



6 rue des Essarts 38610 GIERES
☎ +33 (0) 438 120 735
☎ +33 (0) 438 491 523
Sarl RCS Grenoble 440 219 053
APE 7112B – SIRET 440 219 053
00046
contact@g-environnement.fr
<https://www.g-environnement.fr>

Affaire : 5576
Référence : chrono 16922 Aff 5576-RapVA TD 2025.01.29
Type doc : Rapport
Destinataire : GOBBA IMMOBILIER
M. Rémi SIMMONOT
Mail : remi.simonnot@s-immobilier.fr
Tel: 06 14 58 59 39

GOBBA IMMOBILIER

Mission de type : PLAN DE GESTION (PG)

Selon NF X31-620-2 Prestations de services relatives aux sites et sols pollués -
Partie 2 : Exigences dans le domaine et prestations d'études,

Projet Vienne Sévenne - Ancien site GOBBA Vitrage VIENNE – ESTRESSIN (38)

RAPPORT

G ENVIRONNEMENT
BUREAU D'ETUDES GOEMANS
6, rue des Essarts - F - 38610 GIERES
Tél. +33 (0) 438 120 735
Fax +33 (0) 438 491 523
Siret : 440 219 053 00046 - RCS Grenoble

Ind.	Date	Nb pages	Version	Rédigé	Vérifié	Approuvé
A	11/02/2025	109	Modification suite aux remarques du MO	T. DISSI t.dissi@g-environnement.fr		
0	29/01/2025	111	Version initiale	T. DISSI t.dissi@g-environnement.fr	A. MOKRANE a.mokrane@g-environnement.fr	P. GOEMANS p.goemans@g-environnement.fr

SOMMAIRE

1. RESUME NON TECHNIQUE	6
2. ACRONYMES	9
3. SOURCES ET DOCUMENTS CONSULTES	9
3.1. Documents transmis par le maitre d'ouvrage	9
3.2. Autres sources consultées dans le cadre de cette étude	10
4. DESCRIPTION NORMATIVE DE LA PRESTATION REALISEE	10
5. CONTEXTE GENERAL.....	12
5.1. Contexte de l'étude	12
5.2. Situation géographique	12
5.3. Installations existantes – état général du site	13
5.4. Projet d'aménagement du site	14
6. Etudes antérieures	17
6.1. Etude d'octobre 2013 D'ANTEA GROUP	17
6.2. Etude novembre 2015 D'ANTEA GROUP.....	21
6.2.1. Investigations des sols – Mission A200	21
6.2.2. Investigations des eaux souterraines – Mission A210	24
6.2.3. Résultats des analyses.....	26
6.3. Investigation ANTEA GROUP 2022	29
6.4. Interprétation des résultats d'investigation d'ANTEA 2022 par G environnement	32
6.4.4. Eaux souterraines.....	32
6.4.5. Sols.....	33
6.4.6. Gaz de sol	36
6.5. Evaluation quantitative des risques sanitaires G environnement	39
6.6. Schéma conceptuel et modèle de fonctionnement initial.....	40
7. DEFINITION DES MESURES DE GESTION	44
7.1. Pollutions concentrées	44
7.2. Délimitation des zones polluées au droit du site	44
7.2.7. Pollution en hydrocarbures approche par analyse statistique simple	44
7.2.8. Zones de pollution concentrées en hydrocarbures approche cartographique (interpolation)	48
7.2.9. Bilan massique de la pollution en hydrocarbures.....	51
7.2.10. Seuil de coupure et zones de pollution concentrées en hydrocarbures 52	
7.2.11. Pollution en métaux approche cartographique	54
7.2.12. Pollution en métaux - bilans massiques et seuils de coupure	56
7.2.13. Zone de la pollution en métaux et zone de gestion	59
7.2.14. Anomalies ponctuelles mercure, zinc, chrome, HAP et CAV	62
7.3. Filières et solutions de traitement.....	63
7.3.1. Techniques et procédés de dépollution	64
7.3.2. Critères techniques et organisationnels.....	64
7.3.3. Critères économiques.....	65

7.3.4.	Critères environnementaux.....	65
7.4.	Analyse multicritère liée au site	65
7.5.	Estimation des coûts de traitement	71
7.5.1.	Excavation et évacuation hors site (solution 1).....	71
7.5.2.	Bioterre / Biopile (solution 2) pour la pollution HCT	73
7.5.3.	Gestion des impacts sur les eaux souterraines	76
7.5.4.	Conclusion coûts de traitement.....	76
8.	ANALYSE DES RISQUES RÉSIDUELS PREDICTIVE.....	78
8.1.	Méthodologie de calcul et d'interprétation des risques sanitaires	78
8.1.1.	Valeurs Toxicologiques de Référence	78
8.1.2.	Démarche d'interprétation des résultats	78
8.2.	Calcul des risques (QD et ERI)	80
8.3.	Données d'entrée pour le site d'étude.....	81
8.3.1.	Scénarios d'exposition.....	81
8.3.2.	Substances, concentrations et VTR.....	81
8.3.3.	Usages et cibles	83
8.4.	Résultats	83
8.5.	Conclusion	87
9.	SCHÉMA CONCEPTUEL FINAL	89
9.1.1.	Sources potentielles de pollutions et polluants associés	89
9.1.2.	Voies d'exposition et vecteurs de transfert	89
9.1.3.	Cibles et/ou enjeux à protéger.....	89
10.	CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE DES MÉTHODES DE GESTION.....	92
11.	RESTRICTIONS D'USAGE	93
12.	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	94
13.	ANNEXES.....	97
13.1.	Solutions techniques et principe de dépollution	97

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 :	Localisation générale du site étudié (source : Géoportail).....	13
Figure 2 :	Photographie aérienne du site GOBBA Vitrage et de ses environs (source : Géoportail).....	14
Figure 3 :	Plan de masse projet.....	16
Figure 4 :	Localisation des sondages réalisés en 2013 (Source : Rapport ANTEA 2013).	17
Figure 5 :	Synthèse des résultats des analyses des investigations de sol de 2013 (Source : Rapport ANTEA 2013).	20
Figure 6 :	Programme d'investigations des sols (1/2) (Source : Rapport ANTEA 2015).	21
Figure 7 :	Programme d'investigations des sols (2/2) (Source : Rapport ANTEA 2015).	22
Figure 8 :	Synthèse du programme d'analyse (Source : Rapport ANTEA 2015).	23
Figure 9 :	Localisation des 2 nouvelles cuves enterrées (Source : Rapport ANTEA 2015).	24
Figure 10 :	Plan de localisation des sondages et des piézomètres (Source : Rapport ANTEA 2015).	25

Figure 11 : Carte piézométrique, localisation des informations notables dans les sols et les eaux souterraines (Source : Rapport ANTEA 2015)	28
Figure 12 : Carte d'implantation des sondages et des piézaires de la campagne de 20022 (Source : MO)	30
Figure 13 : Carte d'implantation de l'ensemble des piézomètres réalisé entre 2015 et 2022 par ANTEA (Source : MO)	31
Figure 14: Localisation des anomalies détectées dans le sol	38
Figure 15 : Schéma conceptuel initial de fonctionnement. (Résidents)	42
Figure 16 : Schéma conceptuel initial de fonctionnement. (Travailleurs phase chantier et phase pérenne)	43
Figure 17 : Répartition des concentrations en HCT 0 à 1.5m/TN	46
Figure 18 : Répartition des concentrations en HCT 1.5 à 2 m/TN	47
Figure 19 : Interpolation numérique des valeurs des HCT 0 à 1.5 m/TN	50
Figure 20 : Interpolation numérique des valeurs des HCT 1.5 à 2 m/TN	50
Figure 21 : Bilan massique des HCT 0 à 1.5 m/TN	51
Figure 22 : Zones de pollution en HCT	53
Figure 23 : Représentation cartographique de la répartition des concentrations des métaux sur le site sur	55
Figure 24 : Bilans massiques pour les métaux	58
Figure 25 : Zonage de l'impact de la pollution en métaux sur plan état des lieux.....	60
Figure 26 : Zonage de gestion de la pollution sur plan de masse projet.....	61
Figure 27 : Eléments constitutifs du choix de la technique de traitement (Boivin et Ricour, 2005)	63
Figure 28: Quotients de danger ingestion et contact dermique, enfants résidents ...	84
Figure 29: Excès de risque ingestion et contact dermique, enfants résidents	84
Figure 30: Quotients de danger ingestion et contact dermique, travailleurs phase chantier.....	85
Figure 31: Excès de risque ingestion et contact dermique, travailleurs phase chantier	86
Figure 32 : Plan de zonage de gestion de la pollution sur plan de l'existant	88
Figure 33 : Schéma conceptuel final	91

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résumé non technique	9
Tableau 2 : Autres sources consultées.....	10
Tableau 3 : Cadre méthodologique selon la norme NF X31-620-2 : Prestations de services relatives aux sites et sols pollués	11
Tableau 4 : Récapitulatif Sources/Vecteurs/Cibles	41
Tableau 5 : Paramètres statistiques des HCT détectées entre 0 et 1.5 m/TN, et 1.5 et 2m/TN.....	45
Tableau 6 : Echantillons présentant des anomalies des HCT entre 0 et 1.5 m/TN, et 1.5 et 2m/TN selon les graphiques de répartition	48
Tableau 7 : Zones de pollution concentrées des HCT détectées entre 0 et 1.5 m/TN, et 1.5 et 2m/TN données par interpolation numériques des concentrations	49
Tableau 8 : Volumes à gérer pour les HCT	52

Tableau 9 : Seuil de coupure retenus pour l'arsenic, le plomb et le cuivre	59
Tableau 10 : Surface de la zone impactée par les métaux.....	62
Tableau 11 : Anomalies ponctuelles.....	62
Tableau 12 : Techniques de dépollution envisageables	64
Tableau 13 : Délais de traitement selon les différentes technique https://www.selecdepoll.fr	65
Tableau 14 : Coûts comparatif des méthodes de dépollution	65
Tableau 15 : Analyse multicritères des filières et solutions de traitement pour les HCT	67
Tableau 16 : Analyse multicritères des filières et solutions de traitement pour les métaux.....	70
Tableau 17 : Estimation globale des coûts d'excavation, évacuation et remblaiement	72
Tableau 18 : Estimation pour un traitement biopile/biotertre pour les HCT	74
Tableau 19 : Estimation globale pour un traitement combiné biopile/biotertre pour les HCT et excavation/évacuation de la pollution métallique	75
Tableau 20 : Intervalles de gestion (source : d'après Méthodologie Nationale SSP d'avril 2017)	79
Tableau 21 : Valeurs toxicologiques de référence prises en compte pour l'ingestion et le contact dermique	82
Tableau 22 : Paramètres de modélisation ingestion et contact dermique – enfant résident.....	83
Tableau 23: Paramètres de modélisation ingestion et contact dermique- travailleur phase chantier.....	83
Tableau 26 : Récapitulatif Sources/Vecteurs/Cibles, schéma conceptuel final.....	90
Tableau 27 : Risques et équipements de protection individuelle à utiliser.....	92

1. RESUME NON TECHNIQUE

Dénomination	Observations
Client	GOBBA IMMOBILIER
Localisation du site	<p>Le site est localisé au 21, avenue Marcellin Berthelot, au Nord de la commune de Vienne (38). Il est situé dans une zone urbaine à dominante mixte résidentielle et commerciale.</p> <p>Le site correspond aux parcelles cadastrées section AM n° 185, 186, 187, 188, 216, 220, 221, 225, 331, 338 et 340 et s'étend sur une superficie totale d'environ 3,7 ha.</p> <p>Le terrain est relativement plat (pente moyenne de l'ordre de 1% à l'exception du fort talus en limite Est) et se situe à la cote altimétrique de 153 m NGF.</p>
Contexte de l'étude	<p>La présente étude consiste en la réalisation d'un plan de gestion, sur la base des études initiales réalisées par la société ANTEA en 2013, 2015 et 2022, ainsi que sur l'analyse des risques sanitaires réalisée par G environnement.</p> <p>D'après les informations qui nous ont été communiquées, l'objectif du projet sera :</p> <ul style="list-style-type: none"> la démolition de l'existant sur les parcelles, sauf le bureau de poste qui sera rénové ; la construction d'un bâtiment comprenant un magasin au R+1 et un parking en RDC ; la création de local commercial et de locaux d'activité commerces/services de proximités (demande de la mairie d'y implanter une maison de santé); la construction de logements collectifs; l'aménagement de places de stationnement ; la construction d'une résidence seniors comprenant des logements, restaurant, terrasse, salle de sport... ; la création de surface pleine terre, chemin doux et aire de jeux pour enfants.
Sources potentielles de pollution identifiées	Activité du site (usine de vitrage, station-service).

Conclusions et recommandations

Les études ont investigué les milieux sols, gaz du sol et eau souterraine et ont principalement amené à conclure à la présence d'arsenic, cuivre et plomb de manières diffuse sur l'ensemble du site, et de nickel d'une manière très localisée (sud-ouest du site vers l'atelier vitrage et de découpe) et des hydrocarbures dans 4 zones définie comme des zones de pollution concentrée (ZPC) :

- ✓ Anciennes cuves de stockage de gazole,
- ✓ Intérieure de l'atelier autoclave,
- ✓ Cuves de stockage d'huiles caloporteur,
- ✓ A proximité de l'ancien garage vers le sud-est,
- ✓ A proximité de l'ancienne chaufferie vers l'ouest, il s'agit d'un parking actuellement.

D'autres fortes anomalies (CAV, HAP, chrome et mercure) ont été mises en évidence, cependant vu leurs caractères ponctuels et leurs localisations, la gestion des zones contaminées par les hydrocarbures et les autres métaux, permettra par ailleurs de les traiter simultanément.

Plusieurs approches (statistique, cartographie et bilan de masse) ont été utilisées afin de définir les objectifs de pollution résumés dans le tableau suivant :

Polluant	Seuil de coupe retenu mg/kg	Seuil anomalie ordinaire de l'ASPITET mg/kg	Pourcentage de pollution éliminée
HCT	580		
Arsenic (As)	45	25	97%
Cuivre (Cu)	75	20	62% de pollution
Nickel (Ni)	/	60	/
Plomb (Pb)	150	50	61% de pollution

G ENVIRONNEMENT a recommandé la gestion des ZPC des hydrocarbures. Un bilan coûts-avantages a été développé sur la base de différents critères et a permis de retenir deux scénarios :

- Traitement hors site par excavation et évacuation ;
- Traitement sur site par biopile (bioterte).

C'est deux solutions devront être combinées au traitement de fond de fouille, au vu de la présence de la nappe à 5 m de profondeur.

Concernant la pollution en métaux, G environnement a recommandé :

- Traitement hors site par excavation et évacuation pour les premiers 30 centimètres.

Selon la solution retenue, le coût de la dépollution du site serait :

- ✓ Compris entre 201 et 370 k€ HT, pour la gestion des zones de pollution (HCT et métaux) par excavation et évacuation.

	<p>✓ Compris entre 190 et 214 k€ HT, pour la gestion des zones de pollution en HCT par biopile et excavation et évacuation des métaux.</p> <p>✓ Compris entre 9k€ et 12 k€ HT pour le traitement des eaux en fond de fouille de la zone des anciennes cuves de stockage de gazole (60m²).</p> <p>Malgré la gestion des fortes anomalies sur le site, l'analyse des risques sanitaires résiduels a mis en évidence un risque pour la cible "enfants résidents" dans le cadre du scénario "ingestion de sol et de poussières de sol". Ce risque est principalement lié à la présence d'arsenic et de plomb.</p> <p>Cependant, ce risque lié aux métaux sera neutralisé grâce à un aménagement complet du site. En effet, l'ensemble des surfaces sera recouvert par divers aménagements (bâtiments, aires de stationnement, voiries, espaces verts), empêchant ainsi tout contact direct avec les sols impactés</p> <p>D'autre préconisations et mesures de gestion ont été formulées dans le cadre du projet afin de palier tout éventuel risque sanitaire et garantir la compatibilité sanitaire du site avec les usages retenus :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maintien de la pérennité d'un recouvrement au droit de l'ensemble du site, afin de couper la voie de transfert entre la pollution résiduelle et les cibles, • Gestion des déblais générés par le projet (évacuation hors site vers une filière de stockage ou de traitement adaptée à la qualité des déblais), • Gestion des cuves du site selon la bonne règle, par dégazage, vidange et hydrocurage, puis ferrailage et enlèvement par une société possédant les agréments nécessaires. Cette opération devra être suivie de prélèvements et analyses de contrôle en bord et fond de fouille, • Garder un taux de renouvellement d'air intérieur convenable dans les locaux, et logement ou le cas échéant, renforcer l'aération naturelle ou mettre en place une ventilation mécanique adaptée (taux de renouvellement 0,5 v/l), • Mise en place d'une dalle béton étanche d'une épaisseur de 20 cm à minima. L'étanchéité de la dalle peut être renforcée par la pose d'une membrane imperméable ou par ajout d'adjuvants ferreux au béton (afin d'éviter la percolation des gaz de sol à l'intérieur des bâtiments), • Mise en place de canalisations d'eau potable anti-perméation, • L'interdiction de la culture d'arbre fruitiers ou de végétation comestibles, • Tout usage de l'eau souterraine au droit du site, sera assujettie à la réalisation de nouvelles analyses physico-chimiques (après dépollution) concluant à une absence de risque. <p>De plus, G ENVIRONNEMENT a établi des prescriptions pour la mise en œuvre des mesures de gestion et la protection des travailleurs. Conformément à la méthodologie nationale, un suivi de la bonne application des mesures de gestion préconisées devra être réalisé par</p>
--	---

	un prestataire indépendant des entreprises en charge de la réalisation des opérations de gestion de la pollution.
--	---

Tableau 1 : Résumé non technique

2. ACRONYMES

Acronyme	Description
AEP	Alimentation en Eau Potable
AMPG	Arrêté Ministériel de Prescriptions Générales
ARR	Analyse des Risques Résiduels
CASIAS	Carte de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Service
BASOL	Base de données sur les Anciens Sites pollués
BRGM	Bureau de Recherche Géologiques et Minières
BSS	Banque de donnée du Sous-Sol
BTEX	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylène
COHV	Composés Organiques Halogénés Volatils
ERI	Excès de Risque Individuel
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCT	Hydrocarbures Totaux
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IEM	Interprétation de l'Etat des Milieux
PCB	PolyChloroBiphényle
PG	Plan de Gestion
ppm	partie par million (équivalent mg/kg)
QD	Quotient de Danger
SIS	Secteurs d'Information sur les Sols
TN	Terrain Naturel
UPDS	Union des Professionnels de la Dépollution des sites
ZPC	Zone de Pollution Concentrée

3. SOURCES ET DOCUMENTS CONSULTÉS

3.1. Documents transmis par le maître d'ouvrage

- Rapport n°72131/A, octobre 2013 réalisé par la société ANTEA GROUP, ce rapport concerne la réalisation d'un diagnostic environnemental, et comprend :
 - Phase 1 : Visite du site, étude historique et documentaire ;
 - Phase 2 : Investigations de terrains (sols) ;
 - Etablissement du Schéma Conceptuel.

- Rapport n°81902/A, novembre 2015 réalisé par la société ANTEA GROUP ce rapport concerne la réalisation d'un diagnostic environnemental complémentaire, dont l'objectif est ;
 - Approfondir l'étude historique et notamment étendre les recherches pour la période antérieure à 1995, avec consultations des administrations (Préfecture, DREAL, Archives) ;
 - Définir un programme d'investigations complémentaire ;
 - Réaliser les investigations dans les milieux sols et eaux souterraines.
- Résultats d'analyses sur les sols, l'eau souterraines et les gaz de sol campagne 2022 réalisées par la société ANTEA GROUP ;
- Plan d'implantation des points de prélèvement campagne 2022 réalisé par la société ANTEA GROUP ;
- Description du projet ;
- Plan de masse.

3.2. Autres sources consultées dans le cadre de cette étude

Auteur	Type document	Libellé	Date
CADASTRE		https://www.cadastre.gouv.fr/	/
GEOPORTAIL	Photographies aériennes	http://www.geoportail.gouv.fr	2016
GOOGLE MAPS		https://www.google.fr/maps	2019
INERIS	VTR	https://substances.ineris.fr	2021

Tableau 2 : Autres sources consultées

4. DESCRIPTION NORMATIVE DE LA PRESTATION REALISEE

G ENVIRONNEMENT réalise des prestations SSP suivant la méthodologie décrite au sein de la norme NF-X31-620 : Qualité du sol — Prestations de services relatives aux sites et sols pollués.

Pour cette étude, il s'agit spécifiquement de la partie 2 : Exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle, dont le contenu est détaillé ci-après.

DOMAINE A (Partie 2 de la norme NFX 31-620-2)							
Prestations Globales				Prestation Elémentaires			
Code	Dénomination	Base	Option	Code	Dénomination	Base	Option
AMO Etudes	Assistance à maîtrise d'ouvrage en phase Etudes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A100	Visite du site.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LEVE	Levée de doute pour savoir si un site relève ou non de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A110	Études historiques, documentaire et mémorielle.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INFOS	Réalisation des études historiques, documentaires et de vulnérabilité afin d'élaborer un schéma conceptuel et, le cas échéant, un programme prévisionnel d'investigations.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A120	Étude de vulnérabilité des milieux.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DIAG	Mise en œuvre d'un programme d'investigations et interprétation des résultats.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A130	Elaboration d'un programme prévisionnel d'investigations.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PG	Plan de gestion dans le cadre d'un projet de réhabilitation ou d'aménagement d'un site.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A200	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IEM	Interprétation de l'état des milieux.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A210	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SUIVI	Surveillance environnementale.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A220	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux superficielles et/ou sédiments.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BQ	Bilan quadriennal.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A230	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les gaz du sol.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CONT	Contrôle : - de la mise en œuvre du programme d'investigation ou de surveillance ; - de la mise en œuvre des mesures de gestion.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A240	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur l'air ambiant et les poussières atmosphériques.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
XPER	Expertise dans le domaine des sites et sols pollués.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A250	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les denrées alimentaires.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VERIF	Vérifications en vue d'évaluer le passif environnemental lors d'un projet d'acquisition d'une entreprise.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A260	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les terres excavées ou à excaver.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				A270	Interprétation des résultats des investigations.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				A300	Analyse des enjeux sur les ressources en eaux.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				A310	Analyse des enjeux sur les ressources environnementales.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				A320	Analyse des enjeux sanitaires.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				A330	Identification des différentes options de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts/avantages.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				A400	Dossiers de restriction d'usage, de servitudes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tableau 3 : Cadre méthodologique selon la norme NF X31-620-2 : Prestations de services relatives aux sites et sols pollués

5. CONTEXTE GENERAL

5.1. Contexte de l'étude

Ce plan de gestion a été élaboré en réponse à la demande de la société GOBBA IMMOBILIER, en complément aux études de diagnostic de pollution réalisées. Les études ont été menées dans le cadre de la déconstruction des bâtiments de l'ancienne société GOBBA vitrage, situé 21, avenue Marcellin Berthelot sur la commune de VIENNE (38), en vue de l'aménagement d'un nouveau quartier central (OAP Sevenne), comprenant un centre commercial, une résidence senior et des habitats collectifs.

Le présent rapport comporte les éléments suivants :

- Une présentation générale de l'état des lieux ;
- Un résumé des études précédentes ;
- Un plan de gestion.

5.2. Situation géographique

Le site est localisé au 21, avenue Marcellin Berthelot, au Nord de la commune de Vienne (38). Il est situé dans une zone urbaine à dominante mixte résidentielle et commerciale. Il est au voisinage direct :

- A l'Ouest, de l'avenue Marcellin Berthelot puis d'une caserne de pompiers et des immeubles d'habitations ;
- Au Nord, d'une zone commerciale ;
- Au Sud, de la route de Bechevienne puis de commerces ;
- A l'Est, de la route de Bechevienne puis d'une zone boisée sur les contreforts du Mont Salomon.

Le site correspond aux parcelles cadastrées section AM n° 185, 186, 187, 188, 216, 220, 221, 225, 331, 338 et 340 et s'étend sur une superficie totale d'environ 3,7 ha.

Le terrain est relativement plat (pente moyenne de l'ordre de 1% à l'exception du fort talus en limite Est) à la cote altimétrique de 153 m NGF.

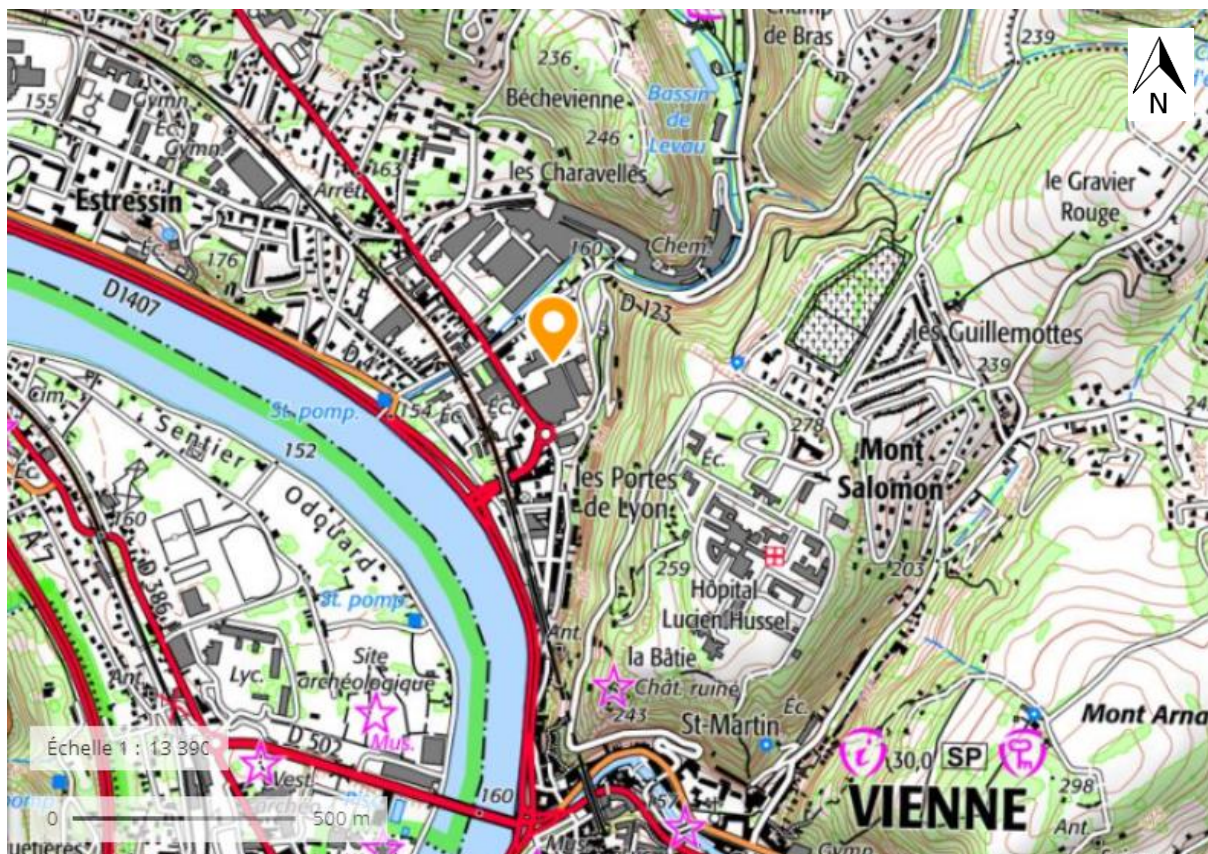


Figure 1 : Localisation générale du site étudié (source : Géoportail)

5.3. Installations existantes – état général du site

Le site comprend actuellement une zone commerciale, un ensemble d'anciens bâtiments industriels d'environ 10 500 m² construits à différentes époques et aujourd'hui désaffectés, de voiries et parking et de deux zones végétalisées (une boisée et une enherbée).

Le tènement est imperméabilisé à presque 90% entre bâti et voirie.



Figure 2 : Photographie aérienne du site GOBBA Vitrage et de ses environs (source : Géoportail)

5.4. Projet d'aménagement du site

L'objectif principal du projet est la requalification urbaine de l'ancien site industriel GOBBA, il prévoit :

- ✓ la démolition de l'existant sur les parcelles, sauf le bureau de poste qui sera rénové ;
- ✓ la construction d'un bâtiment comprenant un magasin au R+1 et un parking en RDC ;
- ✓ la création de local commercial et de locaux d'activité commerces/services de proximités (demande de la mairie d'y implanter une maison de santé);
- ✓ la construction de logements collectifs;
- ✓ l'aménagement de places de stationnement ;
- ✓ la construction d'une résidence seniors comprenant des logements, restaurant, terrasse, salle de sport... ;
- ✓ la création de surface pleine terre, chemin doux et aire de jeux pour enfants.

Les usages futurs retenus pour ce projet sont donc de type résidentiel et tertiaire au sens du décret n°2022-1588 du 19/12/2022 relatif à la définition des types d'usages dans la gestion des sites et sols pollués.

