranthène	mg/m ³	<0,000162	<0,000168	<0,000159	<0,000190	<0,000162	<0,000166	-
Pyrène	mg/m ³	<0,000162	<0,000168	<0,000159	<0,000190	<0,000162	<0,000166	-
Benzo(a)Anthracène	mg/m ³	<0,000162	<0,000168	<0,000159	<0,000190	<0,000162	<0,000166	-
Chrysène	mg/m ³	<0,000162	<0,000168	<0,000159	<0,000190	<0,000162	<0,000166	-
Benzo(b+j)Fluoranthène	mg/m ³	<0,000162	<0,000168	<0,000159	<0,000190	<0,000162	<0,000166	-
Benzo(k)Fluoranthène	mg/m ³	<0,000162	<0,000168	<0,000159	<0,000190	<0,000162	<0,000166	-
Benzo(a)Pyrène (BaP)	mg/m ³	<0,000162	<0,000168	<0,000159	<0,000190	<0,000162	<0,000166	-
DiBenzo(a,h)Anthracène	mg/m ³	<0,000162	<0,000168	<0,000159	<0,000190	<0,000162	<0,000166	-
Benzo(g,h,i)Pérylène	mg/m ³	<0,000162	<0,000168	<0,000159	<0,000190	<0,000162	<0,000166	-
Indeno(1,2,3,c,d)pyrène	mg/m ³	<0,000162	<0,000168	<0,000159	<0,000190	<0,000162	<0,000166	-
COHV								
Chlorure de vinyle	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0031	<0,0033	-
1,1-Dichloroéthylène	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0031	<0,0033	-
Dichlorométhane	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0031	<0,0033	-
trans-1,2-Dichloroéthylène	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0031	<0,0033	-
1,1-Dichloroéthane	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0031	<0,0033	-
cis-1,2-Dichloroéthylène	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0031	<0,0033	-
Trichlorométhane	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	0,0037	<0,0036	<0,0031	<0,0033	-
Tétrachlorométhane	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0031	<0,0033	-
1,1,1-Trichloroéthane	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	0,0077	0,0085	0,0147	0,0346	-
Trichloroéthylène	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	<0,0032	<0,0036	<0,0031	<0,0033	-
Tétrachloroéthylène	mg/m ³	<0,0032	<0,0033	0,00968	0,02360	<0,0031	0,0043	-

7.5.3. Interprétation des résultats sur les gaz du sol

7.5.3.1. Campagne de mai 2022

Les résultats d'analyses mettent en évidence l'absence de détection dans l'air du sol des composés identifiés dans les milieux sol et eaux souterraines (hydrocarbures totaux, HAP et CAV). Il est à noter la détection de COHV (trichlorométhane, tétrachloroéthylène et 1,1,1-trichloroéthane) au droit de Pzair 2 et Pzair 3. Ces composés n'ont pas été relevés dans les autres milieux.

7.5.3.2. Campagne de juillet 2022

Les résultats mettent en évidence des concentrations en COHV (trichlorométhane et 1,1,1-trichloroéthane) au droit de PzR2 et PzR3, comparables à celles de mai.

On note la détection du Toluène et des hydrocarbures aromatiques et aliphatiques C10-C16 au droit du PzR3, ces composés n'avaient pas été relevé lors de la 1^{ère} campagne.



Figure 33 : Cartographie des teneurs quantifiées dans les gaz du sol

7.6. Interprétation des résultats sur les gaz issus des eaux souterraines

7.6.1. Observations organoleptiques

Préalablement aux prélèvements, lors de la phase de purge, des mesures semi-quantitatives ont été réalisées dans chaque ouvrage lors de la campagne de juillet 2022, ceux-ci sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 35 : Observations organoleptiques lors de l'échantillonnage de l'air issu des eaux souterraines

Ouvrage	Mesure PID (ppm) (début de purge)	CH4 (%)	O ₂ (%)	CO (ppm)	H ₂ S (ppm)
Pz2	4,4	0	12,2	0	0
Pz4	0	0	12,2	14	0

7.6.2. Résultats des analyses en laboratoire

Les résultats sous forme de concentration sont présentés dans le tableau en page suivante.

La dénomination des échantillons analysés fait référence au nom de l'ouvrage dans lequel l'échantillon a été prélevé.

Les résultats sont comparés entre eux car il n'existe pas de valeur de référence pour les gaz du sol (ces données seront employées dans l'EQRS pour caractériser les éventuels risques sanitaires pour les usagers du site).

Les valeurs précédées du sigle « < » sont inférieures à la limite de quantification (LQ) du laboratoire (substance non quantifiée).

Les valeurs présentées en caractères noirs sont supérieures à la limite de quantification du laboratoire.

Les bordereaux d'analyses sont présentés en Annexe X.

Tableau 36 : Résultats d'analyses obtenus sur les gaz issus des eaux souterraines – Pz2&Pz4

Composés	Unité	Pz2	Pz4
		(Canister 21)	(Canister 95)
		Juillet 2022	
Pack BTEXN			
Benzene	mg/m ³	0,0124	<0,001
Toluene	mg/m ³	0,0025	0,0089
Ethylbenzene	mg/m ³	0,0017	0,0022
m+p - Xylene	mg/m ³	0,0029	0,0066
o - Xylene	mg/m ³	0,0020	0,0026
Cumène	mg/m ³	<0,001	<0,001
1,3,5-Triméthylbenzène (Mésitylène)	mg/m ³	<0,001	0,0013
1,2,4-Triméthylbenzène (Pseudocumène)	mg/m ³	0,0016	0,0041
Naphtalène	mg/m ³	<0,001	<0,001
Coupes TPH C6-C16			
Hydrocarbures aromatiques C6-C7	mg/m ³	0,0124	<0,001
Hydrocarbures aromatiques C7-C8	mg/m ³	0,0025	0,0089
Hydrocarbures aromatiques C8-C10	mg/m ³	0,0108	0,0220
Hydrocarbures aromatiques C10-C12	mg/m ³	0,0239	0,0413
Hydrocarbures aromatiques C12-C16	mg/m ³	<0,001	<0,001
Hydrocarbures aliphatiques C6-C7	mg/m ³	0,0963	0,0013
Hydrocarbures aliphatiques C7-C8	mg/m ³	0,0015	0,0026
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	mg/m ³	0,0057	0,0103
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	mg/m ³	0,0166	0,0340
Hydrocarbures aliphatiques C12-C16	mg/m ³	<0,001	<0,001
COHV			
Chlorure de vinyle	mg/m ³	<0,001	<0,001
1,1-Dichloroéthylène	mg/m ³	<0,001	<0,001
Dichlorométhane	mg/m ³	<0,001	<0,001
trans-1,2-Dichloroéthylène	mg/m ³	<0,001	<0,001
1,1-Dichloroéthane	mg/m ³	<0,001	<0,001
cis-1,2-Dichloroéthylène	mg/m ³	<0,001	<0,001
Trichlorométhane	mg/m ³	<0,001	0,0031
Tétrachlorométhane	mg/m ³	<0,001	<0,001
1,1,1-Trichloroéthane	mg/m ³	<0,001	0,0068
Trichloroéthylène	mg/m ³	<0,001	<0,001
Tétrachloroéthylène	mg/m ³	<0,001	<0,001

Tableau 37 : Résultats d'analyses obtenus sur les gaz issus des eaux souterraines – Pz7

Composés	Unité	Pz7
		(Canister 102)
		Février 2023
Pack BTEXN		
Benzene	mg/m ³	42,018
Toluene	mg/m ³	1,104
Ethylbenzene	mg/m ³	<0,005
m+p - Xylene	mg/m ³	<0,005
o - Xylene	mg/m ³	<0,005
Cumène	mg/m ³	<0,005
1,3,5-Triméthylbenzène (Mésitylène)	mg/m ³	<0,005
1,2,4-Triméthylbenzène (Pseudocumène)	mg/m ³	<0,005
Naphtalène	mg/m ³	<0,005
Coupes TPH C6-C16		
Hydrocarbures aromatiques C6-C7	mg/m ³	42,018
Hydrocarbures aromatiques C7-C8	mg/m ³	1,104
Hydrocarbures aromatiques C8-C10	mg/m ³	<0,005
Hydrocarbures aromatiques C10-C12	mg/m ³	<0,005
Hydrocarbures aromatiques C12-C16	mg/m ³	<0,005
Hydrocarbures aliphatiques C5-C6	mg/m ³	16,703
Hydrocarbures aliphatiques C6-C7	mg/m ³	33,404
Hydrocarbures aliphatiques C7-C8	mg/m ³	7,346
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	mg/m ³	0,473
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	mg/m ³	<0,005
Hydrocarbures aliphatiques C12-C16	mg/m ³	<0,005
COHV		
Chlorure de vinyle	mg/m ³	<0,005
1,1-Dichloroéthylène	mg/m ³	<0,005
Dichlorométhane	mg/m ³	<0,005
trans-1,2-Dichloroéthylène	mg/m ³	<0,005
1,1-Dichloroéthane	mg/m ³	<0,005
cis-1,2-Dichloroéthylène	mg/m ³	<0,005
Trichlorométhane	mg/m ³	<0,005
Tétrachlorométhane	mg/m ³	<0,005
1,1,1-Trichloroéthane	mg/m ³	<0,005
Trichloroéthylène	mg/m ³	<0,005
Tétrachloroéthylène	mg/m ³	<0,005

7.6.3. Interprétation des résultats sur les gaz issus des eaux souterraines

Le prélèvement réalisé au droit de **Pz7** (limite nord-ouest du site) met en évidence un **dégazage significatif de la nappe en hydrocarbures totaux et BTEX** avec notamment une concentration de 42 mg/m³ en benzène traduisant l'impact identifié dans les eaux souterraines et les sols saturés.

Les résultats mettent en évidence un dégazage de la nappe en hydrocarbures totaux et BTEX dans une moindre mesure au droit des deux piézomètres prélevés (Pz2 et Pz4).

On note la détection du benzène uniquement au droit de Pz2 avec une concentration de 12,4 µg/m³ et la détection des COHV (trichlorométhane et 1,1,1-trichloroéthane uniquement au droit de Pz4.

7.7. Interprétation générale

7.7.1. Bilan

D'une manière générale, il a été mis en évidence :

- La présence de remblais liés à la déconstruction des installations de l'ancienne usine à gaz :
 - **Remblais à scories et mâchefers** présentant des impacts en **métaux lourds sur brut** ;
 - D'anciennes dalles béton à différentes profondeurs correspondant aux dalles des anciens gazomètres et bâtiments ;
- La présence d'une nappe vers 4-4,5 m/sol présentant un sens d'écoulement du nord-ouest vers le sud-est. Celle-ci a mis en évidence :
 - un **impact significatif en hydrocarbures totaux, HAP et CAV (dont benzène) en limite nord du site (Pz7- amont) associé dans une moindre mesure à des impacts en Pz4** dont le panache pourrait provenir des anciennes installations voisines de l'AUG au nord de la voie ferrée (hors site) aujourd'hui démantelées et réhabilitées, ou des anciennes activités exercées en partie nord de la zone d'étude.
 - un impact des eaux en cyanures totaux et plus particulièrement en amont du site (Pz3) pouvant potentiellement provenir des installations de l'ancienne usine à gaz au nord de la voie ferrée (hors site) ;
 - un impact en **hydrocarbures totaux, HAP et CAV (dont benzène) en limite est du site (Pz2)** dont le panache pourrait provenir des installations voisines de l'AUG (ancienne cuve enterrée en limite est du site).
- L'existence d'une **zone impactée en hydrocarbures totaux, HAP et CAV (dont benzène) (sols, eaux souterraines et gaz issus des eaux souterraines) en limite est du site**. Au regard des teneurs relevées, les impacts identifiés peuvent engendrer des risques sanitaires pour les futurs usagers. Il convient de vérifier la compatibilité sanitaire du projet d'aménagement (sous-sol dans la nappe et présence de volatils) avec les concentrations résiduelles après travaux ;
- Une **zone au nord (sondages S11, S14 et T4, piézomètre Pz4 et piézair PzR3)** présentant également des impacts **en hydrocarbures et HAP dans les sols avec des teneurs supérieures aux seuils d'acceptation en ISDI** et en hydrocarbures totaux, HAP, et BTEX dans les eaux souterraines et gaz),
- Outre les impacts identifiés dans le milieu sol et de la présence de déchets (scories / mâchefers, coke...), il conviendra, dans le cadre des travaux d'aménagement, d'évacuer les terres en filière agréée en raison de dépassement des seuils ISDI (COT, fraction soluble, sulfates, antimoine et fluorures).

7.7.2. Incertitudes

La rencontre des dalles béton des anciennes installations de l'ancienne usine à gaz ayant entraîné des refus, l'existence d'impact sous ses infrastructures ne peut être exclue. Il en est de même au droit des bâtiments existants où aucun sondage n'a pu être réalisé.

Concernant les zones impactées en limite nord et en limite est, au regard de l'historique de la zone, il est possible que la pollution identifiée dans les sols (zone de battement de la nappe) et les eaux souterraines proviennent des anciennes cuves de goudron enterrées présentes au droit de l'actuelle gare routière à l'est et au nord de la voie ferrée et liées à l'exploitation de l'ancienne usine à gaz.

Concernant les eaux souterraines, un niveau d'eau a été ponctuellement observé au niveau de l'ouvrage SC1 à 2,3 m de profondeur (soit 2 m au-dessus des autres ouvrages en moyenne) sans explication évidente à ce stade.

En raison des diverses évolutions du projet d'aménagement après la réalisation des investigations (augmentation des hauteurs des 2 niveaux de sous-sols puis 1 seul niveau de sous-sol de 3,80 m), aucune donnée sur le milieu sol n'est disponibles au-delà de 6,5 m/sol au droit des parcelles 154, 163 et 192.

8. Analyse des enjeux (schéma conceptuel)

L'analyse des enjeux permet de définir la nécessité ou non de mettre en œuvre un plan de gestion. Un plan de gestion adapté doit répondre de manière appropriée aux problèmes rencontrés sur le site. Lorsque la connaissance de la zone d'étude est suffisante, l'analyse des enjeux doit permettre de :

- S'assurer de l'adéquation des milieux dans le cadre d'un réaménagement planifié ;
- Identifier les actions proportionnées et adaptées aux situations rencontrées et analysées au travers des outils d'évaluation des risques ;
- Identifier les mesures de gestion telles que la surveillance ou des précautions d'usage (ex : servitudes).

L'analyse de ces enjeux se fait grâce :

- Aux données collectées lors de la caractérisation des milieux (pas de mesures particulières lorsque l'absence d'impact est prouvée par les investigations),
- Aux valeurs de référence existantes et applicables au contexte du site,
- Aux études visant à caractériser la compatibilité du site avec son usage (EQRS/ARR).

Chacun des enjeux identifiés préalablement est analysé ci-après.

L'étude du contexte du site ont permis de recenser les enjeux sur site et hors site. Ceux-ci sont résumés ci-après.

8.1. Rappel du projet d'aménagement sur site

Selon les informations fournies par MOTU 1, le projet d'aménagement Le projet concerne le développement d'environ 30 300 m² de surface de plancher multi-produits avec un socle commun de commerces et de services sur lequel s'élèvent à différentes hauteurs (entre R+2 et R+12 ponctuels) des logements, des résidences services et des bureaux. L'ensemble compte également un niveau de parkings enterré comptant environ 270 places de stationnement, dont une partie disposant de bornes pour des voitures électriques.

Il est à noter que les bâtiments en raison de la construction d'un niveau de sous-sol de 3,80 m de hauteur et notamment les fondations seront implantés dans la zone de battement de nappe voir dans la nappe (nappe entre 4 et 4,5 m/sol), **des mesures de gestion des eaux seront à prendre en compte dans la conception des bâtiments (cuvelage) et lors des travaux de construction (traitement des eaux avant rejet)**. Cette nappe s'écoule vers l'est sud-est et présente un **impact en hydrocarbures totaux, HAP et benzène**. Au vu des concentrations (notamment benzène), il ne peut être exclu à ce stade qu'un pompage des eaux puisse attirer des phases de produit pur lors des travaux, en provenance des parties Nord et Est du site (anciennes cuves de goudron ayant pu impacter les sols et la nappe, source de pollution hors site).

Selon les informations transmises par le cabinet d'architectes, les terrains au droit du jardin en pleine terre feront l'objet d'un décaissement sur 1 m d'épaisseur et seront remblayées par des terres saines.

8.2. Schéma conceptuel

8.2.1. Pollution

Les investigations ont mis en évidence des pollutions telles que :

- HCT, HAP, CAV dans les sols en limite est du site ;
- Métaux lourds et cyanures totaux répartis de manière diffuse dans les sols ;
- HCT, HAP, CAV (dont benzène) dans les eaux souterraines au nord-ouest du site et en limite est ;
- HCT, COHV, CAV (dont benzène) dans les gaz issus des eaux souterraines au nord du site et en limite est ;
- Hydrocarbures et traces de COHV dans les gaz du sol.

Les pollutions identifiées en limite Nord-ouest et Est (sols et eaux souterraines), correspondant à des « spot » de pollution au vu de leurs emprises et origine, doivent être purgées quel que soit le projet. L'origine de ce spot de pollution pourrait provenir des anciennes installations existantes par le passé en dehors du site (Nord et Est), liées à l'ancienne usine à gaz (anciennes cuves de goudron vidangées et remblayées en limite de l'emprise projet à l'est et au nord des voies ferrées).

8.2.2. Vecteurs

La nappe souterraine située à faible profondeur (vers 4 à 4,5 m) est impactée (eau noire hydrocarbonnée) au droit de Pz2 et Pz7 et dans une moindre mesure en Pz4. Les piézomètres aval (Pz1 et Pz5) ne sont pas impactés. A noter un niveau d'eau différent observé ponctuellement sur l'ouvrage SC1 (sans explication évidente à ce stade).

8.2.3. Cibles

Au regard de l'aménagement envisagé, les cibles étudiées sont donc :

- les futurs résidents du site (adultes et enfants) ;
- les futurs salariés du site (commerces, bureaux, résidence seniors...),
- les usagers de l'auditorium.

8.3. Enjeux

Usage actuel :

Selon les études réalisées par ERG et BG, les pollutions en place n'engendrent pas de risques sanitaires pour les occupants et pour l'environnement.

Usage futur :

Le niveau de sous-sol conduira à excaver les sols pollués sur la tranche 0-5 m, et pomper/traiter les eaux souterraines lors de la phase travaux à minima.

Une contamination résiduelle persistera en dessous de 5 m (en zone saturée), et également dans la nappe au vu des teneurs identifiées à l'amont/latéral du site :

- Risque de migration par capillarité des hydrocarbures au droit des murs du futur bâtiment,
- Risque de dégazage des volatils vers les bâtiments,
- Risque d'émanation d'odeurs.

Une partie des contaminations se situe également au droit du futur jardin en pleine terre au cœur d'ilot :

- Risque d'émanation d'odeurs,
- Mise en place de restrictions d'usage (liées à la pollution résiduelle),
- Mise en place de mesures de gestion (liées à la pollution résiduelle).

8.4. Voies d'exposition potentielles retenues

La voie d'exposition étudiée est l'inhalation de substances volatiles présentes dans les sols les gaz du sol et les eaux souterraines au droit des espaces intérieurs et extérieurs.

Voies d'exposition potentielles	Pris en compte, ou non, dans l'étude	Commentaires
Ingestion de particules de sol	non	Les espaces extérieurs seront recouverts de matériaux artificiels tels que de l'asphalte, ou des terres d'apport saines (terre végétale).
Inhalation de poussières sur site	non	
Contact cutané avec les sols	non	
Inhalation de substances volatiles à partir des sols, des gaz du sol et des eaux souterraines	oui	Les mesures réalisées dans les gaz du sol permettent d'estimer de façon plus réaliste, d'une part, le dégazage des substances volatiles à partir des sols, et potentiellement des eaux souterraines, et d'autre part, l'exposition des usagers.
Ingestion d'eau souterraine contaminée par infiltration à travers les sols	non	Absence de puits au droit du site.
Contact direct ou indirect avec les eaux superficielles	non	Absence d'usage des eaux superficielles
Ingestion de végétaux autoproduits sur site	non	Absence de jardin potager ou arbre fruitier au droit du site.
Ingestion d'eau potable issue des réseaux souterrains	non	Implantation des réseaux souterrains dans des zones non impactées. Dans le cas contraire, les canalisations souterraines situées au droit des zones polluées devront circuler dans des remblais d'apport sains ou devront être de nature imperméable aux substances organiques (acier, fonte, matériau multicouches adapté).