Usage résidentiel, *comprenant un habitat individuel ou collectif, et, le cas échéant, des jardins pouvant être destinés à la production non commerciale de denrées alimentaires d'origine animale ou végétale.*

Usage tertiaire, *correspondant notamment aux commerces, aux activités de service, aux activités d'artisanat ou aux bureaux.*



Figure 3 : Plan de masse projet

6. ETUDES ANTERIEURES

6.1. Etude d'octobre 2013 D'ANTEA GROUP

La société GOBBA Vitrage a missionné ANTEA GROUP pour la réalisation d'un premier diagnostic environnemental sur l'emprise du site, en ciblant sur ses activités propres.

Le diagnostic environnemental comprenait des investigations sur les sols.

La localisation des sondages réalisés le 12 et 13 août 2013 est donnée sur la figure ci-dessous :

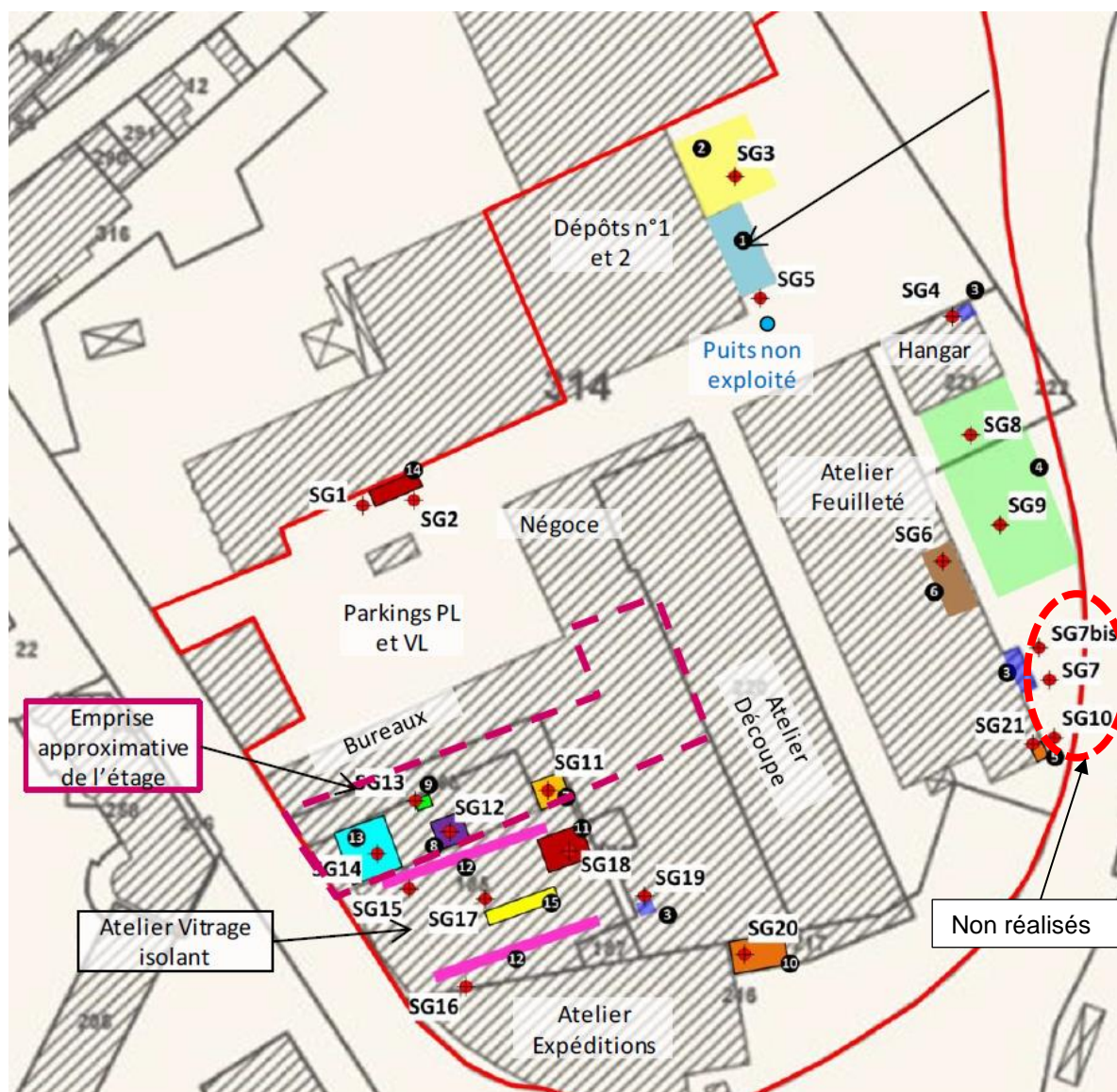


Figure 4 : Localisation des sondages réalisés en 2013 (Source : Rapport ANTEA 2013).

Les sondages **SG7, SG7bis, SG10 et SG19** n'ont pas pu faire l'objet de **prélèvements** car les sondages ont été arrêtés sur une galerie enterrée (refus sur béton ou briques) à 1 m de profondeur et les matériaux au-dessus de la galerie étaient

trop graveleux pour pouvoir faire l'objet d'un prélèvement au carottier (sondeuse Géoprobe).

Observations investigations terrain sur les sols :

Une épaisseur moyenne de 1 m de remblais graveleux beiges à gris-noirâtres avec la présence ponctuelle de briques. Sous les remblais, on observe un horizon de limons bruns ou beiges, surmontant un horizon de limons sableux gris à verdâtres observé à partir de 2,5-3,0 m de profondeur.

La présence d'une galerie enterrée a été repérée au droit des sondages SG7, SG7bis et SG10 (partie Sud-Est du site) à 1 m de profondeur. D'après les informations collectées sur le site, cette galerie récupérerait les eaux pluviales en amont du site GOBBA Vitrage.

Des odeurs d'hydrocarbures ont été identifiées au droit des sondages SG1 et SG2 (cuve gazole enterrée au niveau du parking VL).

Des traces d'imprégnation d'huile ont été observées au droit des sondages SG20 (compresseur) et SG21 (cuve d'huile caloporteur de la chaufferie) ainsi qu'au niveau du mur Est du local où est enterrée la cuve d'huile caloporteur de la chaufferie.

Des arrivées d'eau ont été observées au droit des sondages SG1 et SG2 (cuve gazole enterrée au niveau du parking VL) à partir de 3,8 m de profondeur.

Le niveau des eaux souterraines a été mesuré vers 5 m de profondeur au droit d'un ancien puits présent sur le site et vers 4 m de profondeur au droit de deux sondages réalisés lors des investigations (août 2013).

Résultats d'analyses en laboratoire

Des impacts en hydrocarbures totaux C10-C40 (teneurs entre 330 et 7 100 mg/kg), en HAP (4 à 45 mg/kg) et en CAV (11 à 56 mg/kg) au droit des sondages réalisés à proximité de l'ancienne cuve enterrée de gasoil (SG1 et SG2). Les teneurs les plus élevées sont mesurées en profondeur, à la base des cuves, entre 3 et 4 m de profondeur. Les fractions hydrocarbures majoritaires sont les fractions C12-C21, fraction caractéristique du gasoil.

Un impact en hydrocarbures totaux C10-C40 au droit du sondage SG21 (330 à 5100 mg/kg) implanté à proximité des cuves enterrées de stockage d'huile caloporteur. Les teneurs les plus élevées sont mesurées dans le premier mètre de matériaux, avec les fractions carbonées C21-C35 majoritaires : fraction caractéristique d'une huile.

La présence d'hydrocarbures C10-C40 (430 mg/kg) couplée à des anomalies en métaux (baryum 310 mg/kg, chrome total 34 mg/kg et mercure 14 mg/kg) dans les remblais superficiels du sondage SG5 situé dans l'ancien garage. Des traces de HAP (2,1 mg/kg) sont également observées dans cet échantillon.

Un impact en arsenic lixiviable dans les remblais au droit du sondage SG11 situé dans l'ancien atelier d'émaillage au pistolet (200 mg/kg sur échantillon brut et 0,93 mg/kg sur lixiviats) et au droit du sondage SG13 situé au niveau de l'ancienne unité de floculation (190 mg/kg sur échantillon brut et 0,91 mg/kg sur lixiviats) ;

Des anomalies en métaux (arsenic 190 mg/kg, baryum 350 mg/kg, chrome total 49 mg/kg, cuivre 120 mg/kg, nickel 400 mg/kg et plomb 230 mg/kg) dans les remblais au droit du sondage SG16 implanté au droit de la ligne de fabrication d'isolants pour vitre.

Des teneurs en métaux supérieures au percentile 80 des valeurs mesurées (cadmium 3,8 mg/kg, chrome total 100 mg/kg, cuivre 210 mg/kg, mercure 1,3 mg/kg, nickel 330 mg/kg et plomb 250 mg/kg MS) dans les remblais au droit du sondage SG20 implanté au droit de la chaufferie.

Voir la synthèse des résultats des analyses dans le plan ci-après :

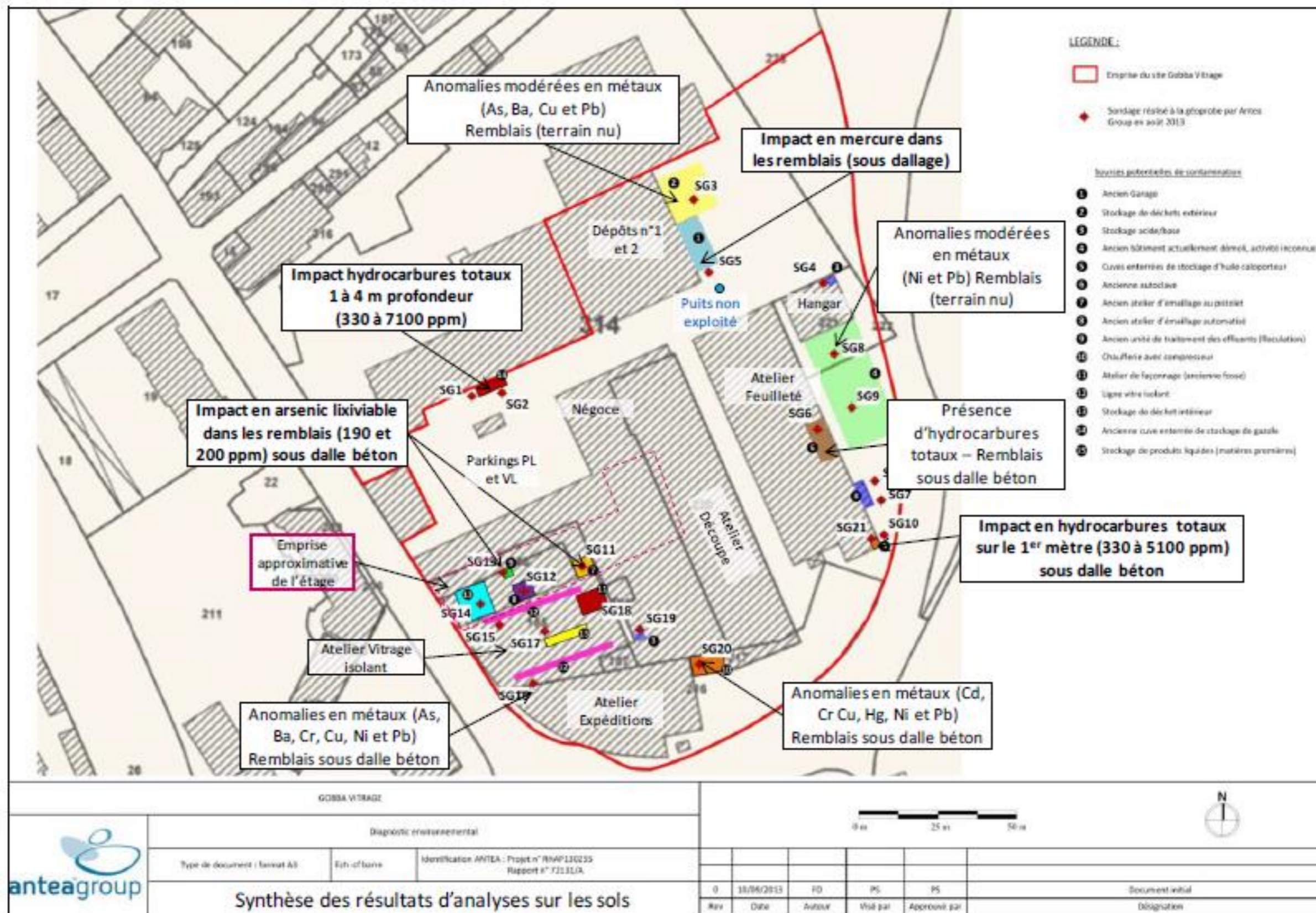


Figure 5 : Synthèse des résultats des analyses des investigations de sol de 2013 (Source : Rapport ANTEA 2013).

6.2. Etude novembre 2015 D'ANTEA GROUP

En vue des potentielles transactions relatives au site, GOBBA Vitrage a mandaté ANTEA GROUP pour réaliser des investigations dans les milieux sols et eaux souterraines.

6.2.1. Investigations des sols – Mission A200

Programme d'investigations :

Le programme d'investigations a consisté en la réalisation de 20 sondages de sols (SG22 à SG40) à proximité des sources avérées de contamination identifiées lors du diagnostic de 2013 et au droit ou à proximité des sources potentielles de contamination identifiées suite à l'étude historique complémentaire.

Indice sur le plan (Figure 9)	Description de la zone	Désignation du sondage	Profondeur (m)
Sources avérées de contamination d'après l'étude historique de 2013, période 1995-2014			
1	Ancien Garage (mercure dans les sols)	SG23	4 m
5	Cuves enterrées de stockage d'huile caloporteur (HCT dans les sols)	SG25	3 m
		SG26	0,5 m (refus)
7	Ancien atelier d'émaillage au pistolet (arsenic dans les sols)	SG30	2 m
9	Ancien unité de traitement des effluents (arsenic dans les sols)	SG31	2 m
14	Ancienne cuve enterrée de stockage de gazole (HCT dans les sols)	SG37	5 m
		SG38	5 m
		SG39	1 m
		SG39bis	5 m
		SG40	5 m

Figure 6 : Programme d'investigations des sols (1/2) (Source : Rapport ANTEA 2015).

Indice sur le plan (Figure)	Description de la zone	Désignation du sondage	Profondeur (m)
Sources potentielles de contamination d'après l'étude historique complémentaire de 2015, axée sur la période antérieure à 1995			
A	Ancienne chaufferie à charbon PASCAL	SG22	2 m
B	Ancienne chaufferie (fuel ? charbon ?) PASCAL VALLUIT	SG34	3 m
		SG35	2 m
		SG36	2 m
C	Atelier de teinturerie PACAL VALLUIT	SG27	2 m
		SG28	2 m
		SG29	2 m
D	Anciens ateliers de confection de textile PASCAL VLLUIT	SG32	3 m
E	Ancienne cuve enterrée de stockage de fuel exploitée par GOBBA	SG24	4 m
Autres	Atelier vitrage	SG33	2 m

Figure 7 : Programme d'investigations des sols (2/2) (Source : Rapport ANTEA 2015).

Aucun sondage n'a été réalisé à l'intérieur du local électrique (ancien local du transformateur), compte tenu du risque électrique.

Les substances recherchées sont listées dans le tableau suivant :

Figure 8 : Synthèse du programme d'analyse (Source : Rapport ANTEA 2015).

Z:\Affaires\5576 - 2024 DOSSIER CAS PAR CAS EQRS ATTES GOBBA IMMOBILIER VIENNE 38\RAPPORT\PG\chronologie\16922 Aff 5576-RapVA TD 2025.01.29 AM.docx

Observations investigations terrain

Deux cuves enterrées ont été identifiées dans le secteur du parking. La localisation de ces cuves est présentée sur la figure ci-dessous.

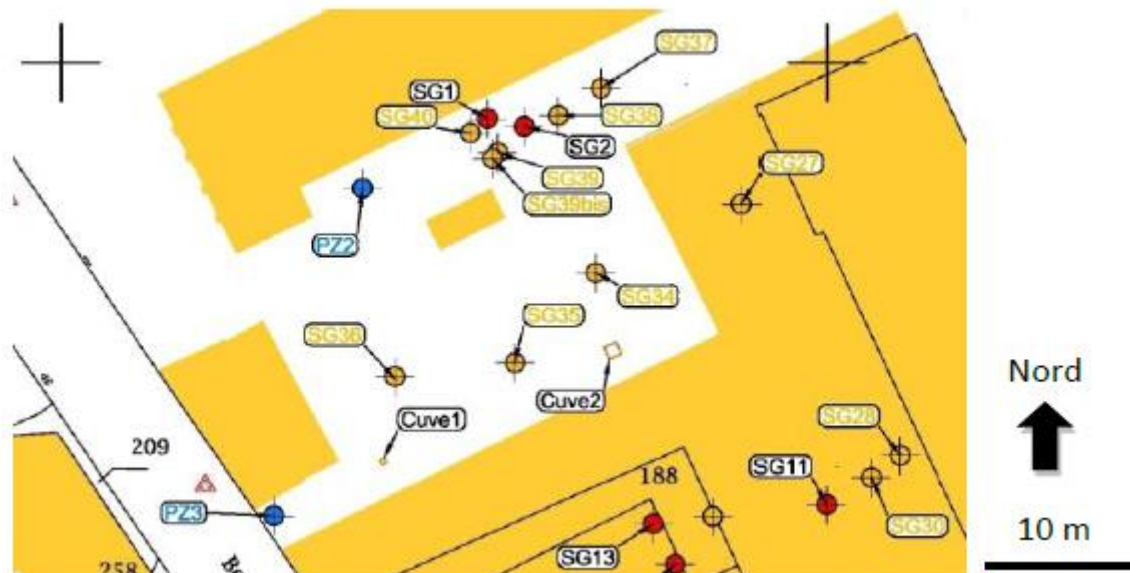


Figure 9 : Localisation des 2 nouvelles cuves enterrées (Source : Rapport ANTEA 2015).

La cuve 1 présente un diamètre de 1,3 mètre et contient du fuel (environ 70 cm d'épaisseur).

La cuve 2 présente un diamètre de 2 mètres et contient de l'eau (environ 1 m d'épaisseur). Un évent est présent à proximité, ce qui laisse penser que cette cuve a pu contenir des hydrocarbures.

Les sondages : SG26, SG30, SG32 et SG36 n'ont pas été réalisés.

6.2.2. Investigations des eaux souterraines – Mission A210

Une pose de quatre piézomètres (PZ1, PZ2, PZ3 et PZ4) a eu lieu afin de pouvoir caractériser la qualité des eaux souterraines au droit du site et en aval hydraulique supposé des sources potentielles de contaminations.

La localisation des piézomètres est présentée en figure 10.

Le programme analytique a été adapté en fonction des substances potentiellement présentes dans les sols et des précédents résultats (2013) :

12 Eléments Traces Métalliques, (COHV), (PCB), Cyanures libérables (CN), (CAV/BTEX), (HAP), (HCT).

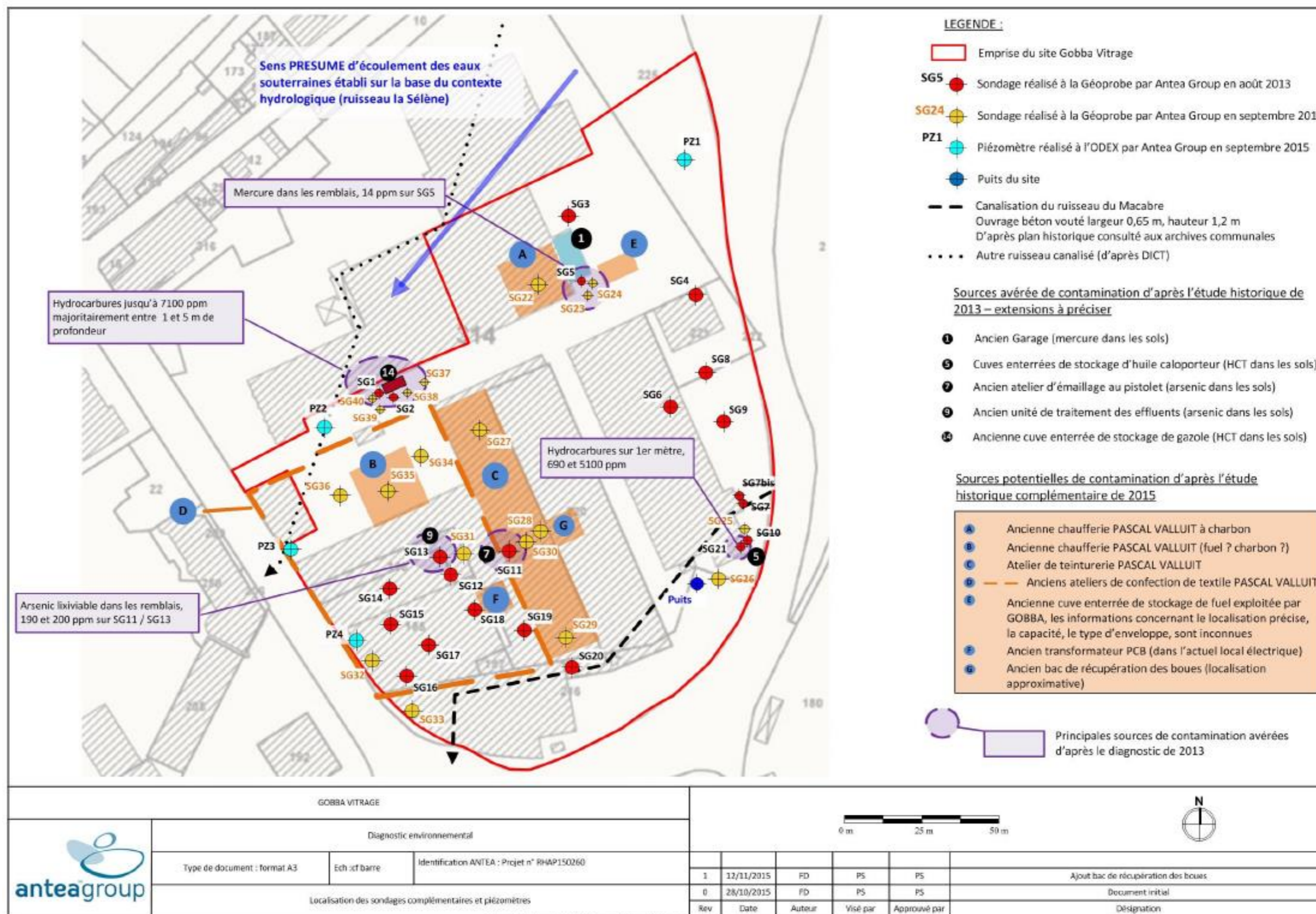


Figure 10 : Plan de localisation des sondages et des piézomètres (Source : Rapport ANTEA 2015).

6.2.3. Résultats des analyses

Résultats des analyses des sols

Dans le secteur de la cuve enterrée de stockage de fuel, Zone 14, impactée au droit des précédents sondages SG1 et SG2 :

- ✓ Absence d'hydrocarbures et de CAV au droit des sondages SG37 et SG39bis jusqu'à 5 m/sol permet de délimiter l'extension de la zone d'impact SG1/SG2 ;
- ✓ Des hydrocarbures de type C10-C35 sont présents au droit des sondages SG38 et SG40 :
 - Entre 2 et 5 m/sol au droit de SG38 (520 et 770 mg/kg),
 - Entre 0 et 1 m/sol puis entre 4 et 5 m/sol au droit de SG40 (respectivement 260 et 1 500 mg/kg).

Dans le secteur de la cuve enterrée de stockage d'huile caloporteur, Zone 5, impactée au droit du précédent sondage SG21 :

- ✓ Impact limité au sondage SG21 compte tenu des concentrations en hydrocarbures mesurées au droit du sondage SG25 (25 mg/kg au droit de SG25 pour 5 100 mg/kg au droit de SG21).

Dans le secteur du sondage SG5, Zone 1, impactée par du mercure :

- ✓ Impact en mercure non confirmé au droit des sondages SG23 et SG24 ;
- ✓ La présence d'arsenic dans les remblais superficiels, avec des concentrations de 71 et 120mg/kg. Les résultats sur éluât après lixiviation montrent que l'arsenic est lixiviable avec une teneur légèrement supérieure au seuil ISDI.

Dans le secteur des anciens ateliers de vitrage et de teinturerie :

- ✓ Présence de métaux lourds dans les remblais, en particulier de l'arsenic (max 170 mg/kg), le baryum (max 400 mg/kg), le chrome (max 250 mg/kg), le cuivre (max 310 mg/kg), le nickel (max 210 mg/kg) et le plomb (max 180 mg/kg),
- ✓ Les analyses de métaux sur éluât réalisées pour les échantillons les plus impactés révèlent un faible taux de lixiviation.

Voir les détails des résultats des analyses dans le plan de la figure 11.

Résultats des analyses des eaux souterraines

Les résultats d'analyses mettent en évidence la présence de :

Métaux lourds :

- ✓ Arsenic : concentration de 32 µg/l en PZ2, supérieure à celle de l'ouvrage de référence en amont PZ1 (inférieur à la limite de détection), et, à titre indicatif, supérieure à la référence pour la potabilité,
- ✓ Baryum : concentrations comprises entre 19 et 69 µg/l pour les ouvrages PZ2 à PZ4 et le puits, supérieures à celle de l'ouvrage de référence amont PZ1 (14µg/l).

Tétrachloroéthylène : concentrations de 0,9 et 1,2 µg/l respectivement en PZ2 et PZ4, supérieures à celle de l'ouvrage de référence en amont PZ1 (inférieur à la limite de détection), mais inférieure à la référence pour la potabilité. La présence de solvants dans les eaux montre donc l'existence d'une source dans les sols qui n'a pas été identifiée à ce jour par les sondages disponibles. La quantité de sols concernés peut rester limitée mais ne peut pas être exclue.

HAP :

- ✓ Acénaphène : concentration de 0,11 µg/l en PZ2, supérieure à celle de l'ouvrage de référence en amont PZ1 (inférieur à la limite de détection),
- ✓ Phénanthrène : concentration de 0,07 µg/l pour le puits, supérieure à celle de l'ouvrage de référence en amont PZ1 (inférieur à la limite de détection).

Les concentrations en hydrocarbure totaux C10-C40, composés aromatiques volatils (CAV/BTEX), PCB et cyanures sont toutes inférieures aux limites de détection du laboratoire.

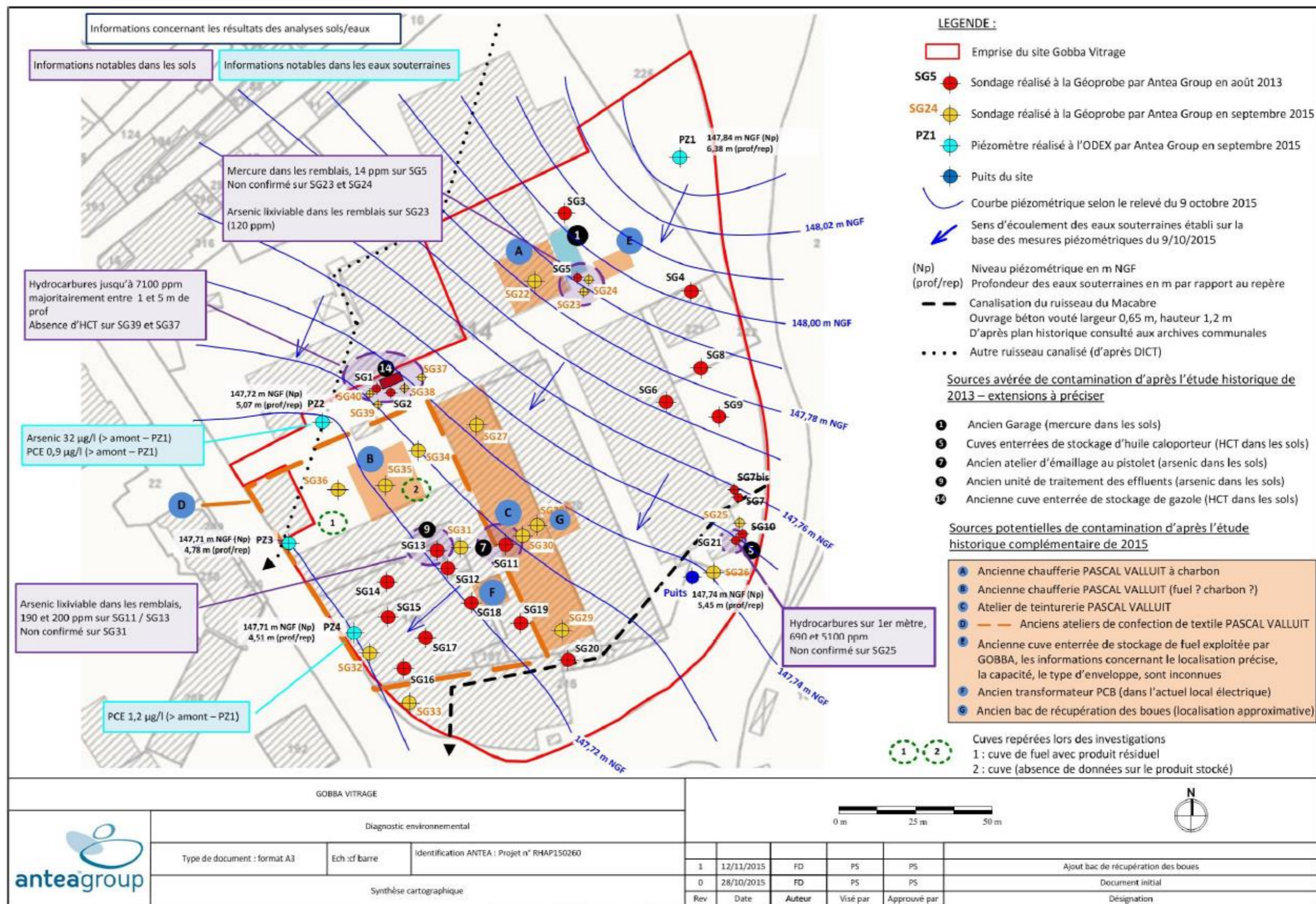


Figure 11 : Carte piézométrique, localisation des informations notables dans les sols et les eaux souterraines (Source : Rapport ANTEA 2015)

6.3. Investigation ANTEA GROUP 2022

Des investigations complémentaires sur les sols, eaux souterraines et gaz de sol ont été réalisées en 2022 par la société ANTEA, les seuls éléments communiqués concernant cette étude sont l'implantation des sondages, des piézomètres et des piézairs ainsi que les résultats des analyses réalisées.