Tableau 38 : Résumé des voies d'exposition

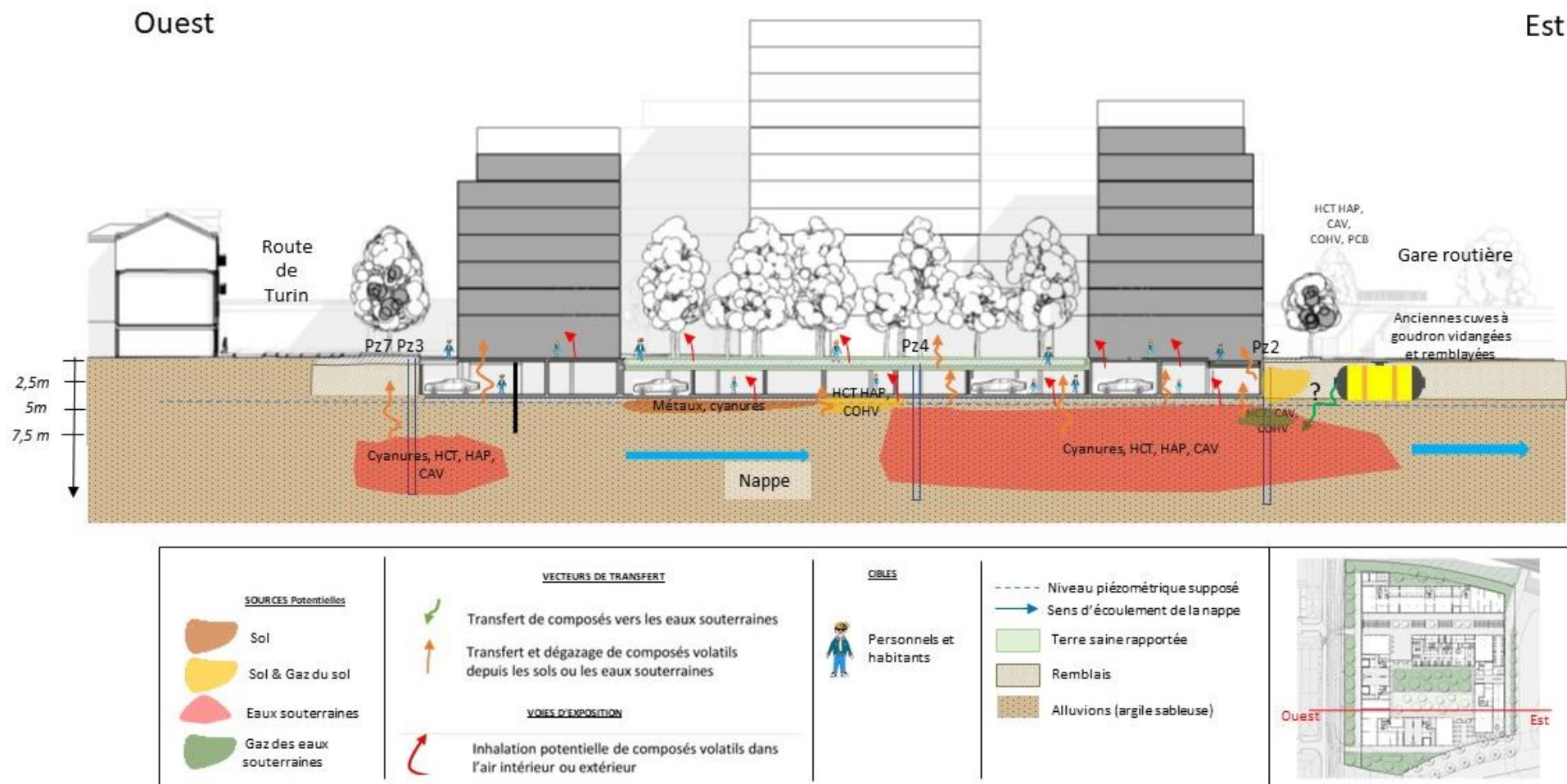


Figure 34 : Schéma conceptuel – usage futur

9. Evaluation de la compatibilité sanitaire

Une Analyse des Risques Résiduels a été réalisée dans le cadre de ce plan de gestion au regard du futur projet d'aménagement présenté ci-avant : **elle indique que les niveaux de risque sont supérieurs aux seuils de risque recommandés dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués (rédigée par le Ministère chargé de l'Environnement, avril 2017) ainsi qu'aux valeurs de gestion considérées.**

Les approches sanitaires relatives à la qualité de l'air intérieur du futur bâtiment montrent que les niveaux d'impact dans les eaux souterraines (composés organiques dont benzène) nécessitent la mise en œuvre de ces dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol.

Le rapport de l'évaluation des risques sanitaires est présenté en Annexe XI. Les conclusions sont rappelées ci-dessous :

Le niveau enterré et notamment les fondations étant en partie immergée dans les eaux souterraines ou à minima dans la zone de battement de nappe, il est donc prévu dans le projet la réalisation d'un cuvelage étanche à l'eau jusqu'au niveau des plus hautes eaux. Nous préconisons du fait de la présence de composés volatils dans les sols et eaux souterraines de compléter cette disposition à l'ensemble des niveaux enterrés, par une étanchéité à l'eau, aux vapeurs (au sens de la DTU 14.1) et aux éventuels produits purs (par exemple par recouvrement de l'ensemble de l'infrastructure avec une membrane en extrados). Les approches sanitaires relatives à la qualité de l'air intérieur du futur bâtiment montrent que les niveaux d'impact dans les eaux souterraines (composés organiques dont benzène) nécessitent la mise en œuvre de ces dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol. Ces mesures devront permettre d'atteindre les objectifs fonctionnels suivants :

- Empêcher la percolation de l'eau et des polluants au travers de l'infrastructure (cuvelage),
- Empêcher la migration des gaz au travers cette dernière,
- Préserver la durabilité structurelle de l'infrastructure,
- Être contrôlables pendant la mise en œuvre de cette disposition et pouvoir surveiller son efficacité pendant toute la durée de vie de l'ouvrage,
- Pouvoir mettre en œuvre une action corrective rapidement si un défaut était détecté lors des opérations de contrôle et de surveillance précitées.

Les solutions retenues à ce stade sont les suivantes :

1/ Cuvelage par complexe d'étanchéité (membranes...) et traitement de la dalle :

- Caractéristiques du radier béton et voiles périphériques traités (haute performance et fissuration limitée avec adjuvants hydrofuges par exemple) :
 - Bétons résistants aux composés volatils présents dans la nappe (benzène, naphtalène notamment)
 - Epaisseur : 20 cm
 - Porosité : 0,002
 - Fraction surfacique : 10^{-6}
- Mise en œuvre d'un cuvelage de protection eau et gaz (type F ou G d'après DTU14.1) en extrados du radier / voile présentant les caractéristiques minimales suivantes :
 - résistant aux composés volatils présents dans la nappe (benzène, naphtalène notamment)
 - rôle d'étanchéité vis-à-vis de l'eau mais aussi du produit et des gaz
 - Porosité : 0,165
 - Perméabilité à l'eau : 10^{-9}
 - Perméabilité à l'air : 10^{-14}

2/ Cuvelage et système de dépressurisation :

- Cuvelage (radier et voiles périphériques) étanche à l'eau, aux vapeurs au sens du DTU 14.1 et au produit pur, résistant aux composés présents dans l'eau
- Radier (pas de traitement spécifique : bétons résistants aux composés volatils présents dans la nappe) : Vide sanitaire sur coffrage perdu avec membrane de protection sous chape
- Voile : contre cloison + dépression (drainage des gaz)

La faisabilité de cette mesure de gestion devra être étudiée par le maître d'œuvre de conception de l'ouvrage. Une solution alternative permettant de répondre aux mêmes objectifs fonctionnels pourra être proposée.

10. Elaboration du plan de gestion

Le plan de gestion a pour objectif premier de maîtriser les sources de pollution et leurs impacts.

La maîtrise des sources est un aspect fondamental du plan de gestion car elle participe à la démarche globale de réduction des émissions de substances responsables des expositions chimiques.

Quand il sera démontré qu'il n'est pas possible de supprimer la totalité des sources dans des conditions acceptables, il s'agira de garantir que les impacts des émissions provenant des sources résiduelles (ou expositions résiduelles) sont acceptables.

Le processus du plan de gestion est généralement progressif, itératif, évolutif et interactif. Il n'est en aucun cas définitivement figé, il doit être élaboré, avec bon sens, sur la base du projet d'aménagement, dans une perspective de développement durable et de bilan environnemental global.

10.1. Principe général de gestion des pollutions

Sur la base des principes énoncés dans les circulaires ministérielles de février 2007 relatives à la gestion des sites pollués, le plan de gestion doit s'intéresser, dans tous les cas, à étudier les travaux de traitement envisageables pour les « sources de pollution concentrées » (flottants sur les eaux souterraines, terres imprégnées de produits, produits purs, ...) et les incompatibilités sanitaires.

Les mesures de gestion d'un site n'étant pas uniques, une synthèse des options possibles sur le site sera présentée dans un bilan coûts-avantages. Les mesures de gestion proposées se baseront sur les éléments suivants :

- Les caractéristiques physico-chimiques des substances et de l'environnement,
- La performance intrinsèque des techniques de traitement,
- Les mesures constructives passives ou actives,
- Les mesures de confinement,
- Une évaluation des risques sanitaires,
- Le plan de surveillance,
- Le bilan coûts-avantages.

Les scénarios de gestion sont alors évalués sur différents critères tels que leur faisabilité technique, leur mise en œuvre, leur impact environnemental, leur performance, et leur coût de mise en œuvre.

Le bilan coûts-avantages doit fournir des éléments factuels de comparaison de chacune des solutions pertinentes. La justification des choix des techniques et la définition des mesures de gestion s'appuieront sur des critères explicites, argumentés et transparents.

10.2.Détermination des pollutions concentrées dans les sols

Sur la base des principes énoncés dans les circulaires ministérielles d'avril 2017 relatives à la gestion des sites pollués, le plan de gestion doit s'intéresser, dans tous les cas, à étudier les travaux de traitement envisageables pour les « sources de pollution concentrée ». La notion de « pollution concentrée » dépend de la qualité générale du site.

La définition des « sources de pollution concentrée » et de l'emprise des « sols contaminés » a été réalisée au droit du site en utilisant le guide de l'UPDS17 portant sur les travaux du GT Pollution Concentrée paru en Décembre 2014, et notamment en croisant les résultats de minimum deux méthodes de détermination des pollutions concentrées, soit :

- La méthode de détermination par analyse statistique ;
- La méthode de bilan massique ;
- La méthode de détermination par interprétation cartographique.

En l'absence de données sur le milieu sol au-delà de 6,5 m, la détermination des pollutions concentrées a été réalisée uniquement sur les tranches de 0 à 7 m.

10.2.1. Méthode de détermination par analyse statistique

L'objectif de l'analyse statistique proposée est de caractériser la présence d'un éventuel bruit de fond et/ou de valeurs anormales significativement différentes dans la distribution des concentrations. Elle doit donc permettre de rechercher et distinguer les différentes populations de valeurs présentes et, de proposer un seuil de coupure pour la pollution concentrée, basé sur les différentes populations de valeurs qui auront pu être identifiées.

10.2.1.1. Analyse statistique simple des données

L'analyse statistique simple des résultats de l'ensemble des concentrations en HCT totaux mesurées dans les sols du site (totalité du site, investigations BG 2017 et Antea Group 2022&2023) indique les éléments suivants :

- La moyenne est égale à 176 mg/kg ;
- La médiane est égale à 20 mg/kg ;
- Une concentration maximale de 4 200 mg/kg ;
- 80 % des concentrations mesurées au droit du site sont inférieures ou égales à 130 mg/kg ;

7 La définition proposée par l'UPDS concernant la pollution concentrée est la suivante : « volume de milieu souterrain à traiter, délimité dans l'espace, au sein duquel les concentrations en une ou plusieurs substances sont significativement supérieures aux concentrations de ces mêmes substances à proximité immédiate de ce volume ».

Le guide indique que la définition des zones de pollution concentrée doit être réalisée à l'issue des investigations.

Les composés pris en compte dans ce traitement de données sont ceux pour lesquels il a été mis en évidence la présence d'enjeux sanitaires ou environnementaux et pour lesquels les données étaient disponibles en quantités suffisantes pour réaliser un traitement pertinent, à savoir, les COHV dans les gaz du sol.

- 90 % des concentrations mesurées au droit du site sont inférieures ou égales à 270 mg/kg ;
- 95 % des concentrations mesurées au droit du site sont inférieures ou égales à 500 mg/kg.

Les concentrations maximales mesurées pour les autres paramètres sont :

- BTEX : 35,20 mg/kg
- CAV : 47 mg/kg
- COHV : 0,11 mg/kg
- HAP : 659 mg/kg
- PCB : 0,23 mg/kg
- Cyanures totaux : 150 mg/kg

A noter que les valeurs en hydrocarbures totaux, BTEX et HAP dépassent les seuils de référence ISDI.

10.2.1.2. Analyse des fréquences cumulées

D'après le graphique ci-après, les seuils de ruptures qui se dégagent pour les HCT C10-C40 sont :

- 26,4,9 mg/kg ;
- 201 mg/kg ;
- 500 mg/kg.

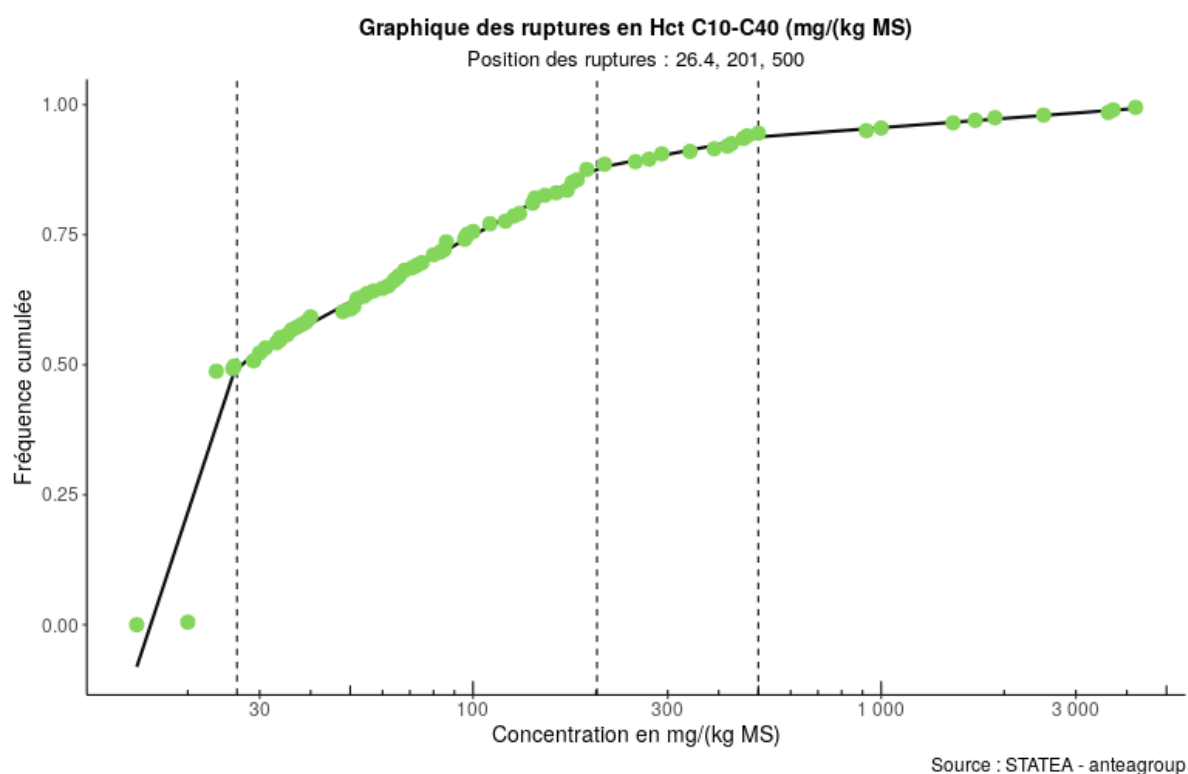


Figure 35 : Fréquence cumulée des concentrations en HCT dans les sols

D'après le graphique ci-après, les seuils de ruptures qui se dégagent pour les HAP sont :

- 3,6 mg/kg ;
- 13,8 mg/kg ;
- 59,2 mg/kg.

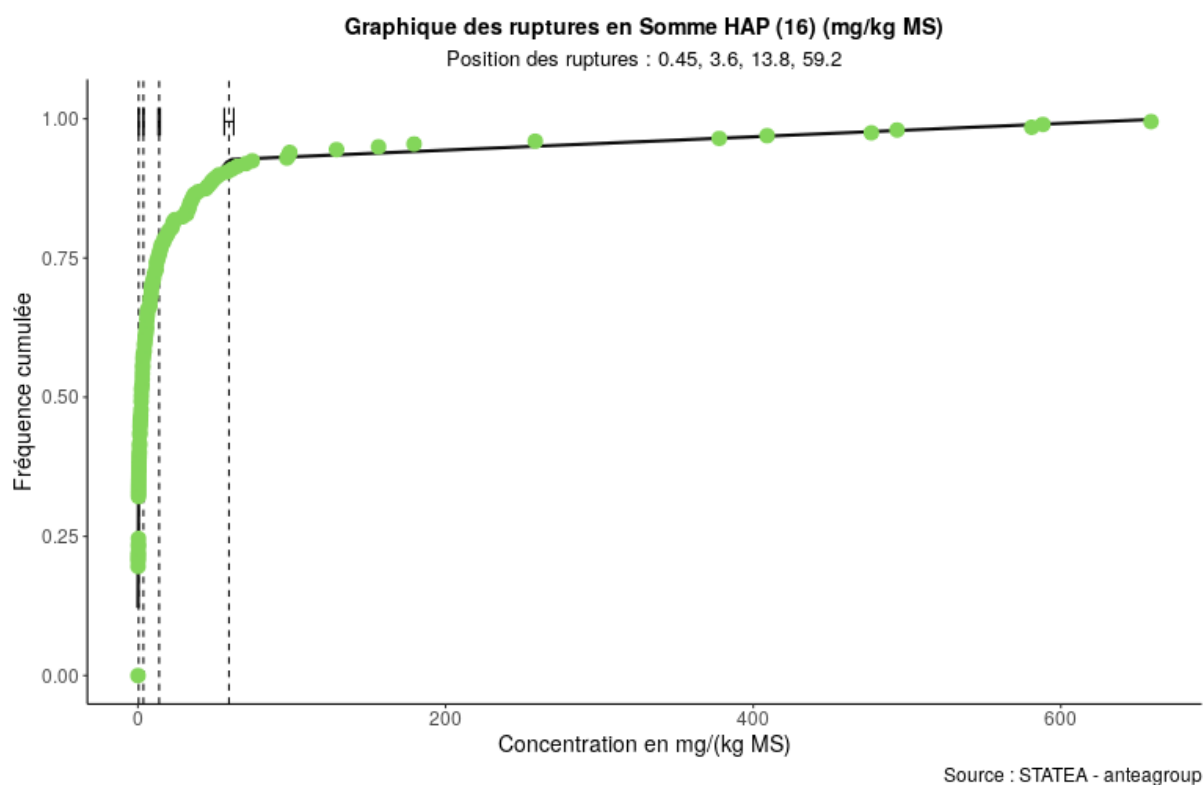


Figure 36 : Fréquence cumulée des concentrations en HAP dans les sols

10.2.1.3. Répartition et distribution des concentrations

Hydrocarbures C10C40 :