Les investigations ont couvert l'intégralité du site du projet, notamment la zone commerciale au nord.

L'implantation des points de prélèvement est donnée en figure 12 et 13.



Figure 12 : Carte d'implantation des sondages et des piézairs de la campagne de 20022 (Source : MO)



Figure 13 : Carte d'implantation de l'ensemble des piézomètres réalisé entre 2015 et 2022 par ANTEA (Source : MO)

6.4. Interprétation des résultats d'investigation d'ANTEA 2022 par G environnement

Il est à noter que les sondages SG54, SG56 et SG61 n'ont pas été réalisés.

6.4.4. Eaux souterraines

Note : dans son tableau des résultats ANTEA a mentionné à titre indicatif les valeurs seuils de l'arrêté du 11/01/2007 comme référence, celui-là a été modifié par l'arrêté du 30 décembre 2022.

Les résultats d'analyses mettent en évidence la présence de :

Hydrocarbures C7 : concentration supérieure à la limite de quantification du laboratoire relevée au droit de PZ4 (120 µg/l), également supérieure à celle de l'ouvrage de référence en amont PZ1 (inférieur à la limite de détection).

Métaux lourds :

- ✓ Arsenic : concentration de 16 µg/l en PZ2, supérieure à celle de l'ouvrage de référence en amont PZ1 (inférieur à la limite de détection), et, à titre indicatif, supérieure à la référence pour la potabilité (10 µg/l), par ailleurs elle est inférieure à la teneur relevée en 2015 qui était 32 µg/l.
- ✓ Cuivre : concentrations supérieures à la limite de quantification du laboratoire relevées au droit des nouveaux piézomètres réalisés PZ5 11 µg/l et PZ6 8 µg/l, ainsi qu'au droit du puits 5 µg/l, qui sont également supérieures à celle de l'ouvrage de référence en amont PZ1 (inférieur à la limite de détection), à titre indicatif, ces valeurs sont inférieures à la référence pour la potabilité (2000 µg/l).

COHV :

- ✓ Cis-1,2-Dichloroéthylène : concentrations de 0,9 et 5 µg/l respectivement en PZ4 et PZ5, supérieures à celle de l'ouvrage de référence en amont PZ1 (inférieur à la limite de détection), mais inférieure à la valeur guide de OMS 2017 (50 µg/l).
- ✓ Tétrachloroéthylène : concentrations de 1,6 et 0.8 µg/l respectivement en PZ4 et PZ5, supérieures à celle de l'ouvrage de référence en amont PZ1 (inférieur à la limite de détection), mais inférieure à la référence pour la potabilité (10 µg/l). La teneur en PZ4 a doublé comparée à celle relevée lors de la campagne de 2015 qui était de 0,9 µg/l, contrairement à celle relevée au droit de PZ2 qui a disparue lors de cette campagne de 2022.

HAP : cette campagne de 2022 a mis en évidence la présence de naphtalène au droit de PZ3 (0,3 µg/l), PZ4 (0,3 µg/l), PZ6(0,12 µg/l) et le puits (0,16 µg/l), ces concentrations sont supérieures à celle de l'ouvrage de référence en amont PZ1

(inférieur à la limite de détection). A titre indicatif, la somme des HAP pour les 4 prélèvements reste inférieure à la référence des eaux brutes destinées à la potabilisation (1 µg/l). L'acénaphthène relevé en 2015 au droit de PZ2 (0,11 µg/l), et le phénanthrène au droit du puits (0,07 µg/l) n'ont pas été détectés.

Les concentrations en hydrocarbure totaux C10-C40, composés aromatiques volatils (CAV/BTEX), PCB sont toutes inférieures aux limites de détection du laboratoire.

6.4.5. Sols

Lorsqu'il s'agit de pollution métallique de sols, les critères de gestion conduisent à comparer l'état des milieux à l'état des milieux naturels voisins de la zone d'investigation, aux fonds géochimiques, afin de savoir si le milieu est dégradé. Dans le cas présent ils sont comparés au bruit de fond anthropique en milieu urbain industriel.

Nous comparerons ainsi les résultats des analyses du site sur les métaux lourds aux données disponibles dans la littérature :

- Teneurs en huit éléments en traces (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn) dans les sols agricoles en France - INRA 2007 - D. Baize et al.
- Teneurs totales en "métaux lourds" dans les sols français – 2000 – D. Baize
- Synthèse des concentrations en zone urbaine :
 - INERIS – portail substances chimiques – fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques - 2009
 - ATSDR - 1995
 - JDAC Environment – 2001

En l'absence de valeur caractérisant le bruit de fond pour les autres substances, un simple constat de présence ou d'absence a été réalisé en référence à des teneurs supérieures ou inférieures aux limites de quantification du laboratoire.

Dans le cadre de la gestion des terres excavées sur un terrain présentant des anomalies en substances dangereuses. Pour un projet comprenant des terrassements, si les matériaux excédentaires ne peuvent pas être valorisés sur site et/ou hors site, alors ils devront être éliminés dans des centres agréés. L'acceptabilité des différents centres relève de la responsabilité de chacun des exploitants et de leur arrêté.

Les résultats d'analyses sont comparés dans ce cas aux seuils réglementaires d'admission des terres en Installation de Stockage de Déchets Inertes (ISDI) fixés par l'arrêté du 12 décembre 2014.

Métaux :

- Une forte anomalie en arsenic a été détectée au droit des sondages :
 - SG42 (92 mg/kg) et PZA5 (61 mg/kg), situés dans la zone boisée au nord-est du site,
 - SG58(170 mg/kg) situé dans l'ancienne vitrerie.

- SG63 (95 mg/kg), situé à proximité de l'ancienne chaufferie fioul ou charbon (zone B).

Celles-ci ont été relevée en surface entre 0 et 1m/TA, et sont inférieures à la valeur maximale relevée au droit de SG11 (200mg/kg) situé dans l'ancien atelier d'émaillage (zone 7) lors des investigations de 2013.

- Une forte anomalie en cuivre a été détectée au droit des sondages :
 - PZA1 (120 mg/kg), situé dans le secteur des anciens ateliers de vitrage et de teinturerie au sud-ouest.
 - PZA2(110 mg/kg) et PZA3 (94 mg/kg), situés dans l'ancienne autoclave.
 - PZA9 (70mg/kg), situé au nord-est de l'ancien atelier de confection de textile.
 - PZA11 (200 mg/kg), dans l'ancien secteur d'émaillage pistolet (zone 7).

Celles-ci ont été relevée en surface entre 0 et 1m/TA, sauf pour le PZA11 qui a atteint 1.5m/TA et sont inférieures à la valeur maximale relevée au droit de SG33 (310 mg/kg) lors des investigations de 2015.

- Une forte anomalie en plomb a été détectée au droit des sondages :
 - SG63 (170 mg/kg), situé à proximité de l'ancienne chaufferie fioul ou charbon (zone B).
 - PZA1(100 mg/kg), situé dans le secteur des anciens ateliers de vitrage et de teinturerie au sud-ouest.
 - PZA2 (150 mg/kg) et PZA3 (380mg/kg), situés dans l'ancienne autoclave,
 - PZA5 (160mg/kg), situé au sud de la zone boisée.
 - PZA10 (140mg/kg), situé dans le secteur de l'ancienne cuve enterrée de gasoil (zone 14).
 - PZA11 (1200 mg/kg), dans l'ancien secteur d'émaillage pistolet (zone 7).

Celles-ci ont été relevée en surface entre 0 et 1m/TA, sauf pour le PZA11 qui a atteint 1.5m/TA.

- Une forte anomalie en zinc a été détectée au droit des sondages :
 - SG63 (170 mg/kg), situé à proximité de l'ancienne chaufferie fioul ou charbon (zone B).
 - PZA2 (150 mg/kg) et PZA3 (110mg/kg), situé dans l'ancienne autoclave,
 - PZA5 (160mg/kg), situé au sud de la zone boisée,
 - PZA10 (140mg/kg), situé dans le secteur de l'ancienne cuve enterrée de gasoil (zone 14).
 - PZA11 (770 mg/kg), dans l'ancien secteur d'émaillage pistolet (zone 7).

Celles-ci ont été relevée en surface entre 0 et 1m/TA, sauf pour le PZA11 qui a atteint 1.5m/TA.

Hydrocarbures C10-C40 :

Des teneurs en hydrocarbures C10-C40 ont été relevées dans le premier mètre au droit des sondages SG42(46mg/kg), SG58(47mg/kg), SG62(26mg/kg), SG64(120mg/kg), PZA2(82 mg/kg), PZA5 (140mg/kg) également entre 0,5 et 2 m au niveau des sondages SG63(120mg/kg), PZA2(42 mg/kg), PZA3 (47mg/kg), PZA10(71mg/kg) et PZA11(130mg/kg), et entre 2 et 3m pour le sondage SG53(170mg/kg). Ces teneurs ne sont pas très fortes vu le contexte urbain de la zone, contrairement aux valeurs relevées au droit du sondage SG60 (830mg/kg) situé à proximité de l'ancienne chaufferie fioul ou charbon (zone B), teneur mesurée dans le premier mètre et au droit de PZA4(1100mg/kg) mesurée dans le secteur du sondage SG5 (zone 1 ancien garage) prélevé entre 0.7 et 1.5m.

Ces teneurs sont tout de même toutes inférieures à la valeur maximale relevée au droit de SG2 (7100 mg/kg) situé dans le secteur de l'ancienne cuve enterrée de gasoil (zone 14) lors des investigations de 2013.

Le reste des échantillons de cette campagne révèle des concentrations inférieures à la limite de quantification du laboratoire (20 mg/kg).

HAP

Des anomalies en HAP ont été détectées au droit des sondages SG42 (7.9mg/kg) situé dans la zone boisée au nord-est du site, SG63 (7.6 mg/kg) situé au nord-est de l'ancien atelier de confection de textile et PZA5 (7.8 mg/kg) et PZA10 (24mg/kg) situé dans le secteur de l'ancienne cuve enterrée de gasoil (zone 14). La teneur la plus élevée a été mesurée entre 0.9 et 1.5m.

Ces teneurs sont tout de même inférieures à la valeur maximale relevée au droit de SG2 (54 mg/kg) dans le secteur de l'ancienne cuve enterrée de gasoil (zone 14) lors des investigations de 2013.

Le reste des échantillons de cette campagne révèle des concentrations soit inférieures à la limite de quantification du laboratoire ou se manifestant sous forme de traces SG58 (0.18 mg/kg), SG60(0.09mg/kg), SG64 (0.1 mg/kg), PZA2 (2.3 mg/kg), PZA3 (1.2 mg/kg), PZA8 (1.1 mg/kg), PZA (0.39 mg/kg) et PZA11 (2.6 Mg/kg).

Autres

Les sols prélevés au droit des sondages SG50, SG51, SG51, SG52 et SG53 situés dans le secteur de la station services révèlent des concentrations en hydrocarbures C5-C10 inférieures à la limite de quantification du laboratoire (10mg/kg).

L'ensemble des sondages de cette campagne révèlent des concentrations inférieures à la limite de quantification du laboratoire en CAV (0.1 mg/kg) et COHV.

Seul le sondage PZA11 situé à l'intérieur de l'ancien atelier de teinturerie présente des traces de PCB (0.059mg/kg). Les teneurs du reste des sondages sont inférieures à la limite de quantification du laboratoire (0.01 mg/kg).

Acceptabilité en filière ISDI

- ✓ Hydrocarbures : les deux prélèvements SG60 et PZA4 présentent un dépassement du seuil d'acceptabilité en filière ISDI (500 mg/kg) les terres au droit de ces sondages devront être admises en filière ISDND.
- ✓ Carbone Organique total (COT) : certains prélèvements réalisés en cette campagne présentent un dépassement du seuil d'acceptabilité en filière ISDI (30 000 mg/kg) des COT sur brut, il s'agit des sols au droit de SG48, SG57, G58, SG64, PZA5, PZA6 PZA10 et PZA11. Le seuil des COT sur éluât (500mg/kg) est, quant à lui, respecté. Les terres au droit de ces sondages restent donc admissibles en ISDI.
- ✓ Mercure : les prélèvements au droit des sondages SG62, PZA1 et PZA4 présentent un dépassement du seuil d'acceptabilité en filière ISDI (0.01 mg/kg), les terres au droit de ces sondages devront être admis en ISDND.
- ✓ Fluorures et sulfates : le prélèvement au droit du sondage SG63 présente un dépassement des seuils d'acceptabilité en filière ISDI (10 mg/kg pour les fluorures et 1000 mg/kg pour les sulfates), les terres au droit de ces sondages devront être admis en ISDND.

6.4.6. Gaz de sol

Pour les gaz de sol, un simple constat de présence ou d'absence a été réalisé en référence à des teneurs supérieures ou inférieures aux limites de quantification du laboratoire.

TPH aromatiques et aliphatiques : l'ensemble des échantillons (prélèvement de longue durée) ont révélé la présence de TPH aromatiques et aliphatiques dans les gaz de sol, les valeurs maximales des indices ont été retrouvées en PZA4 (indice hydrocarbures aliphatiques C5-C16 : 57969.70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et PZA11 (indice hydrocarbures aromatiques C6-C16 : 414.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Il est à noter que les TPH ont produit une saturation de la couche de mesure et une contamination de la couche de contrôle en PZA4 dépassant 5% la valeur de la couche de mesure (massique). Un second prélèvement de courte durée au droit de ce piézair a eu lieu et a donné un indice hydrocarbures aliphatiques C5-C16 : 94142.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ plus important que le premier mais sans contaminer la couche de contrôle.

CAV- BTEX : l'ensemble des échantillons (prélèvement de longue durée) ont révélé la présence de CAV- BTEX dans les gaz de sol, la valeur maximale a été retrouvée en PZA11 (410.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

HAP : seul le naphthalène présente des valeurs supérieures à la limite de quantification du laboratoire (<0.07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans l'ensemble des prélèvements. La valeur maximale a été retrouvée en PZA10 (7.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

COHV

Trichlorométhane : quatre des prélèvements dépassent la limite de quantification du laboratoire, il s'agit du PZA3 (6.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), PZA10 (4.97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et PZA11 (2.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

1,1,1-Trichloroéthane : quatre des prélèvements dépassent la limite de quantification du laboratoire, il s'agit du PZA1 (1.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), PZA2 (3.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), PZA5 (1.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et PZA11 (5.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Trichloroéthylène : trois des prélèvements dépassent la limite de quantification du laboratoire, il s'agit du PZA3 (24.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), PZA9 (1.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et PZA11 (10.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tétrachloroéthylène : huit des prélèvements dépassent la limite de quantification du laboratoire, il s'agit du PZA1 (266.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), PZA2 (148.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), PZA3 (2 971.97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), PZA6 (1.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), PZA9 (1.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), PZA10 (3.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et PZA11 (41.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Mercure : l'ensemble des échantillons relève des valeurs inférieures à la limite de quantification du laboratoire.

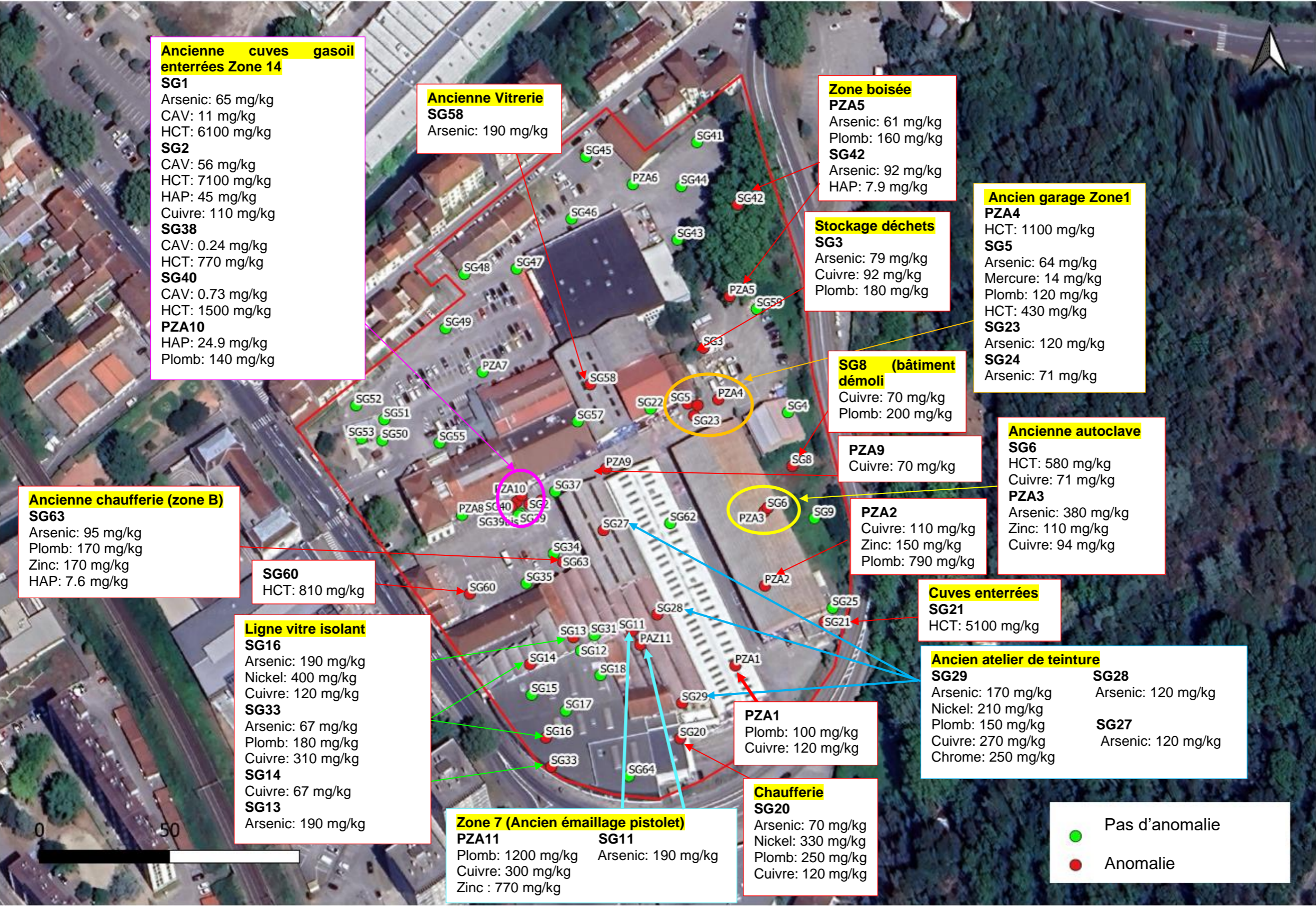


Figure 14: Localisation des anomalies détectées dans le sol

6.5. Evaluation quantitative des risques sanitaires G environnement

A la demande de la société GOBBA IMMOBILIER, G environnement a réalisé le 11/09/2024 une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) rapport référencé *chrono 16604 Aff 5576-RapV0 TD 2024.09.11*.

Le but de l'étude était la vérification de la compatibilité sanitaire de l'état actuel du site avec les usages prévus, en raison des anomalies mises en évidence dans les sols, gaz de sol et eaux souterraines par ANTEA GROUP, lors des investigations menées en 2013, 2015 et 2022.

Au regard de l'analyse des risques sanitaires réalisée, l'état des milieux révèle :

Pour les enfants résidents :

- l'existence de risque sanitaire pour le scénario contact dermique, les éléments influençant sont les hydrocarbures C12-C35, les métaux (arsenic, mercure et plomb) et le Benzo(a)pyrene.
- l'existence de risque sanitaire pour le scénario d'ingestion de sol, les éléments influençant sont les hydrocarbures C12-C35, les métaux (arsenic, plomb, nickel et chrome) et le Benzo(a)pyrene.
- l'absence de risque sanitaire pour le scénario d'inhalation d'air intérieur.

Pour les travailleurs phase chantier :

- l'existence de risque sanitaire pour le scénario contact dermique, les éléments influençant sont les hydrocarbures C12-C35, les métaux (arsenic, mercure et chrome).
- l'existence de risque sanitaire pour le scénario d'ingestion de sol, les éléments influençant sont les métaux (arsenic, plomb, nickel).

Pour les travailleurs :

- l'existence de risque sanitaire pour le scénario contact dermique, les éléments influençant sont les métaux (arsenic et chrome).
- l'existence de risque sanitaire pour le scénario d'ingestion de sol, les éléments influençant sont les métaux (arsenic et plomb) et le Benzo(a)pyrene.
- l'absence de risque sanitaire pour le scénario d'inhalation d'air intérieur.

En l'état sans mesures de gestion de la pollution le site est jugé non compatible avec les usages futurs de type résidentiel et tertiaire.

6.6. Schéma conceptuel et modèle de fonctionnement initial

Le schéma conceptuel a pour but de représenter de façon synthétique tous les scénarios d'exposition directs ou indirects entre les usagers du site et les polluants présents dans un milieu. Il a donc pour but d'identifier les enjeux sanitaires et environnementaux. C'est l'une des premières phases de l'étude d'un site pollué qui s'attache à caractériser l'état des différents milieux.

Pour mémoire, l'existence d'un risque correspond à la coexistence d'une source, d'une voie d'exposition et d'une cible.

Le schéma conceptuel doit donc permettre d'identifier :

- Les sources potentielles de pollutions et les polluants associés ;
- Les voies de transfert correspondant aux possibilités de déplacement des polluants à travers les milieux ;
- Les milieux d'exposition : sols, gaz de sol, eaux souterraines ou de surface ;
- Les voies d'exposition : caractérisées par le mode de transfert des polluants contenus dans les milieux d'exposition en fonction des cibles identifiées ;
- Les cibles.

1. Sources potentielles de pollutions et polluants associés

Source : sols, gaz de sol, eau souterraine.

Polluants : métaux (Pb, As, Cr, Cu, Hg, Zn), hydrocarbures, HAP, CAV, TPH, COHV.

2. Voies d'exposition et vecteurs de transfert

Les voies d'exposition retenues sont :

- Ingestion de terres ;
- Inhalation de poussières ou de particules ;
- Contact cutané avec les milieux eaux ou sols pollués ;
- Inhalation de substances volatiles émises par les sols pollués (dégazage).

Les voies d'exposition non retenues sont :

- Inhalation de substances volatiles émises par les nappes ;
- Ingestion de légumes ou autres denrées alimentaires exposés aux polluants ;
- Consommation ou utilisation d'eau souterraine, si des captages ou des puits sont présents ;
- Consommation d'eau du robinet susceptible d'avoir été polluée.

3. Cibles et/ou enjeux à protéger

Futurs résidents dont enfant, travailleur sur chantier.

Milieu et substances potentiellement polluantes identifiées	Voie d'exposition	Cible	Voie d'exposition retenue	Observations
Sol : métaux (Pb, As, Cr, Cu, Hg, Zn), hydrocarbures, HAP, CAV, TPH, COHV.	Ingestion	Futurs résidents dont enfant, travailleurs en phase pérenne et travailleurs sur chantier	Oui	Au droit des zones non imperméabilisées et lors des travaux
	Inhalation de poussières et particules		Oui	
	Contact dermique		Oui	
Gaz de sol : TPH, et BTEX	Inhalation de composés volatiles provenant des sols et eaux souterraines		Oui	Présence de volatiles substances dans les gaz de sol.
Eaux souterraines	Ingestion		Non	Pas d'usage d'eau prévu droit du site.
	Contact dermique		Non	
Eaux superficielles	Ingestion		Non	Aucun usage des d'eaux superficielles sur le site n'est prévu.
	Contact dermique		Non	

Tableau 4 : Récapitulatif Sources/Vecteurs/Cibles

Cible: Résidents dont enfant

Inhalation d'air antérieur,
Ingestion de sols,
Contact dermique.

Bâtiments résidentiels

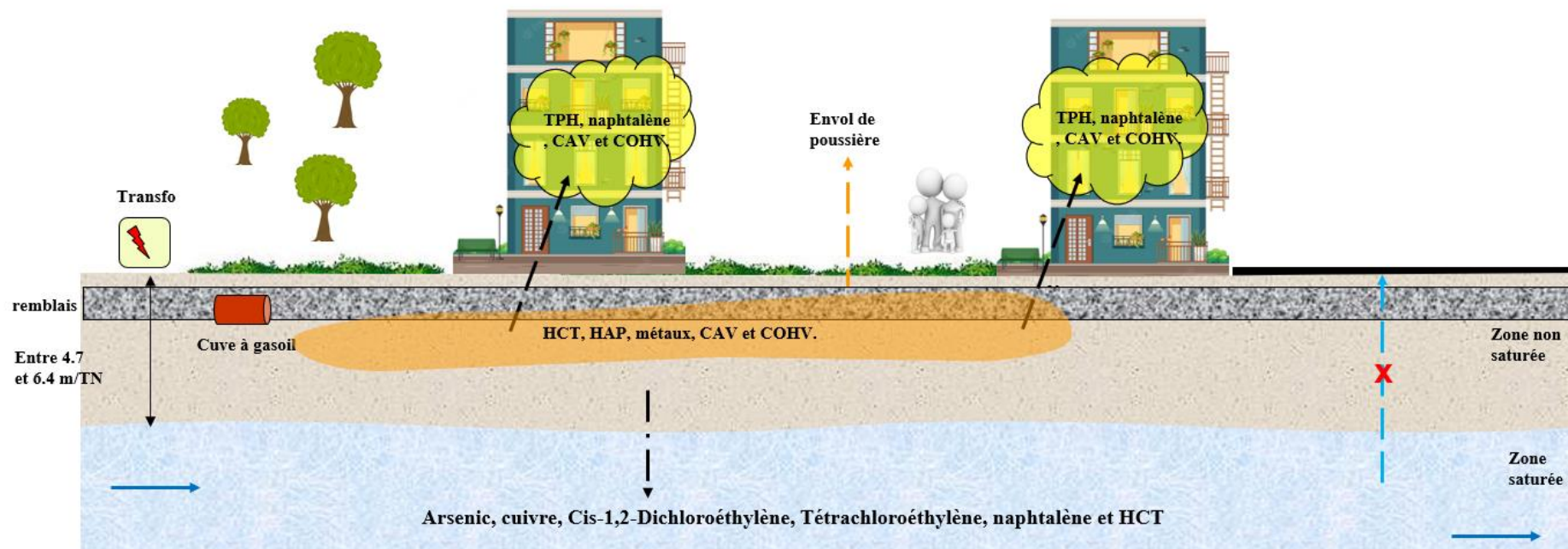


Figure 15 : Schéma conceptuel initial de fonctionnement. (Résidents)

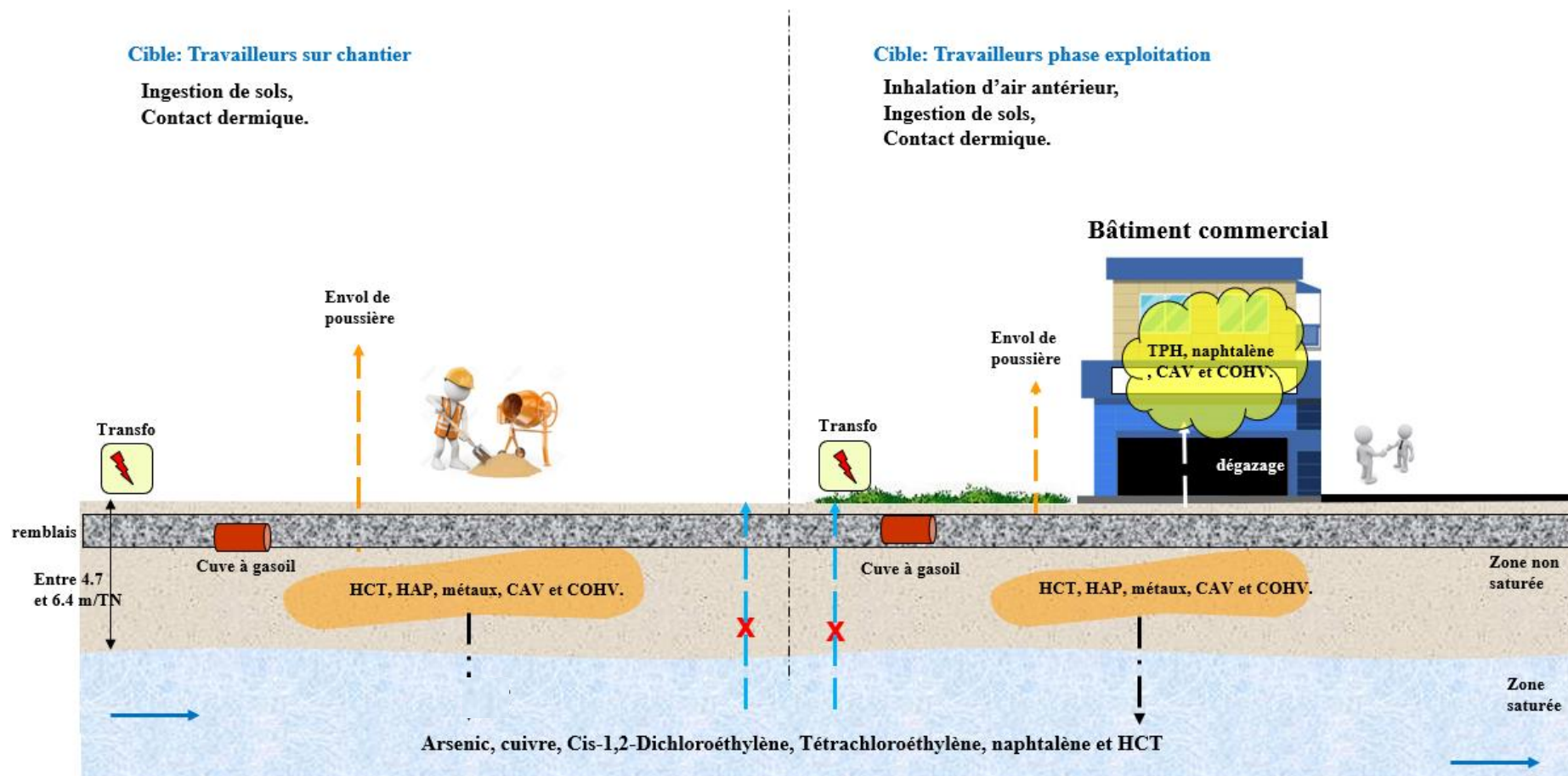


Figure 16 : Schéma conceptuel initial de fonctionnement. (Travailleurs phase chantier et phase pérenne)

7. DEFINITION DES MESURES DE GESTION

7.1. Pollutions concentrées

Pour la pollution concentrée, l'UPDS a indiqué dans son guide la définition 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 ».