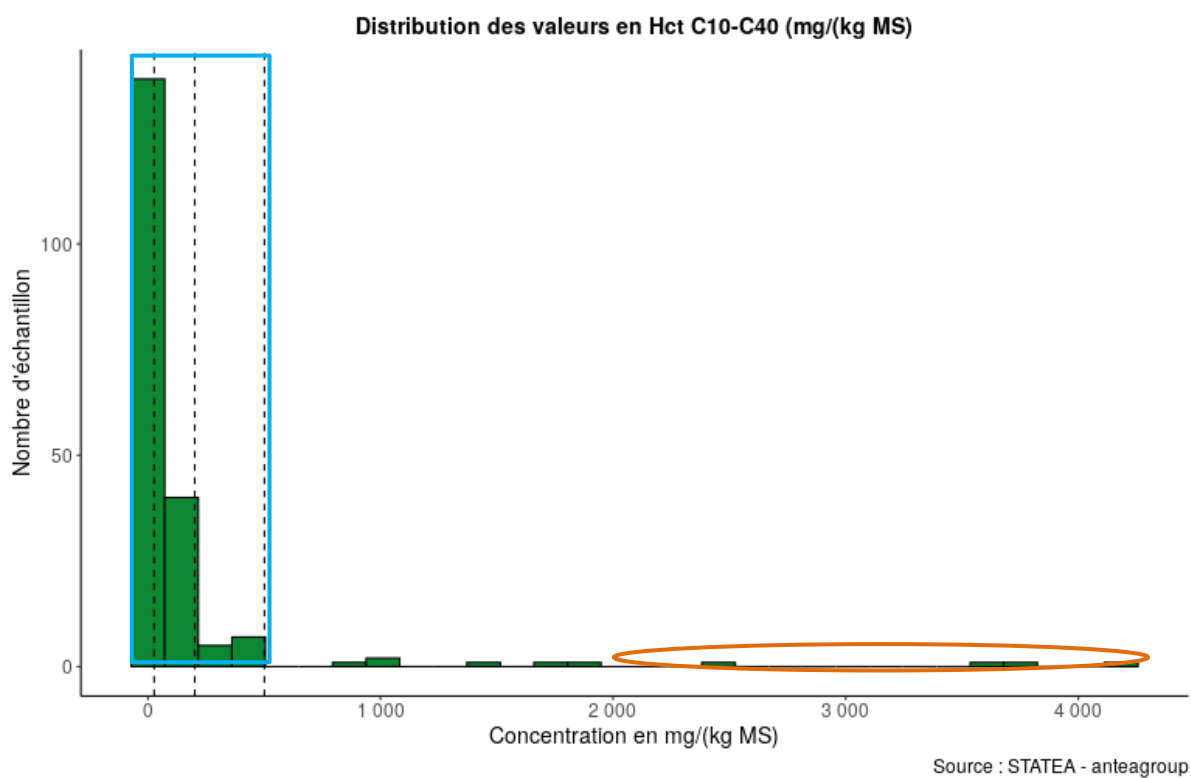
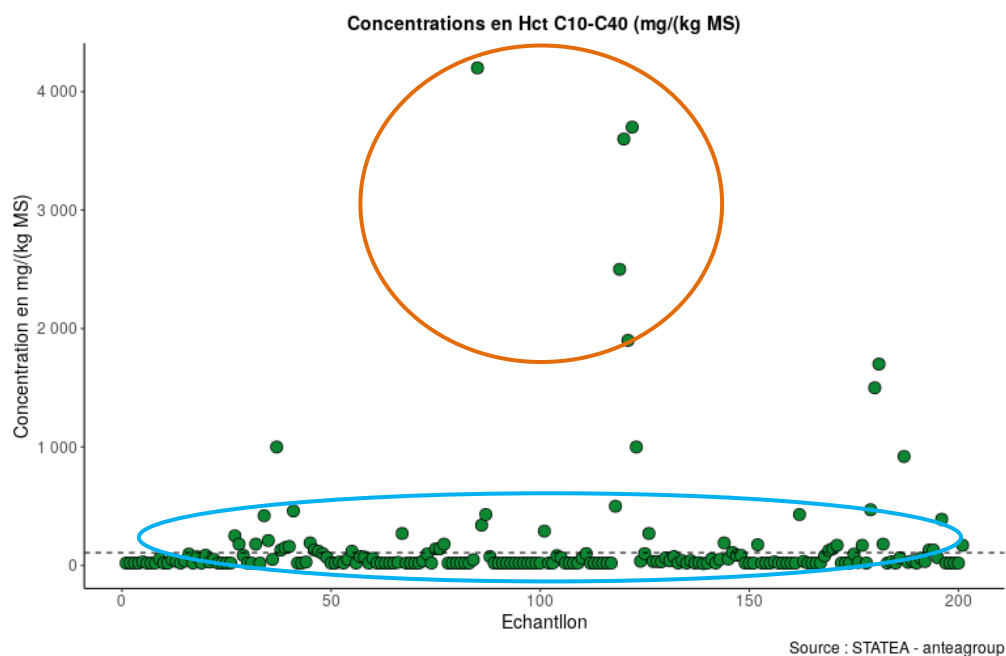


Figure 37 : Répartition et distribution des concentrations en HCT dans les sols

Les figures ci-avant font apparaître un pool d'échantillons entre 0 et 500 mg/kg, qui seraient assimilable au bruit de fond, et des points éparses au-delà de 2 000 mg/kg centrés au droit des sondages T4, S24 et S25, caractérisant un **spot de pollution**.

Sur la base de cette analyse statistique, **une valeur limite de définition de la pollution concentrée en hydrocarbures de type spot sur le site peut être proposée à 2 000 mg/kg en hydrocarbures C10-C40 dans les sols**. La population entre 500 - 2000 mg/kg représenterait la pollution diffuse et résiduelle (puisque cette population restant potentiellement en place est supérieure au bruit de fond) et la population 0 - 500 mg/kg le bruit de fond.

HAP :

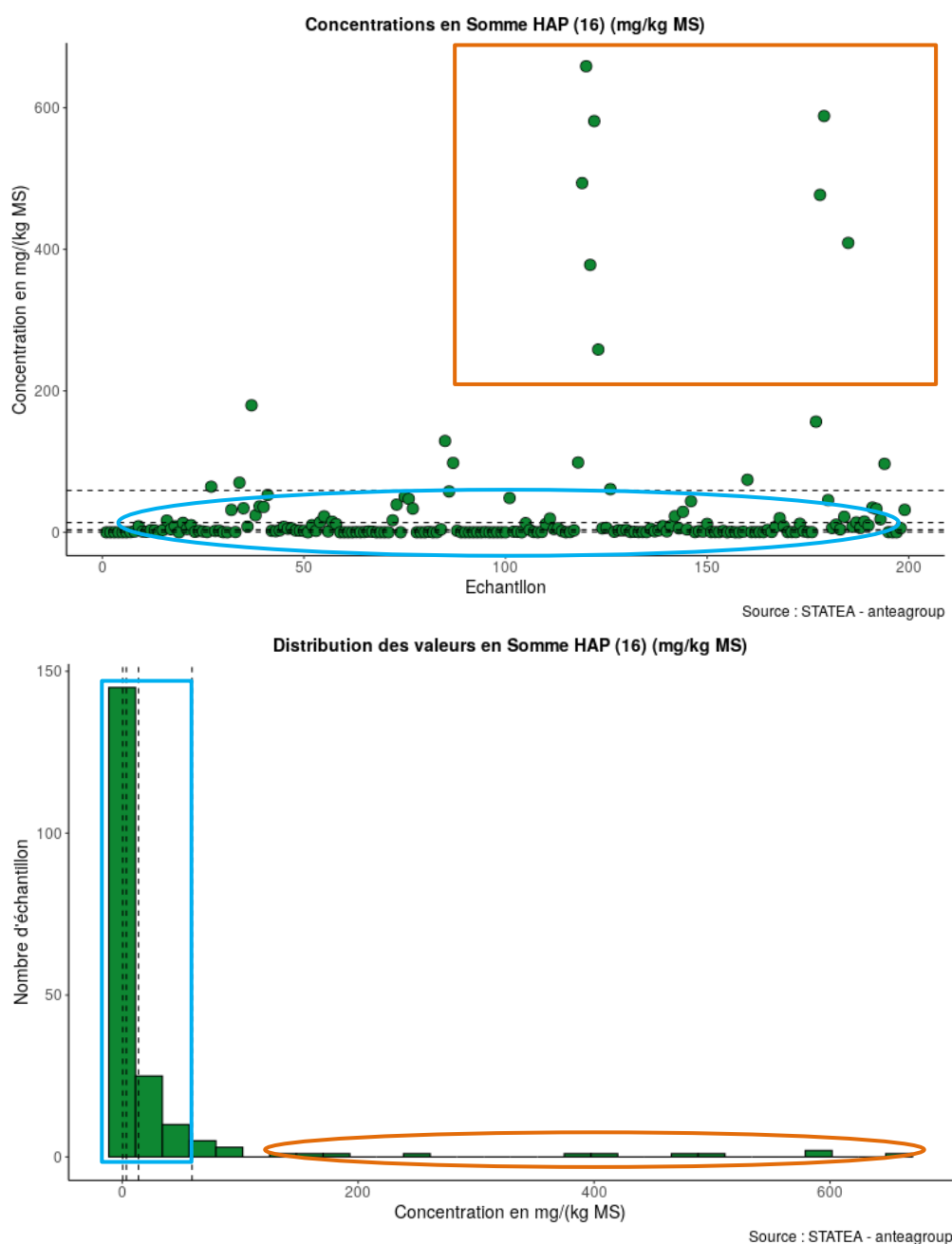


Figure 38 : Répartition et distribution des concentrations en HAP dans les sols

Les figures ci-avant font apparaître un pool d'échantillons entre 0 et 50 mg/kg de HAP, qui seraient assimilable au bruit de fond, et des points éparses au-delà de 200 mg/kg centrés principalement au droit des sondages T4, S24 et 25, caractérisant une pollution de type spot.

Sur la base de cette analyse statistique et en appliquant le principe de précaution, **une valeur limite de définition de la pollution concentrée en HAP sur le site peut être proposée à 100 mg/kg en HAP dans les sols**. La population entre 50 et 100 mg/kg représenterait la pollution diffuse et résiduelle et la population 0 -50 mg/kg le bruit de fond.

10.2.1.4. Conclusion de l'analyse statistique

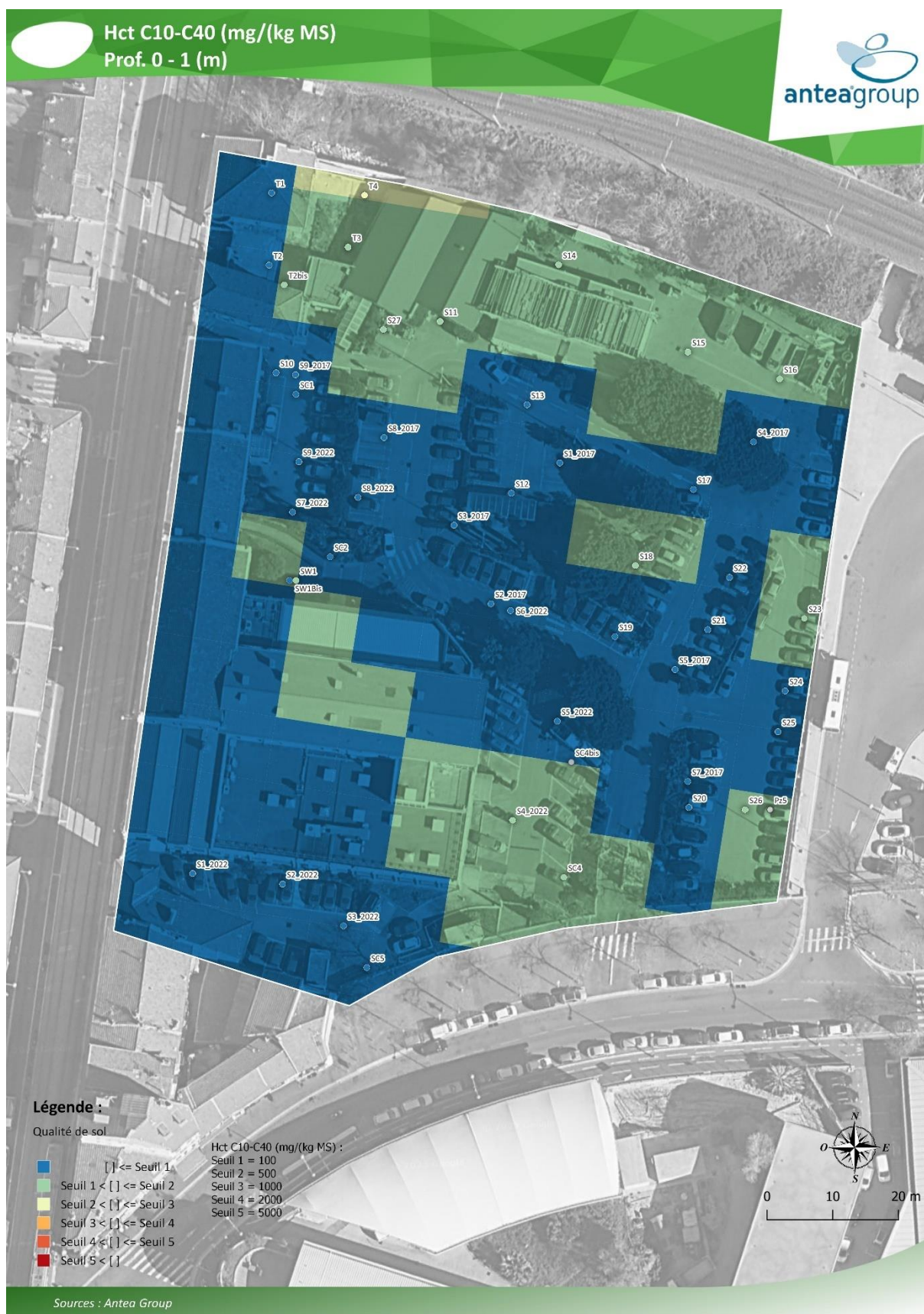
En raison des impacts limités relevés au regard du nombre important d'analyses réalisées (pollution de type « spot »), Antea Group propose de retenir un seuil de coupure pour les Hydrocarbures HCT C10 C40 dans les sols égal à 2 000 mg/kg et en HAP dans les sols égal à 100 mg/kg.

10.2.2. Méthode de détermination par interprétation cartographique

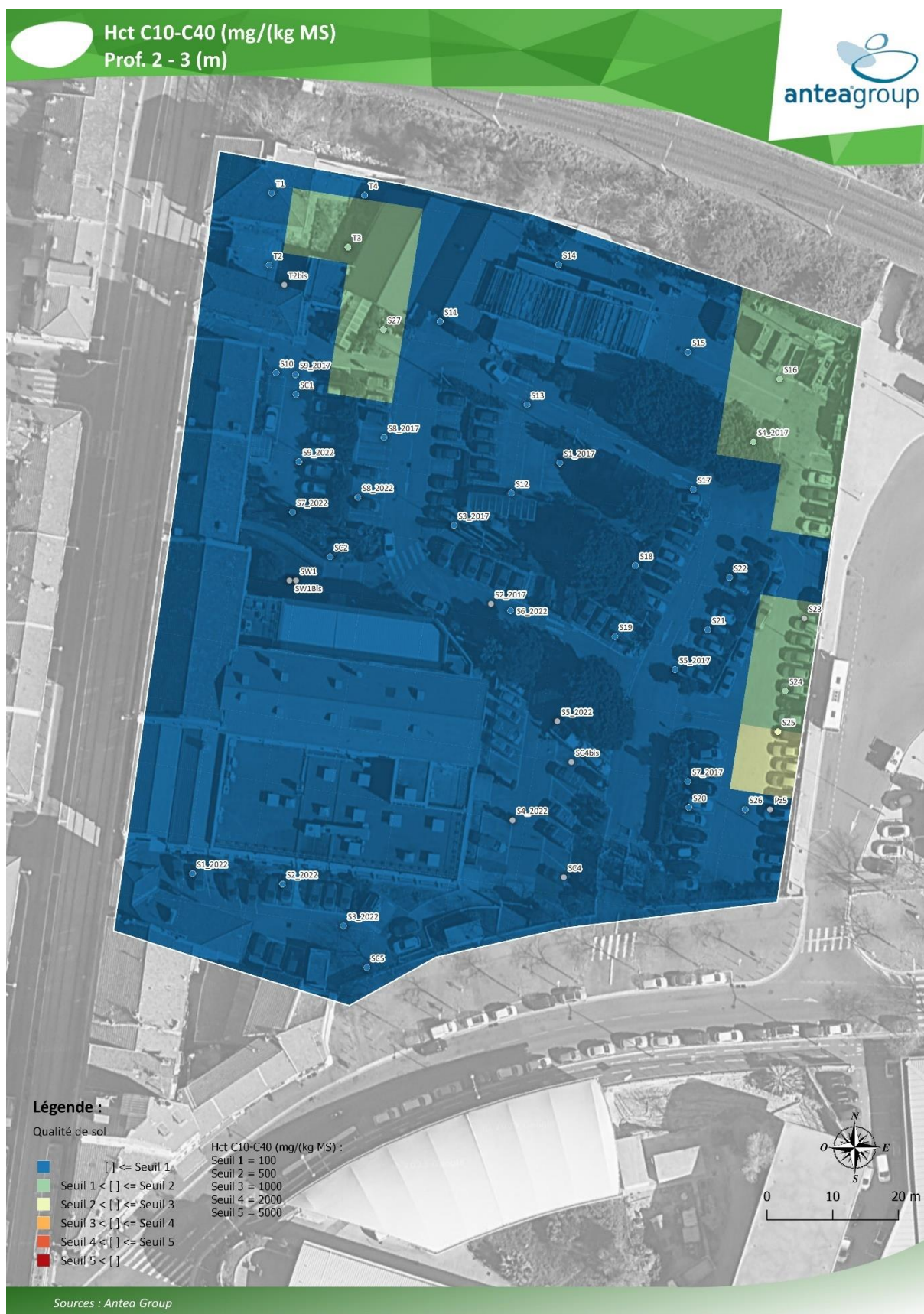
Des cartographies des concentrations ont été réalisées par la méthode d'interpolation des « les plus proches voisins » pour chaque tranche métrique de sol (absence de données au-delà de 6,5 m).

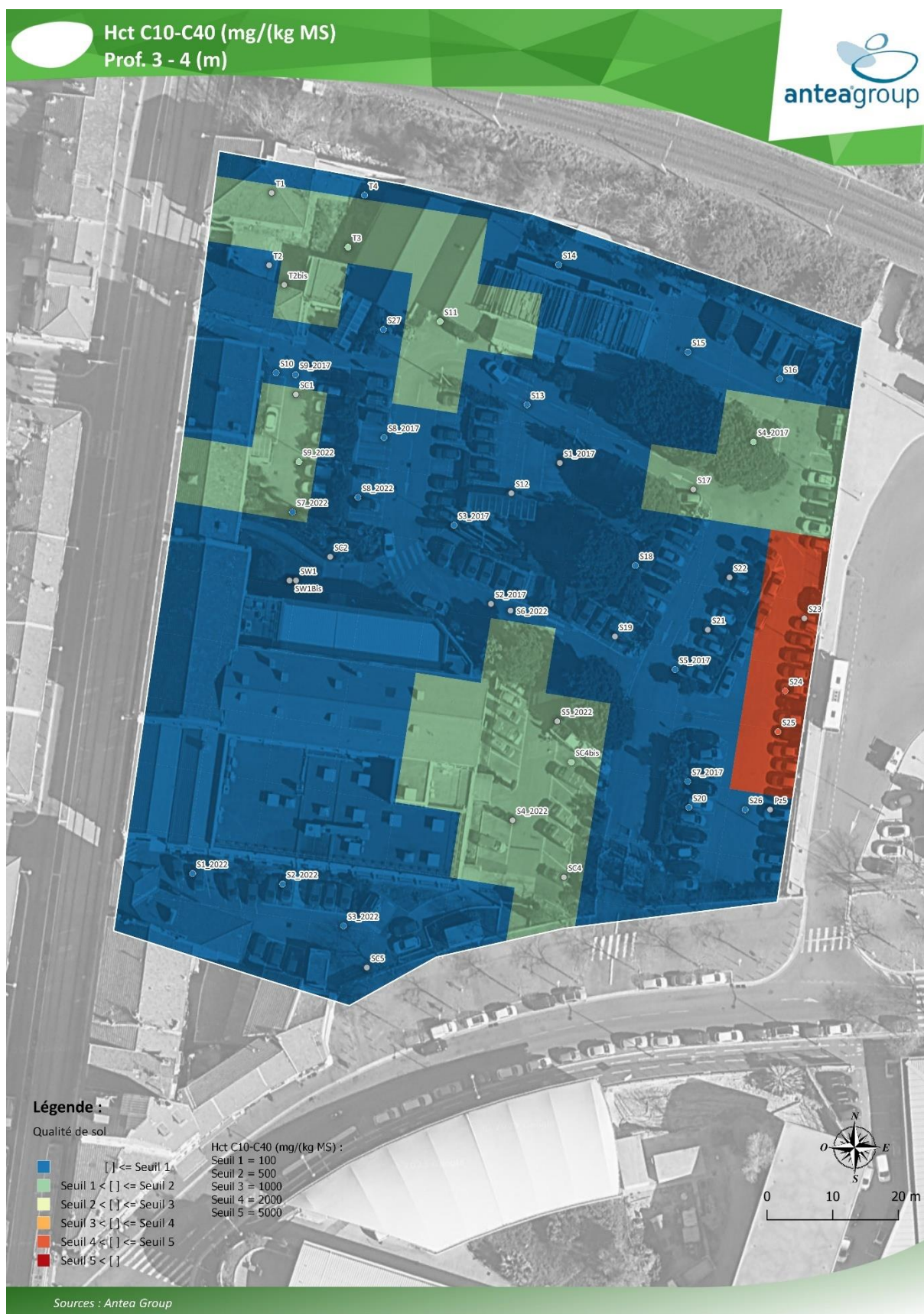
Les interpolations montrent :

- Tranche 0-1 m : un spot isolé en HAP au centre ouest du site (SW1), il conviendra de lever les incertitudes par la réalisation de sondages au droit des bâtiments, une fois ceux-ci démolis.
- Tranche 0-3 m : spots de pollution en HAP et dans une moindre mesure en hydrocarbures totaux au nord et en limite est du site, extension spatiale mal maîtrisée pour l'impact au nord du site en raison de l'absence de données au droit des bâtiments et de l'absence de données au droit de la parcelle au nord-ouest de l'emprise projet.
- Tranche 3-6,5 m : Des spots isolés en HAP au nord du site et en hydrocarbures totaux et HAP en limite est du site.