D'après la note ministérielle du 19 avril 2017, 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, sa délimitation et donc son existence, doivent résulter de la convergence des résultats d'au moins deux méthodes parmi celles identifiées ci-dessous :

- Méthode N°1 - Interprétation des constats de terrain,
- Méthode N°2 - Interprétation cartographique,
- Méthode N°3 - Analyse statistique,
- Méthode N°4 - Bilan massique,
- Méthode N°5 - Détermination de la présence d'une phase organique dans les sols,
- Méthode N°6 - Approche géostatistique.

7.2. Délimitation des zones polluées au droit du site

Les analyses réalisées sur les sols, lors des études précédentes, mettent en évidence la présence de pollution concernant essentiellement des hydrocarbures et des métaux (arsenic, plomb, cuivre et nickel), avec une présence très localisée en CAV et HAP, mercure, chrome, zinc et cadmium.

7.2.7. Pollution en hydrocarbures approche par analyse statistique simple

L'objectif de l'analyse statistique est de caractériser la présence d'un éventuel bruit de fond et/ou de valeurs anormales significativement différentes dans la distribution des concentrations.

Les calculs statistique suivants concernent les valeurs des HCT détectées entre 0 et 1.5 m/TN, et 1.5 et 2m/TN :

Paramètres	HCT à 1.5m/TN	HCT à 1.5 à 2m/TN
Concentration maximale	5100	330

Concentration moyenne	232.3	14.7
Ecart type	749	68
Centile 75	125	20
Centile 90	300	28

Tableau 5 : Paramètres statistiques des HCT détectées entre 0 et 1.5 m/TN, et 1.5 et 2m/TN

D'après le Tableau précédent, il apparaît notamment pour les concentrations en HCT :

- Entre 0 et 1.5m/TN :
 - 75% des concentrations sont inférieures ou égales à 120 mg/kg ;
 - 90% des concentrations sont inférieures ou égales à 300 mg/kg.
- Entre 1.5 et 2 m/TN :
 - 75% des concentrations sont inférieures ou égales à 20 mg/kg ;
 - 90% des concentrations sont inférieures ou égales à 28 mg/kg.

De ce fait 90% des valeurs des HCT déterminées sont inférieures à 500 mg/kg (seuil de l'arrêté du 12/12/2014 définissant le caractère inerte de ceux-ci), pour les tranches 0 à 1.5m/TN et 1.5 à 2 m/TN.

Par ailleurs, des graphiques de répartition des concentrations (nuage de points des concentrations en fonction de l'échantillon) ont également été réalisés, ce qui a permis de comparer les concentrations entre elles et une visualisation rapide des concentrations suggérant une anomalie, liées à des pollutions concentrées.

La figure 17, ci-après met en évidence un ensemble d'échantillons de concentrations en HCT, mesurées entre 0 et 1,5 m/TN, variant de 20 à 580 mg/kg, ce qui pourrait être assimilé au bruit de fond de cette tranche du sol, quelques points isolés sont notables (830, 1100 et 5100 m/kg) au-delà de 580 mg/kg. Ce graphique est cohérent avec l'analyse statistique des données (Tableau 5) qui montre que plus de 90% des échantillons présentent des concentrations inférieures à 300 mg/kg.

La figure 18, quant à elle met en évidence un ensemble d'échantillons de concentrations en HCT, mesurées entre 1,5 et 2 m/TN, variant de 20 à 28 mg/kg, ce qui pourrait être assimilé au bruit de fond de cette tranche du sol. Un seul point isolé a été révélé (330 mg/kg) au-delà de 28 mg/kg. Le graphique est cohérent avec l'analyse statistique des données (Tableau 5) qui montre que plus de 90% des échantillons présentent des concentrations inférieures à 28 mg/kg. (Il est à noter que la valeur 330 mg/kg est retrouvée dans le même sondage SG21 révélant une teneur de 5100 mg/Kg de la tranche située entre 0 et 1,5 m/TN).

Ces valeurs resteraient toutefois à confirmer en les croisant avec les résultats d'une autre méthode de détermination de la pollution concentrée. Une analyse cartographique permettrait de localiser les échantillons très concentrés et préciser s'il s'agit d'une pollution concentrée.

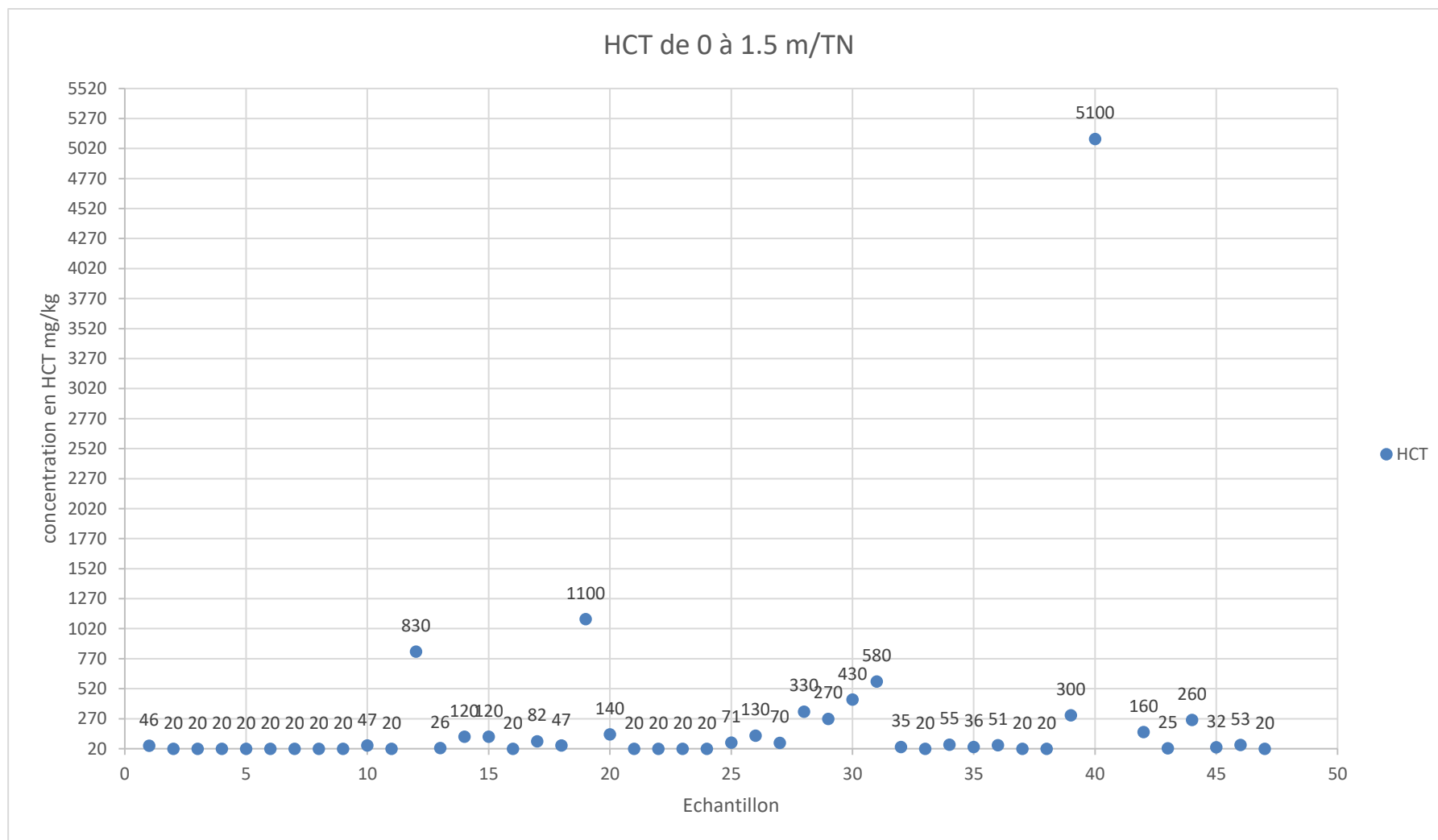


Figure 17 : Répartition des concentrations en HCT 0 à 1.5m/TN

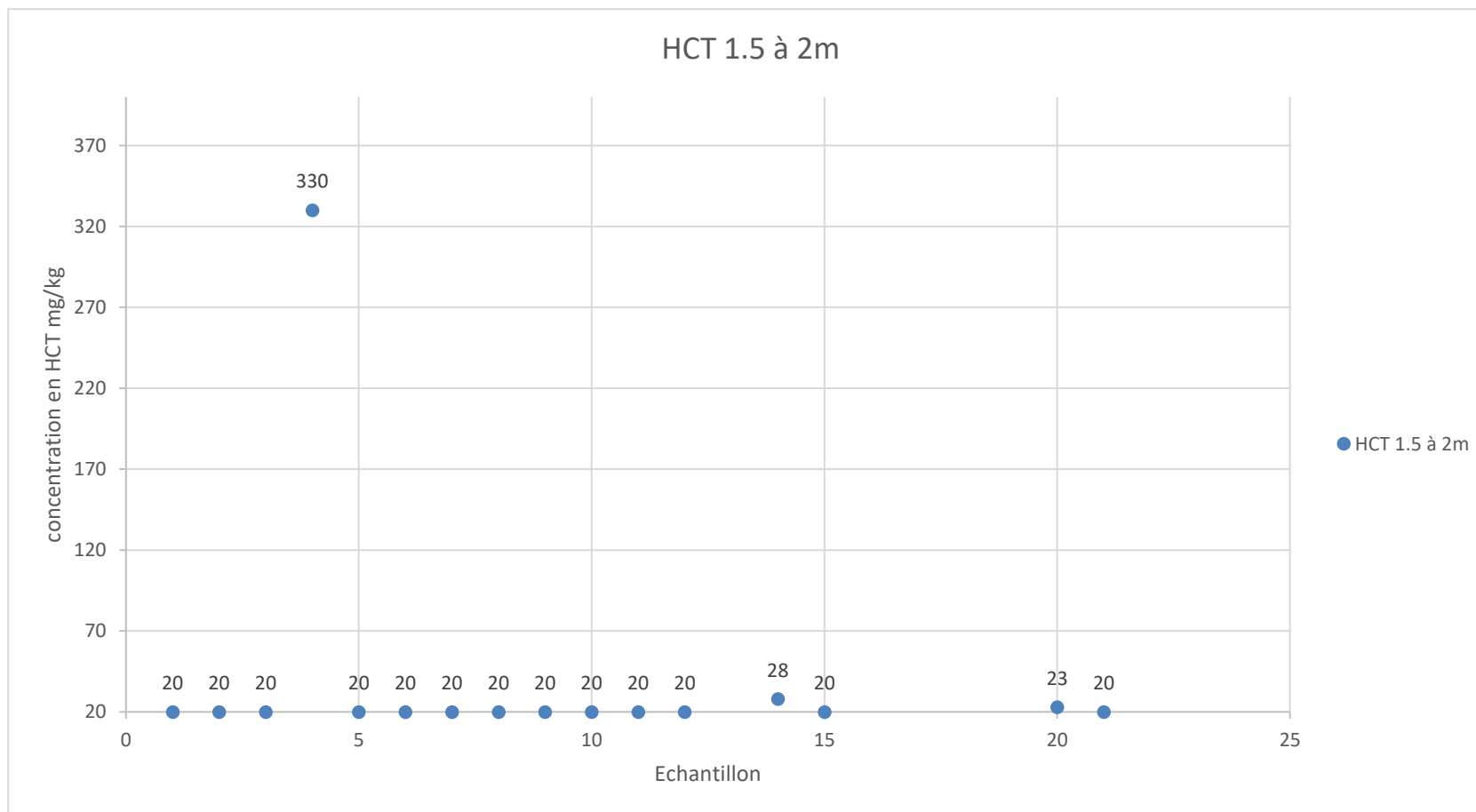


Figure 18 : Répartition des concentrations en HCT 1.5 à 2 m/TN

Les tranches situées entre 2m et 5m/TN, non pas pu être analysées statistiquement, en raison du peu d'échantillons réalisées à ces niveaux. Cependant en tenant compte de leurs localisations (anciennes cuves de stockage de gazole) et des résultats des concentrations, leurs teneurs en hydrocarbure sont supérieures à 500 mg/kg, seuil de l'arrêté du 12/12/2014 définissant le caractère inerte des HCT) à leurs niveaux.

Les échantillons apparaissant comme présentant des anomalies selon cette première démarche sont présentés dans le tableau suivant :

Zones des sondages des anomalies	Profondeur (m/TN)	Concentration max mg/kg
Anciennes cuves de stockage de gazole (sondages SG1, SG2, SG38 et SG40)	2 à 3	2900
	3 à 4	7100
	4 à 5	1500
Intérieure de l'atelier autoclave (Sondage SG6)	0 à 1.5	580
Cuves de stockage d'huiles caloporteur (sondage SG21)	0 à 1.5	5100
	1.5 à 2	330
A proximité de l'ancien garage vers le sud-est (sondage PZA4)	0 à 1.5	1100
A proximité de l'ancienne chaufferie vers l'ouest, il s'agit d'un parking actuellement (sondage SG60)	0 à 1.5	830

Tableau 6 : Echantillons présentant des anomalies des HCT entre 0 et 1.5 m/TN, et 1.5 et 2m/TN selon les graphiques de répartition

Il apparait que ces échantillons sont prélevés dans des remblais ayant mis en évidence des constats organoleptiques particuliers (mesures PID non nulles ou traces noires ou odeurs d'hydrocarbures, etc).

7.2.8. Zones de pollution concentrées en hydrocarbures approche cartographique (interpolation)

L'ensemble des analyses disponibles pour chaque tranche 0 à 1.5 m/TN, et 1.5 à 2m/TN a été représenté respectivement dans les figures (19) et (20) sans sélection de gamme de concentration.

L'analyse cartographique de la figure 19 met en évidence un bruit de fond de teneurs n'excédant pas les 500 mg/kg sur l'ensemble du terrain et une répartition géographiquement ponctuelle des anomalies.

L'analyse de la cartographie de la figure 20, quant à elle met en évidence un bruit de fond de teneurs n'excédant pas les 50 mg/kg sur l'ensemble du terrain et une répartition géographiquement ponctuelle des anomalies.

Les anomalies ponctuelles révélées par les cartes correspondent aux :

- 1) Pour la tranche située entre 0 et 1.5m/TN :
 - De la zone des cuves de stockage d'huiles caloporteur (sondage SG21) ;
 - De la zone à proximité de l'ancien garage vers le sud-est (sondage PZA4) ;

- De la zone à proximité de l'ancienne chaufferie vers l'ouest, il s'agit d'un parking actuellement (sondage SG60) ;
- De la zone à l'intérieure de l'atelier autoclave (sondage SG6).
-
- 2) Pour la tranche située entre 1.5 et 2 m/TN :
 - De la zone des cuves de stockage d'huiles caloporteur (sondage SG21).

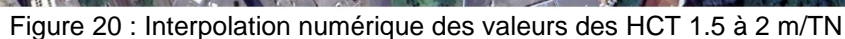
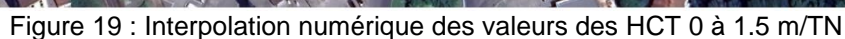
Les tranches situées entre 2m et 5m/TN, non pas pu être interpolées en raison du peu d'analyses réalisées à ces niveaux.

La concentration maximale qui correspond à chaque zone est donnée dans le tableau suivant :

Zones de pollution concentrées	Profondeur (m/TN)	Concentration max mg/kg
Intérieure de l'atelier autoclave (Sondage SG6)	0 à 1.5	580
Cuves de stockage d'huiles caloporteur (sondage SG21)	0 à 1.5 1.5 à 2	5100 330
A proximité de l'ancien garage vers le sud-est (sondage PZA4)	0 à 1.5	1100
A proximité de l'ancienne chaufferie vers l'ouest, il s'agit d'un parking actuellement (sondage SG60)	0 à 1.5	830

Tableau 7 : Zones de pollution concentrées des HCT détectées entre 0 et 1.5 m/TN, et 1.5 et 2m/TN données par interpolation numériques des concentrations

Les résultats des interpolations des HCT entre 0 et 1.5m/TN et 1.5 et 2m/TN sont données dans les figures ci-dessous :



7.2.9. Bilan massique de la pollution en hydrocarbures

Les représentations cartographiques présentées au-dessus ont permis une estimation des volumes de sol associés à chaque gamme de concentrations.

Les estimations de bilan massique ont été construites en retenant une masse volumique moyenne de 1,8 tonne/m³ pour le sol, ce qui a permis d'élaborer, le graphique de bilan massique de polluant et volume de sol correspondant, avec :

- En ordonnées le pourcentage de volume (en bleu) de sol correspondant à chaque gamme de concentration et les pourcentages de masse de polluants (en orange) contenus dans les volumes de sol définis au précédent point.
- En abscisse, les plages de concentration de polluants dans les sols retenues pour cette analyse du bilan massique.

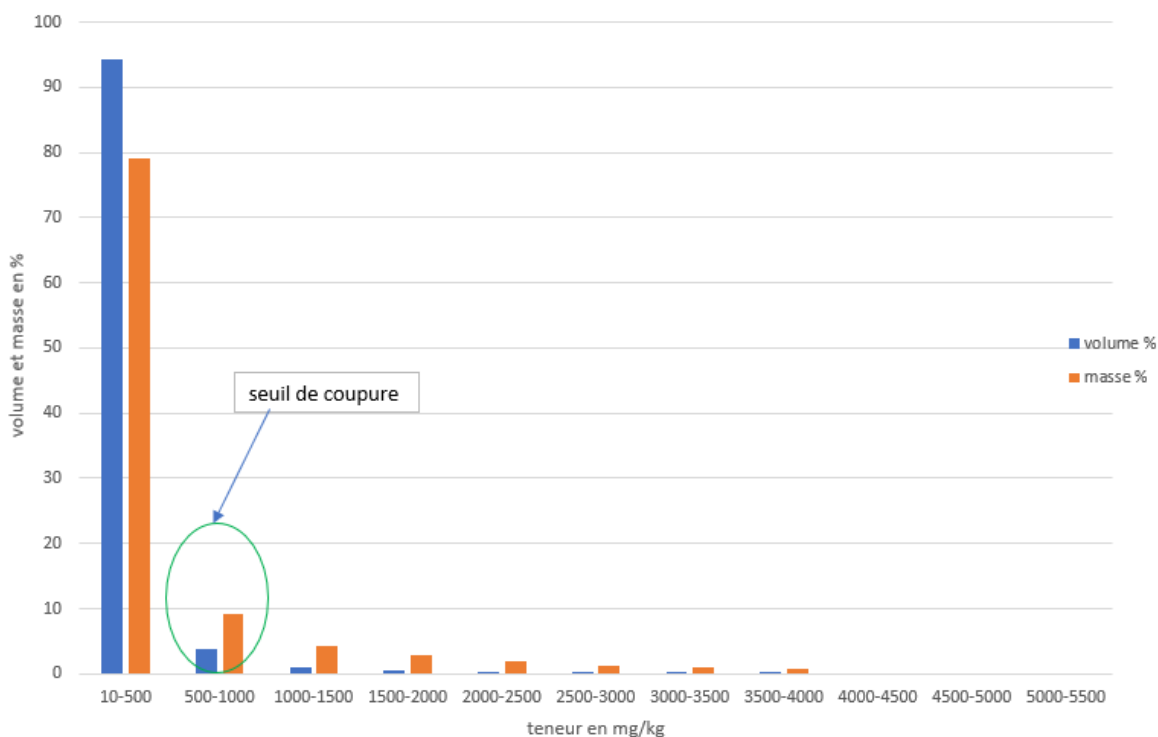


Figure 21 : Bilan massique des HCT 0 à 1.5 m/TN

D'après l'histogramme de la figure précédente :

Plus de 90 % du volume total correspond à des échantillons ayant une teneur en hydrocarbures comprise dans la gamme (10-500 mg/kg). La masse de polluant pour ce volume correspond à 79% de la masse totale, cela mène à dire que cette gamme domine le bilan massique.

Environ 9 % de la masse totale de polluant correspondant à la gamme (500-1000 mg/kg), et elle est comprise dans 3% du volume total.

Pour les concentrations >1000 mg/kg, elle occupe un volume très faible (1%), et la masse du polluant est de 18%.

Ce bilan massique confirme le caractère ponctuel de la pollution en hydrocarbure, dont les teneurs seraient > 500mg/kg.

7.2.10. Seuil de coupure et zones de pollution concentrées en hydrocarbures

Les résultats des deux approches d'analyses statistique simple et cartographique convergent vers le même résultat, qui est la définition d'un seuil de coupure de 580mg/kg.

En considérant le non dépassement du seuil de l'arrêté du 12/12/2014 définissant le caractère inerte des HCT (500mg/kg) et le seuil de coupure défini par l'analyses statistique simple et cartographique, la ZPC située entre 1.5 et 2 m/TN correspondant aux cuves de stockage d'huiles caloporteur (sondage SG21), peut ne pas être considérée. D'autre part, suivant la même logique, des sondages entre 2 et 5m/TN ont révélés des dépassements du seuil de l'arrêté et le seuil de coupure, au droit des anciennes cuves de stockage de gazole, cette zone sera par conséquent considérée comme une ZPC.

Le tableau ci-dessous donne les informations relatives au ZPC, déterminées par les approches citées et les volume à gérer.

Zones de pollution concentrées	Profondeur (m/TN)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Tonnage (t)
Anciennes cuves de stockage de gazole (sondages SG1, SG2, SG38 et SG40)	2 à 3	60	60	108
	3 à 4	60	60	108
	4 à 5	60	60	108
Intérieure de l'atelier autoclave (sondage SG6)	0 à 1.5	21	31.5	57
Cuves de stockage d'huiles caloporteur (sondage SG21)	0 à 1.5	45	67.5	121.5
A proximité de l'ancien garage vers le sud-est (sondage PZA4)	0 à 1.5	45	67.5	121.5
A proximité de l'ancienne chaufferie vers l'ouest, il s'agit d'un parking actuellement (sondage SG60)	0 à 1.5	45	67.5	121.5
Total	/	336	414	746

Tableau 8 : Volumes à gérer pour les HCT

Les anomalies supérieures à 500 mg/kg MS sont mises en exergue au travers de la figures 22 ci-après.

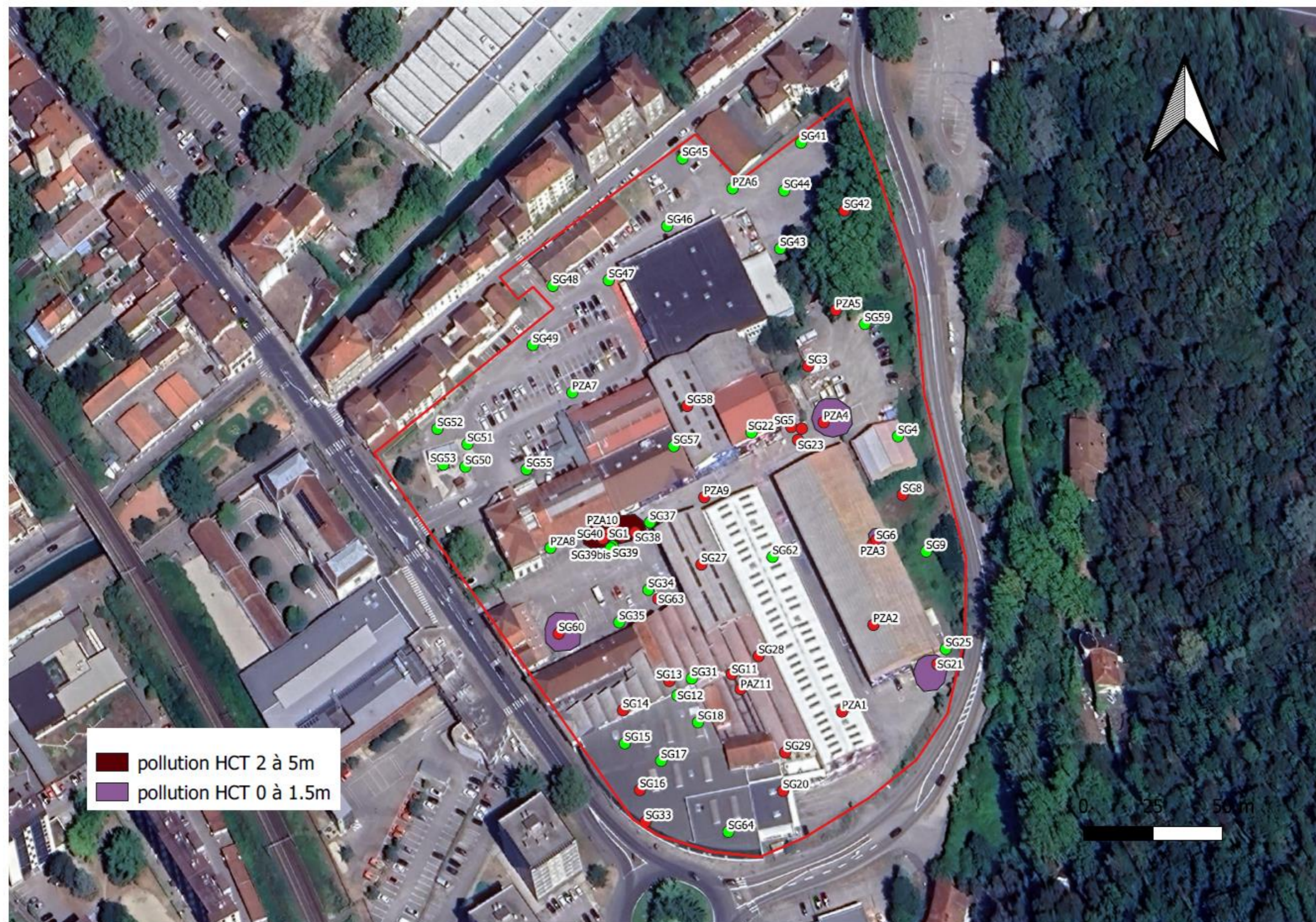


Figure 22 : Zones de pollution en HCT

7.2.11. Pollution en métaux approche cartographique

Les métaux impactant principalement les sols sont le cuivre, le nickel, l'arsenic et le plomb. Le chrome, le mercure et le zinc sont également présents, mais d'une façon très ponctuelle et leur présence se limite aux zones déjà affectées par le cuivre, le nickel, l'arsenic et le plomb.

La pollution en métaux est principalement localisée à l'intérieur des bâtiments, notamment dans l'atelier d'expédition, l'atelier de vitrage, l'atelier de découpe, l'atelier de feuilletage, ainsi que le dépôt.

Cependant, des anomalies ponctuelles ont également été détectées à divers endroits sur l'ensemble du site (la forêt au nord-est, anciennes cuves de stockage de gazole...).

Nickel :

La cartographie A de la figure 23, représentant la répartition des concentrations du nickel sur le site, montre que les plus fortes valeurs (210, 330 et 400 mg/kg) ont été détectées au sud-ouest du site, vers l'atelier de vitrage et l'atelier de découpe. Les concentrations diminuent à mesure que l'on s'éloigne de ces points sources, notamment vers le nord et l'ouest, avec des concentrations qui sont nettement moins importantes (6 à 38 mg/kg).

Arsenic :

La cartographie B de la figure 23, reprend la répartition des concentrations de l'arsenic sur le site, elle révèle que l'impact en ce métal est non seulement présent dans la zone impactée par le nickel (au sud-ouest du site, vers l'atelier de vitrage et l'atelier de découpe) mais également au nord-ouest du site vers l'ancien garage et la forêt.

Contrairement au nickel, la pollution de l'arsenic est diffuse et concerne les trois-quarts du site.

Cuivre :

La cartographie C de la figure 23, concerne la répartition des concentrations du cuivre sur le site, elle montre un impact en cuivre diffus sur l'ensemble du site, tel que celui de l'arsenic, avec cette fois-ci des concentrations (210, 300 et 310 mg/kg) plus importantes au sud-ouest du site, vers l'atelier de vitrage et l'atelier de découpe.

Plomb :

La cartographie D de la figure 23, montre la répartition des concentrations du plomb sur le site, elle met en évidence un impact diffus sur l'ensemble du site, tel que celui de l'arsenic et du cuivre, avec des teneurs plus importantes au sud et à l'est du site.

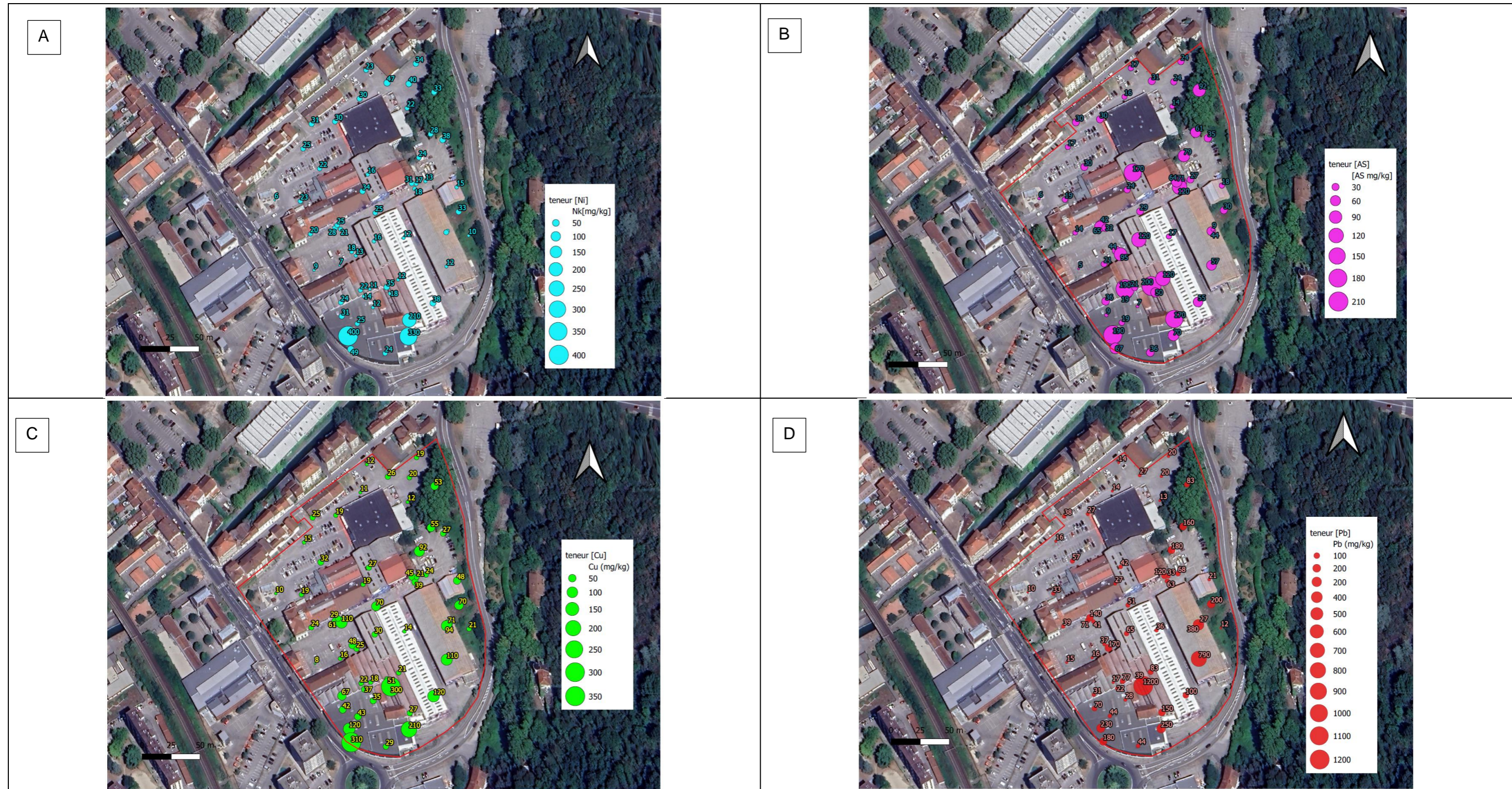


Figure 23 : Représentation cartographique de la répartition des concentrations des métaux sur le site sur

7.2.12. Pollution en métaux - bilans massiques et seuils de coupure

Cette méthode consiste à déterminer la gamme de concentration de polluant à partir de laquelle le pourcentage de la masse du polluant devient supérieur au pourcentage du volume d'un sol. On parle de seuil de coupure théorique. Cette étape met en évidence que le traitement d'un volume de sol limité permet de traiter une majeure partie de la masse de polluant.

Cette approche ne concernera pas le nickel, car d'après l'interprétation de la carte de répartition des ses concentrations sur le site, il a été démontré que les forts impacts sont très localisés est ponctuels, donc l'élimination de ces points chauds permettra la gestion des impacts liés à ce polluant.

Les estimations des bilans massiques ont été établies en retenant une masse volumique moyenne de 1,8 tonne/m³ pour le sol. Cette hypothèse a permis d'élaborer les graphiques des bilans massiques (figure 24) des polluants métalliques ainsi que les volumes de sol correspondants, en tenant compte des éléments suivants :

En ordonnées : le pourcentage de volume de sol (en bleu) correspondant à chaque gamme de concentration, ainsi que les pourcentages de masse de polluants (en orange) contenus dans ces volumes de sol.

En abscisse : les plages de concentration des polluants dans les sols, retenues pour cette analyse du bilan massique.

L'interprétation des bilans massiques correspondant à chaque pollution métallique est présentée dans les paragraphes suivants :

Arsenic :

Le seuil de coupure donné par le bilan massique de l'arsenic est de 75 mg/kg. Il correspond à la plage de concentrations 60 à 90 mg/kg, qui représente 19 % du volume total du sol et contiendrait 28,7 % de la masse du polluant.

Toutefois, la rétention de ce seuil de coupure pour la dépollution permettrait d'éliminer un faible pourcentage de pollution (36%). Il serait alors plus pertinent de considérer un seuil issu d'une gamme de concentrations représentant une proportion plus importante de la masse du polluant.

Ainsi, la plage de 30 à 60 mg/kg représente 69 % du volume total du sol et contiendrait 97 % de la masse du polluant. Par conséquent, le seuil de coupure retenu est de 45 mg/kg. La considération de ce dernier pour la dépollution permettra d'éliminer 97% de la pollution.

Cuivre :

Le seuil de coupure donné par le bilan massique du cuivre est de 75 mg/kg. Il correspond à la plage de concentrations 50 à 100 mg/kg, qui représente 30 % du volume total du sol et contient 51 % de la masse du polluant.

La considération de ce seuil de coupure comme objectif de gestion permettra d'éliminer une part significative de la pollution (62%).

Plomb :

Le seuil de coupure donné par le bilan massique du plomb est de 150 mg/kg. Il correspond à la plage de concentrations 50 à 100 mg/kg, qui représente 30 % du volume total du sol et contient 51 % de la masse du polluant.

La prise en compte de ce seuil de coupure dans la gestion de la pollution permettra d'éliminer 61% de la masse du polluant.

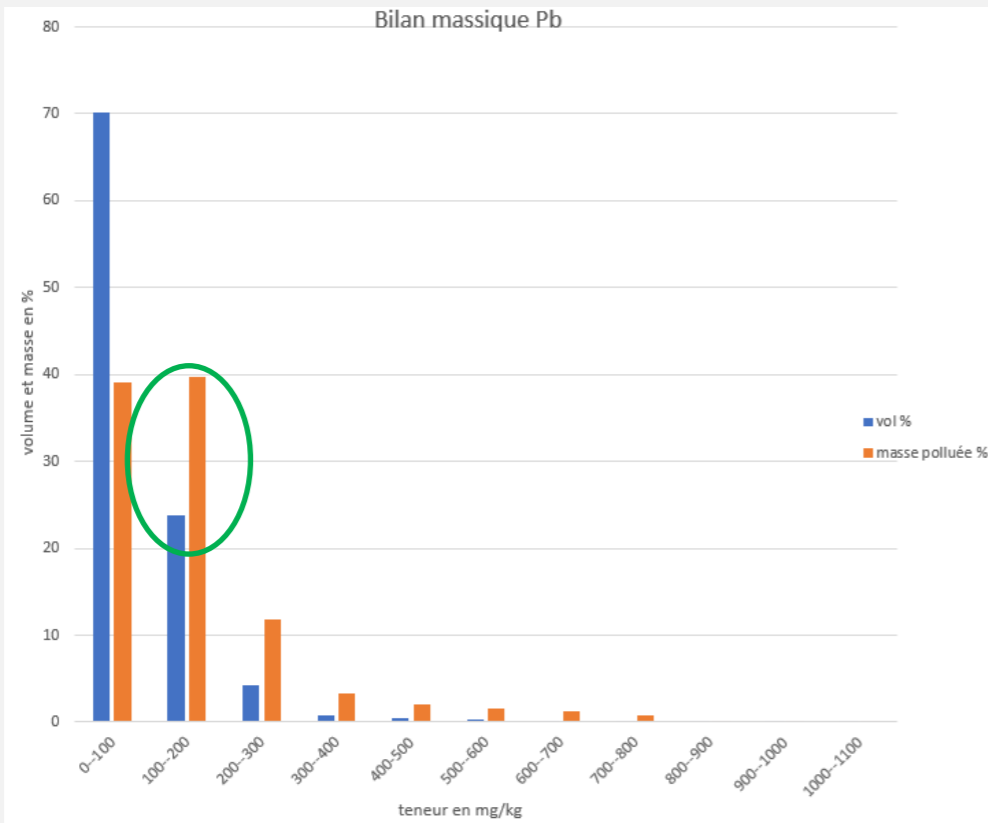
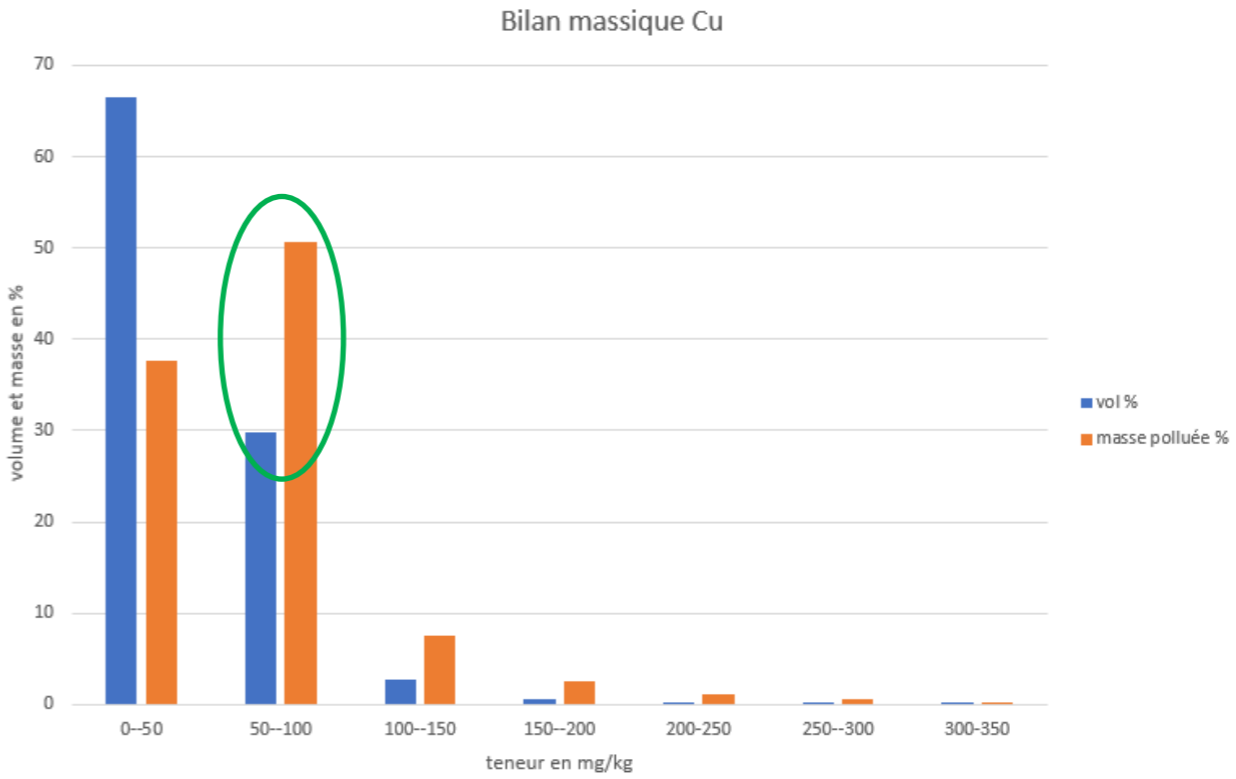
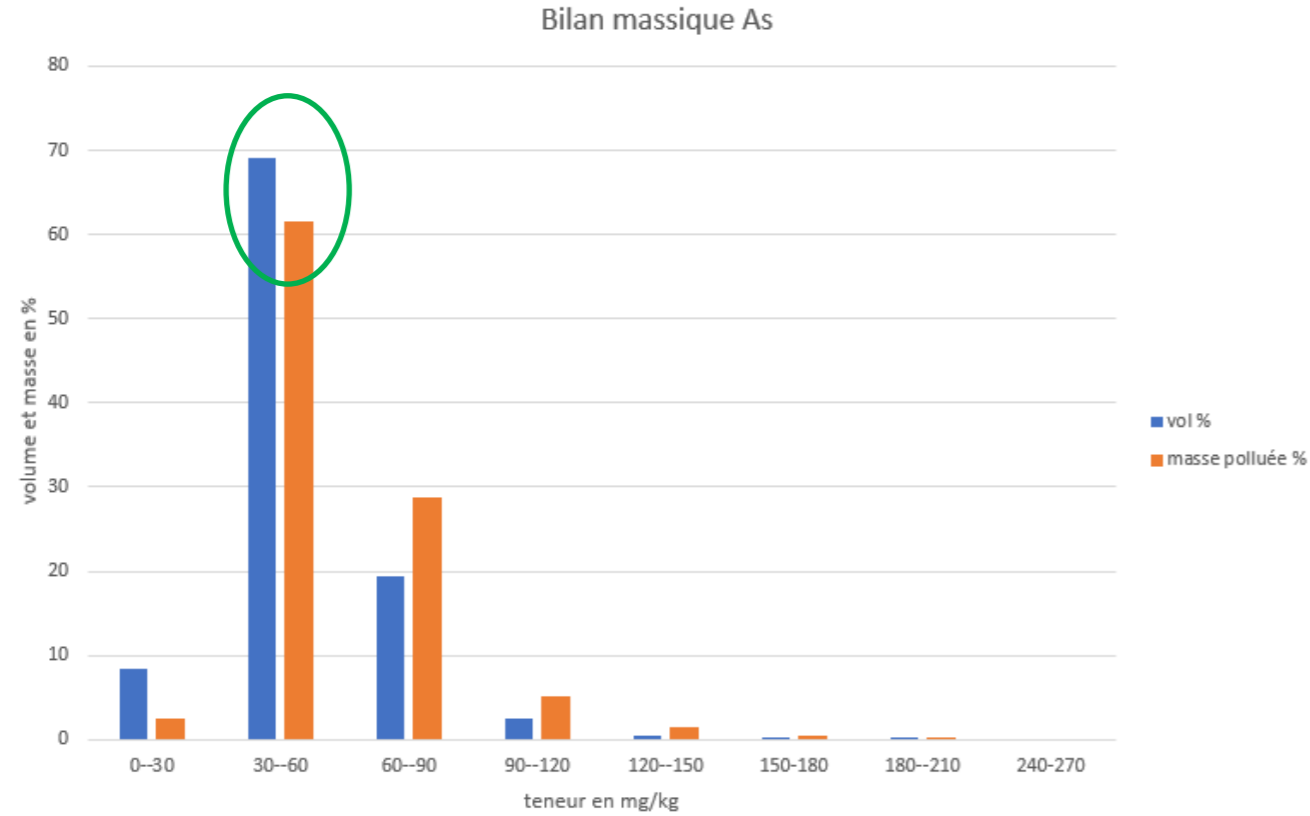


Figure 24 : Bilans massiques pour les métaux

Les seuils de coupures retenus comme objectif pour la dépollution sont résumés dans le tableau suivant :

METAUX	Seuil de coupure retenu mg/kg	Seuil anomalie ordinaire de l'ASPITET mg/kg	Pourcentage de pollution éliminée
Arsenic (As)	45	25	97%
Cuivre (Cu)	75	20	62% de pollution
Nickel (Ni)	/	60	/
Plomb (Pb)	150	50	61% de pollution

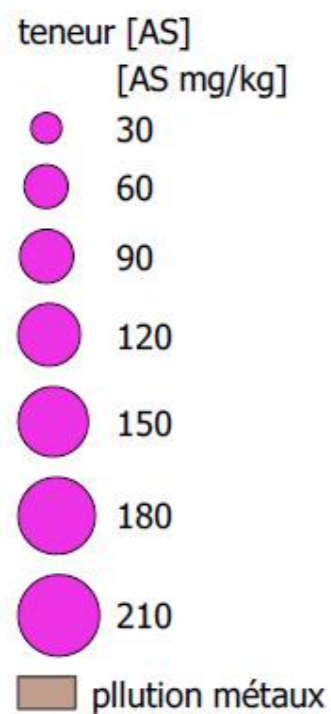
Tableau 9 : Seuil de coupure retenus pour l'arsenic, le plomb et le cuivre

7.2.13. Zone de la pollution en métaux et zone de gestion

Les futurs bâtiments, zone de stationnement et voiries contribueront à la limitation du contact des usagers avec les sols, par conséquent avec les métaux (couper la voie de transfert entre la source et la cible), de ce fait, seuls les futurs espaces verts et aire de jeux, qui seront considérés par les mesures de gestion.

La figure ci-après présente le zonage à considérer lors de la gestion des impacts liés aux métaux. Il est important de souligner que ce zonage a été obtenu suite à l'application des seuils de coupure cités précédemment, d'autre part il a été montré que l'élimination de la pollution en arsenic, conduira par la même occasion à éliminer l'ensemble de la pollution liées au cuivre, plomb, nickel.

Légende:



0 25 50 m

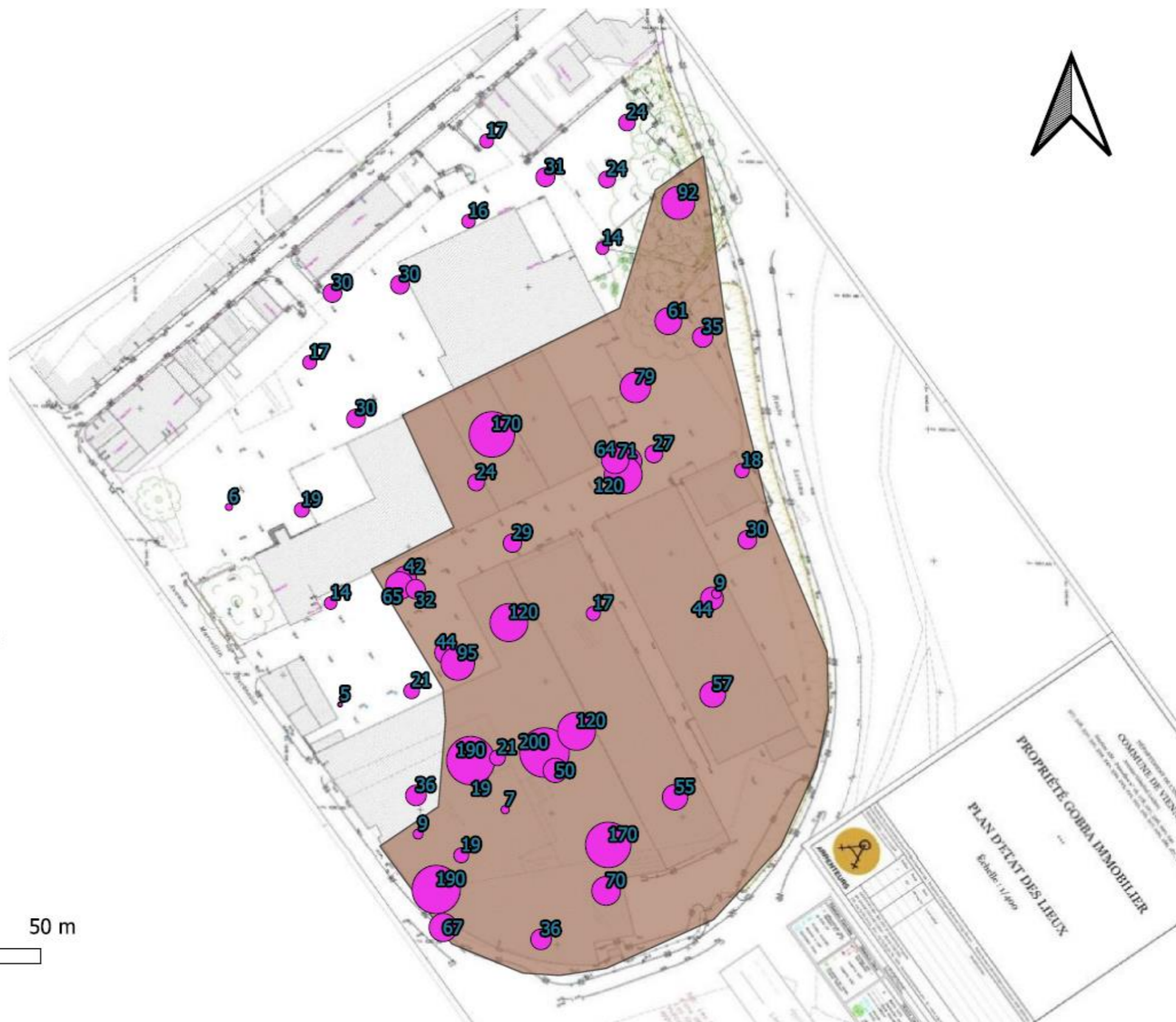


Figure 25 : Zonage de l'impact de la pollution en métaux sur plan état des lieux

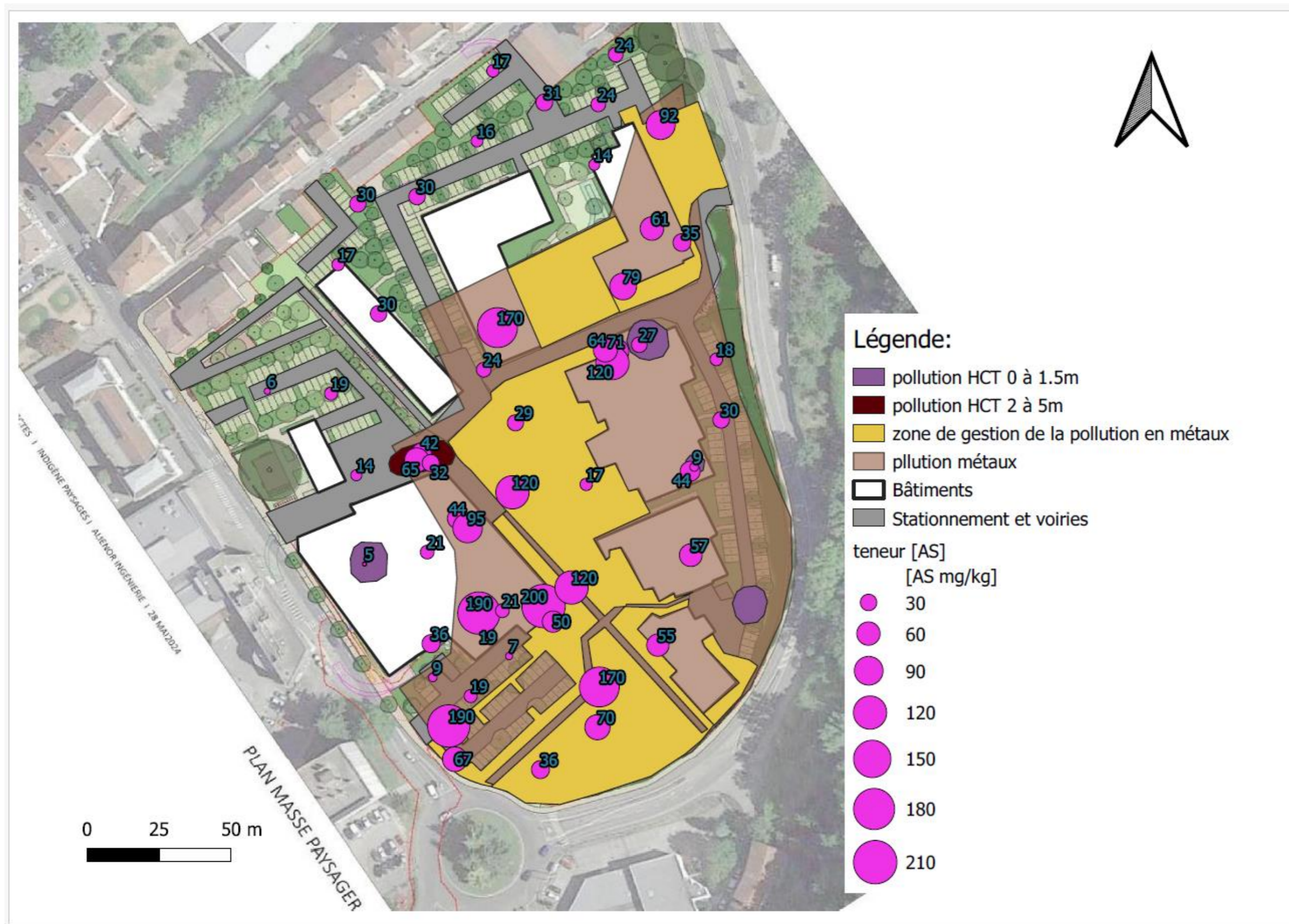


Figure 26 : Zonage de gestion de la pollution sur plan de masse projet

La surface totale à gérer est d'environ 8654 m².

Zones de pollution	Surface (m ²)
Pollution métallique	8654

Tableau 10 : Surface de la zone impactée par les métaux

7.2.14. Anomalies ponctuelles mercure, zinc, chrome, HAP et CAV

La gestion des zones contaminées par les hydrocarbures et les métaux, permettra par ailleurs, de traiter simultanément les risques associés aux CAV, HAP, chrome et mercure, compte tenu de leur localisation.

Anomalie	Sondage	Profondeur m/Ta	Teneur (mg/kg)	Prise en compte
HAP	SG2	0 à 1.2	45	Présence d'un futur bâtiment au droit de la zone du sondage, valeur faible (0.86 mg/m ³) du naphtalène (volatil) n'induisant pas de risque.
CAV	SG2	3 à 4.0	56	Contenu dans la zone de dépollution des HCT
Mercure	SG5	0 à 1.2	14	Contenu dans la zone de dépollution de l'arsenic, nickel, plomb et cuivre.
Chrome	SG29-E1	0.2 à 1	250	Contenu dans la zone de dépollution de l'arsenic, nickel, plomb et cuivre.
	EG20	0.2 à 1	100	
Zinc	PAZ11	0.5 à 1.5	720	Contenu dans la zone de dépollution de l'arsenic, nickel, plomb et cuivre.