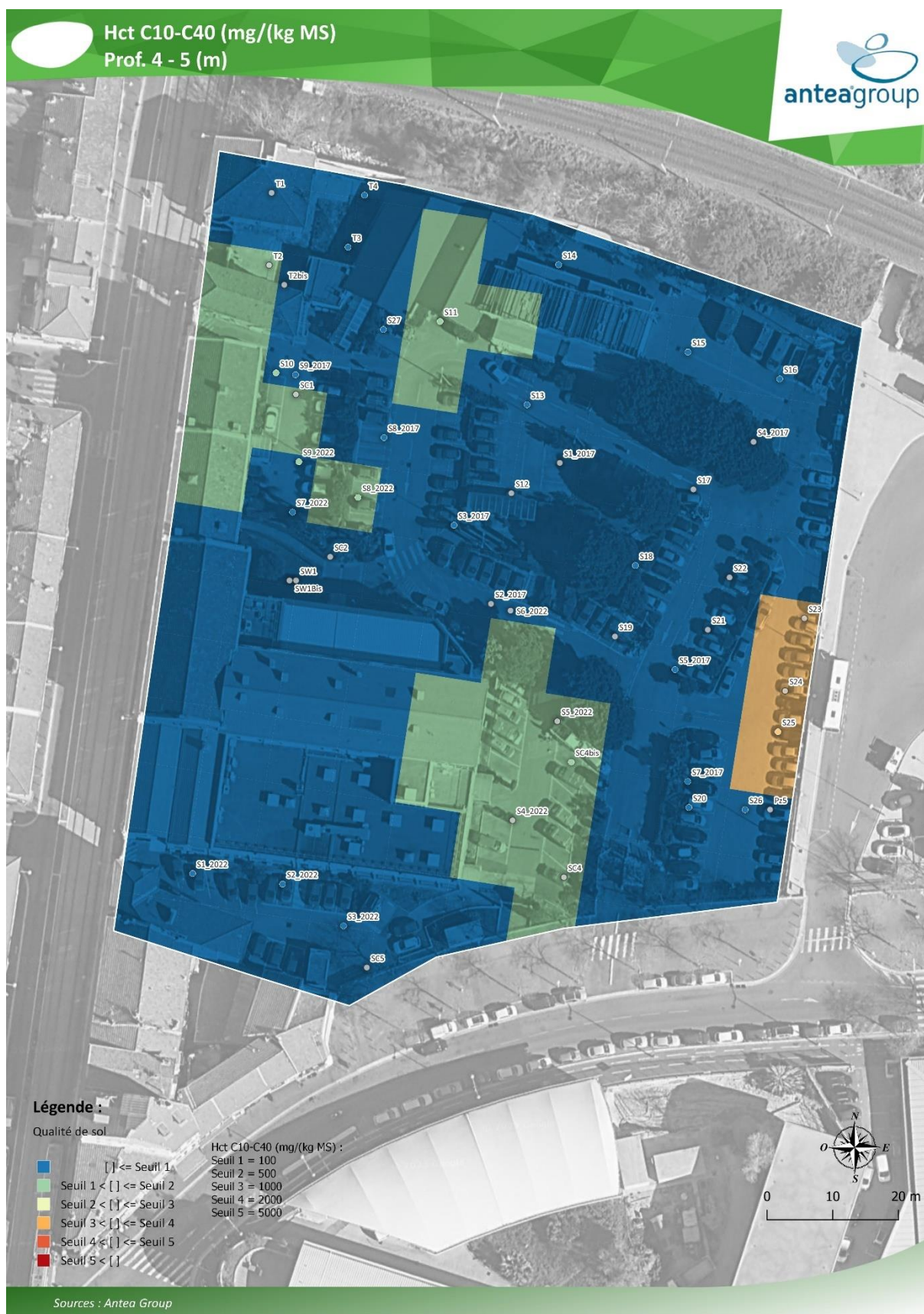






Figure 39 : Modélisations de l'impact en HCT dans les sols (données 2017, 2022 et 2023)







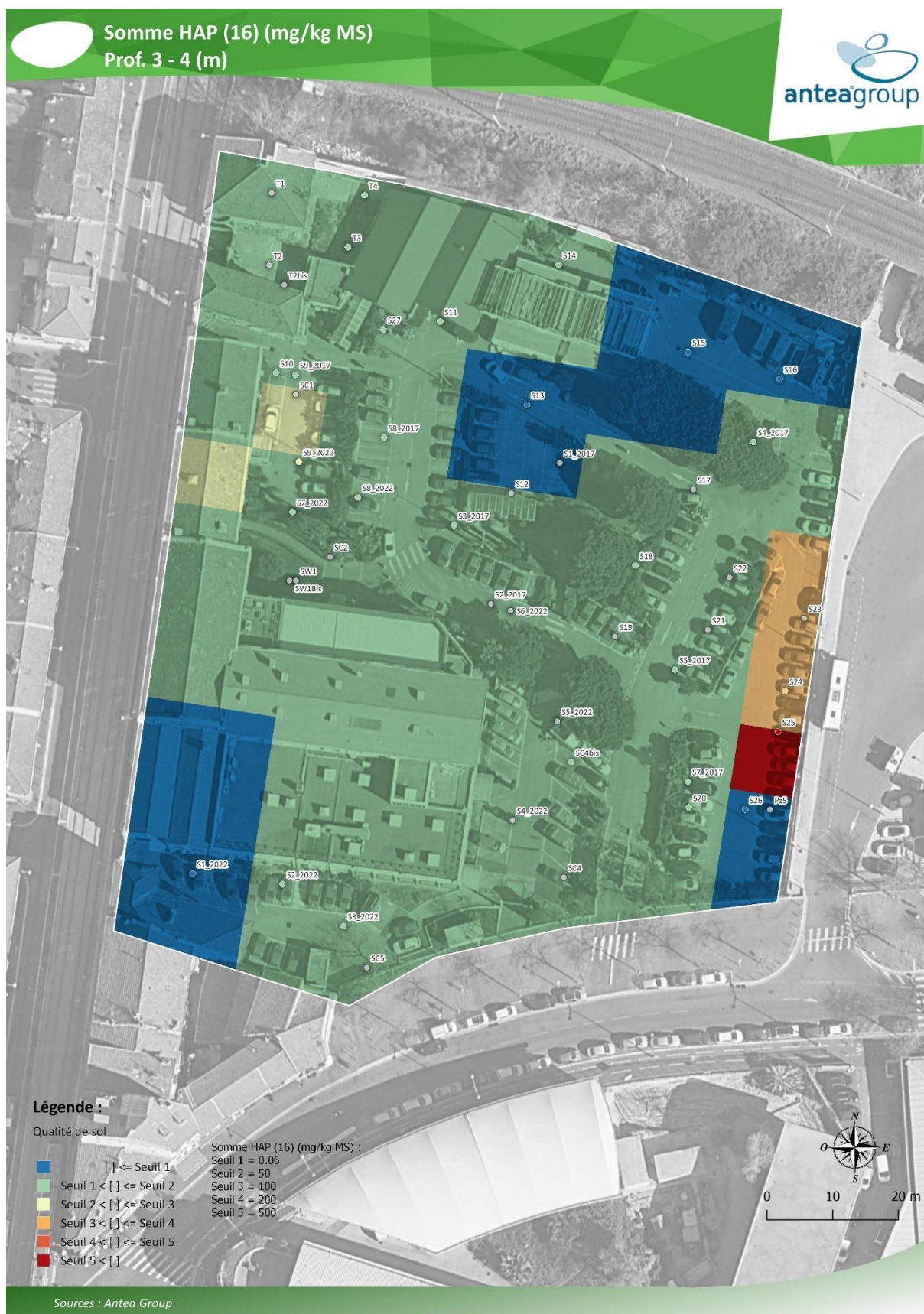








Figure 40 : Modélisations de l'impact en HAP dans les sols (données 2017, 2022 et 2023)

Ces modélisations font ressortir des incertitudes sur l'extension à l'est et au nord du site en raison de l'absence de données liées à la présence de bâtiments (magasins et maison au nord, absence de sondages) ou de données analytiques en profondeur du fait des nombreux refus rencontrés lors de la réalisation des sondages (rencontre des dalles bétons des anciens gazomètres).

Les volumes estimés pour le calcul des coûts présentés ci-après sont issues de ces modélisations et de leur interpolation.

10.2.3. Bilan massique

Il s'agit de déterminer un seuil de coupure (ou objectif de dépollution) « théorique », au-dessus duquel il serait intrinsèquement intéressant de traiter ces sols afin de retirer le maximum de la masse de polluant, tout en ne traitant qu'un volume de sol limité.

Ce seuil de coupure théorique ne tient donc pas compte, à ce stade, des autres dimensions essentielles d'un projet de dépollution, que sont (notamment) :

- Le volet sanitaire ;
- La mobilité des polluants ;
- Les techniques de dépollution disponibles ;
- Les usages du site et les aménagements actuels ou futurs ;
- Les objectifs de qualité des milieux, et ;
- Les aspects financiers.

La prise en compte de ces aspects complémentaires doit être réalisée dans un deuxième temps, dans le cadre du Plan de Gestion.

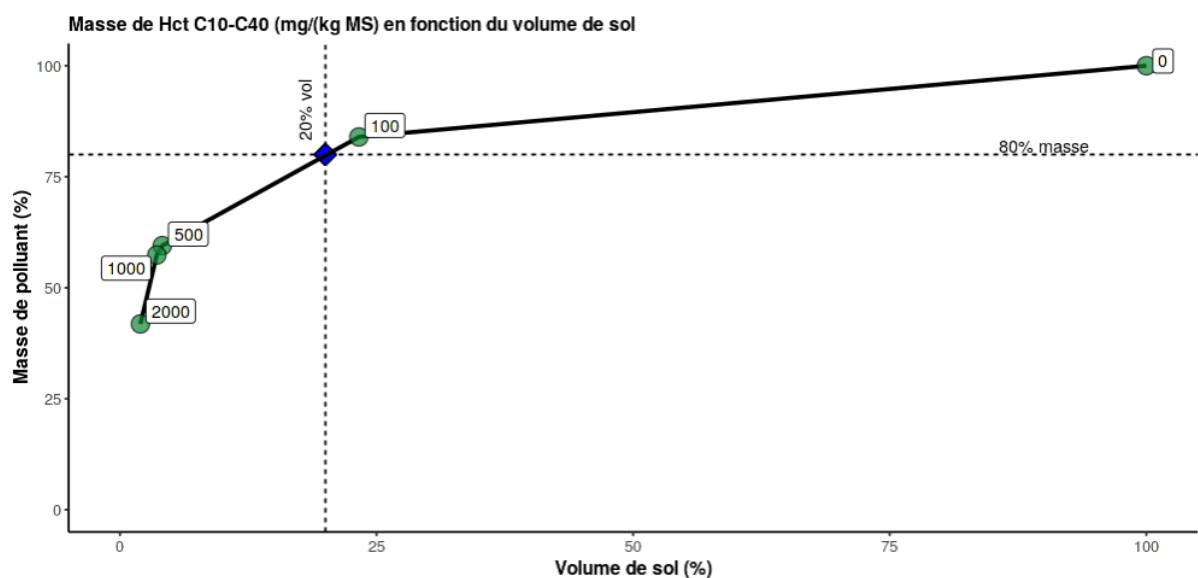


Figure 41 : Bilan massique – Hct C10-C40

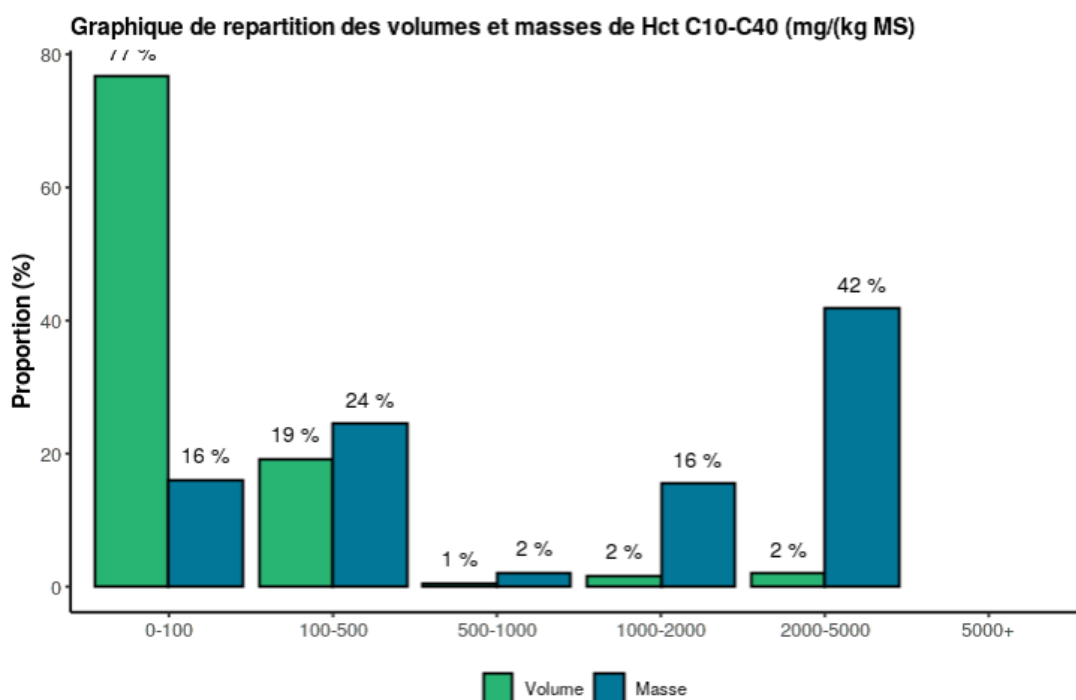


Figure 42 : Répartitions des masses et volumes en Hct C10-C40

La figure montre que fixer un seuil de coupure théorique en hydrocarbures totaux à :

- **2 000 mg/kg, permet de traiter environ 42 % de la masse totale de polluant en ne traitant que 2 % du volume total de sol ;**
- 1 000 mg/kg, permet de traiter environ 58 % de la masse totale de polluant en ne traitant que 4 % du volume total de sol ;
- 500 mg/kg, permet de traiter environ 60 % de la masse totale de polluant en traitant 5% du volume total de sol.

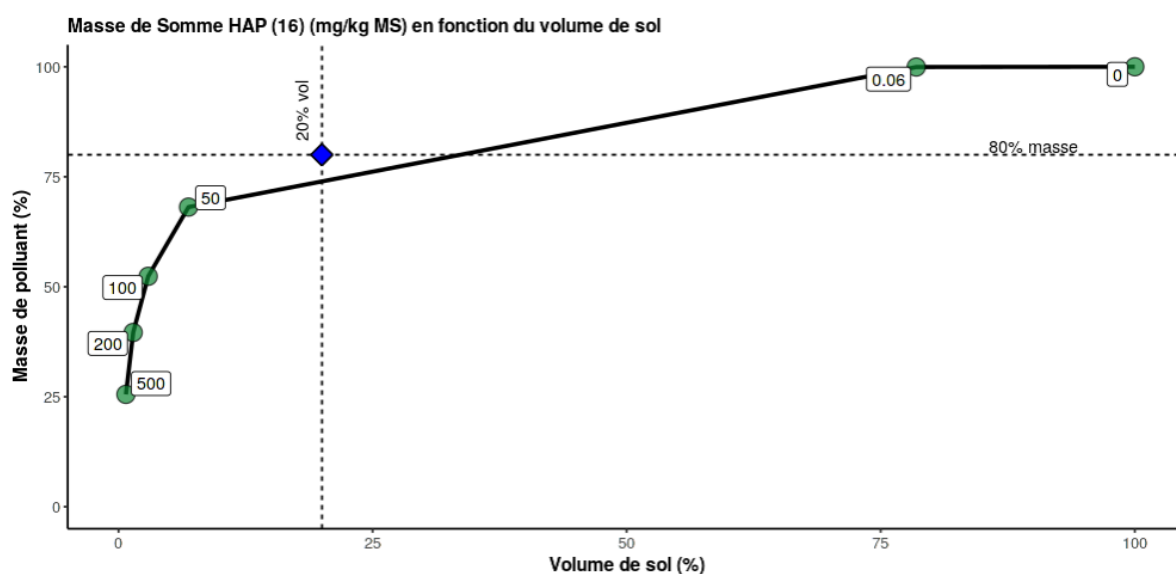


Figure 43 : Bilan massique -HAP

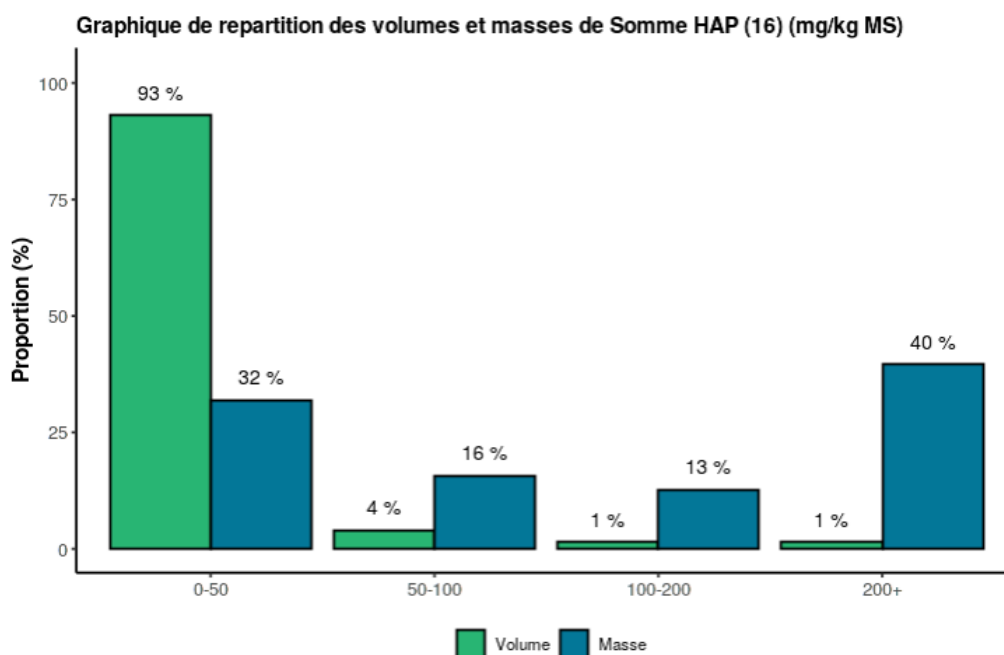


Figure 44 : Répartitions des masses et volumes en HAP

La figure montre que fixer un seuil de coupure théorique en hydrocarbures totaux à :

- 200 mg/kg, permet de traiter environ 40 % de la masse totale de polluant en ne traitant que 1,4 % du volume total de sol ;
- **100 mg/kg, permet de traiter environ 53 % de la masse totale de polluant en ne traitant que 2,8 % du volume total de sol ;**
- 50 mg/kg, permet de traiter environ 69 % de la masse totale de polluant en traitant 4 % du volume total de sol.

Ces éléments montrent que l'application du « principe de Pareto » classiquement recherché pour éliminer 60 à 80 % de la masse de polluant compris dans 20 à 30 % des sols du site n'est pas envisageable pour le site objet de l'étude. La pollution observée s'apparente ainsi d'avantage à la présence de « spots » de pollution.

10.3. Pollutions identifiées dans les eaux souterraines

Les mesures réalisées au niveau de la partie Nord du terrain ont mis en évidence la présence de composés volatiles (benzène, naphthalène notamment) en fortes concentration au niveau du dégazage des eaux souterraines, ainsi que dans les eaux souterraines.

Des incertitudes demeurent quant à l'origine de ces polluants (amont du site / sur site) compte-tenu des difficultés d'accès pour réaliser les investigations (bâtiments sur site).

Les approches sanitaires relatives à la qualité de l'air intérieur du futur bâtiment montrent que les niveaux d'impact dans les eaux souterraines (composés organiques dont benzène) nécessitent la mise en œuvre de ces dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol.

La faisabilité de cette mesure de gestion devra être étudiée par le maître d'œuvre de conception de l'ouvrage. Une solution alternative permettant de répondre aux mêmes objectifs fonctionnels pourra être proposée.

10.4.Scénarios du plan de gestion

Au vu des concentrations identifiées dans les eaux souterraines, des dispositions constructives seront intégrées aux scénarios étudiés. Ces dispositions sont détaillées au chapitre 12.

10.4.1. Scénarios étudiés

Parmi les volumes calculés, on distinguera ceux correspondant :

- au projet : volumes associés aux déblais excavés lors de la création du futur niveau de sous-sol,
- au traitement des spots d'hydrocarbures totaux et HAP localisés au nord et en limite est du site. Le calcul des volumes a été appréhendé en considérant les seuils de coupures en HCT C10 C40 et HAP suivant :
 - Hydrocarbures totaux C10-C40 > 2 000 mg/kg ;
 - HAP : > 100 mg/kg.

Les scénarii étudiés sont :

Scénario	Description
A	Gestion des spots de pollutions uniquement inclus dans la gestion des matériaux excavés dans le cadre du Projet* (soit environ 34 % du volume de la totalité des spots de pollution) Dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol/ des eaux souterraines.
B	Gestion de la totalité des spots de pollution et des matériaux excavés dans le cadre du projet Dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol/ des eaux souterraines.