Tableau 11 : Anomalies ponctuelles

7.3. Filières et solutions de traitement

Dans la plupart des cas, il n'existe pas de schéma type de traitement mais diverses techniques éprouvées qui pourront être associées pour obtenir un résultat quantifiable.

Le choix d'une technique pour traiter et maîtriser les zones de pollution concentrée et les impacts est guidé par :

- Les conditions d'accès à la zone : certaines zones sont facilement accessibles, d'autres beaucoup moins parce que situées dans des zones d'activité, ou à proximité de nombreux réseaux enterrés ;
- Les conditions physico-chimiques du milieu à traiter : oxygénation, pH, porosité et perméabilité à l'air des couches géologiques, niveau statique de la nappe ;
- La nature des polluants : les molécules chimiques polluantes ont des propriétés physico chimiques très variées auxquelles les techniques de dépollution doivent s'adapter ;
- Les objectifs à atteindre (qualitatif, quantitatif) : ils correspondent à la pollution résiduelle admissible, compatible avec les projets d'aménagement ;
- La durée du traitement : celle-ci doit être compatible avec les échéances du projet d'aménagement ;
- Les risques sanitaires et nuisances engendrés par le traitement : les traitements proposés doivent permettre de garantir une maîtrise des risques sanitaires pour les opérateurs et de maîtriser toute émission. Ils s'attachent à générer le moins de nuisances possibles ou de façon ponctuelle compte tenu du contexte du site ;
- Le coût : certaines techniques sont rapidement écartées car elles nécessitent la mobilisation d'installations coûteuses qui ne peuvent se justifier ;
- la simplicité de mise en œuvre : une technique simple et éprouvée est toujours préférable à une technique sophistiquée qui limiterait le nombre d'entreprises répondant à une consultation et qui complexifierait la maintenance du dispositif.

En résumé, le choix de la technique (ou filière de traitement) dépendra des caractéristiques intrinsèques des techniques elle-même (rendement, mise en place) mais aussi des contraintes spécifiques au site et au projet.

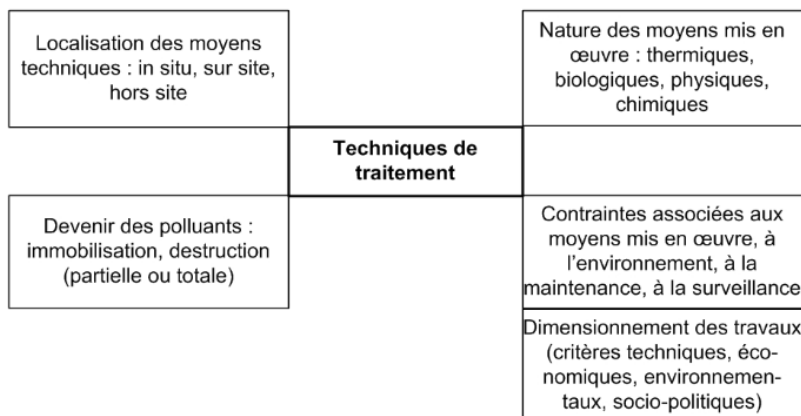


Figure 27 : Eléments constitutifs du choix de la technique de traitement (Boivin et Ricour, 2005)

Les paragraphes suivants décrivent dans les grandes lignes les différentes solutions techniques envisageables pour traiter les problématiques du site avec leurs avantages et leurs inconvénients.

Ils justifient ainsi les choix des techniques dont le chiffrage est pertinent.

7.3.1. Techniques et procédés de dépollution

Les techniques de traitement sont principalement de trois types :

- Hors site : évacuation de la pollution pour un traitement en dehors du site ;
- Sur site : déplacement de la pollution pour un traitement sur le site ;
- En place (in situ) : traitement de la pollution en place, sans déplacement.

Le tableau suivant fournit les principales techniques de dépollutions et leurs procédés.

Procédé	Polluant concerné	Mode d'application	Avantages	Inconvénients
Excavation et évacuation	Organique (HCT, COHV, CAV..). Métallique.	Hors site	Radicale, rapide, applicable à tous types de sols et de polluants	Gestion de matériaux propres de remblaiement, risques de dispersion pendant l'excavation et le transport
Biotertre	Organique (HCT, COHV, CAV..).	Hors site/sur site	Bon contrôle des conditions du milieu, bons rendements	Technicité requise et suivi régulier, nécessite une excavation
Confinement par couverture et étanchéification	Organique (HCT, COHV, CAV..). Métallique.	Hors site/sur site/in situ	Traitement de la majorité des polluants	Difficulté de réalisation et maintien de l'étanchéité du système, contrôle et surveillance sur de longues périodes. Adapté pour des gros volumes
Confinement	Organique (HCT, COHV, CAV..). Métallique.	Hors site/sur site	Traitement de la majorité des polluants organique	Nécessité de contrôle
Bioventing	Organique (HCT, COHV, CAV..).	in situ	Traitement de la majorité des polluants organique	Technicité requise et suivi régulier.

Tableau 12 : Techniques de dépollution envisageables

7.3.2. Critères techniques et organisationnels

Le tableau suivant récapitule la durée moyenne estimée pour les différentes techniques retrouver sur le site du BRGM et de l'ADEME.

Procédé	Délais	Indication
Bioventing	6 mois à 5 ans	Adaptée à un traitement de site en activité
Excavation et évacuation	50 à 200 m ³ /j selon les difficultés de terrassement et le nombre d'analyses.	Excavation avec du tri

Bioterre (Biopile)	18 à 24 mois	Temps de traitement long et très variable selon l'objectif de dépollution
Confinement par couverture	Quelques mois.	Mise en place d'un suivi strict et pérenne est nécessaire
Confinement vertical	Relativement courts et identiques à ceux de travaux de terrassement.	Mise en place d'un suivi strict et pérenne est nécessaire

Tableau 13 : Délais de traitement selon les différentes technique <https://www.selecdepol.fr>

7.3.3. Critères économiques

Le tableau ci-après fournit des ordres de grandeurs de coûts de dépollution (fourchette haute), issus du rapport du BRGM de juin 2010 et du site internet <http://www.selecdepol.fr/> du BRGM et de l'ADEME.

Procédé	Forfait installation	€ / m ²	€ / t
Bioventing			15 à 50€
Excavation et évacuation hors site			ISDI : 15 à 20 € ISDND, biocentre ou cimenterie : 55 à 80 €
Bioterre (biopile)			30 à 80€
Confinement		50 à 70 €	

Tableau 14 : Coûts comparatif des méthodes de dépollution

7.3.4. Critères environnementaux

Les solutions de traitement in situ, présentent un bilan environnemental favorable, puisqu'elles permettent d'éviter le déplacement de plusieurs semi-remorques transportant approximativement 30 tonnes de terres, permettant ainsi de diminuer :

- Les risques d'accidents liés aux transports ;
- la production de gaz à effet de serre associée aux transports ;
- les risques de ré-envols de poussières lors des transports.

7.4. Analyse multicritère liée au site

Les notes maximales de ces différents critères ont été attribuées sur la base des contraintes de l'usage futur et du Maître d'Ouvrage.

La note maximale qui peut être attribuée pour un critère est 3. Le tableau suivant présente l'analyse multicritères pour les différentes options de gestion étudiées.

Pollution en hydrocarbure

Procédé	Critères				Note globale
	Technique, organisationnelles, délais	Economiques	Environnementaux	Contraintes sur les futurs aménagements	
Bioventing /venting	1	1	3	1	6
	Durée de traitement important, des essais pilotes doivent être réalisés afin de définir le rayon d'action et le nombre de forage, la zones doit être accessibles durant la période de traitement pour permettre un suivi.	Coût élevé en raison de la durée et du suivi.	Nécessite relativement peu d'énergie. Il n'y a pas de déplacement de la pollution.	Contraintes potentielles si concentrations résiduelles. Les zones doivent être accessibles durant la période de traitement.	
Excavation et évacuation ISDND	3	1	1	3	8
	Technique rapide à mettre en œuvre, applicable au site après démolition du bâtiment existant, mais nécessite un remblaiement des zones excavées et des essais de portance.	Coût assez élevé	Bilan carbone mauvais et génère des nuisances en phase excavation	Aucune car sources évacuées, et concentrations résiduelles restreintes.	
Bioterre (biopile)	1	3	2	2	8
	Durée de traitement important et nécessite de la place (10 à 16 mois). Les zones doivent également être accessibles durant la période de traitement pour permettre un suivi. Un remblaiement des zones excavées et des essais de portance doivent être faits.	Peu onéreuse	Nécessite relativement peu d'énergie mais génère des nuisances en phase excavation.	Elle permet un rabattement des concentrations des polluants et leur élimination totale mais elle prend plus de temps.	
	3	0	0	0	3

Confinement in situ	Nécessite la mise en place de système étanche (alvéole). Mise en place plutôt rapide. Les zones doivent également être accessibles pour permettre un suivi à long terme afin de prévenir toute dispersion de la pollution.	Solution onéreuse et nécessite une maintenance importante afin de garantir la pérennité de l'ouvrage.	Nécessite relativement peu d'énergie mais la pollution n'est pas traitée et reste sur site. Le site est situé en zone inondable.	Pollution non traitée.	
---------------------	--	---	---	------------------------	--

Tableau 15 : Analyse multicritères des filières et solutions de traitement pour les HCT

Pollution en métaux

Procédé	Critères				Note globale
	Technique, organisationnelles, délais	Economiques	Environnementaux	Contraintes sur les futurs aménagements	
Excavation et évacuation	3	1	1	3	8
	Technique rapide à mettre en œuvre, applicable au site après démolition du bâtiment existant, mais nécessite un remblaiement des zones excavées et des essais de portance.	Coût assez élevé	Bilan carbone mauvais et génère des nuisances en phase excavation	Aucune car sources évacuées, et concentrations résiduelles restreintes.	
Lavage in situ	1	1	1	2	5
	Cette technique s'applique principalement dans des sols relativement perméables (sablonneux à graveleux) et homogènes dans les zones saturée et non saturée ($> 10^{-5}$ m/s). La profondeur du toit de la nappe, la localisation en profondeur de la pollution et le type de nappe (superficielle ou	Onéreuse. Le coût d'un Lavage in situ, varie entre 65 à 120 €/t de sols traités (hors consommation électrique), il dépend fortement de la solution employée et de la possibilité de la réutiliser.	Transfert des polluants dans les eaux souterraines avec possibilité de déplacement de la pollution. Génération d'un volume important d'eaux usées à traiter.	Elle permet un rabattement des concentrations des polluants et leur élimination totale mais elle prend plus de temps.	

	<p>captive) ne sont pas des obstacles majeurs à l'utilisation de cette technique.</p> <p>Le dimensionnement relève d'un travail d'ingénierie en aval des essais de faisabilité.</p> <p>Nécessite d'étudier avec attention le devenir (biodégradation) des agents extractants,</p> <p>Estimation du temps de traitement, élevé par rapport à des procédés plus agressifs.</p> <p>Les zones doivent également être accessibles durant la période de traitement pour permettre un suivi.</p>				
	2	1	1	0	
Confinement in situ	<p>Nécessite la mise en place de système étanche (alvéole). Mise en place plutôt rapide. Les zones doivent également être accessibles pour permettre un suivi à long terme afin de prévenir toute dispersion de la pollution.</p>	<p>Solution onéreuse et nécessite une maintenance importante afin de garantir la pérennité de l'ouvrage.</p>	<p>Nécessite relativement peu d'énergie mais la pollution n'est pas traitée et reste sur site.</p>	<p>Pollution non traitée.</p>	4
	1	2	3	3	
Phytoremédiation	<p>Technique applicable in situ sur une large variété de sols pollués.</p> <p>S'applique aux sols de subsurface dans la plupart des cas (en moyenne jusqu'à 50 cm de profondeur).</p>	<p>Les coûts de mise en place varient de 0,5 à 3 €/m². Sans la part de l'investissement initial et l'entretien des plantes qui est relativement importante.</p>	<ul style="list-style-type: none"> limiter l'érosion du sol, limiter l'envol de poussières, limiter le lessivage des éléments toxiques et leur 	<p>Absence d'effets négatifs sur les compartiments environnementaux proches (eaux de surface, souterraines, cultures avoisinantes...).</p>	9

	<p>La réalisation d'essais préliminaires pour s'assurer de la pertinence des amendements et des espèces végétales retenus au regard des caractéristiques pédologiques, du degré de pollution et des conditions environnementales du site à gérer.</p> <p>La connaissance des paramètres :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Délais, • Objectifs de traitement (sols et/ou eaux et/ou gaz du sol), • Seuils de dépollution, • Surface et/ou volume à traiter, • Gestion de la biomasse, • Éléments climatiques (taux de précipitation annuel, répartition annuelle des précipitations, températures), • Présence de ravageurs et de maladies, • Usage actuel et futur, • Nature du sol (fertilité, qualité agronomique), • Géologie/lithologie ou nature des sols. <p>Travaux de préparation du site (décompactage, défrichage/déboisement) et de préparation du sol (aplanissement,</p>	<p>Gestion de la biomasse, si elle n'est pas valorisée.</p>	<p>transfert vers la nappe phréatique,</p> <ul style="list-style-type: none"> • maintenir ou restaurer une microflore et une microfaune. 		
--	--	---	---	--	--

	<p>irrigation, amendements : type et disponibilité),</p> <p>Traitement long pour lequel le suivi de la dépollution est important afin d'assurer l'atteinte des objectifs. Les délais peuvent être de l'ordre de plusieurs années parfois (2 à 20 ans).</p>				
--	--	--	--	--	--

Tableau 16 : Analyse multicritères des filières et solutions de traitement pour les métaux

Cette analyse multicritère suggère que l'excavation et l'évacuation des terres ainsi que le Biotertre pour la pollution en HCT sont les solutions les plus avantageuses, quant à la pollution en métaux l'analyse multicritère suggère et l'excavation et l'évacuation des terres ainsi que la phytoremédiation.

7.5. Estimation des coûts de traitement

Nous proposons une estimation financière pour les techniques sélectionnées à la suite de l'analyse multicritères (excavation et évacuation des terres ainsi que le Biotertre).

Concernant la pollution métallique, la profondeur de substitution des terres impactées par les terres saines est de 30cm.

Du fait de la présence de la nappe à 5 m de profondeur, lors des opérations d'excavation, et notamment dans la zone de battement de nappe, une libération importante d'hydrocarbures risque de se produire et entraîner une dégradation de la qualité des eaux souterraines. Une solution de traitement des eaux souterraine est également proposée.

Les estimations financières sont établies sur la base des données connues à cette date (géométries, tonnages et coûts). Elles donnent un ordre de grandeur des coûts de gestion des terres à engager pour une solution d'évacuation en filières ISDND, biocentre ou ISDI (transport + acceptation).

7.5.1. Excavation et évacuation hors site (solution 1)

L'évacuation des terres semble être une des solutions les plus adaptée au site, une technique consistant en un traitement hors site des terres excavées, accompagnée d'un ajout d'oxydants en fond de fouilles garantissant un traitement radical.

Poste	Surface m ²	Volume m ³	Tonnage t	Quantité total	Prix unitaire HT	Coût € HT
1	Excavation, transport et élimination des terres polluées en filière ISDND, biocentre ou cimenterie				55 à 80 €/t	
	• Zone de pollution en HCT.	336	414	746	746 t	41 030 à 59 680
2	Excavation, transport et élimination des terres polluées en filière ISDI				15 à 20 €/t	
	• Zone de pollution en métaux.	8654	2596	4673	4673 t	70 097 à 93 463
3	Mise en place d'un géotextile vers le dernier niveau.				1,7 € HT/m ²	
	• Zone de pollution en HCT. • Zone de pollution en métaux.	336 8654	-	-	8990 m ²	15 283
4	Remblaiement/recouvrement avec des terres saines, terrassement compris				25 € HT/m ³	
	• Zone de pollution en HCT. • Zone de pollution en métaux.	336 8654	414 2596	-	3010 m ³	75 255
5	TOTAL € HT					201 665 à 370 091

Tableau 17 : Estimation globale des coûts d'excavation, évacuation et remblaiement

Au final, le coût total de la gestion des zones de pollution concentrée par excavation et évacuation est estimé entre 201 et 370 k€ HT.

7.5.2. Biotertre / Biopile (solution 2) pour la pollution HCT

Le Biopile est également une des solutions à privilégier, cette technique implique le traitement des terres excavées sur place, sur une aire contenant a minima un système de collecte de lixiviats et des unités d'aération. Ce processus contribuera à réduire progressivement les concentrations de HCT au fil du temps.

Poste	Surface m ²	Volume m ³	Tonnage t	Quantité total	Prix unitaire HT	Coût € HT
1	Excavation, traitement des sols				40 € /t	
	Zone de pollution en HCT.	336	414	746	746 t	29 840
3	Mise en place d'un géotextile vers le dernier niveau.				1,7 € HT/m ²	
	Zone de pollution en HCT.	336	-	-	m ²	571
4	Remblaiement/recouvrement avec des terres saines, terrassement compris				25 € HT/m ³	
	Zone de pollution en HCT.	336	414	-	414 m ³	10 350
5	TOTAL € HT					40 761

Tableau 18 : Estimation pour un traitement biopile/biotertre pour les HCT

Poste	Surface m ²	Volume m ³	Tonnage t	Quantité total	Prix unitaire HT	Coût € HT
1	Excavation, traitement des sols				40 € /t	
	• Zone de pollution en HCT.	336	414	746	746 t	29 840
2	Excavation, transport et élimination des terres polluées en filière ISDI				15 à 20 € /t	
	• Zone de pollution en métaux.	8654	2596	4673	4673 t	70 097 à 93 463
3	Mise en place d'un géotextile vers le dernier niveau.				1,7 € HT/m ²	
	• Zone de pollution en HCT. • Zone de pollution en métaux.	336 8654	- -	-	8990 m ²	15 283
4	Remblaiement/recouvrement avec des terres saines, terrassement compris				25 € HT/m ³	
	• Zone de pollution en HCT. • Zone de pollution en métaux.	336 8654	414 2596	-	3010 m ³	75 255
5	TOTAL € HT					190 475 à 213 841

Tableau 19 : Estimation globale pour un traitement combiné biopile/biotertre pour les HCT et excavation/évacuation de la pollution métallique

Le coût de la gestion des zones de pollution concentrée en HCT par biotertre/biopile est estimé à 41 k€ HT. A ceux-ci il faudrait ajouter le prix de l'évacuation de la zone polluée en métaux hors site. Au final, le coût total de la procédure se rapportera entre 190 et 214 k€ HT

7.5.3. Gestion des impacts sur les eaux souterraines

A partir du moment où la pollution dans les sols est extraite, une amélioration naturelle significative de la qualité des eaux souterraines devrait être observée.

Toutefois, lors des opérations d'excavation, et notamment vers les anciennes cuves de stockage de gazole (sondages SG1, SG2, SG38 et SG40) dans la zone de battement de nappe, une libération importante d'hydrocarbures dans la nappe risque de se produire et entraîner immédiatement après terrassement une dégradation de la qualité des eaux souterraines.

Un traitement des eaux souterraines en fond de fouilles de cette zone sera à effectuer. Ce traitement pourra se faire par ajout d'oxydant sous forme de cristaux et malaxage à la pelle mécanique sous eaux, afin d'éliminer rapidement la contamination résiduelle dans la zone de battement de nappe. En général, une seule campagne de malaxage semble nécessaire, une 2ème campagne peut être réalisée si l'abattement des concentrations en fouille est jugé insuffisant. Celle-ci interviendrait 4 à 5 semaines après la 1ère campagne (temps de rémanence du produit dans le substrat de l'ordre de plusieurs semaines), donc la fouille doit rester ouverte. Si en revanche une seule campagne s'avère suffisante, la fouille peut être remblayée rapidement.

Cette solution de traitement offre l'intérêt d'être rapide et efficace. Elle est d'autant plus pertinente sur des concentrations fortes et pour la gestion de sources à l'origine des concentrations élevées. Elle permet également de limiter les quantités de réactif à ajouter car elle cible la zone source.

La mise en œuvre de cette prestation permet d'obtenir des abattements assez rapides des polluants dissous (>95 % en 1 à 2 semaines).

Le coût total du traitement des eaux en fond de fouille de cette zone des anciennes cuves de stockage de gazole (60m²) est estimé entre 9k€ et 12 k€ HT. Ce montant sera ajouté aux solutions précédentes.

7.5.4. Conclusion coûts de traitement

Au terme de cette analyse, nous retiendrons :

La solution 2 : Biopile pour les HCT suivi d'un traitement des eaux en fond de fouille au droit des anciennes cuves de stockage de gazole, combinée à l'évacuation de la pollution en métaux, le cout serait compris entre **199 et 226 k€ HT**. Pour son avantage de dépollution et son avantage de traitement in situ de la pollution en HCT.

En second lieu, la solution 2 : Excavation et évacuation hors site suivit d'un traitement des eaux en fond de fouilles, dont le cout serait compris entre **210 et 382 k€ HT**. Pour l'avantage de dépollution qu'elle offre et la rapidité du procédé.

Vu l'état d'avancement du projet, ces estimations ne peuvent être exhaustives et d'éventuels coûts supplémentaires pourront s'ajouter (par exemple liés à la Maitrise d'œuvre, la reprise de réseaux et autres travaux spécifiques, à des analyses complémentaires demandées par les filières d'évacuation, à la découverte d'une pollution non identifiée etc.).

Notons qu'un tri des terres excavées finement mené, peut permettre de réduire les volumes annoncés et les coûts associés.

8. ANALYSE DES RISQUES RÉSIDUELS PREDICTIVE

Compte-tenu de la présence de concentrations résiduelles dans les terrains restant en place après mise en œuvre des mesures de gestion, la compatibilité sanitaire du site avec son usage futur doit être validée au moyen d'une Analyse des Risques Résiduels (ARR) prédictive.

8.1. Méthodologie de calcul et d'interprétation des risques sanitaires

8.1.1. Valeurs Toxicologiques de Référence

Des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) sont utilisées pour chaque substance afin d'identifier les risques associés, conformément aux instructions de la circulaire du 31 octobre 2014 du Ministère de la transition écologique ainsi que de la Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017.

Suivant cette circulaire, les VTR sont sélectionnées parmi 8 bases de données selon l'ordre de priorité suivant :

- ⇒ La VTR construite par l'ANSES ;
- ⇒ La VTR la plus récente parmi les bases de données US EPA, ATSDR ou OMS ;
- ⇒ La dernière VTR proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA.

En l'absence de VTR pour une substance, une quantification des risques n'est pas envisageable même si les données d'exposition sont exploitables.

En l'absence de procédure établie pour la construction d'une VTR pour la voie cutanée, il ne peut être envisagé une transposition pour cette voie à partir de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire.

8.1.2. Démarche d'interprétation des résultats

Pour rester cohérent avec la gestion effective des risques mise en œuvre par les pouvoirs publics pour la population française, l'utilisation de la grille IEM consiste à considérer chacune des voies d'exposition séparément et, pour une voie d'exposition donnée, chacune des substances isolément. L'additivité des risques peut faire varier d'un ordre de grandeur les niveaux de risques calculés.

Pour chaque scénario et chaque substance, deux types de risque sont distingués :

- Le risque non cancérigène est estimé en calculant le Quotient de Danger (QD). Celui-ci permet de comparer le niveau d'exposition à une dose de référence fonction de la toxicité de chacune des substances. Cet effet est dit « avec seuil ».
- Le risque cancérigène est estimé en calculant l'Excès de Risque Individuel (ERI), c'est-à-dire le risque qu'a un individu de développer un cancer au cours de sa vie au regard des substances potentiellement cancérigènes auxquelles il est exposé. Cet effet est dit « sans seuil ».

Des intervalles de gestion des risques sont fixés par la Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 pour interpréter les résultats des calculs de niveaux théoriques de risques (voir ci-dessous). L'appréciation de l'acceptabilité des risques vis-à-vis des seuils relève du bon sens et du professionnalisme. Ces intervalles ne sont pas adaptés au Plan de Gestion.

Intervalles de gestion des risques		Interprétation des résultats	Actions à engager
Substances			
A effet de seuil	A effet sans seuils		
QD ≤ 0,2	ERI ≤ 10 ⁻⁶	Etat des milieux compatibles avec les usages constatés	<ol style="list-style-type: none">1. S'assurer que les pollutions sont maîtrisées. Dans le cas contraire, élaborer et mettre en œuvre un Plan de Gestion ;2. La mise en place d'une surveillance peut être nécessaire pour vérifier la pérennité de la situation ;3. Afin d'assurer la pérennité de la compatibilité entre les usages et l'état des milieux, il peut être nécessaire de mettre en place des servitudes ou restrictions d'usage.
0,2 < QD < 5	10 ⁻⁶ < ERI < 10 ⁻⁴	Réflexion plus approfondie nécessaire avant de s'engager dans un plan de gestion	<p>Selon le cas :</p> <ol style="list-style-type: none">1. Réalisation d'une EQRS avec additivité (seuils classiques de 1 et 10⁻⁵) ;2. Mise en œuvre de mesures simples de gestion ;3. Identification et mise en œuvre des premières mesures de maîtrise des risques : mesures sanitaires ou mesures environnementales ;4. Mise en œuvre de restrictions d'usage.
QD > 1	ERI > 10 ⁻⁴	Etat des milieux incompatibles avec les usages	<p>Pour gérer les pollutions et maîtriser leurs impacts, un plan de gestion est à élaborer et à mettre en œuvre.</p>

Tableau 20 : Intervalles de gestion (source : d'après Méthodologie Nationale SSP d'avril 2017)

La démarche à suivre est donc la suivante :

A. Seuils à considérer individuellement :

Effet à seuil :

$QD \leq 0,2$:	Compatible avec l'usage futur considéré
$0,2 < QD < 5$	Réitérer le calcul avec l'additivité des risques
$QD > 5$	Incompatible avec l'usage futur considéré

Effet sans seuil :

$ERI < 10^{-6}$	Compatible avec l'usage futur considéré
$10^{-6} < ERI < 10^{-4}$	Réitérer le calcul avec l'additivité des risques
$ERI > 10^{-4}$	Incompatible avec l'usage futur considéré

B. Si $0,2 < QD < 5$ ou $10^{-6} < ERI < 10^{-4}$, procéder à l'additivité des risques sanitaires :

Effet à seuil :

$QD < 1$	Compatible avec l'usage futur considéré
$QD > 1$	Incompatible avec l'usage futur considéré

Effet sans seuil :

$ERI < 10^{-5}$	Compatible avec l'usage futur considéré
$ERI > 10^{-5}$	Incompatible avec l'usage futur considéré

8.2. Calcul des risques (QD et ERI)

Le calcul des risques a été réalisé à l'aide du logiciel RISC 5.0, distribué par WATERLOO HYDROGEOLOGIC et développé par Lynn R. Spence et BP OIL INTERNATIONAL. Le logiciel réalise une modélisation sur la base d'un modèle dit de « Johnson & Ettinger », incluant les transports diffusif et convectif des composés. Les équations du logiciel sont spécifiées dans la norme ASTM E1739-95.

Le choix des paramètres d'entrée comprend :

- Le choix des scénarios d'exposition (ingestion, contact dermique, inhalation) avec sélection des milieux contaminés (sols, gaz/air ambiant, eaux) et voies d'exposition associées ;
- Dans certains cas, la définition de la géométrie de la source de pollution et des installations sur site ;
- La détermination des polluants et de leur concentration ;
- La détermination des VTR associées (base de données modifiable) ;
- La définition des cibles (adulte résident ou travailleur, enfant ou passant) ;

On notera que la VTR pour les hydrocarbures totaux correspond aux VTR calculées par le « Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group » dans le cas le plus

défavorable (1997). Cette VTR n'est donnée qu'à titre indicatif puisqu'il ne s'agit pas d'une base de données référencée dans l'outil IEM.

Le logiciel renvoie en sortie un tableau par cible et par type de risque listant les QD ou ERI individuels pour chaque scénario d'exposition ainsi que la valeur d'additivité des risques par scénario.

8.3. Données d'entrée pour le site d'étude

8.3.1. Scénarios d'exposition

Les scénarios d'exposition retenus pour cette étude sont :

- Ingestion de sol et poussières de sol ;
- Contact dermique avec les sols.

8.3.2. Substances, concentrations et VTR

Pour rappel, seuls seront pris en compte les composés détectés dans le sol, leurs concentrations ont été distinguées en considérant, dans une démarche sécuritaire, les seuils maximaux auxquels devra aboutir la dépollution.

Ces concentrations maximales et les VTR retenues sont présentées dans les tableaux ci-dessous.

Le chrome et le cadmium ne seront pas pris en compte dans la présente analyse des risques sanitaires. En effet, les concentrations dépassant le seuil des anomalies ordinaires (90 mg/kg) seront traitées lors de la dépollution des autres métaux et de l'aménagement du site (bâtiments et voirie). Par conséquent, les teneurs résiduelles resteront dans la plage des valeurs ordinaires définies par l'ASPPITET.