**projet de l'aménagement envisagé selon les plans transmis dans le cadre de ce dossier (16/11/2023)*

Tableau 39 : scénarii de gestion étudiés

A noter que les volumes calculés sont des volumes en place interpolés/extrapolés par les cartographies et hors talutage.

10.4.2. Estimations des volumes contaminés

10.4.2.1. Estimations des volumes projet scénario A

Dans ce scénario (**Gestion des spots de pollutions uniquement inclus dans la gestion des matériaux excavés dans le cadre du Projet**), on distingue uniquement le volume de matériaux lié au décaissement du futur niveau de sous-sol enterré, soit 28 542 m³ réparti comme suit :

Niveau	Cote altimétrique (en m NGF)	Epaisseur à excaver (m)	Surface (m ²)	Volume à excaver (m ³)
Sous-sol -1 (hauteur de 3,80 m)	+ 17,50 (TN) à + 13,77	3,73	7 652	28 542
Total :				28 542 m³

Tableau 40 : Volume de terre à excaver – emprise sous-sol

Afin de prendre en compte la mise en œuvre des fondations, nous avons retenu un décaissement supplémentaire sous le niveau brut du sous-sol pour les fondations, soit un terrassement à 5 m de profondeur. Nous obtenons donc un volume global de terre à gérer dans le cadre du projet estimé à **38 260 m³** réparti comme suit :

- Volume matériaux inertes : 28 627 m³
- Volume matériaux non inertes : 9 633 m³

Le volume de matériaux non inertes issu du décaissement du niveau de sous-sol **et incluant notamment les spots de pollution** a été estimé par extrapolation de notre logiciel STATEA. Ce volume non inerte (9 633 m³) :

- Représente environ 25 % du volume à terrasser dans le cadre de la construction du niveau de sous-sol,
- Comprend environ 33% **du volume total des spots de pollution mis en évidence sur le site** (tranche 0-6m).

Estimations des volumes de spot de pollution du scénario A (selon données disponibles sur les sols – tranche 0-6 m) :

- Au droit du futur sous-sol, le volume de spot de pollution en hydrocarbures est estimé via les modélisations STATEA à 198 m³ pour un seuil de coupure en HCT > 2 000 mg/kg.
- Au droit du futur sous-sol, le volume de spot de pollution en HAP est estimé via les modélisations à 660 m³ pour un seuil de coupure HAP > 100 mg/kg.

A noter que l'étude de la répartition des spots indique que les HAP sont les marqueurs de la pollution : le spot d'hydrocarbures est totalemtent inclus dans le spot de HAP. **Ainsi, le volume de spot de pollution hydrocarbures + HAP est de 660 m³.**

Les filières de gestion hors site susceptibles d'accueillir les terres non inertes et les volumes associées sont présentées ci-après sur la base des résultats d'analyse (les observations organoleptiques n'ont pas été intégrées dans cette répartition en première approche). Les détails de la répartition par tranche de sol des spots de pollution y ont également été intégrés :

	Profondeur (en m)	Catégories pressenties des terres à terrasser				
		Inerte (ISDI)	ISDI+*	ISDND ou biocentre*	ISDD*	Dont spot de pollution
		Volume en m ³ (en place, hors talutage)				
Niveau de sous-sol	0 - 1	6 009	1 155	256	232	232
	1 - 2	5 040	1 431	1 181	0	132
	2 - 3	4 584	2 352	716	0	-
	3 - 4	5 759	0	1 608	285	198
Fondations	4 - 5	7 235	0	132	285	98
	Sous total	28 627	4 938	3 893	802	660

*Sous réserve de la délivrance d'un CAP par les filières

Tableau 41 : Bilan des volumes estimés de terres et catégorie de gestion pressenties au droit des futurs sous-sol (2 niveaux)

Il est à noter :

- Que l'acceptation des matériaux en ISDI relève de l'installation de stockage ; d'autres critères que les analyses effectuées peuvent être pris en considération (aspect, odeur...), ainsi que des analyses complémentaires demandées, qui pourrait limiter l'acceptation des matériaux qui proviennent d'un site contaminé.
- Que des incertitudes demeurent sur les filières pressenties au droit des bâtiments existants en raison de l'absence de données analytiques.











Nom de l'échantillon	Paramètres déclassant	Filière de gestion pressentie	Nom de l'échantillon	Paramètres déclassant	Filière de gestion pressentie	Nom de l'échantillon	Paramètres déclassant	Filière de gestion pressentie
S1 0-1m	-	ISDI	S12 0-1m	Fluorures	ISDI+	S24 0-1m	-	ISDI
S1 1-2m	-	ISDI	S12 1-2m	-	ISDI	S24 1-2m	HAP	ISDND ou biocentre
S1 2-3m	Fluorures	ISDI+	S12 2-2,8m	Fluorures	ISDI+	S24 2-3m	HAP	ISDND ou biocentre
S1 3-4m	-	ISDI	S13 0-1m	-	ISDI	S24 3-4m	HAP	ISDND ou biocentre
S1 4-5m	-	ISDI	S13 1-2m	-	ISDI	S25 0-1m	-	ISDI
S1 5-6m	-	ISDI	S13 2-3m	-	-	S25 1-2m	-	ISDI
S2 0-1m	Cr	ISDI+	S13 3-4m	-	ISDI	S25 2-3m	HAP	ISDD
S2 1-2m	FS, sulfates	ISDND ou biocentre	S13 4-5m	-	-	S25 3-4m	HAP	ISDD
S2 2-3m	-	ISDI	S13 5-6m	-	ISDI	S25 4-5m	HAP	ISDD
S2 3-4m	-	ISDI	S14 0-1m	HCT HAP	ISDND ou biocentre	S25 5-6m	HAP	ISDD
S2 4-5m	-	ISDI	S14 1-2m	FS et sulfates	ISDND ou biocentre	S25 6-6,5m	HAP	ISDD
S3 0-1m	-	ISDI	S14 2-3m	FS et sulfates	ISDI+	S26 0-1m	HAP	ISDND ou biocentre
S3 1-2m	-	-	S14 3-4m	-	ISDI	S26 1-2m	-	ISDI
S3 2-3m	FS, sulfates	ISDND ou biocentre	S14 4-5m	-	ISDI	S26 2-3m	-	ISDI
S3 3-4m	FS, sulfates	ISDND ou biocentre	S14 5-6m	-	ISDI	S26 3-4m	-	ISDI
S3 4-5m	-	ISDI	S15 0-1m	-	ISDI	S26 4-5m	-	ISDI
S3 5-6m	-	ISDI	S15 1-2m	-	ISDI	S26 5-6m	-	ISDI
S4 0-1m	-	ISDI	S15 2-3m	-	ISDI	S27 0-1m	-	ISDI
S4 1-2m	HAP	ISDND ou biocentre	S15 3-4m	-	ISDI	S27 1-2m	-	ISDI
S5 0-1m	-	ISDI	S15 4-5m	-	ISDI	S27 2-3m	-	ISDI
S6 0-1m	-	ISDI	S15 5-6m	-	ISDI	S27 3-4m	-	ISDI
S6 1-2m	Fluorures	ISDI+	S16 0-1m	-	ISDI	S27 4-5m	-	ISDI
S6 2-2,7m	Fluorures	ISDI+	S16 1-2m	FS, sulfates	ISDI+	S27 5-6m	-	ISDI
S7 0-1m	-	ISDI	S16 2-3m	HAP, Sb	ISDND ou biocentre	SW1 0-1m	HAP	ISDND ou biocentre
S7 1-2m	-	ISDI	S16 3-4m	-	ISDI	SW1Bis 0-1m	-	ISDI
S7 2-3m	-	ISDI	S16 4-5m	-	ISDI	Pz5 5-6m	-	ISDI
S7 3-4m	-	ISDI	S16 5-6m	-	ISDI	Pz5 6-7m	-	ISDI
S7 4-5m	-	ISDI	S16 6-6,5m	-	-	Pz5 7-8m	-	ISDI
S7 5-5,5m	-	ISDI	S17 0-1m	-	ISDI	T1 : 0,2-1 m	-	ISDI
S8 0-1m	-	ISDI	S17 1-2m	-	ISDI	T1 : 1-2 m	-	ISDI
S8 1-3m	-	ISDI	S18 0-1m	-	ISDI	T1 : 2-3 m	-	ISDI
S8 3-4m	FS, sulfates	ISDND ou biocentre	S18 1-2 m	-	ISDI	T2 : 0-1 m	-	ISDI
S8 4-5m	-	ISDI	S18 2-3m	-	ISDI	T2 : 1-2 m	-	ISDI
S8 5-5,5m	-	ISDI	S18 3-4m	-	ISDI	T2 : 2-3 m	-	ISDI
S8 5,5-6m	-	ISDI	S18 4-5m	-	ISDI	T2bis : 0-1 m	Sb	ISDI+
S9 0-1m	-	ISDI	S18 5-6m	-	ISDI	T2bis : 1,2-2 m	Sb	ISDI+
S9 1-2m	-	ISDI	S19 0-1m	-	ISDI	T3 : 0-1 m	HAP	ISDND ou bio
S9 2-3m	-	ISDI	S19 1-2m	-	ISDI	T3 : 1-2 m	-	ISDI
S9 3-4m	HAP	ISDND ou biocentre	S19 2-3m	-	ISDI	T3 : 2-3 m	-	ISDI
S9 4-5m	-	ISDI	S20 0-1m	-	ISDI	T3 : 3-4 m	-	ISDI
S9 5-6m	Sb	ISDND ou biocentre	S20 1-2m	-	ISDI	T3 : 4-5 m	-	ISDI
S10 0-1m	-	ISDI	S20 2-3m	-	ISDI	T3 : 5-6 m	-	ISDI
S10 1-2m	Sb	ISDI+	S20 3-4m	-	ISDI	T4 : 0,2-1 m	HAP	ISDND ou bio
S10 2-3m	Sb	ISDI+	S20 4-5m	-	ISDI	T4 : 1-2 m	-	ISDI
S10 3-4m	-	ISDI	S20 5-6m	-	ISDI	T4 : 2-3 m	-	ISDI
S10 4-5m	-	ISDI	S21 0-1m	-	ISDI	T4 : 3-4 m	-	ISDI
S10 5-6m	-	ISDI	S21 1-2m	-	ISDI	T4 : 4-5 m	-	ISDI
S11 0-1m	-	ISDI	S22 0-1m	-	ISDI	T4 : 5-6 m	-	ISDI
S11 1-2m	HCT, HAP	ISDD	S22 1-2m	-	ISDI	T4 : 6-8 m	HAP, HCT	ISDD
S11 2-3m	-	ISDI	S23 0-1m	HAP	ISDND ou biocentre	T4 : 8-10 m	HAP, HCT	ISDD
S11 3-4m	-	ISDI						
S11 4-5m	HAP	ISDND ou biocentre						
S11 5-6m	-	ISDI						

Tableau 42 : Catégories de gestion des terres pressenties et paramètres déclassant par sondage

10.4.2.2. Estimations des volumes projet scénario B

Ce scénario consiste à gérer la **totalité des spots de pollution** (hydrocarbures et HAP), **ainsi que les matériaux excavés dans le cadre du projet** (sous-sol).

Le volume de matériaux lié au décaissement du futur niveau de sous-sol enterré et fondations, soit à **38 260 m³** réparti comme suit :

- Volume matériaux inertes : 28 627 m³
- Volume matériaux non inertes : 9 633 m³

Estimations des volumes de spot de pollution du scénario B (selon données disponibles sur les sols – tranche 0-6 m)

- le **volume de spot de pollution en hydrocarbures** est estimé via les modélisations STATEA à **765 m³** pour un seuil de coupure en HCT > 2 000 mg/kg.
- le **volume de spot de pollution en HAP** est estimé via les modélisations à **1 940 m³** pour un seuil de coupure HAP > 100 mg/kg.

A noter que l'étude de la répartition des spots indique que les HAP sont les marqueurs de la pollution : le spot d'hydrocarbures est totalement inclus dans le spot de HAP. **Ainsi, le volume de spot de pollution hydrocarbures + HAP est de 1 940 m³ entre 0 et 6 m de profondeur.**

On note que :

- la réalisation du sous-sol traite **un tiers de l'enlèvement des spots de pollution** estimée sur site (environ 34%) ;
- le seuil de coupure en HAP de 100 mg/kg permet également de **traiter la pollution en hydrocarbures à un seuil de coupure de 1000 mg/kg**. Le volume estimé en HAP (> 100 mg/kg) étant de 1 940 m³ contre 1 550 m³ de terres supérieures à 1 000 mg/kg en hydrocarbures totaux :

Profondeur (en m)	Seuils de coupure en Hct C10-C40 et HAP	
	HCT > 2000 mg/kg	HAP > 100 mg/kg
	Volume en m ³ (en place, hors talutage)	
0 - 1	-	392
1 - 2	-	400
2 - 3	-	96
3 - 4	379	380
4 - 5	-	286
5 - 6	386	386
Sous total 0-6 m	765	1 940
6 - 7	386	840
7 - 8	386	840
Sous total estimé	1923	3 620

NB : les tranches 4- 5, 5-6, 6-7 et 7-8 sont considérées comme étant en zone saturée.

Tableau 43 : Bilan des volumes estimés de pollution concentrée (scénarios B)

En considérant les données de la tranche 5-6 m et que les sols sous-jacents possèdent les mêmes qualités, ainsi que les données récoltées au droit de T4 au-delà de 6 m (fortes teneurs en HAP au-delà de 6 m), le volume de spot de pollution estimé atteint 3 620 m³ pour une prise en compte de la pollution jusqu'à 8 m de profondeur.

10.4.2.3. Synthèse des estimations de volumes des scénarios A et B

Le tableau suivant synthétise les volumes à prendre en considération suivant les deux scénarios étudiés :

Scénario	Description	Volumes impactés estimés (en m ³)
A	Gestion des spots de pollutions uniquement inclus dans la gestion des matériaux excavés dans le cadre du Projet (terrassement du sous-sol) Dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol/ des eaux souterraines.	Emprise du sous-sol : 9 633 m ³ non inertes dont 660 m³ de spot de pollution
B	Gestion de la totalité des spots de pollution et des matériaux excavés dans le cadre du projet (terrassement du sous-sol) Dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol/ des eaux souterraines.	Emprise du sous-sol : 9 633 m ³ non inertes dont 660 m³ de spot de pollution Spots de pollution au-delà de l'emprise du sous-sol : 2 960 m³

Tableau 44 : scénarios de gestion étudiés et volumes associés

10.5. Techniques de traitement applicables

Cette partie présente les techniques de traitement et les mesures de gestion applicables au site, ainsi que les avantages et inconvénients associés.

Compte-tenu du type de pollution observé et du projet d'aménagement, les mesures de gestion envisageables sur l'ensemble du site sont présentées dans les chapitres suivants.

10.5.1. Présélection des techniques

Les différentes techniques de dépollution peuvent être classées en fonction de la nature des procédés employés, à savoir :

- Les **procédés physiques** : le principe consiste à utiliser des fluides (eau ou gaz), présents dans le sol ou injectés, comme vecteur pour transporter la pollution vers des points d'extraction ou pour l'immobiliser ;
- Les **procédés biologiques** : ils consistent à utiliser des micro-organismes, le plus souvent des bactéries (mais aussi des champignons et des végétaux), pour favoriser la dégradation totale ou partielle des polluants. Certains bioprocédés permettent aussi de fixer ou de solubiliser certains polluants ;
- Les **procédés thermiques** : ils utilisent la chaleur pour détruire le polluant (ex : incinération, thermolyse), l'extraire (ex : désorption thermique), ou de le rendre inerte (ex : vitrification, ...)

- Les **procédés chimiques** : ils utilisent les propriétés chimiques des polluants pour, à l'aide de réactions appropriées, les inerte (précipitation, ...), les détruire (oxydation, réduction, ...) ou les séparer du milieu pollué (surfactants, ...).

Les techniques de dépollution peuvent aussi être classées en fonction du lieu de traitement :

- Traitements hors site (ou ex situ) : ils supposent l'excavation/extraction du milieu pollué (déchets, terre, eau) et son évacuation vers un centre de traitement approprié ;
- Traitements sur site (ou on site) : ils consistent à excaver les terres et à les traiter sur le site même ;
- Traitements in situ (ou en place) : ils correspondent à un traitement sans excavation, les sols est laissé en place. Il s'agit alors soit d'extraire le polluant seul, soit de le dégrader ou de le fixer dans le sol ;
- Confinement : il consiste à empêcher / limiter la migration des polluants.

D'une manière générale, les différentes techniques de réhabilitation, pour des contaminations de type organiques, sont présentées dans le tableau ci-après.

Réhabilitation potentielle	Milieu concerné	COV	Hydrocarbures halogénés	Hydrocarbures non halogénés	HAP	PCB	Dioxines et furannes	Pesticides et herbicides
Confinement								
Confinement – couverture	S	+	+	+	+	+	+	+
Confinement hydraulique	W	+	+	+	+	+	+	+
Confinement vertical	S, W	+	+	+	+	+	+	+
Excavation et enfouissement	S	+	+	+	+	+	+	+
Procédés biologiques								
Atténuation naturelle	W	+	+	+	+	-	-	+
Biotertre	S	+	-	+	+	-	-	+
Bioventing	S	+	+	+	+	-	-	-
Biosparging	S, W	+	+	+	+	-	-	+
Landfarming	S	+	-	+	+	-	-	+
Traitement sous forme de boue	S	+	+	+	+	-	?	+
Andain	S	+	-	+	+	-	-	+
Procédés chimiques								
Oxydation chimique	S, W	+	+	+	+	-	-	+
Déhalogénéation chimique	S	+	+	-	-	+	+	-
Lavage chimique	S	+	+	+	+	-	-	-
Extraction par solvants	S	+	+	+	+	+	+	+
Amendements en surface	S	-	-	-	-	-	-	-
Procédés physiques								
Extraction multiphase	S, W	+	+	+	-	-	-	-
Air sparging	W	+	+	+	-	-	-	-
Venting	S	+	+	+	-	-	-	-
Barrière perméable réactive	W	+	+	+	+	+	+	+
Lavage	S	-	+	+	+	+	-	+
Procédés de solidification et de stabilisation								
Liants hydrauliques (ciment...)	S	-	-	?	+	+	+	?
Vitrification	S	+	+	+	+	+	+	+
Procédés thermiques								
Incineration	S	+	+	+	+	+	+	+
Désorption thermique	S	+	+	+	+	+	-	+

+ : envisageable ; - : non envisageable ; S : zone non saturée et sédiments ; W : zone saturée et eaux superficielles

Tableau 45 : Matrice de possibilité de réhabilitation pour les polluants organiques (Source : Quelles techniques pour quels traitements – Analyse coûts-bénéfices, BRGM/RP - 58609 - FR, Juin 2010)

A noter que les techniques in-situ peuvent laisser de la pollution résiduelle :

- Dans la zone non saturée (pollution récalcitrante adsorbée – limite technique de la méthode),
- En provoquant des phénomènes de relargage/remobilisation vers la nappe.

Quelle que soit la technique in situ envisagée, la contamination résiduelle doit pouvoir être maîtrisée.

Au vu du projet d'aménagement envisagé (création d'un niveau de sous-sol impliquant des excavations de matériaux pour élimination hors site), seule la technique par traitement hors site ou sur site apparaît pertinente.

10.5.2. Filières envisageables et couts

Les filières pressenties à ce stade sont :

- Installations de stockage de déchets inertes dite ISDI pour les terres conformes à l'arrêté du 12/12/2014 et ne présentant pas d'indice organoleptique de pollution. A noter que l'acceptation des matériaux en ISDI relève de l'installation de stockage ; d'autres critères que les analyses effectuées peuvent être pris en considération (aspect, odeur...), ainsi que des analyses complémentaires demandées, qui pourrait limiter l'acceptation des matériaux qui proviennent d'un site contaminé.
- Installations de stockage de déchets Non inertes aménagée dite ISDI+ et bénéficiant d'une dérogation pour les seuils de certains paramètres, à savoir 3 fois les seuils ISDI sur éluat,
- Installations de stockage de déchets Non Dangereux dite ISDND ou Biocentre pour les terres présentant des concentrations supérieures aux seuils ISDI et ISDI+,
- Installations de stockage de déchets Dangereux dite ISDD pour les terres présentant des concentrations supérieures aux seuils ISDND ou Biocentre.

Les prix moyens pratiqués par les filières d'élimination et utilisés pour le chiffrage (hors TGAP) sont :

Filières	Cout moyen (transport + traitement) en € HT /t	Surcout moyen (transport + traitement) en € HT /t
ISDI	28 à 30	0
ISDI+	40 à 47	12 à 19
ISDND	90 (avec traitement physico) à 140 (hors TGAP*)	62 à 112
Biocentre	80 à 85	52 à 57
ISDD	175 à 185 (hors TGAP*)	147 à 157

*TGAP 2024 : ISDND 63 € HT/T ; ISDD : 28,44 € HT/T

Tableau 46 : Filières pressenties, coût et surcoût

Le surcout d'élimination représente le cout complémentaire (élimination et TGAP) des matériaux présentant des critères discriminants par rapport à une élimination en ISDI. Ce surcout inclut la mise en décharge et le transport mais n'inclut pas l'organisation du chantier et tout autre travaux (terrassment, chargement, tri, stockage temporaire, mise en sécurité, rabattement et traitement des eaux, remise en état, HSE, démarches administratives, frais généraux...).