N° CAS	Métaux lourds	Concentration (mg/kg MS)	Echantillon	VTR seuil (mg/kg/jour) (organisme)	VTR sans seuil (mg/kg/jour) ⁻¹ (organisme)
7440-38-2	Arsenic	45	SG64	0.0003 (US EPA)	1.5 (US EPA)
7440-50-8	Cuivre	75	SG4	0,15 (EFSA 2018)	/
7439-97-6	Mercure	1.1	SG50	0,00066 (ANSES)	/
7440-02-0	Nickel	34	SG41	0,0028 (ANSES)	/
7439-92-1	Plomb	150	SG64	0,0036 (RIVM)	0,0085 (OEHHA)
7440-66-6	Zinc	85	SG55	0,3 (US EPA)	/

N° CAS	Hydrocarbures totaux	Concentration (mg/kg MS)	Echantillon	VTR seuil (mg/kg/jour) (organisme)	VTR sans seuil (mg/kg/jour) ¹ (organisme)
	TPH aliphatiques C21-C35	215	SG5	2 (TPHCWG)	/
-	TPH aromatiques C21-C35	215	SG5	0.03 (TPHCWG)	/

N° CAS	HAP	Concentration (mg/kg MS)	Echantillon	VTR seuil (mg/kg/jour) (organisme)	VTR sans seuil (mg/kg/jour) ¹ (organisme)
85-01-8	Phénanthrène	0.72	SG42	0,04 (RIVM)	0,001 (INERIS)
120-12-7	Anthracène	0.15		0,3 (US EPA)	0,01 (INERIS)
206-44-0	Fluoranthène	1.5		0,04 (US EPA)	0,001 (INERIS)
129-00-0	Pyrène	1.1		0,03 (US EPA)	0,001 (INERIS)
56-55-3	Benzo(a)anthracène	0.77		/	0,02 (ANSES)
218-01-9	Chrysène	0.77		/	0,01 (INERIS)
205-99-2	Benzo(b)fluoranthène	1		/	0,1 (INERIS)
207-08-9	Benzo(k)fluoranthène	0.38		/	0,1 (INERIS)
50-32-8	Benzo(a)pyrène	0.64		0,0003 (US EPA)	1 (US EPA)
191-24-2	Benzo(g,h,i)pérylène	0.4		0,03 (RIVM)	0,01 (INERIS)
193-39-5	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	0.42		/	0,1 (INERIS)

Tableau 21 : Valeurs toxicologiques de référence prises en compte pour l'ingestion et le contact dermique

8.3.3. Usages et cibles

Le projet consiste en la construction de résidences, de commerces et d'une résidence seniors. Les usages retenus seront donc de type résidentiel et tertiaire au sens du décret n° 2022-1588 du 19 décembre 2022 relatif à la définition des types d'usages dans la gestion des sites et sols pollués.

Les cibles retenues sont les futurs résidents enfants et les travailleurs sur chantier.

Paramètres modélisation ingestion- enfant résident	Valeur
Durée d'exposition théorique	6 ans
Nombre de jours d'exposition théorique par an	200 jours
Poids corporel	15 kg
Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition	70 ans
Taux d'ingestion de sol journalier	200 mg/jour
Surface de peau exposée	2190 cm ²

Tableau 22 : Paramètres de modélisation ingestion et contact dermique – enfant résident

Paramètres modélisation ingestion-travailleur phase chantier	Valeur
Durée d'exposition théorique	2 ans
Nombre de jours d'exposition théorique par an	250 jours
Poids corporel	70 kg
Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition	70 ans
Taux d'ingestion de sol journalier	330 mg/jour
Surface de peau exposée	5300 cm ²

Tableau 23: Paramètres de modélisation ingestion et contact dermique- travailleur phase chantier

8.4. Résultats

Les résultats de la modélisation des risques sanitaires sous RISC 5.0 sont détaillés ci-après.

Enfant résident :

Child Resident - Upper Percentile

Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	TOTAL
Anthracene	3.7E-06	1.0E-06	4.7E-06
Arsenic	1.1E+00	7.2E-02	1.2E+00
Benz(a)anthracene	ND	ND	ND
Benzo(a)pyrene	1.6E-02	4.4E-03	2.0E-02
Benzo(b)fluoranthene	ND	ND	ND
Benzo(g,h,i)perylene	9.7E-05	2.8E-05	1.3E-04
Benzo(k)fluoranthene	ND	ND	ND
Chrysene	ND	ND	ND
Copper	5.5E-03	1.2E-02	1.8E-02
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	ND	ND	ND
Lead	3.0E-01	6.7E-03	3.1E-01
Mercury (inorganic)	8.5E-04	2.7E-02	2.8E-02
Nickel (soluble salts)	8.9E-02	7.8E-03	9.7E-02
Phenanthrene	1.3E-04	2.9E-05	1.6E-04
Pyrene	2.7E-04	7.6E-05	3.4E-04
TPH Aliphatic C16-35	7.9E-04	1.7E-03	2.5E-03
TPH Aromatic C21-35	5.2E-02	1.2E-01	1.7E-01
Zinc	2.1E-03	4.5E-03	6.6E-03
TOTAL	1.6E+00	2.5E-01	1.8E+00

Figure 28: Quotients de danger ingestion et contact dermique, enfants résidents

Child Resident - Upper Percentile

Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	TOTAL
Anthracene	9.4E-10	2.7E-10	1.2E-09
Arsenic	4.2E-05	2.8E-06	4.5E-05
Benz(a)anthracene	9.6E-09	2.8E-09	1.2E-08
Benzo(a)pyrene	4.0E-07	1.1E-07	5.2E-07
Benzo(b)fluoranthene	6.3E-08	1.8E-08	8.1E-08
Benzo(g,h,i)perylene	2.5E-09	7.1E-10	3.2E-09
Benzo(k)fluoranthene	2.4E-08	6.8E-09	3.1E-08
Chrysene	4.8E-09	1.4E-09	6.2E-09
Copper	ND	ND	ND
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	2.6E-08	7.5E-09	3.4E-08
Lead	8.0E-07	1.8E-08	8.2E-07
Mercury (inorganic)	ND	ND	ND
Nickel (soluble salts)	ND	ND	ND
Phenanthrene	4.5E-10	9.9E-11	5.5E-10
Pyrene	6.9E-10	2.0E-10	8.9E-10
TPH Aliphatic C16-35	ND	ND	ND
TPH Aromatic C21-35	ND	ND	ND
Zinc	ND	ND	ND
TOTAL	4.4E-05	3.0E-06	4.7E-05

Figure 29: Excès de risque ingestion et contact dermique, enfants résidents

• **Ingestion de sol**

- Les QD individuels de l'arsenic et du plomb sont supérieurs à 0.2, le reste des QD sont inférieurs.
En procédant à l'additivité des risques pour l'ingestion, le QD obtenu est $1.6 > 1$.
- L'ERI individuel de l'arsenic est supérieur à 10^{-6} , le reste des ERI sont inférieurs à 10^{-6}

En procédant à l'additivité des risques pour l'ingestion, l'ERI obtenu est $4.4 \cdot 10^{-5} > 10^{-5}$.

• **Contact dermique**

- L'ensemble des QD individuels sont inférieurs à 0,2 ;
- L'ERI individuel de l'arsenic est supérieur à 10^{-6} , le reste des ERI sont inférieurs à 10^{-6}

En procédant à l'additivité des risques pour le contact dermique, l'ERI obtenu est $3 \cdot 10^{-6} < 10^{-5}$.

Travailleur phase chantier :

Construction Worker - Upper Percentile

Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	TOTAL
Anthracene	1.6E-06	6.7E-07	2.3E-06
Arsenic	4.8E-01	4.7E-02	5.3E-01
Benz(a)anthracene	ND	ND	ND
Benzo(a)pyrene	6.9E-03	2.9E-03	9.8E-03
Benzo(b)fluoranthene	ND	ND	ND
Benzo(g,h,i)perylene	4.3E-05	1.8E-05	6.1E-05
Benzo(k)fluoranthene	ND	ND	ND
Chrysene	ND	ND	ND
Copper	2.4E-03	7.8E-03	1.0E-02
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	ND	ND	ND
Lead	1.4E-01	4.3E-03	1.4E-01
Mercury (inorganic)	3.8E-04	1.7E-02	1.8E-02
Nickel (soluble salts)	3.9E-02	5.0E-03	4.4E-02
Phenanthrene	5.8E-05	1.9E-05	7.7E-05
Pyrene	1.2E-04	4.9E-05	1.7E-04
TPH Aliphatic C16-35	3.5E-04	1.1E-03	1.5E-03
TPH Aromatic C21-35	2.3E-02	7.4E-02	9.8E-02
Zinc	9.2E-04	2.9E-03	3.9E-03
TOTAL	6.9E-01	1.6E-01	8.6E-01

Figure 30: Quotients de danger ingestion et contact dermique, travailleurs phase chantier

Construction Worker - Upper Percentile

Chemical	Ingestion of Soil	Dermal Contact with Soil	TOTAL
Anthracene	1.4E-10	5.8E-11	2.0E-10
Arsenic	6.2E-06	6.0E-07	6.8E-06
Benz(a)anthracene	1.4E-09	5.9E-10	2.0E-09
Benzo(a)pyrene	5.9E-08	2.5E-08	8.4E-08
Benzo(b)fluoranthene	9.2E-09	3.9E-09	1.3E-08
Benzo(g,h,i)perylene	3.7E-10	1.5E-10	5.2E-10
Benzo(k)fluoranthene	3.5E-09	1.5E-09	5.0E-09
Chrysene	7.1E-10	3.0E-10	1.0E-09
Copper	ND	ND	ND
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	3.9E-09	1.6E-09	5.5E-09
Lead	1.2E-07	3.8E-09	1.2E-07
Mercury (inorganic)	ND	ND	ND
Nickel (soluble salts)	ND	ND	ND
Phenanthrene	6.6E-11	2.1E-11	8.8E-11
Pyrene	1.0E-10	4.2E-11	1.4E-10
TPH Aliphatic C16-35	ND	ND	ND
TPH Aromatic C21-35	ND	ND	ND
Zinc	ND	ND	ND
TOTAL	6.4E-06	6.4E-07	7.1E-06

Figure 31: Excès de risque ingestion et contact dermique, travailleurs phase chantier

• **Ingestion de sol**

- Les QD individuels de l'arsenic est supérieurs à 0.2, le reste des QD sont inférieurs.
En procédant à l'additivité des risques pour l'ingestion, le QD obtenu est $0.69 < 1$.
- L'ERI individuel de l'arsenic est supérieur à 10^{-6} , le reste des ERI sont inférieurs à 10^{-6}
En procédant à l'additivité des risques pour l'ingestion, l'ERI obtenu est $6.4 \cdot 10^{-6} < 10^{-5}$.

• **Contact dermique**

- L'ensemble des QD individuels sont inférieurs à 0,2 ;
- L'ensemble des ERI individuels sont inférieurs à 10^{-6} .

Au regard de l'analyse des risques sanitaires résiduels réalisée pour :

- les enfants résidents, l'état des milieux révèle l'existence d'un risque sanitaire pour le scénario « ingestion de sol et poussière de sol » et l'absence de risque pour le scénario « contact dermique ». Le risque est majoritairement porté par l'arsenic et le plomb.
- les travailleurs en phase chantier, l'état des milieux révèle l'absence de risque sanitaire pour les scénarii « ingestion de sol et poussière de sol » et « contact dermique ».

8.5. Conclusion

Malgré la gestion des fortes anomalies sur le site, l'analyse des risques sanitaires résiduels a mis en évidence un risque pour la cible "enfants résidents" dans le cadre du scénario "ingestion de sol et de poussières de sol". Ce risque est principalement lié à la présence d'arsenic et de plomb.

Cependant, ce risque lié aux métaux sera neutralisé grâce à un aménagement complet du site. En effet, l'ensemble des surfaces sera recouvert par divers aménagements (bâtiments, aires de stationnement, voiries, espaces verts), empêchant ainsi tout contact direct avec les sols impactés.

Ci-dessous, est présenté un zonage de la gestion de la pollution.



Figure 32 : Zonage de gestion de la pollution sur plan de l'existant

9. SCHÉMA CONCEPTUEL FINAL

Le schéma conceptuel final présente la situation projetée à l'issue de la mise en œuvre des mesures de gestion.

9.1.1. Sources potentielles de pollutions et polluants associés

Malgré la mise en œuvre des mesures de gestion, des contaminations résiduelles subsisteront sur site :

Source : sol.

Polluants résiduels : pollution résiduelle.

9.1.2. Voies d'exposition et vecteurs de transfert

Les voies d'exposition retenues sont :

- Ingestion de terres (au droit des zones non imperméabilisées) ;
- Contact cutané avec les sols pollués.

Les voies d'exposition non retenues sont :

- Inhalation de substances volatiles émises par les nappes ;
- Inhalation de substances volatiles émises par les sols ;
- Ingestion de légumes ou autres denrées alimentaires exposés aux polluants ;
- Consommation ou utilisation d'eau souterraine, si des captages ou des puits sont présents ;
- Usage d'eau souterraine ;
- Consommation d'eau du robinet susceptible d'avoir été polluée ;

9.1.3. Cibles et/ou enjeux à protéger

Travailleurs en phase chantier et futurs résidents dont enfant

Milieu et substances potentiellement polluantes identifiées	Voie d'exposition	Cible	Voie d'exposition retenue	Observations
Sol : pollution résiduelle	Ingestion	Futurs résidents dont enfant, et travailleurs sur chantier	Non	Elimination des fortes sources de pollution, coupe de voie de transfert (imperméabilisation, remplacement des 30 premiers centimètres avec de la terre saine
	Inhalation de poussières et particules		Non	
	Contact dermique		Non	

Gaz de sol : pollution résiduelle	Inhalation de composés volatiles provenant des sols et eaux souterraines		Non	Pas de risque lié aux concentrations détectées.
Eaux souterraines	Ingestion		Non	Pas d'usage d'eau prévu droit du site.
	Contact dermique		Non	
Eaux superficielles	Ingestion		Non	Aucun usage des d'eaux superficielles sur le site n'est prévu.
	Contact dermique		Non	

Tableau 24 : Récapitulatif Sources/Vecteurs/Cibles, schéma conceptuel final

Cible: Résidents dont enfant

**Ingestion de sols,
Contact dermique.**

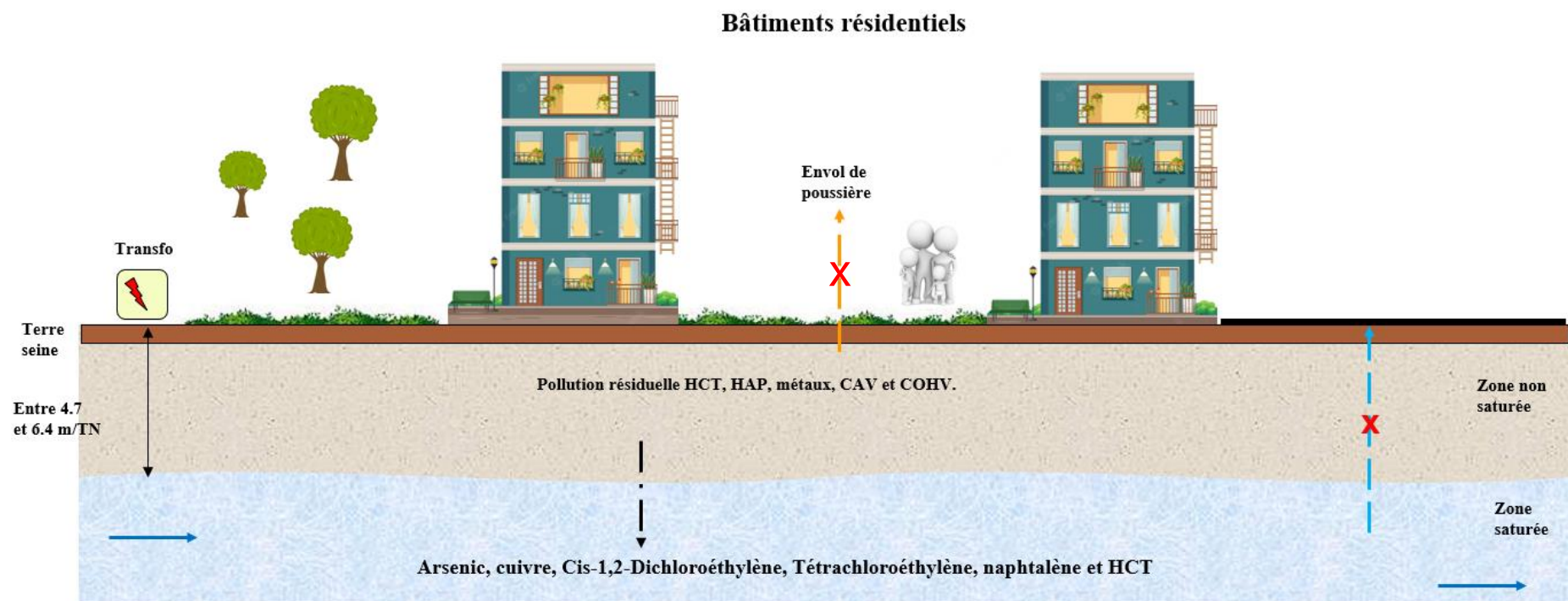


Figure 33 : Schéma conceptuel final

10. CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE DES MÉTHODES DE GESTION

Les opérations d'évacuation devront être réalisées selon la bonne règle et si nécessaire suivies par un prestataire compétent, avec notamment collecte des bordereaux d'évacuation des terres, des bons de pesée et vérification des volumes évacués.

Pour le scénario n°2, l'entreprise de travaux devra être vigilante lors du suivi de l'avancée de la dépollution. En surveillant :

- La dépression au niveau des puits d'extraction,
- Les paramètres relatifs au bon développement des bactéries :
- pH, température, conductivité, potentiel redox, humidité,
- Ratio C/N/P/K, teneurs en éventuels additifs,
- Si nécessaire dénombrement bactérien dans les sols et dans l'eau,
- Les concentrations en polluants dans les sols et les gaz des sols (suivi de la production de CO2 notamment),
- Si nécessaire, concentrations en polluants dans les rejets atmosphériques et paramètres relatifs au traitement des gaz (débits, dépression, perte de charge, saturation du charbon actif....),
- Si nécessaire, concentrations en polluants dans les rejets liquides et paramètres relatifs au traitement des eaux (débits, saturation des filtres....).

Par ailleurs :

- Pendant la phase travaux, l'accès aux personnes étrangères au chantier devra être interdit par la mise en place d'une signalisation et barrières Heras autour des zones de travaux.
- Les travailleurs présents sur les zones contaminées devront porter des équipements de protection individuelle (masque FFP1 minimum, lunettes et gants, vêtements de chantier).
- Il sera strictement interdit de manger, boire et de fumer sur chantier.

Contraintes de l'environnement	Risques à éviter	EPI à porter
Terres avec présence de HCT et COHV	Inhalation de gaz de sol Ingestion de poussières de sols	Gants de protection conforme norme EN 374-2 :2003 (latex ou nitrile) Gants de protection contre les chocs Vêtement de travail avec pantalon et veste (protection des avant-bras) à minima Lunettes de sécurité Masque de type FFP2
Circulation d'engins de chantier - bruit	Blessure à la suite de collision avec engins de chantier ou chute d'objet en hauteur	Bottes de sécurité, Casque, casque anti-bruit Vêtements de signalisation haute visibilité,

Tableau 25 : Risques et équipements de protection individuelle à utiliser

11.RESTRICTIONS D'USAGE

Les restrictions d'usage à mettre en œuvre, en vue de la pollution détectée concerneront :

Les sols :

- Maintien de la pérennité d'un recouvrement au droit des ZPC des hydrocarbures et des espaces concernées par les impacts en métaux après traitement (revêtement de surface ou apport de terres végétales saines). En cas de travaux ponctuels nécessitant des terrassements (poses/retraits de conduites, extractions de cuves...), le recouvrement devra être renouvelé conformément à l'état d'origine à l'issue des travaux.
- Interdiction de toute plantation de végétaux ou d'arbres à fruit comestible.

Pour le sous-sol :

- Interdiction de mise en œuvre de canalisations d'eau potable en PEHD dans les sols impactés ;
- Mise en place de canalisations d'eau potable métalliques ou équivalent afin de s'affranchir de tout risque de perméation des polluants. Ces canalisations seront installées dans du matériau sain (sablon) ;
- Gestion appropriée des déblais en cas de terrassement, et maintien du recouvrement des terres impactées.

Pour les eaux souterraines :

- Tout usage de l'eau souterraine au droit du site, sera assujettie à la réalisation de nouvelles analyses physico-chimiques (après dépollution), concluant à une absence de risque.

12. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La société GOBBA IMMOBILIER, prévoit la déconstruction des bâtiments de l'ancienne société GOBBA vitrage, situé 21, avenue Marcellin Berthelot sur la commune de VIENNE (38), en vue de l'aménagement d'un nouveau quartier central (OAP Sevenne), comprenant un centre commercial, une résidence senior et des habitats collectifs. Sur un terrain d'environ 3.7 ha.

Le site comprend actuellement une zone commerciale, un ensemble d'anciens bâtiments industriels d'environ 10 500 m² construits à différentes époques et aujourd'hui désaffectés, de voiries et parking et de deux zones végétalisées (une boisée et une enherbée).

Le tènement est imperméabilisé à presque 90% entre bâti et voirie.

Le site d'étude a fait l'objet de plusieurs diagnostics environnementaux réalisés par le bureau d'étude ANTEA (réalisé en 2013, 2015 et 2022).

Ces études ont investigué les milieux sols, gaz du sol et eau souterraine et ont principalement amené à conclure à la présence d'arsenic, cuivre et plomb de manières diffuse sur l'ensemble du site, et de nickel d'une manière très localisée (sud-ouest du site vers l'atelier vitrage et de découpe) et des hydrocarbures dans 4 zones définie comme des zones de pollution concentrée (ZPC) :

- ✓ Anciennes cuves de stockage de gazole,
- ✓ Intérieure de l'atelier autoclave,
- ✓ Cuves de stockage d'huiles caloporteur,
- ✓ A proximité de l'ancien garage vers le sud-est,
- ✓ A proximité de l'ancienne chaufferie vers l'ouest, il s'agit d'un parking actuellement.

D'autres fortes anomalies (CAV, HAP, chrome et mercure) ont été mise en évidence, cependant vue leurs caractères ponctuels et leurs localisations, la gestion des zones contaminées par les hydrocarbures et les autres métaux, permettra par ailleurs de les traiter simultanément.

Plusieurs approches (statistique, cartographie et bilan de masse) ont été utilisées afin de définir les objectifs de pollution résumé dans le tableau suivant :

Polluant	Seuil de coupure retenu mg/kg	Seuil anomalie ordinaire de l'ASPITET mg/kg	Pourcentage de pollution éliminée
HCT	580		
Arsenic (As)	45	25	97%
Cuivre (Cu)	75	20	62% de pollution
Nickel (Ni)	/	60	/
Plomb (Pb)	150	50	61% de pollution

G ENVIRONNEMENT a recommandé la gestion des ZPC des hydrocarbures. Un bilan coûts-avantages a été développé sur la base de différents critères et a permis de retenir deux scénarios :

- Traitement hors site par excavation et évacuation ;
- Traitement sur site par biopile (biotertre).

C'est deux solutions devront être combinées au traitement de fond de fouille, au vu de la présence de la nappe à 5 m de profondeur.

Concernant la pollution en métaux, G environnement a recommandé :

- Traitement hors site par excavation et évacuation pour les premiers 30 centimètres.

Selon la solution retenue, le coût de la dépollution du site serait :

- ✓ Compris entre 201 et 370 k€ HT, pour la gestion des zones de pollution (HCT et métaux) par excavation et évacuation.
- ✓ Compris entre 190 et 214 k€ HT, pour la gestion des zones de pollution en HCT par biopile et excavation et évacuation des métaux.
- ✓ Compris entre 9k€ et 12 k€ HT pour le traitement des eaux en fond de fouille de la zone des anciennes cuves de stockage de gazole (60m²).

Malgré la gestion des fortes anomalies sur le site, l'analyse des risques sanitaires résiduels a mis en évidence un risque pour la cible "enfants résidents" dans le cadre du scénario "ingestion de sol et de poussières de sol". Ce risque est principalement lié à la présence d'arsenic et de plomb.

Cependant, ce risque lié aux métaux sera neutralisé grâce à un aménagement complet du site. En effet, l'ensemble des surfaces sera recouvert par divers aménagements (bâtiments, aires de stationnement, voiries, espaces verts), empêchant ainsi tout contact direct avec les sols impactés

D'autres préconisations et mesures de gestion ont été formulées dans le cadre du projet afin de palier tout éventuel risque sanitaire et garantir la compatibilité sanitaire du site avec les usages retenus :

- **Maintien de la pérennité d'un recouvrement au droit de l'ensemble du site, afin de couper la voie de transfert entre la pollution résiduelle et les cibles,**
- **Gestion des déblais générés par le projet (évacuation hors site vers une filière de stockage ou de traitement adaptée à la qualité des déblais),**
- **Gestion des cuves du site selon la bonne règle, par dégazage, vidange et hydrocurage, puis ferrailage et enlèvement par une société possédant les agréments nécessaires. Cette opération devra être suivie de prélèvements et analyses de contrôle en bord et fond de fouille,**
- **Garder un taux de renouvellement d'air intérieur convenable dans les locaux, et logement ou le cas échéant, renforcer l'aération naturelle ou mettre en place une ventilation mécanique adaptée (taux de renouvellement 0,5 v/l),**

- **Mise en place d'une dalle béton étanche d'une épaisseur de 20 cm à minima. L'étanchéité de la dalle peut être renforcée par la pose d'une membrane imperméable ou par ajout d'adjuvants ferreux au béton (afin d'éviter la percolation des gaz de sol à l'intérieur des bâtiments),**
- **Mise en place de canalisations d'eau potable anti-perméation,**
- **L'interdiction d'implantation d'arbre fruitiers ou de végétation comestibles,**
- **Tout usage de l'eau souterraine au droit du site, sera assujettie à la réalisation de nouvelles analyses physico-chimiques (après dépollution) concluant à une absence de risque.**

De plus, G ENVIRONNEMENT a établi des prescriptions pour la mise en œuvre des mesures de gestion et la protection des travailleurs.

Conformément à la méthodologie nationale, un suivi de la bonne application des mesures de gestion préconisées devra être réalisé par un prestataire indépendant des entreprises en charge de la réalisation des opérations de gestion de la pollution.

Validité de l'étude :

G environnement a réalisé cette présente l'étude conformément aux normes et méthodologies en vigueur, en s'appuyant sur les données disponibles et les résultats des analyses effectuées fournies par le MO, notamment les investigations sur le site. Toutefois, il est important de souligner que ces investigations ne permettent pas d'exclure totalement la présence d'anomalies ou de pollutions non détectées lors des études menées. Par conséquent, notre bureau d'études ne saurait être tenu pour responsable de toute contamination ou anomalie découverte ultérieurement et non identifiée dans le cadre des investigations précédentes. Toute responsabilité liée à d'éventuelles pollutions non répertoriées relève de la gestion du maître d'ouvrage ou de toute autre partie prenante concernée.

13. ANNEXES

13.1. Solutions techniques et principe de dépollution

SelecDEPOL

Outil interactif de pré-sélection des techniques de dépollution et des mesures constructives

N'imprimer cette page que si nécessaire et utiliser si possible l'impression recto-verso

SelecDEPOL

Outil interactif de pré-sélection des techniques de dépollution et des mesures constructives

Géosciences pour une Terre durable

brgm

ADEME

Agence de l'Environnement et de la Mémoire de l'Énergie

Excavation des sols

Principe

L'**Excavation** ne constitue pas un procédé de traitement en tant que tel ; elle doit être accompagnée d'actions complémentaires afin de traiter et/ou stocker les terres excavées. Elle ne constitue donc qu'une phase préliminaire de traitement/réhabilitation.

Caractéristiques

Mise en œuvre : Sur site ou hors site
Nature : Méthode physique par évacuation de la pollution
Matrices :

- Sol

Domaines d'application :

- ZNS
- ZS

Terme anglais : Soil excavation
Codification/norme : C321a

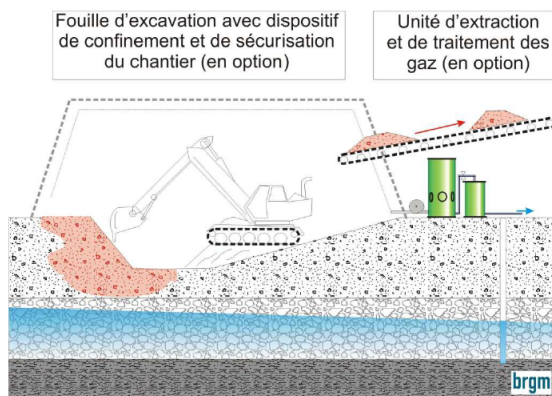
Polluants traités :

- TPH lourd
- TPH léger
- SCOV
- SCOHV
- Explosifs et composés pyrotechniques
- Dioxines/Furannes
- COV
- HAP
- Métaux/Métalloïdes
- Pesticides/Herbicides
- PCB
- COHV

Description

Le procédé d'**Excavation** est généralement réalisé une fois la source de pollution délimitée via des investigations de terrain et des analyses.