Filières	Volume estimé (m3)	Tonnage estimé (t)	Coût moyen (transport + traitement) en € HT/T		Coût global (en € HT)	
			Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute
ISDI	28 627	51 529	28	30	1442801	1545858
ISDI+	4 938	8 888	40	47	355536	417754,8
ISDND ou biocentre	3 893	7 007	90	140 (hors TGAP*)	630 666	981 036
ISDD	802	1 444	175 (hors TGAP)	185 (hors TGAP)	252 630	267 066
Total	38 260	68 868			2 681 633	3 211 715

*TGAP 2024 : ISDND 63 € HT/T ; ISDD : 28,44 € HT/T

Tableau 47 : Estimation du coût global de gestion des terres à excaver

10.5.3. Traitement hors site par excavation et gestion des sols en filières

Cette technique correspond au scénario de **référence** car il permet d'agir au niveau de la source et de limiter la présence de contamination résiduelle.

Plusieurs méthodologies d'excavation sont possibles. L'excavation des zones polluées peut se faire préalablement aux terrassements de pleine masse des futures zones bâties ou peut se faire pendant ces terrassements. L'excavation des zones polluées peut se faire également en pleine masse de façon "classique" (avec un talutage) ou à l'aide d'un blindage coulissant facile à mettre en œuvre et permettant de terrasser une zone définie sans talutage. Il n'est pas prévu de détailler les différentes techniques de blindage.

Applicabilité sur le site

La problématique ici est de devoir réaliser des terrassements dans des sols potentiellement imprégnés en hydrocarbures en profondeur (> 3 m) et dans la zone de battement de la nappe (située vers 4 m).

La technique envisagée est un terrassement soit avec blindage de soutènement soit avec talutage qui va entraîner le décaissement des terres superficielles générant des déblais potentiellement non inertes (au sens ISDI) ou contaminés.

Au regard des composés et de leur concentration dans les sols, ces zones de pollution concentrées ne sont pas admissibles en ISDI (au regard des seuils fixés par l'arrêté ministériel du 12/12/2014). Les terrains excavés devront être évacués vers :

- les filières d'évacuation en installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND) ou plus logiquement un biocentre,
- En Installation de Stockage de Déchets Dangereux (ISDD).

10.5.4. Traitement sur site par biodégradation (biotertre)

Principe : Le biotertre sur site, technique éprouvée largement commercialisée et appliquée depuis de nombreuses années, consiste à mettre les sols pollués en tas en vue d'un traitement biologique. Pour ce faire, les sols pollués font généralement l'objet d'un amendement et les conditions physicochimique du tas sont contrôlées (aération, ajouts de nutriments...). Cette technique est couramment employée sur les sites présentant des hydrocarbures volatils à semi-volatils biodégradables.

La figure suivante présente le schéma de principe de la mesure de gestion par biotertre.

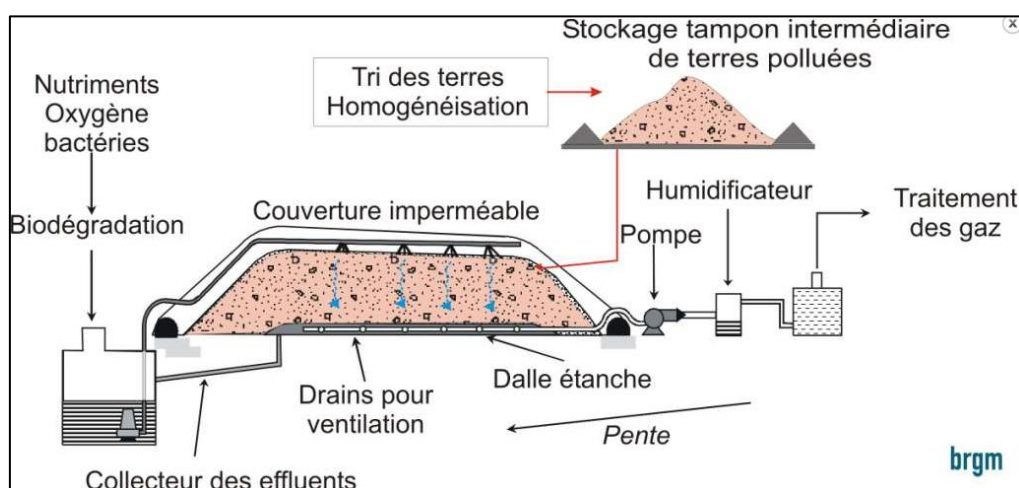


Figure 46 : Schéma de principe de fonctionnement d'un traitement par biotertre (source BRGM)

Un exemple d'installation est présenté ci-après.

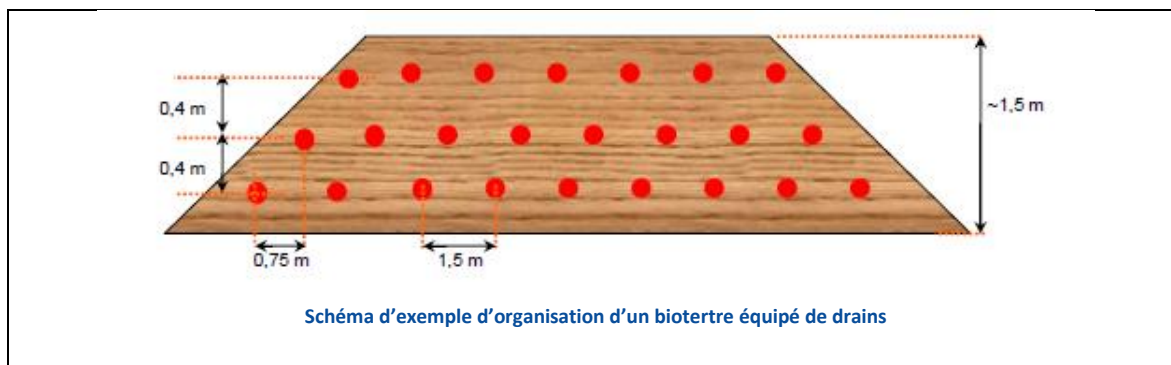


Schéma d'exemple d'organisation d'un biotertre équipé de drains

Applicabilité sur le site

Avantage : Technique permettant le traitement des sols sur site et adaptée au type de polluant mis en évidence au cours de ces études : impacts en HCT.

Les terres une fois traitées aux seuils de réhabilitation retenus sont réutilisables comme matériaux de remblaiement mais sous conditions sanitaires (définition de concentrations maximales admissibles).

Inconvénient : Technique dont la durée de mise en œuvre est assez longue et désagrément possible pour les riverains (bruit, odeur et impact visuel). Nécessite une emprise suffisamment grande pour l'installation des biotertres. Les excavations ouvertes de terres traitées doivent être sécurisées durant la durée de l'opération.

Les terres saturées contaminées devront subir un égouttage pour être traitées.

Les remblais du site présentent de nombreux éléments anthropiques, un tri visuel voire un criblage pourra être mis en œuvre pour éliminer cette fraction grossière.

Délai : 12 à 18 mois après réalisation des essais de biodégradabilité ayant validé l'efficacité du traitement.

Au regard du projet d'aménagement (création d'un sous-sol sur une majeure partie du site (7 652m²)), du manque d'espace disponible (site urbain et en activité lors des travaux) et du calendrier de réalisation, cette technique ainsi que toutes les technique in situ et sur site ne sont pas adaptées.

10.6. Chiffrage des scénarios de gestion

10.6.1. Scénario A

Comme indiqué précédemment, au regard du projet d'aménagement seul le traitement hors site est envisageable.

Scénario	Description
A	Gestion des spots de pollutions uniquement inclus dans la gestion des matériaux excavés dans le cadre du Projet – terrassement des sous-sol (soit environ 34 % du volume de la totalité des spots de pollution) Dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol/ des eaux souterraines.

10.6.1.1. Evacuation en filières

Le volume de terres non inertes issu du projet **pour le scénario A** est de **9 633 m³**.

	Profondeur	Catégories pressenties des terres à terrasser				
	(en m)	Inerte (ISDI)	ISDI+*	ISDND ou biocentre*	ISDD*	Volume non inerte (>ISDI)
		Volume en m³ (en place, hors talutage)				
Niveau de sous-sol	0 - 1	6 009	1 155	256	232	1643
	1 - 2	5 040	1 431	1 181	0	2 612
	2 - 3	4 584	2 352	716	0	3 068
	3 - 4	5 759	0	1 608	285	1893
Fondations	4 - 5	7 235	0	132	285	417
	Sous total	28 627	4 938	3 893	802	9 633

Scénario A --> Cout - Elimination hors site								
N°	Désignation	Unité	Qté	PU		Total		
100	Installation de chantier, préparation							
	Installation de chantier, état des lieux, constat d'huissier, ...	Ft	1	nc				Réalisé sans le cadre du projet d'aménagement
200	Soutènement							
	Blindage	Ft	1	nc				Réalisé sans le cadre du projet d'aménagement
301	Terrassement et Elimination Hors site - tranche 0-5 m			Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute	
	Terrassement pleine masse	m3	38 260	nc				Réalisé sans le cadre du projet d'aménagement
	Transport et élimination en centre de traitement							
	ISDI	t	28627	28	30	-	-	Réalisé sans le cadre du projet d'aménagement
	ISDI+	t	4938	40	47	197 520 €	232 086 €	
	Biocentre ou ISDND (* hors TGAP)	t	3893	80	140	311 440 €	545 020 €	
	ISDD (* hors TGAP)	t	802	175	185	140 350 €	148 370 €	
Budget						649 310 €	925 476 €	
	Hors études d'exécution, réglementaires							
	Hors contrôles, suivi, Moe							
	Hors TGAP, déclassement liés aux indices organoleptiques et infrastructures enterrées							
Scénario A --> Surcoût - Elimination hors site								
N°	Désignation	Unité	Qté	PU		Total		
100	Installation de chantier, préparation							
	Installation de chantier, état des lieux, constat d'huissier, ...	Ft	1	nc				Réalisé sans le cadre du projet d'aménagement
200	Soutènement							
	Blindage	Ft	1	nc				Réalisé sans le cadre du projet d'aménagement
301	Terrassement et Elimination Hors site - tranche 0-5 m			Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute	
	Terrassement plein masse	m3	38 260	nc				Réalisé sans le cadre du projet d'aménagement
	Transport et élimination en centre de traitement							
	ISDI	t	28627	28	30	-	-	
	ISDI+	t	4938	12	19	59 256 €	93 822 €	
	Biocentre ou ISDND (* hors TGAP)	t	3893	52	112	202 436 €	436 016 €	
	ISDD (* hors TGAP)	t	802	147	157	117 894 €	125 914 €	
Budget						379 586 €	655 752 €	
	Hors études d'exécution, réglementaires							
	Hors contrôles, suivi, Moe							
	Hors TGAP, déclassement liés aux indices organoleptiques et infrastructures enterrées							

Tableau 48 : Coûts et surcoûts estimatifs de la gestion des terres non inertes des futurs niveaux de sous-sol – Traitement Hors site (scénario A)

Soit un montant de coût estimé entre 649 et 925 K€ HT (hors TGAP).

Soit un montant de surcoût (en comparaison avec une élimination en filière classique ISDI) estimé entre 380 et 655 K€ HT.

A titre indicatif les **coûts supplémentaires liés à la TGAP**, selon TGAP de 2024, sont estimés **entre 145** (50% du volume en ISDND et 50% en biocentre) **et 270 K€ HT** (100% du volume en ISDND).

Ce budget ne prend pas en compte le traitement des revêtements de surface, ni la prise en compte des infrastructures, **ni le pompage /traitement éventuel des eaux en fond de fouille**.

Les filières pré-identifiées dans le cadre de ce plan de gestion restent théoriques et sont soumises au CAP des centres de traitements, de la saturation des centres de traitements, etc.

10.6.2. Scénario B

Scénario	Description
B	Gestion de la totalité des spots de pollution <u>et</u> des matériaux excavés dans le cadre du projet Dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol/ des eaux souterraines.

10.6.2.1. Evacuation en filières - Scénario B

Le volume des spots de pollution est estimé via les modélisations à **3 620 m³** (seuils de 100 mg/kg en HAP et 2 000 mg/kg en hydrocarbures totaux) pour l'ensemble du site répartis comme suit :

- Volume des spots de pollution compris dans les terrassements du sous-sol : 660 m³
- Volume des spots de pollution au-delà des emprises du sous-sol : 2 960 m³.

Soit un montant de cout estimé entre 1 865 et 2 450 K€ HT.

Soit un montant de surcout estimé entre 1 445 et 2 030 K€ HT.

NB : Le surcout d'élimination représente le cout complémentaire (élimination hors TGAP) des terres présentant des critères discriminants par rapport à une élimination en ISDI.

A titre indicatif les **coûts supplémentaires liés à la TGAP**, selon TGAP de 2024, sont estimés **entre 305** (50% du volume en ISDND et 50% en biocentre) **et 530 K€ HT** (100% du volume en ISDND).

Ce budget ne prend pas en compte le traitement des revêtements de surface, ni la prise en compte des infrastructures, **ni le pompage/traitement éventuel des eaux en fond de fouille.**

Les filières pré-identifiées dans le cadre de ce plan de gestion restent théoriques et sont soumises au CAP des centres de traitements, de la saturation des centres de traitements, etc.

Scénario B --> Cout - Elimination hors site								
Seuil HAP : 100 mg/kg								
Seuil HCT : 2 000 mg/kg								
N°	Désignation	Unité	Qté	PU		Total		
100	Installation de chantier, préparation							
	Installation de chantier, état des lieux, constat d'huissier, ...	Ft	1	nc				Réalisé sans le cadre du projet d'aménagement
200	Soutènement			Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute	
	Blindage (hors emprise sous-sols)	ml	200* (estimé)	1800	2300	360 000 €	460 000 €	Source de pollution en limite est du site, sécurisation des avoisinants
301	Terrassement et Elimination Hors site - tranche 0-5 m + ensemble des spots de pollution			Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute	
	Terrassement pleine masse (sous-sol)	m3	38 260	-		-		Réalisé sans le cadre du projet d'aménagement
	Transport et élimination en centre de traitement (sous-sol)							
	ISDI	t	28 627	28	30	-	-	Réalisé sans le cadre du projet d'aménagement
	ISDI+	t	4 938	40	47	197 520 €	232 086 €	
	Biocentre ou ISDND (* hors TGAP)	t	3 893	80	140	311 440 €	545 020 €	
	ISDD (* hors TGAP)	t	802	175	185	140 350 €	148 370 €	
	Terrassement pleine masse (spots hors sous-sol)	m3	2 960	10		29 600 €		
	Transport et élimination en centre de traitement (hors sous-sols)							
	Biocentre ou ISDND (entre 100 et 300 mg/kg en HAP)	t	3 122	80	140	249 777 €	437 109 €	
	ISDD hors TGAP (> 300 mg/kg en HAP)	t	2 206	175	185	386 014 €	408 072 €	
	Remblaiement et compactage	m3	2 960	20		59 200 €		
	Fourniture de matériaux auto compactants pour remblaiement	m3	2 960	45		133 200 €		
Budget				1 867 100 €		2 452 657 €		
	Hors études d'exécution, réglementaires							
	Hors contrôles, suivi, Moe							
	Hors TGAP, déclassement liés aux indices organoleptiques et infrastructures enterrées							
Scénario B --> Surcoute - Elimination hors site								
Seuil HAP : 100 mg/kg								
Seuil HCT : 2 000 mg/kg								
N°	Désignation	Unité	Qté	PU		Total		
100	Installation de chantier, préparation							
	Installation de chantier, état des lieux, constat d'huissier, ...	Ft	1	nc				Réalisé sans le cadre du projet d'aménagement
200	Soutènement			Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute	
	Blindage (hors emprise sous-sols)	ml	200* (estimé)	1800	2300	360 000 €	460 000 €	Source de pollution en limite est du site, sécurisation des avoisinants
301	Terrassement et Elimination Hors site - tranche 0-5 m + ensemble des spots de pollution			Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute	
	Terrassement pleine masse (sous-sols)	m3	38 260	-		-		Réalisé sans le cadre du projet d'aménagement
	Transport et élimination en centre de traitement (sous-sols)							
	ISDI	t	28 627	28	30	-	-	Réalisé sans le cadre du projet d'aménagement
	ISDI+	t	4 938	12	19	59 256 €	93 822 €	
	Biocentre ou ISDND (* hors TGAP)	t	3 893	52	112	202 436 €	436 016 €	
	ISDD (* hors TGAP)	t	802	147	157	117 894 €	125 914 €	
	Terrassement pleine masse (spots hors sous-sol)	m3	2 960	9		26 640 €		
	Transport et élimination en centre de traitement (hors sous-sols)							
	Biocentre ou ISDND (entre 100 et 300 mg/kg en HAP)	t	3 122	52	112	162 355 €	349 687 €	
	ISDD (> 300 mg/kg en HAP)	t	2 206	147	157	324 251 €	346 309 €	
	Remblaiement et compactage	m3	2 960	20		59 200 €		
	Fourniture de matériaux auto compactants pour remblaiement	m3	2 960	45		133 200 €		
Budget				1 445 232 €		2 030 789 €		
	Hors études d'exécution, réglementaires							
	Hors contrôles, suivi, Moe							
	Hors TGAP, déclassement liés aux indices organoleptiques et infrastructures enterrées							

Tableau 49 : : Cout et surcoute estimatifs de la gestion de la pollution concentrée – Traitement Hors Site (scénario B)

Scénario	Description	Coût (K€ HT)	
		Fourchette basse	Fourchette haute
A	Gestion des spots de pollutions uniquement inclus dans la gestion des matériaux excavés dans le cadre du Projet (terrassment du sous-sol) Dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol/ des eaux souterraines.	650	925
B	Gestion de la totalité des spots de pollution et des matériaux excavés dans le cadre du projet (terrassment du sous-sol) Dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol/ des eaux souterraines.	1 865	2 450

Tableau 50 : Tableau de synthèse des couts de traitement Hors site (hors TGAP et contrôles de réception)

11. Bilan coûts avantages

11.1. Présentation des critères

L'objectif du bilan coûts/avantages est d'aider le maître d'ouvrage à sélectionner une option de gestion de la pollution « permettant d'atteindre le meilleur niveau de protection de l'environnement humain et naturel, à un coût raisonnable », tout en prenant en compte les différentes contraintes inhérentes au site étudié (Note ministériel du 8 février 2007).

En corrélation avec l'objectif du bilan coûts/avantages les critères suivants ont été retenus :

- Atteinte des objectifs de réhabilitation,
- Protection de l'environnement humain et naturel,
- Coûts des travaux,
- Contrainte inhérente au projet d'aménagement.

11.2. Tableau comparatif des scénarios

Le tableau ci-après présente le bilan coûts-avantages des solutions de gestion proposées.

Tableau 51 : Bilan Coûts -avantages des scénarios envisagés

Scénarios	Atteinte des objectifs de réhabilitation	Protection de l'environnement humain et naturel	Surcoûts des travaux	Durée des travaux	Avantages	Inconvénients
Scénario A Gestion des spots de pollutions uniquement inclus dans la gestion des matériaux excavés dans le cadre du Projet (soit environ 45 % du volume de la totalité des spots de pollution) Dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol/ des eaux souterraines.	NON Pas de retrait de la totalité des sources concentrées Risques résiduels associés au relarguage de la nappe souterraine : dispositions constructives à prévoir	Concentrations résiduelles dans le sous-sol (pollution concentrée) et les eaux souterraines (suivi environnemental) Nécessite un suivi pendant et après les travaux (possible dégazage important lors des ouvertures de fouille)	Coût estimé entre 650 et 925 K€ HT (hors TGAP) Surcoût entre 380 et 655 K€ HT. TGAP de 2024 : entre 145 et 270 K€ ⁸	Selon phasage des travaux	✓ Efficacité de la technique ✓ Rapidité	✓ Non atteinte des objectifs ✓ Onéreux ✓ Bilan carbone élevé, ✓ Mise en œuvre de restrictions d'usage ✓ Surveillance pendant les travaux
Scénario B Gestion de la totalité des spots de pollution et des matériaux excavés dans le cadre du projet Dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol/ des eaux souterraines.	Oui (source concentrée) si possibilité technique Risques résiduels associés au relarguage de la nappe souterraine : dispositions constructives à prévoir	Suppression des matériaux impactés Concentrations résiduelles dans le sous-sol et les eaux souterraines (suivi environnemental) Nécessite un suivi pendant et après les travaux (possible dégazage important lors des ouvertures de fouille)	Coût estimé entre 1 865 et 2 450 K€ HT. Surcout estimé entre 1 445 et 2 030 K€ HT. TGAP estimés entre 305 et 530 K€ HT	Selon phasage des travaux	✓ Efficacité de la technique ✓ Rapidité	✓ Onéreux ✓ Soutènement à mettre en place le cas échéant, Incertitude sur possibilité technique de récupérer les sources positionnées à proximité des voies SNCF ✓ Bilan carbone élevé, ✓ Mise en œuvre de restrictions d'usage ✓ Surveillance pendant les travaux

⁸ Hors prise en compte le traitement des revêtements de surface, ni des infrastructures, du pompage /traitement éventuel des eaux en fond de fouille.
Les filières pré-identifiées dans le cadre de ce plan de gestion restent théoriques et sont soumises au CAP des centres de traitements, de la saturation des centres de traitements, etc.

11.3. Scénarii de gestion retenus

Au regard des scénarios étudiés, on note que la gestion de l'ensemble de la pollution concentrée de type spot engendre un coût supplémentaire au projet d'aménagement de l'ordre de 1 200 à 1 550 K€ HT afin de récupérer les 2 960 m³ de terre impactées localisées principalement en limite nord et est de site, en zone saturée et à proximité immédiate des voies ferrées, qui ne sont pas gérés dans le cadre des terrassements du sous-sol, soit un coût estimé entre 405 et 523 euros € HT le m³ de terres impactées.

A la vue des coûts de gestion complémentaires à la réalisation du sous-sol permettant de gérer l'ensemble des spots de pollution identifiés (1 200 à 1 550 K€ (hors TGAP) pour 2 960 m³ de terre), de la localisation de ceux-ci en zone saturée, des contraintes techniques liées au talus SNCF et de la présence de sources de pollution hydrocarburées hors site (anciennes cuves à goudron sous l'actuelle gare routière, au nord des voies ferrées) ayant pu impacter les sols et la nappe au droit du site, le scénario A présente le meilleur bilan coût avantage.

Au vu des concentrations identifiées dans les eaux souterraines, des dispositions constructives sont prévues dans les scénarios étudiés. Ces dispositions sont détaillées au chapitre 12.

12. Description des mesures constructives disponibles

12.1. Objectifs et outils méthodologiques appliqués

12.1.1. Rappel des objectifs fonctionnels et administratifs

Le niveau de sous-sol enterré étant en partie immergée dans les eaux souterraines ou à minima dans la zone de battement de nappe, il est donc prévu dans le projet la réalisation d'un cuvelage étanche à l'eau jusqu'au niveau des plus hautes eaux. Nous préconisons du fait de la présence de composés volatils dans les sols et eaux souterraines de compléter cette disposition à l'ensemble des niveaux enterrés, par une étanchéité à l'eau, aux vapeurs (au sens de la DTU 14.1) et aux éventuels produits purs (par exemple par recouvrement de l'ensemble de l'infrastructure avec une membrane en extrados).

Les approches sanitaires relatives à la qualité de l'air intérieur des futurs bâtiments montrent que les niveaux d'impact dans les eaux souterraines (composés organiques dont benzène) nécessitent la mise en œuvre de ces dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol

Pour cette raison, le projet nécessite la mise en œuvre de dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel prédictif du sous-sol.

Ces mesures constructives devront permettre d'atteindre les objectifs fonctionnels suivants :

- Empêcher la **percolation de l'eau et des polluants** au travers l'infrastructure (cuvelage),
- Empêcher la **migration des gaz** au travers cette dernière,
- Préserver la **durabilité structurelle** de l'infrastructure,
- Être **contrôlables** pendant la mise en œuvre de cette disposition et pouvoir surveiller son efficacité pendant toute la durée de vie de l'ouvrage,
- Pouvoir mettre en œuvre une **action corrective rapidement** si un défaut était détecté lors des opérations de contrôle et de surveillance précitées.

12.1.2. Pré-sélection des mesures constructives (SelecDEPOL)

L'ADEME et le BRGM ont développé un outil interactif de pré-sélection de méthodes permettant de remédier et/ou de gérer des pollutions des sols et des eaux souterraines dont les mesures applicables aux biens immobiliers et infrastructures aussi appelées « mesures constructives ». Cet outil, qui constitue le référentiel français dans ce domaine, se nomme SelecDEPOL.

A partir des caractéristiques (contexte, polluants...) que nous avons décrits plus haut, SelecDEPOL nous a guidé sur les méthodes disponibles les plus adaptées à la construction envisagée.

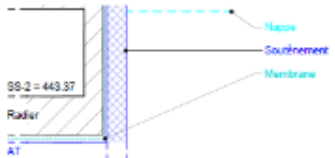
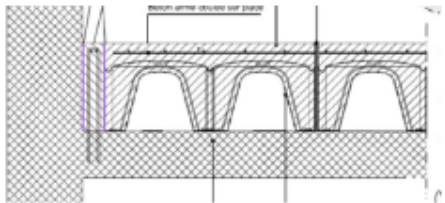
A l'issue de cette première sélection, une étude de faisabilité technique a été menée sur chaque méthode présélectionnée afin de valider les premiers choix sur une base strictement théorique.

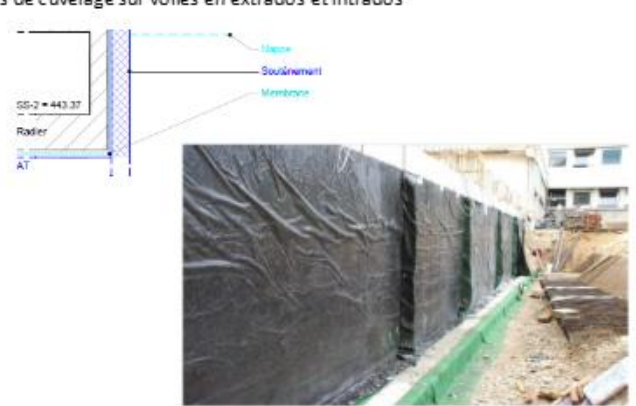
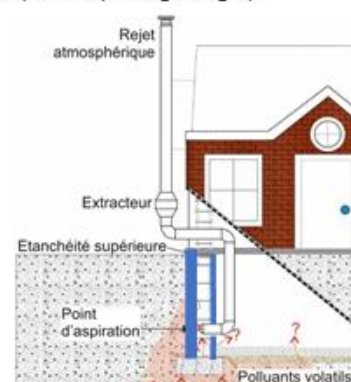
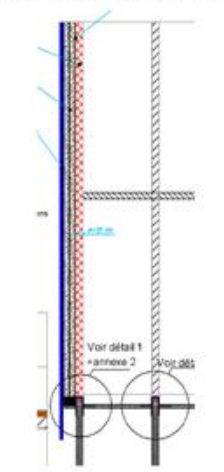
Sur les 26 mesures constructives proposées, trois grands principes de mesures ont été sélectionnés :

- Limiter la perméabilité des structures,
- Améliorer l'étanchéité d'un mur enterré,
- Limiter l'intrusion de polluants volatils par des murs enterrés ou mettre en dépression un mur enterré.

Les fiches détaillées des méthodes présélectionnées figurent en Annexe XII.

12.2. Analyse comparative des solutions constructives prises individuellement

OBJECTIFS	SOLUTIONS	Fiche technique SelecDEPOL	AVANTAGES	INCONVENIENTS
LIMITER LA PERCOLATION DE L'EAU DANS LE BETON	1 Cuvelage avec revêtement d'étanchéité (type F d'après DTU 14.1) en extrados (ou intrados) du radier/voile 	"Limiter la perméabilité de la structure"	- Etanche à l'eau (DTU 14.1) : pas de passage liquide, pas de traces d'humidité - Disposée en extrados : augmente la durabilité de l'infrastructure - Bon REX	- Préférer les produits dont la durabilité est égale à la durée d'exploitation du bâtiment (50 ans) - Anticiper au stade de la conception les actions correctives si écarts dans le temps sur les exigences : disposée initialement en intrados ou extrados--> réparation par injection/remplacement possible si défauts - Sensible aux phénomènes de tassements différentiels de l'infrastructure
ETANCHEITE AU GAZ SOUS RADIER	2 Dispositif de cuvelage radier en extrados/intrados 	"Limiter la perméabilité de la structure"	- Superposition des dispositifs possibles pour compléter les objectifs recherchés en matière de perméabilité et de tenue vis-à-vis des agressions chimiques - Disposée en extrados : augmente la durabilité de l'infrastructure - Disposée en intrados : possibilité de reprise ou remplacement dans le temps	- Préférer les produits dont la durabilité est égale à la durée d'exploitation du bâtiment (50 ans) - Actions correctives si écarts dans le temps : disposée initialement en intrados --> réparation par injection/remplacement possible si défauts - Difficultés pour réaliser des actions correctives en extrados - Difficultés pour caractériser précisément les produits (même superposés) en matière de perméabilité aux gaz et donc persistance d'un aléa sur le maintien de la qualité de l'air à l'intérieur dans le temps--> nécessite un suivi/contrôles périodiques de la qualité d'air avec action corrective (cf. plus haut) - REX plus limité pour la gestion des gaz
	3 Vide sanitaire sur coffrage perdu (procédé "iglu" ou équivalent) 	"Système de Dépressurisation Sous Dalle (SDSD)"	- Retour d'expérience du dispositif sur fond de forme sans nappe - Mise en œuvre - Drains et puits de gros diamètre - Suivi Performance (contrôle) dans le temps et maintenance	- NE PEUT FONCTIONNER QU'EN CONDITIONS HORS NAPPE - Epaisseur du dispositif (30 à 40 cm) --> décaissement plus important de la fouille - Mise en œuvre de la membrane noyée dans la chape supérieure - Traitement des joints (secs/sismiques) sur dallage - Gestion de la condensation de l'humidité de l'air du sol dans le conduit de rejet

OBJECTIFS	SOLUTIONS	Fiche technique SelecDEPOL	AVANTAGES	INCONVENIENTS
ETANCHEITE AU GAZ CONTRE VOILES	4 Dispositifs de cuvelage sur voiles en extrados et intrados 	"Limiter la perméabilité de la structure"	- Idem procédé 2	- Idem procédé 2
	5 Contre cloison + dépression (drainage des gaz) 	"Mettre en dépression un mur enterré"	- Mise en œuvre - Suivi Performance (contrôle) dans le temps et maintenance	- NE PEUT FONCTIONNER QU'EN CONDITIONS HORS NAPPE - Perte de surface utile à l'intérieur
	6 Création d'un piège à gaz à l'extérieur de l'infrastructure contre les voiles extérieures 	"Mettre en dépression un mur enterré"	- Pas de perte de surface utile à l'intérieur du bâtiment mais prévoir une fouille plus large - Suivi Performance (contrôle) dans le temps et maintenance - Fonctionne en condition saturée (nappe)	- Difficulté de mise en œuvre du complexe d'étanchéité -> voiles réalisés avec méthode PREMUR ou équivalent ?

12.3. Dispositions constructives

Les solutions retenues à ce stade sont les suivantes :

1/ Cuvelage et système de dépressurisation :

- Cuvelage (radier et voiles périphériques) étanche à l'eau, aux vapeurs au sens du DTU 14.1 et au produit pur, résistant aux composés présents dans l'eau
- Radier (pas de traitement spécifique : bétons résistants aux composés volatils présents dans la nappe) : Vide sanitaire sur coffrage perdu avec membrane de protection sous chape
- Voile : contre cloison + dépression (drainage des gaz)

2/ Cuvelage par complexe d'étanchéité (membranes...) et traitement de la dalle :

- Caractéristiques du radier béton et voiles périphériques traités (haute performance et fissuration limitée avec adjuvants hydrofuges par exemple) :
 - Bétons résistants aux composés volatils présents dans la nappe (benzène, naphthalène notamment)
 - Epaisseur : 20 cm
 - Porosité : 0,002
 - Fraction surfacique : 10^{-6}
- Mise en œuvre d'un cuvelage de protection eau et gaz (type F ou G d'après DTU14.1) en extrados du radier / voile présentant les caractéristiques minimales suivantes :
 - résistant aux composés volatils présents dans la nappe (benzène, naphthalène notamment)
 - rôle d'étanchéité vis-à-vis de l'eau mais aussi du produit et des gaz
 - Porosité : 0,165
 - Perméabilité à l'eau : 10^{-9}
 - Perméabilité à l'air : 10^{-14}

La faisabilité de ces mesures de gestion devra être étudiée par le maître d'œuvre de conception de l'ouvrage. Une solution alternative permettant de répondre aux mêmes objectifs fonctionnels pourra être proposée.

A ce stade, le montant associé à ces dispositions constructives peut atteindre plusieurs M€ (chiffrage en cours par l'architecte).

13. Synthèse des restrictions d'usage

- Selon le « Guide de mise en œuvre des restrictions d'usage applicables aux sites et sols pollués » dont des extraits sont repris ci-dessous :

La restriction d'usage en matière de sols pollués est une limitation du droit de disposer de la propriété d'un terrain. Cette limitation attachée à une parcelle consiste en un ensemble de recommandations, de précautions, voire d'interdictions sur la manière d'utiliser, d'entretenir, de construire ou d'aménager, compte tenu de la présence de substances polluantes dans les sols. Pour informer durablement les propriétaires successifs d'un terrain pollué, ces règles ont vocation à être transcrites dans les documents habituellement consultés au moment de l'acquisition ou de l'aménagement des terrains : la conservation des Hypothèques et les documents d'urbanisme tels que le plan local d'urbanisme (PLU) notamment.

Le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) a identifié cinq outils permettant de conserver la mémoire de ces pollutions, soit au niveau de la conservation des Hypothèques, soit au niveau des plans locaux d'urbanisme (PLU) ou plans d'occupation des sols (POS). Ces outils sont :

- la servitude d'utilité publique (**SUP**) ;
- le porter à connaissance (**PAC**) et le projet d'intérêt général (**PIG**) ;
- la restriction d'usage conventionnelle au profit de l'Etat (**RUCPE**) ;
- la restriction d'usage entre parties (**RUP**).

- Dans le cas du site objet de l'étude qui ne rentre pas dans le cas d'un changement d'usage instruit dans le cadre d'une cessation, la **RUP** peut être l'outil adapté :

Institution

La restriction conventionnelle entre deux parties est discutée et signée entre le propriétaire et un tiers. Elle doit être authentifiée par un notaire en vue de sa publication aux Hypothèques. Il est fortement recommandé de consulter l'administration sur son contenu. Dans le cas contraire, ou en cas de contenu inapproprié, la restriction d'usage sera considérée par l'administration comme nulle et non avenue. Dans ce cas, le préfet demande à l'exploitant de proposer de nouvelles dispositions permettant de mettre en œuvre des restrictions d'usage.

Transcription

L'inscription de l'acte au registre des Hypothèques est assurée par le notaire.

Aucun texte ne fait mention d'une quelconque obligation de notification ou d'annexion de ce type de servitudes dans un document d'urbanisme. C'est pourquoi il s'avère nécessaire de communiquer au maire de la commune intéressée, la ou les restrictions d'usage instituée(s) et de l'inviter à en tenir compte dans les projets d'aménagement de la commune au moyen du porter à connaissance.

Les restrictions intègrent les dispositions d'aménagements (cf. tableau 1 de l'annexe XI), postulats retenus dans le cadre de la réalisation de la modélisation sanitaire :

Ré emploi de matériaux sur site :

Seules les terres non inertes (ou traitées sur site) pourront être éventuellement réutilisées dans le cadre de l'aménagement sous condition de compatibilité en assurant une traçabilité rigoureuse de la provenance de matériaux et de l'emplacement du remblaiement.

Usage et aménagement du site

Respect des plans d'aménagement datés entre le 13/11/2023 et le 05/03/2024.

Mise en œuvre des dispositions constructives.

Absence de jardins potagers et d'arbres fruitiers.

Absence de contact direct avec les terres en place.

Usages eaux souterraines

Toute utilisation des eaux souterraines à vocation AEP est interdite dans l'emprise du site.

Réseaux enterrés

Les réseaux notamment AEP devront être placés au sein de matériaux d'apport propres.

14. Recommandations

14.1. Investigations complémentaires

Des investigations complémentaires doivent être menées afin de lever les incertitudes qui persistent :

Sur la qualité des terrains au droit des bâtiments existants

Réalisation de nouveaux sondages et analyses une fois les bâtiments démolis afin d'optimiser le plan de terrassement et de valider les filières de gestion (optimisation des coûts de gestion).

Délimitation du panache de pollution identifié au droit du sondage T4 (=Pz7) – Nord du site

Compte-tenu des incertitudes demeurant à ce stade sur l'étendue du panache de concentrations en benzène dans les eaux souterraines relevés au droit de Pz7 (Nord du site) et les conséquences sur le projet d'aménagement tant en phase travaux (pompage, dispositions HSE, traitements...) et dispositions d'aménagement (cuvelage), nous préconisons la réalisation d'investigations complémentaires (sondages, piézomètres, essais de pompage et gaz de nappe) permettant d'anticiper les conséquences de ces risques (délais, HSE, coûts) conduisant à une mise à jour du présent plan de gestion.

Remblais :

La problématique correspond à une gestion des déblais anthropiques et leur acceptation en filière ISDI. Bien que les analyses des Packs ISDI indiquent une conformité avec les seuils de l'arrêté du 12 décembre 2014 pour environ 80 % des échantillons, le pourcentage d'éléments grossiers et la présence de scorie mâchefers peuvent être des éléments discriminants. Des tests granulométriques sur site (sur des volumes représentatifs) et un suivi minutieux des travaux de terrassement permettrait d'optimiser les filières de gestion.

Nappe :

Des essais de nappe seront à réaliser au préalable des travaux afin d'identifier une éventuelle venue de produit (phase pure) qui pourrait être attirée sur site lors des travaux et de dimensionner le dispositif de traitement des eaux d'exhaure et les coûts associés.

14.2. Suivi de travaux de remise en état environnemental - ARR Post travaux

En phase travaux, Antea Group recommande le suivi des travaux de réhabilitation par un bureau d'étude spécialisé et certifié en sites et sols pollués pour assurer :

- Le contrôle des travaux de réhabilitation et leur réception ;
- Le contrôle de la qualité des eaux souterraines pendant et après les travaux de réhabilitation ;
- Une mise à jour de l'ARR sur la base des concentrations réellement observées après travaux de réhabilitation.

Quelques soient les mesures de traitement retenues, il devra être envisagé la réalisation d'un suivi de la qualité des eaux souterraines (pendant et après les travaux) afin de s'assurer de l'absence de relargage des polluants dans les eaux souterraines.

Les mesures de contrôles à envisager portent sur plusieurs milieux en fonction des scénarios de gestion retenus, en phase travaux et post travaux :

Matrice	Modalités	Paramètres à rechercher
Sol	Prélèvements de contrôles en fond et flanc de fouilles selon un maillage régulier (type 15 par 15 m ou 10 par 10 m) et de 1 à 2 m en latéral afin de connaître les teneurs résiduelles après traitement	HCT C5 40 HCT C10 C40 + CAV + HAP + cyanures
Remblais d'apport	Contrôle de réception des matériaux d'apport de remblaiement	Pack ISDI
Eaux souterraines	Surveillance de la qualité des eaux souterraines et de l'effet du traitement des zones sources sur ces dernières pendant les travaux. A réaliser pendant les travaux et après travaux, sur une durée minimale de 4 ans – le cas échéant -, période au-delà de laquelle un bilan quadriennal sera fait afin de réajuster les modalités de la surveillance	HCT C5 40 HCT C10 C40 + CAV + HAP + cyanures

Tableau 52 : Modalités de contrôles post travaux

A l'issue des travaux, un rapport final accompagné d'une synthèse récapitulant la nature des travaux entrepris, la traçabilité des mouvements de terre, l'ensemble des contrôles réalisés ainsi qu'un plan de récolement devra être établi par le Bureau d'études en s'appuyant sur le rapport de fin de travaux de l'Entreprise.

Si les contrôles réalisés au cours du chantier montrent des variations sur les mesures dont la réalisation conditionne l'acceptabilité du plan de gestion, le responsable du suivi des mesures de gestion devra apprécier si ces variations sont susceptibles de remettre en cause l'acceptabilité du plan de gestion.

14.3. HSE Chantier

Le projet est situé dans une zone urbaine, à proximité d'habitations.

Les terrassements dans les terrains pollués vont générer un brassage des terres **et un dégazage de polluant pouvant être à l'origine de d'odeurs et/ou de risques sanitaires.**

Ces contraintes devront être prises en compte dans le cadre du marché de travaux de l'entreprise.

Un dispositif de surveillance de la qualité de l'air et des odeurs est préconisé en phase chantier pour contrôler l'efficacité des solutions mises en œuvre.

Il est nécessaire de garder la mémoire de l'emplacement des sols qui resteront en place après l'aménagement du site et présentant des contaminations résiduelles.

14.4. Mémoire du site

Il est nécessaire de garder la mémoire de l'emplacement des sols qui resteront en place après l'aménagement du site et présentant des contaminations résiduelles.

L'état final environnemental sera présenté dans le mémoire de fin de travaux.

Pour conserver cette information, une copie du rapport de fin de travaux devra être annexé aux actes de vente. Un dossier de restriction d'usages devra être réalisé pour garder la mémoire du site.

15. Conclusions

Compte tenu de la présence de l'historique du site (ancienne usine à gaz) et des différentes études environnementales menées sur site depuis le début des années 2000, **MOTU 1** a confié à Antea Group la réalisation d'un diagnostic complémentaire de pollution associé à un Plan de Gestion adapté au projet de réaménagement, dans l'objectif :

- D'évaluer les conséquences de la présence des polluants sur le projet ;
- De dimensionner les mesures de gestion, dont la gestion des terres en déblais, à mettre en œuvre pour mener à bien le projet et
- de s'assurer de sa compatibilité avec l'état de pollution du site avec l'usage projeté.

Le site est actuellement occupé par des bâtiments de bureaux et d'activité par ENEDIS et GRDF. Il se situe sur l'emplacement d'une ancienne usine à gaz et sur de nombreux réseaux d'électricité publics très haute tension.

Le projet concerne le développement d'environ 30 300 m² de surface de plancher multi-produits avec un socle commun de commerces et de services sur lequel s'élèvent à différentes hauteurs (entre R+2 et R+12 ponctuels) des logements, des résidences services et des bureaux. L'ensemble compte également un niveau de parkings enterré comptant environ 270 places de stationnement, dont une partie disposant de bornes pour des voitures électriques.

Le site est classé en SIS (Secteur d'information sur les Sols - SSP0004101). Dans cet objectif, Antea Group a réalisé en mai 2022 et en février 2023 des investigations complémentaires sur les milieux sols, gaz du sol et eaux souterraines afin notamment de délimiter au mieux les sources de pollutions connues ou suspectées.

15.1. Investigations des milieux

En mai 2022, ont été réalisés :

- 29 sondages dont 16 refus,
- 3 ouvrages piézométriques supplémentaires,
- 3 ouvrages de prélèvement de gaz des sols.

En février 2023, ont été réalisés au droit de la parcelle IP 191 :

- 5 sondages dont 2 refus,
- 1 ouvrage piézométrique supplémentaire,

Les faciès rencontrés sont les suivants :

- Remblais sablo-graveleux beiges entre 0,4 et 1,0 m d'épaisseur,
- Présence d'une dalle béton entre 0,5 - 1m / 3 m et vers 5,5m au droit de nombreux ouvrages (S1, S2, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S12, S14, S23, S25),
- Argiles brunes à verts plus ou moins sableuses, correspondant à des remblais avec mâchefers sur certains sondages et au terrain naturel sur d'autres, avec cailloutis mm à cm entre 1 et 6,50m.

Des terrains plus marneux sont ponctuellement rencontrés au droit de certain sondages et sur des horizons très limités (<1m) (S1, S11). **Des imprégnations noirâtres, des mâchefers, des odeurs d'HCT ont été relevées.**

Des niveaux d'eaux ont été rencontrés ponctuellement entre 4,5 et 6m de profondeur au droit de S1, S3, S9, S16, S18, S25, S26 et T4.

Le réseau hydrologique à proximité du site d'étude est essentiellement constitué du Paillon, qui s'écoule à environ 50 m au nord-ouest du site et qui alimente les eaux souterraines.

Au total, Sept (7) piézomètres sont présents sur site. Une esquisse piézométrique a été tracée au droit du site à partir des données mesurées en mai et juillet 2022. Deux ouvrages piézométriques mis en œuvre dans le cadre des études géotechniques sont également présents (SC1 et SC2). L'ouvrage SC1 contrairement aux autres ouvrages indique un niveau d'eau à environ 2,3 m de profondeur.

D'une manière générale, les investigations réalisées ont mis en évidence :

- La présence de remblais liés à la déconstruction des installations de l'ancienne usine à gaz :
 - **Remblais à scories et mâchefers** présentant des impacts en métaux lourds sur brut ;
 - **D'anciennes dalles béton** à différentes profondeurs correspondant aux dalles des anciens gazomètres et bâtiments ;
- La présence d'une nappe vers 4-4,5 m/sol présentant un sens d'écoulement du nord-ouest vers le sud-est. Celle-ci a mis en évidence :
 - **un impact significatif en hydrocarbures totaux, HAP et CAV (dont benzène) en limite nord du site (Pz7 - amont) associé dans une moindre mesure à des impacts en Pz4** dont le panache pourrait provenir des anciennes installations voisines de l'AUG au nord de la voie ferrée (hors site) aujourd'hui démantelées et réhabilitées ou des anciennes activités exercées en partie nord de la zone d'étude.
 - un impact des eaux en cyanures totaux et plus particulièrement en amont du site (Pz3) pouvant potentiellement provenir des installations de l'ancienne usine à gaz au nord de la voie ferrée (hors site) ;
 - un **impact en hydrocarbures totaux, HAP et CAV (dont benzène) en limite est du site (Pz2)** dont le panache pourrait provenir des installations voisines de l'AUG (ancienne cuve enterrée en limite est du site).
- L'existence d'une **zone impactée en hydrocarbures totaux, HAP et CAV (dont benzène) (sols, eaux souterraines et gaz issus des eaux souterraines) en limite est du site**. Au regard des teneurs relevées, les impacts identifiés peuvent engendrer des risques sanitaires pour les futurs usagers. Il convient de vérifier la compatibilité sanitaire du projet d'aménagement (sous-sol dans la nappe et présence de volatils) avec les concentrations résiduelles après travaux ;
- Une **zone au nord (sondages S11, S14 et T4, piézomètre Pz4 et piézair PzR3)** présentant également des impacts **en hydrocarbures et HAP dans les sols avec des teneurs supérieures aux seuils d'acceptation en ISDI**.
- Outre les impacts identifiés dans le milieu sol et de la présence de déchets (scories / mâchefers, coke...), il conviendra, dans le cadre des travaux d'aménagement, d'évacuer les matériaux en filière agréée en raison de dépassement des seuils ISDI (COT, fraction soluble, sulfates, antimoine et fluorures).

15.2. Evaluation de la compatibilité sanitaire avant travaux (ARR prédictive)

La voie d'exposition étudiée dans le cadre du projet de MOTU1 est l'inhalation de substances volatiles présentes dans les sols et les gaz du sol et des eaux souterraines au droit des espaces intérieurs et extérieurs.

L'évaluation des risques sanitaires démontrant des niveaux de risque supérieurs aux seuils de référence énoncés à la note du 19 avril 2017 et la mise à jour de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 éditée par le Ministère en charge de l'Environnement, liés aux impacts dans les eaux souterraines (composés organiques dont benzène) et nécessitent la mise en œuvre de ces dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol.

15.3. Mesures constructives

Afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol, les solutions retenues à ce stade sont les suivantes :

- Cuvelage et système de dépressurisation ;
- Cuvelage par complexe d'étanchéité (membranes...) et traitement de la dalle.

La faisabilité de ces mesures de gestion devra être étudiée par le maître d'œuvre de conception de l'ouvrage. Une solution alternative permettant de répondre aux mêmes objectifs fonctionnels pourra être proposée.

A ce stade, le montant associé à ces dispositions constructives peut atteindre plusieurs M€ (chiffrage en cours par l'architecte).

15.4. Plan de gestion

Conformément au guide méthodologique de l'UPDS, les sources de pollution concentrée ont été définies sur la base d'une analyse statistique et d'une interprétation cartographique et d'un bilan massique. Ces analyses ont mis en évidence une pollution de type « spot » centrée sur 3 à 4 sondages (S11, S24, S25, T4).

Ainsi des seuils de coupure ont été définis pour les sols :

- 2 000 mg/kg, permet de traiter environ 42 % de la masse totale de polluant en ne traitant que 2 % du volume total de sol ;
- 100 mg/kg, permet de traiter environ 53 % de la masse totale de polluant en ne traitant que 2,8 % du volume total de sol.

On note que le seuil de coupure en HAP de 100 mg/kg permet de traiter la pollution en hydrocarbures totaux à un seuil de coupure de 1000 mg/kg, les HAP étant les polluants traceurs.

Les scénarios étudiés et les volumes associés sont :

Scénario	Description	Volumes impactés estimés (en m ³)	Coûts estimés (k € HT) (hors TGAP)	
			Fourchette basse	Fourchette haute
A	Gestion des spots de pollutions uniquement inclus dans la gestion des matériaux excavés dans le cadre du Projet (terrassment du sous-sol) Dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol/ des eaux souterraines.	Emprise du sous-sol : 9 633 m ³ non inertes dont 660 m³ de spot de pollution	650	925
B	Gestion de la totalité des spots de pollution et des matériaux excavés dans le cadre du projet (terrassment du sous-sol) Dispositions constructives afin d'assurer une compatibilité sanitaire du projet avec l'état résiduel du sous-sol/ des eaux souterraines.	Emprise du sous-sol : 9 633 m ³ non inertes dont 660 m³ de spot de pollution Spots de pollution au-delà de l'emprise du sous-sol : 2 960 m³	1 865	2 450

A titre indicatif les coûts liés à la TGAP, selon la TGAP de 2024, sont estimés entre 145 (50% du volume en ISDND et 50% en biocentre) et 270 K€ HT (100% du volume en ISDND) pour le scénario A.

On note que la réalisation des sous-sols traite une partie des spots de pollution estimés sur site 34 % de la pollution de type spot).

Au regard de l'occupation actuelle du site et du projet d'aménagement, seul le traitement hors site est envisageable.

A la vue des coûts de gestion complémentaires à la réalisation du sous-sol permettant de gérer l'ensemble des spots de pollution identifiés (1 200 à 1 550 K€ (hors TGAP) pour 2 960 m³ de terre), de la localisation de ceux-ci **en zone saturée**, des **contraintes techniques liées au talus SNCF** et de la **présence de sources de pollution hydrocarburées hors site** (anciennes cuves à goudron sous l'actuelle gare routière, au nord des voies ferrées) ayant pu impacter les sols et la nappe au droit du site, **le scénario A présente le meilleur bilan coût avantage.**

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

De même, le contenu de la prestation INFOS ne peut être considéré comme exhaustif. Il est le reflet de ce que les personnes rencontrées et les documents transmis et consultés ont pu révéler. La responsabilité d'Antea Group ne saurait être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

Le Client autorise Antea Group à le nommer pour une référence scientifique ou commerciale. A défaut, Antea Group s'entendra avec le Client pour définir les modalités de l'usage commercial ou scientifique de la référence.

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <https://www.anteagroup.fr/annexes>



ANNEXES

Annexe I :	Abréviations générales
Annexe II :	Normes de prélèvement et d'échantillonnage
Annexe III :	Fiches de suivi de sondages et prélèvements des sols
Annexe IV :	Bordereaux d'analyses des sols
Annexe V :	Coupes géologiques et techniques des piézomètres
Annexe VI :	Fiches de prélèvement des eaux souterraines
Annexe VII :	Bordereaux d'analyses des eaux souterraines
Annexe VIII :	Coupes géologiques et techniques des piézairs
Annexe IX :	Fiches de prélèvement des gaz du sol
Annexe X :	Bordereaux d'analyses des gaz du sol et des eaux souterraines
Annexe XI :	Evaluation Quantitatives des Risques Sanitaires
Annexe XII :	Mesures constructives présélectionnées

Annexe I : **Abréviations générales**

ENVIRONNEMENT	
AEI	Alimentation en Eau Industrielle
AEP	Alimentation en Eau Potable
FT	Flore Totale
ICPE	Installation Classée Pour l'Environnement
NGF	Nivellement Général de la France
NPHE	Niveau des Plus Hautes Eaux
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
ZNIEFF	Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique
ZNS	Zone Non Saturée
ZS	Zone Saturée

INSTITUTIONS	
ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
AFNOR	Association Française de Normalisation
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer
COFRAC	COMité FRANçais d'ACcréditation
DRIEE	Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie (spécifique IDF)
DREAL	Direction Régionales de l'Environnement, de L'Aménagement et du Logement
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
UE	Union Européenne
UPDS	Union des Professionnels des entreprises de Dépollution de sites
USEPA	United States Environmental Protection Agency

ETUDES DE RISQUES	
ARR	Analyse des Risques Résiduels
BW	Body Weight (Poids corporel)
CE	Concentration d'Exposition
DJA	Dose Journalière Admissible
DJE	Dose Journalière d'Exposition
ED	Durée d'Exposition
EDR	Evaluation Détaillées de Risques
EQRS	Etude Quantitative de Risques Sanitaires
EF	Fréquence d'Exposition
ERI	Excès de Risque Individuel de cancer
ERS	Evaluation des Risques Sanitaires
ERU	Excès de Risque Unitaire
ESR	Evaluation Simplifiée des Risques
ET	Temps d'Exposition
F	Fraction du temps d'exposition

ETUDES DE RISQUES	
GMS	Groundwater Modeling System
IR	Indice de Risque
JE	Johnson & Ettinger (Modèle)
LOAEL	Lowest-Observed-Adverse-Effect-Level
NAF	Facteur d'Atténuation Naturelle
NOAEL	No-Observed-Adverse-Effect-Level
RAIS	Risk Assessment Information System
RBCA	Risk-Based Corrective Action
RfC	Reference Concentration
SF	Slope Factor
TPHCWG	Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group
VF	Facteur de Volatilisation
VLE	Valeur Limite d'Exposition
VME	Valeur Moyenne d'Exposition
VTR	Valeurs Toxicologiques de Référence

SUBSTANCES, ELEMENTS & COMPOSES	
As	Arsenic
BTEX	Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes
CA	Charbon Actif
CAV	Composé Aromatique Volatil
Cd	Cadmium
CN	Cyanures
COHV	Composés Organo-Halogénés Volatils
Cr	Chrome
Cu	Cuivre
Foc	Fraction de carbone organique
FOD	fioul domestique (fuel oil domestic)
GO	GasOil
H2S	hydrogène sulfuré
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCT	Hydrocarbures Totaux
Hg	Mercure
LQ	Limite de quantification
MS	Matière Sèche
Ni	Nickel
OHV	Composés Halogénés volatils
Pb	Plomb
PCB	Polychlorobiphényles
PEHD	Polyéthylène haute densité
PP	Polypropylène
Ppm	Partie par million
PVC	Polychlorure de vinyle
Zn	Zinc

MARCHES PUPICS	
AE	Acte d'engagement
AMO	Assistance à Maître d'ouvrage
BPE	Bilan Prévisionnel d'exploitation
CCAG	Cahier des Clauses Administratives Générales
CCAP	Cahier des Clauses Administratives Particulières
CCTG	Cahier des Clauses Techniques Générales
CCTP	Cahier des Clauses Techniques Particulières
DCE	Dossier de Consultation des Entreprises
DROC	Déclaration réglementaire d'ouverture de chantier
EPERS	Elément pouvant entraîner la responsabilité solidaire du fabricant
MOE	Maître d'œuvre
OPC	Ordonnancement, Pilotage et Coordination
PFD	Programme Fonctionnel Détaillé
PGC	Plan Général de Coordination
PGCSPS	Plan Général de Coordination en matière de Sécurité et Protection de la santé
PPE	Planning Prévisionnel d'Exécution
PPSPS	Plan Particulier de Sécurité et de Protection
PRM	Personne responsable du marché
PUC	Police Unique Chantier.
VRD	Voirie, Réseaux Divers

INTERVENTION SUR SITE ET TRAVAUX DE DEPOLLUTION	
ADR	arrêté relatif au transport des Marchandises dangereuses par route
ATEX	ATmosphère EXplosible
BRH	Brise Roche Hydraulique
BSD	Bordereau de Suivi des Déchets
CAP	Certificat d'Acceptation Préalable
CATOX	CATalytic OXYdation
DAP	Demande d'Admission Préalable
DIB	Déchets Industriels Banals
DICT	Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux
DIS	Déchets Industriels Spéciaux
DT	Déclaration de Travaux
DTQD	Déchets Toxiques en Quantité Dispersée
EPC	Equipement de Protection Collective
EPI	Equipement de Protection Individuelle
ISCO	In-Situ Chemical Oxydation
ISDI	Installation de Stockage de Déchets Inertes
ISDND	Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux
ISDD	Installation de Stockage de Déchets Dangereux
FDS	Fiche de Données de Sécurité
MASE	Manuel d'Amélioration de la Sécurité des Entreprises
PID	Détecteur à photoionisation
SVE	Soil Venting Extraction
TN	Terrain Naturel

Annexe II : **Normes de prélèvement et d'échantillonnage**

Normes de prélèvements et d'échantillonnage

Antea Group applique les normes de prélèvement et d'échantillonnage suivantes :

MILIEU SOL	Les prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols sont réalisés selon les normes : NF ISO 18400-100 « Qualité du sol - Echantillonnage - Partie 100 : Lignes directrices pour la sélection des normes d'échantillonnage », Mai 2017 NF ISO 18400-101 « Qualité du sol - Echantillonnage - Partie 101 : Cadre pour la préparation et l'application d'un plan d'échantillonnage », Juillet 2017 NF ISO 18400-102 « Qualité du sol - Echantillonnage - Partie 102 : Choix et application des techniques d'échantillonnage », Décembre 2017 NF ISO 18400-103 « Qualité du sol - Echantillonnage - Partie 103 : Sécurité, Décembre 2017 NF ISO 18400-105 « Qualité du sol - Echantillonnage - Partie 105 : Emballage, transport, stockage et conservation des échantillons », Décembre 2017 NF ISO 18400-106 « Qualité du sol - Echantillonnage - Partie 106 : Contrôle de la qualité et assurance de la qualité », Décembre 2017 NF ISO 18400-107 « Qualité du sol - Echantillonnage - Partie 107 : Enregistrement et notification », Décembre 2017 NF ISO 18400-201 « Qualité du sol - Echantillonnage - Partie 201 : Prétraitement physique sur le terrain », Décembre 2017 NF ISO 18512 « Qualité du sol : Lignes directrices relatives au stockage des échantillons de sol à long et à court termes », Octobre 2007 NF ISO 11504 « Qualité du sol : Evaluation de l'impact du sol contaminé avec des hydrocarbures pétroliers », Septembre 2017 NF EN ISO 19258 « Qualité du sol : Recommandations pour la détermination des valeurs de fond », Septembre 2018
MILIEU EAUX SOUTERRAINES	Les prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines sont réalisés selon les normes : NF X 31 614 « Qualité du sol – Méthode de détection et de caractérisation des pollutions - Réalisation d'un forage de contrôle ou de suivi de la qualité de l'eau souterraine au droit et autour d'un site potentiellement pollué », Décembre 2017 NF X 31 615 « Qualité des sols – Méthodes de détection, de caractérisation et de surveillance des pollutions en nappe dans le cadre des sites pollués ou potentiellement pollués - Prélèvement et échantillonnage des eaux souterraines dans des forages de surveillance pour la détermination de la qualité des eaux souterraines », Décembre 2017 NF EN ISO 5667-11 « Qualité de l'eau – Echantillonnage – Partie 11 : Lignes directrices pour l'échantillonnage des eaux souterraines », Avril 2009 NF EN ISO 5667-22 « Qualité de l'eau – Echantillonnage – Partie 22 : Lignes directrices pour la conception et l'installation de points d'échantillonnage des eaux souterraines », Août 2010 L'abandon d'ouvrage de surveillance est réalisé en référence à la norme : NF X 10 999 « Forage d'eau et de géothermie – Réalisation, suivi et abandon d'ouvrages de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages », Août 2014
MILIEU GAZ DU SOL	Les prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les échantillons de gaz du sol sont réalisés selon la norme : NF ISO 18400-204 « Qualité du sol – Echantillonnage – Partie 204 : lignes directrices pour l'échantillonnage des gaz du sol », Juillet 2017

Annexe III : **Fiches de suivi de sondages et prélèvements des sols**

Annexe IV : **Bordereaux d'analyses des sols**

Annexe V : **Coupes géologiques et techniques des piézomètres**

Annexe VI : **Fiches de prélèvement des eaux souterraines**

Annexe VII : **Bordereaux d'analyses des eaux souterraines**

Annexe VIII : **Coupes géologiques et techniques des piézairs**

Annexe IX : **Fiches de prélèvement des gaz du sol**

Annexe X : **Bordereaux d'analyses des gaz du sol et des eaux souterraines**

Annexe XI : **Evaluation Quantitatives des Risques Sanitaires**

Annexe XII : **Mesures constructives présélectionnées**



ENVIRONNEMENT

Évaluation, gestion et valorisation des sites et sols pollués, dossiers réglementaires, risques industriels, audits et conseils, clés en main et maîtrise d'œuvre de travaux de dépollution.



INFRASTRUCTURES

Géotechnique, fondations et terrassements, ouvrages et structures, démantèlement, déconstruction, désamiantage, déplombage, gestion et valorisation des matériaux et des déchets, aménagement du territoire, risques naturels.



EAU

Évaluation, exploitation, gestion de la ressource en eau, géothermie, eau potable et assainissement, traitement des eaux industrielles, aménagements hydrauliques et restauration écologique, sécurisation de la ressource eau.



MESURES ET GESTION DES DONNÉES

Mesures d'eau, de pollution atmosphérique, d'exposition professionnelle, d'air ambiant, d'air intérieur, modélisation, simulation numérique et spatialisation, systèmes d'information et data management, solutions pour le data management environnemental

Références :



Portées
communiquées
sur demande