Il s'agit de la méthode la plus simple, la plus radicale et la plus rapide pour supprimer une source de pollution. Néanmoins, l'**Excavation** n'est pas une fin en soi, les sols pollués excavés devront faire l'objet d'un traitement/confinement sur ou hors site.



Actualisation en date du 12/03/2020

1/3

Figure 1 - Schéma de principe de l'excavation.

Moyens

Les moyens utilisés lors des travaux de terrassement sont identiques à ceux utilisés par les entreprises de travaux publics : pelle mécanique, tractopelle, véhicules de transport (dont certains doivent être habilités à contenir des déchets ou à respecter la réglementation du Transports de Matières Dangereuses (TMD)).

Afin de gérer les flux de terres excavées, il est souvent nécessaire de mettre en place des aires de stockage temporaires étanches (tampon). Ainsi, les terres excavées sont triées au fur et à mesure de l'excavation en fonction de leur degré de pollution. Ce degré de pollution est déterminé à partir des analyses préalablement réalisées lors du diagnostic de sols, et est complété par :

- des observations organoleptiques,
- et/ou des analyses semi-quantitatives sur site (kits immuno-enzymatiques, détecteur à photo-ionisation - PID, détecteur à ionisation de flammes – FID, spectromètre de fluorescence X portable, spectromètre UV),
- et/ou des analyses quantitatives en laboratoire sur ou hors site.

Les terres excavées sont alors réparties en différentes catégories en fonction de leur degré de pollution et de leur devenir :

- terres réutilisables sur site sans restrictions d'usage,
- terres réutilisables sur site avec restriction d'usage,
- terres excédentaires à éliminer hors site dans tel ou tel centre d'élimination agréé.

Après vérification de leur degré de pollution, les terres pourront alors être éliminées hors site dans un centre agréé ou sur site telles quelles, après traitement, dans un confinement, ou via des restrictions d'usage.

L'excavation pourra être réalisée en suivant un maillage prédéfini ou/et en suivant la zonation de la source de pollution préalablement définie.

Le nombre d'analyses est à adapter en fonction de la quantité de sols à extraire. D'une manière générale, un nombre d'analyses élevé permettra d'obtenir un tri plus fin.

En fin d'excavation, des échantillons en fonds et flancs de fouille seront prélevés et analysés afin de valider que les seuils de dépollution sont bien atteints.

Facteurs

L'Excavation des sols présente les avantages suivants :

- technique simple et rapide,
- l'Excavation est un préalable à tous les traitements sur site et ex situ,
- technique fiable et éprouvée,
- l'Excavation présente une garantie de résultats : les seuils de dépollution atteints sont aisément contrôlables via les analyses de fonds et de flancs de fouille,
- cette technique est particulièrement utilisée dans le cas de projets nécessitant des excavations générant un excédent de terres (aménagement des fondations, de caves de parkings enterrés),
- il s'agit d'une technique applicable à de nombreux composés ; elle est particulièrement bien adaptée pour éliminer une source de pollution très concentrée et limitée dans l'espace (hot spot) ou une source de pollution difficilement traitable par d'autres techniques (contaminants récalcitrants, mélange de pollution, concentrations élevées).

Ses inconvénients et facteurs limitants sont les suivants :

- l'Excavation ne constitue qu'une phase préliminaire de traitement/réhabilitation,
- l'Excavation s'applique généralement à des profondeurs de 5-6 m (ce qui correspond à la longueur des flèches des pelles standards). Des excavations plus profondes peuvent être réalisées avec des engins et des techniques de chantier spécifiques (benne preneuse, descente en escalier ...) mais les coûts et les durées de traitement sont alors plus conséquents,
- l'Excavation nécessite souvent l'arrêt de l'activité sur la zone de travaux et entraîne des perturbations sur les zones avoisinantes (trafic, bruit ...),
- plus la pollution est étendue, plus le volume de terres à excaver est important et les travaux sont difficiles à organiser et à réaliser,
- les limites et les délais d'acceptation dans les centres de traitement agréés doivent être pris en compte lors de la conception du chantier,
- les excavations sous ou à proximité immédiate de bâtiments ou d'ouvrages divers sont rares et nécessitent souvent des mesures spécifiques (étalement...) qui rendent l'opération plus coûteuse et moins rapide,
- les risques typiques des terrassements doivent être considérés :
 - explosion : mise à jour d'atmosphère explosive : ancienne décharge, ancien dépôt d'explosif, couches géologiques relarguant des gaz, cuve ou canalisation contenant des hydrocarbures, des gaz...,
 - endommagement d'infrastructures enterrées : canalisation, fondation...,
 - chute d'une personne dans la fouille, effondrement des parois de la fouille ...,
- l'Excavation peut dans certains cas favoriser la migration des polluants par :
 - modification de la mobilité des polluants métalliques (modification des conditions d'oxydoréduction par aération des sols),
 - modification de la perméabilité ou de la cohésion des sols ce qui rend la nappe plus vulnérable ; ce cas peut être problématique pour le LNAPL en phase pure,
 - remise en suspension des polluants adsorbés sur les colloïdes.
 - migration de la pollution sur site ou hors site sous forme de poussière.

Coûts

Les coûts des excavations dépendent principalement des volumes de sols à traiter et des cadences.

Les coûts de location des pelles hydrauliques varient de 700 à 1000 euros/j (auxquels, il faut ajouter l'amenée-repli de l'ordre de 900-1000 €).

A titre informatif, pour de grands volumes, les coûts de terrassement sont de l'ordre de 5-7 €/m³. Pour de petites quantités, des cadences limitées et dans des conditions délicates, les prix peuvent atteindre 50 €/m³. (BRGM, 2010)

D'après une actualisation des prix fournie par l'UPDS en septembre 2019, la moyenne basse estimée est de 7 €/m³, la moyenne haute de 15 €/m³ et le maximum de 40 €/m³ de sols excavés.

Pour mémoire, il est toutefois rappelé que ces tarifs ne sont que des estimations tirées du retour d'expérience des acteurs du domaine des Sites et Sols Pollués et pourront varier plus ou moins significativement d'un site à l'autre, notamment en fonction des polluants, des bilans massiques, de la complexité à atteindre la pollution et à intervenir sur le site. S'ils peuvent permettre d'obtenir une fourchette de prix avant la réalisation d'un projet, un budget réaliste ne pourra être obtenu qu'en faisant appel à un professionnel du domaine des Sites Sols Pollués.

Efficacité

La technique est radicale et présente une garantie de résultats. Son efficacité est très dépendante de la précision des investigations de terrain.

Délai

Les rendements d'**Excavation** avec du tri sont de l'ordre de 50 à 200 m³/j selon les difficultés de terrassement et le nombre d'analyses.



SelecDEPOL
Outil interactif de pré-sélection des techniques de
dépollution et des mesures constructives

N'imprimer cette page que si nécessaire et utiliser si possible l'impression recto-verso



Limiter la perméabilité de la structure

Principe

Seuls quelques matériaux, comme certains métaux et le verre, présentent une très faible perméabilité aux gaz. Les matériaux de construction (béton, brique, plâtre...) ne sont pas, pour la plupart, pleinement hermétiques à la pénétration des gaz.

L'étanchéification d'un bâtiment consiste alors à le rendre moins perméable aux gaz et à empêcher ainsi leur intrusion dans les bâtiments. Plusieurs solutions indépendantes les unes des autres sont disponibles et consistent à :

- Appliquer un revêtement sur/sous une dalle béton,
- Interposer une barrière extérieure d'étanchéité sur les fondations et parties inférieures du bâtiment,
- Réaliser une dalle de béton moins perméable.

Description

Du fait de leurs limites techniques, les opérations de dépollution conduisent généralement à laisser en place des pollutions résiduelles. Lorsqu'il s'agit de pollutions volatiles, une des premières solutions visant à limiter voire empêcher l'intrusion de vapeurs dans les bâtiments consiste à limiter la perméabilité de ces derniers. Différentes méthodes permettent d'améliorer l'étanchéité de bâtiment :

1. Revêtements

Un revêtement peut être appliqué sur ou sous une dalle béton. Différents procédés peuvent être envisagés :

- Les feuilles synthétiques préfabriquées (généralement du Polyéthylène Haute Densité (PEHD)) sont relativement peu onéreuses et faciles à mettre en place. Ces produits existent sous forme « souple » en rouleaux (ils sont utilisés pour étancher la partie inférieure des stockages de déchets, ou de retenues d'eaux), mais aussi sous forme de plaques rigides, équipées de picots, qui permettent de les rendre solides d'un béton (avant sa prise). Un endommagement lors de la mise en place (ce qui est plus fréquent pour les films souples) ou un mauvais raccordement entre les feuilles (qui doivent être raccordées par thermosoudure, tâche assurée par des poseurs habilités à cette opération) peut nuire à l'étanchéité. Ainsi, il est plus judicieux d'utiliser des membranes suffisamment épaisses et de poser ces feuilles sur un sol aplani et propre ne présentant pas d'objet pointu ou contondant (ou sur un géosynthétique anti poinçonnant), afin d'éviter tout endommagement.

La mise en place d'une membrane d'un seul tenant sera privilégiée afin de limiter les risques de faiblesses d'étanchéité à l'interface de deux lés. A défaut, une attention particulière sera portée à l'étanchéité au niveau des jonctions entre les lés : un recouvrement minimal de 15 à 20 cm est préconisé. Bien que la jonction de la membrane puisse être réalisée à l'aide d'un scotch double-face adéquat après nettoyage des surfaces à coller, il est fortement recommandé que la jonction soit réalisée par soudure thermique, étant donné qu'aucun contrôle ne pourra être réalisé après réalisation de la dalle. Il faudra être vigilant vis à vis des préconisations du fabricant afin de ne pas endommager la membrane lors de cette soudure et pratiquer un contrôle des soudures (ces opérations de pose, soudure et contrôle sont réalisées par des entreprises spécialisées et disposant des agréments nécessaires).

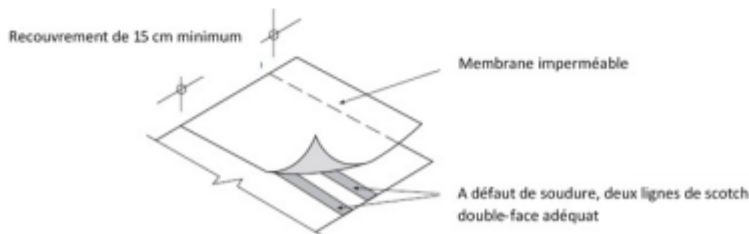


Figure 1 - Recouvrement et fixation étanche de deux lés. Source : Johnson, 2001.

De même, une vigilance particulière devra être portée à l'étanchéité de l'ancrage de la membrane au niveau des murs, des fondations ainsi qu'au niveau des traversées de VRD (Voirie et Réseaux Divers). Le lecteur pourra se reporter à la fiche relative au **Système de Dépressurisation Sous Membrane (SDSM)** ainsi qu'au projet EVALSDS (2018). Un contrôle qualité lors de l'installation est essentiel pour assurer une bonne étanchéité de l'installation. L'étanchéité des soudures peut être vérifiée par mise en pression du canal qui sépare les deux cordons de soudure (doubles soudures) et l'étanchéité globale en injectant

Actualisation en date du 07/10/2020

1/5

sous la membrane de la fumée ou un gaz traceur (par exemple un mélange d'azote et d'hélium) facilement détectable à l'aide d'appareil de mesures spécifiques.

- Les **revêtements à base de polymère**. Ils se distinguent par leur très bonne adhérence avec le béton et l'acier et leur bonne résistance aux contraintes mécaniques. Deux classes de résines sont principalement reconnues : les résines époxy et les résines polyuréthanes. La deuxième catégorie résiste mieux aux microfissures. En cas de fortes contraintes (circulation, manutention, ...), il conviendra de vérifier la durabilité de ces revêtements avec le fabricant et/ou l'installateur.
- Les **membranes appliquées en spray** (exemple : procédé Liquid Boot®, développé par la société CETCO). Une photographie de la mise en place de ce produit est présentée ci-dessous.



Photographie 1 - Mise en place d'une membrane en spray (crédit photo CETCO).

- Des **revêtements bitumineux** peuvent également être appliqués sur les murs latéraux extérieurs. On rappelle pour mémoire que leur durée de vie varie selon leur exposition aux rayonnements solaires, ce qui dans le cas présent ne posera pas de problème, les murs à étancher étant a priori enterrés. Leur durée de vie est généralement assez élevée (de l'ordre de 30 à 40 ans).

2. Barrière extérieure étanche

L'installation d'une **barrière extérieure d'étanchéité sur les fondations et parties inférieures du bâtiment** peut également être envisagée.

Dans les bâtiments en construction, l'intégration d'une membrane aux fondations peut être envisagée pour lutter contre l'infiltration de gaz. Généralement en PEHD ou PVC, elles sont placées avant coulage du radier et rabattues ensuite de manière à couvrir tous les murs enterrés (cas des films souples), ou intégrées à la dalle lorsque celle-ci est coulée (plaques rigides). Ces produits sont également utilisés dans les parois moulées verticales afin d'assurer une protection latérale (horizontale) contre les infiltrations d'eau, mais aussi de gaz.



Photographie 2 - Exemple de mise en œuvre d'une membrane le long d'une paroi moulée verticale. Source et crédit photo : Documentation technique et commerciale, société CETCO.

Actualisation en date du 07/10/2020

2/5

Lorsqu'ils sont intégrés aux fondations d'un bâtiment, ces produits doivent être mis en place au-dessus d'une couche de matériaux filtrants (massif filtrant et drain) qui permettra de drainer et d'évacuer les gaz. L'évacuation des gaz est nécessaire afin de prévenir leur accumulation sous la membrane et à terme dans le bâtiment si une ouverture se produisait dans la membrane. Les évènements (exutoires du gaz) doivent être positionnés dans un « point haut », notamment si l'évacuation des gaz est assurée par un système passif (ventilation naturelle). Le système peut également être associé à un système d'extraction actif. Il est préférable que cette mesure soit étudiée dès la conception du projet afin de juger de son impact financier. Son installation doit être contrôlée afin de s'assurer de l'absence de dommages.

Le principe de cette méthode se rapproche du cuvelage externe parfois installé sous, voire autour, d'un bâtiment afin de gérer la remontée des niveaux d'eau.

3. Réaliser une dalle moins perméable aux gaz

En premier lieu, il est bien entendu qu'aucune surface en terre battue ne devra être laissée à l'intérieur du bâtiment. En effet, cette zone de forte perméabilité sera un chemin préférentiel très important et permettra l'intrusion de polluants volatils. Ainsi, la **réalisation d'une dalle de béton d'une faible perméabilité** peut également être envisagée.

En premier lieu, l'intrusion de polluants volatils est facilitée par les fissures pouvant apparaître dans du béton. Cette fissuration est liée à plusieurs types de facteurs et débute dès la phase de séchage, avec une intensité plus ou moins importante, dépendant de :

- Sa **composition** : teneur en eau, nature du ciment, teneur en ciment et en agrégat, nature et dosage des additifs éventuels, humidité, température,
- Ses **conditions de mise en œuvre et ses caractéristiques structurelles** : la façon dont la dalle est coulée, le mode et le type de ferraillage, son épaisseur, sa superficie, sa réalisation d'un seul tenant ou en plusieurs parties, l'existence de raccords, joints de dilataion, le temps et les conditions de séchage, sa conception en dalle portée ou indépendante, le type de plancher bas, etc.,
- Ses **conditions d'utilisation** : l'usure mécanique liée au mouvement du sol, aux déformations de la structure du bâtiment, à l'entretien etc.,

Lors de la conception d'un bâtiment, il est possible de limiter les risques de fissures en renforçant le béton avec des métaux ferreux ou des fibres et/ou en favorisant un béton de haute qualité (peu perméable). Les performances du béton seront améliorées en augmentant la teneur en ciment ou en diminuant la teneur en eau par ajout d'adjuvants spécifiques tels que :

- **Les super-plastifiants**
Ce sont des polymères utilisés dans l'industrie du béton. L'addition d'adjuvants dans la composition du béton permet notamment de jouer sur la teneur en eau du béton et donc de le rendre moins perméable à l'air et aux polluants volatils. L'introduction de ces adjuvants ne doit jamais se faire à sec : ils peuvent être introduits par exemple dans l'eau de gâchage avant le mélange avec le ciment. Le recours et l'utilisation de ces adjuvants doivent être réalisés par une entreprise spécialisée afin d'assurer un bon dosage, une bonne homogénéisation du mélange et surtout une bonne application.
- **Les adjuvants minéraux**
Des adjuvants minéraux en poudre, à l'instar des cendres volantes, peuvent améliorer encore davantage la perméabilité des bétons. Les cendres volantes et les matériaux pouzzolaniques, comme les cendres volcaniques, l'argile et les schistes calcinés, peuvent remplacer une partie du ciment. Ils peuvent ainsi contribuer à augmenter la résistance finale et l'imperméabilité du béton comme le montre le tableau ci-dessous. Les cendres volantes peuvent remplacer jusqu'à un tiers de la quantité de ciment initiale.

Béton utilisé	Perméabilité estimée (m.s ⁻¹)
Béton avec cendres volantes	< 10 ⁻¹³
Portland normal (eau/ciment = 0,4)	10 ⁻¹²

Ces deux types d'adjuvants permettent d'obtenir des bétons haute performance qui se caractérisent par une forte compacité et une très faible porosité. En découlent alors des performances spécifiques :

- Résistance à la corrosion ;
- Faible perméabilité (à l'eau, à l'air, aux gaz...), ce qui constitue une barrière d'étanchéité,
- Gain en termes de coût (baisse de la consommation d'eau et de ciment),
- Intérêt environnemental : valorisation de coproduits industriels, obtenus à partir des résidus de l'industrie du papier, pour certains super-plastifiants.

Contrôles préalables, résultats et conclusions

1. Échantillonnage et analyses chimiques

Afin de déterminer si des mesures constructives doivent être mises en œuvre, des analyses de gaz de sol au droit (ou à proximité immédiate) du bâtiment à construire doivent être réalisées. Les paramètres recherchés devront être adaptés aux polluants susceptibles d'être présents dans les gaz de sols. En ce qui concerne les modalités de caractérisation des gaz de sol et de l'air intérieur, le lecteur est invité à se reporter au guide BRGM/INERIS (2016) et à la norme NF ISO 18400-204 (juillet 2017).

Recommandations post-installation

Idéalement, un suivi de l'installation à distance est recommandé afin de limiter la gêne pour les occupants du bâtiment.

Mise en place d'un bilan quadriennal intégrant :

- **Contrôle de la qualité de l'air dans la partie inférieure du bâtiment** (1er niveau au-dessus d'une membrane et

Actualisation en date du 07/10/2020

3/5

- rejet) tous les 3 mois la première année (si l'exposition est potentiellement longue à ce niveau) ou tous les 6 mois la première année (si l'exposition est limitée à ce niveau : cave, parking, ...), puis possibilité d'adaptation de la fréquence en fonction de l'évolution des résultats (stabilité ou baisse).
- **Vérification de l'intégrité de la dalle** ou de tout revêtement accessible à chaque visite,
 - **Vérification du bon état du réseau d'évacuation des gaz drainés** le cas échéant ainsi que contrôle de la qualité du rejet tous les 3 mois la première année, puis possibilité d'adaptation de la fréquence en fonction de l'évolution des résultats (stabilité ou baisse).

Applicabilité

Aucune limitation en terme d'applicabilité ne semble exister a priori puisqu'il s'agit d'adapter le projet à la problématique rencontrée.

Facteurs limitants

Dans le cas de bâtiment à construire, peu de facteurs limitants sont identifiés puisque le projet pourra être adapté en conséquence.

Coûts

Récapitulatif des coûts des opérations de limitation de la perméabilité des structures.

Mesure constructive	Coût d'installation (matériel et main d'œuvre, hors étude préalable et supervision)	Source/ Date	Coût de fonctionnement/ consommation électrique	Coût d'entretien (hors prélèvements et analyses éventuels)	Paramètres influençant principalement le coût
Revêtement bitumineux	10 à 60 € HT/m²	d) / 2001 l) / 2013	Aucune	Aucun	Surface, état et type du support
Membrane plastique	3 à 40 € HT/m² (hors préparation préalable du sol)	d) / 2001 e) / 2007 l) / 2013		Aucune (sauf si elle est endommagée)	Surface, nécessité de raccorder plusieurs lés, présence de réseaux à étancher
Résines époxy ou polyuréthane	10 à 20 € HT/m²	d) / 2001		A renouveler lorsqu'elle est endommagée	Surface et usage après application (présence de frottements mécaniques par exemple)
Membranes en spray	10 à 35 € HT/m² + 10 à 13 € HT/m linéaire de tuyauterie	d) / 2001 m) / 2003		400 à 1500 €/an	Surface, topographie du terrain, présence de réseaux
Etanchéité extérieure (membrane)	3 à 50 € HT/m²	b) / 2008 m) / 2003		Aucun	Surface, profondeur et existence de réseaux à étancher
Adjuvants et superplastifiants béton	0,5 à 0,7 € HT/m²	j) / 2002		Aucun	-

Sources : b) US EPA (2008), d) Bureau of Reclamation (2001), e) ITRC (2007), j) Site francebeton.com, l) retour d'expérience interne, m) ITRC (2003).

Remarque 1 : Pour certaines techniques, le retour d'expérience est faible ou inexistant en France. Les tarifs en dollar généralement rencontrés aux USA ont été convertis en euros. Il est possible que les tarifs indiqués ne représentent pas fidèlement les tarifs du marché français.

Actualisation en date du 07/10/2020

4/5

La dégradation biologique est, la plupart du temps, réalisée par biostimulation.

Les tas ne sont d'une manière générale pas d'une hauteur supérieure à 3 m (afin d'éviter le compactage).

Moyens

Le **Biotertre** est mis en œuvre à partir des éléments suivants :

- plateforme de prétraitement (homogénéisation, criblage, amendement de matière organique ou structurante si nécessaire ...),
- plateforme de traitement fixe ou mobile sur des alvéoles imperméabilisées (béton ou PEHD-polyéthylène haute densité),
- matériel relatif à l'ajout de nutriments : cuve de stockage, système de mélange avec l'eau, réseau de récupération et de recirculation des lixiviats,
- matériel relatif à l'ajustement de l'humidité (drain, sprinkler, pompes ...),
- matériel nécessaire à l'aération (drain, pompes ...),
- si nécessaire, filière de traitement des gaz (traitement biologique ou biofiltre le plus souvent),
- matériel de contrôle de conditions du milieu : oxygénation du milieu, humidité, concentration des nutriments, température, densité de la population microbienne en place,
- stockage des déchets solides et liquides issus du traitement.

Facteurs

Le traitement par **Biotertre** présente les avantages suivants :

- technique éprouvée ayant démontré une grande fiabilité et des résultats extrêmement significatifs,
- procédé destructif,
- technique fortement utilisée pour les sols hétérogènes et facilement biodégradables,
- technique permettant un meilleur contrôle des paramètres intervenant dans le processus de biodégradation que les traitements biologiques in situ (et donc de meilleurs rendements épuratoires),
- technique permettant un excellent contrôle microbien (oxygénation du milieu, humidité, concentration des nutriments, température, densité de la population microbienne en place...),
- compétitivité en termes de coût et de performance,
- fiabilité,
- applicabilité à de nombreux polluants,
- la surface au sol est moins importante que celle nécessaire au compostage et au landfarming,
- amélioration des qualités physiques des sols (taux de matière organique notamment).

Ses inconvénients et ses facteurs limitants sont les suivants :

- technique nécessitant l'**Excavation des sols**,
- l'hétérogénéité des sols peut interférer sur l'homogénéité de la distribution de la circulation d'air et donc sur l'efficacité du traitement,
- le pourcentage de particules fines contenues dans le sol est un facteur limitant,
- les sols contenant de l'argile et un taux de matière organique élevé engendrent une grande adsorption des polluants sur la matrice solide, ce qui diminue les rendements épuratoires,
- le système nécessite souvent un tri au préalable ; les granulométries supérieures à 60 mm sont souvent exclues du procédé,
- le devenir des sols excavés doit être examiné avec attention,
- la nature du contaminant (biodégradable) et les teneurs en polluants doivent être considérées avec attention,
- les biopiles statiques (sans retournement) peuvent aboutir à des résultats moins homogènes que ceux obtenus avec un retournement ou un mélange,
- taux d'humidité à maintenir autour de 40 à 60% de la capacité de rétention,
- le ratio carbone/azote/phosphate/potassium doit être maintenu autour de 100/15/1/1,
- l'injection d'oxygène peut provoquer le colmatage d'une partie des pores des sols,
- les émissions atmosphériques nécessitent parfois un traitement d'air (surcoût),
- les concentrations élevées en polluants peuvent être toxiques pour les microorganismes (HCT > 50 000 à 100 000 mg/kg),
- les concentrations élevées en métaux/métalloïdes sont incompatibles avec ce procédé,
- des températures faibles diminuent considérablement l'efficacité du traitement,
- la hauteur des tertres est généralement comprise entre 1 et 3 m au maximum, ce qui implique une surface au sol parfois conséquente,
- l'ajout d'agents structurants parfois, augmente le volume de matériaux à traiter.

Coûts

La biodégradation est une technique peu coûteuse et les coûts du marché sont uniformes à polluant identique. La variabilité des prix est essentiellement liée à la nature des polluants à traiter.

1. Sur site

En 2009, il est admis que les coûts variaient de 30 à 70 €/t pour les **Biotertres** sur site (coûts estimés). BRGM, 2010)

D'après une actualisation des prix fournie par l'UPDS en septembre 2019, la moyenne basse estimée est de 36 €/t, la moyenne haute de 50 €/t et le maximum de 70 €/t de sols traités après **Excavation** (hors excavation, tri des terres (avant traitement), transport interne et consommation électrique).

Actualisation en date du 27/05/2020

2/4

Pour mémoire, il est toutefois rappelé que ces tarifs ne sont que des estimations tirées du retour d'expérience des acteurs du domaine des Sites et Sols Pollués et pourront varier plus ou moins significativement d'un site à l'autre, notamment en fonction des polluants, des bilans massiques, de la complexité à atteindre la pollution et à intervenir sur le site. S'ils peuvent permettre d'obtenir une fourchette de prix avant la réalisation d'un projet, un budget réaliste ne pourra être obtenu qu'en faisant appel à un professionnel du domaine des Sites et Sols Pollués.

Évolution 2009/2019 :

Entre 2009 et 2019, les coûts associés aux **Biotertres** sur site sont restés globalement stables.

Répartition des coûts :

Le coût total a été réparti selon trois types de charges :

- **Charges exceptionnelles** correspondant au coût de la phase initiale (phase pilote, mise en place du chantier : installation d'une unité de traitement, préparation du terrain) et intervenant de façon unique (au démarrage du chantier par exemple),
- **Charges récurrentes** correspondant au coût de la phase « chantier » à renouveler au cours du traitement (matériel, main d'œuvre, réactifs ou produits) et pour l'élimination des déchets,
- **Charges liées aux études** (hors études de risques sanitaires préalables au chantier) **et suivi de la dépollution** correspondant aux coûts des analyses et prestations intellectuelles (rédaction de rapports, réunions sur site).

L'investissement initial est limité. Il est principalement lié à la mise en place de la semelle étanche, des différents réseaux d'apport d'oxygène et d'humidité, de collecte des lixiviats et des unités de traitement associées.

Le coût de mise en œuvre est important. Cela est lié aux opérations à effectuer pour constituer le terte. Les charges liées aux consommables sont limitées à l'injection d'air ou de nutriments et au traitement des éventuels lixiviats collectés.

Le traitement par biodégradation ne nécessite pas de maintenance spécifique. Néanmoins, un suivi analytique important est nécessaire pour suivre précisément la dégradation de la pollution. Cela permet également d'optimiser l'ajout d'air ou de nutriments selon les bactéries présentes et donc les coûts associés.

Dans le cas où le volume de terres est plus faible et où la place sur site est plus importante, le landfarming peut être pratiqué.

2. Hors site

En 2009, il est admis que les coûts variaient de 50 à 80 €/t pour les **Biotertres** hors site (coûts estimés). (BRGM, 2010)

D'après une actualisation des prix fournie par l'UPDS en septembre 2019, la moyenne basse estimée est de 45 €/t, la moyenne haute de 55 €/t et le maximum de 80 €/t de sols traités après **Excavation** (hors excavation, tri des terres (avant traitement), transport interne et consommation électrique.).

Pour mémoire, il est toutefois rappelé que ces tarifs ne sont que des estimations tirées du retour d'expérience des acteurs du domaine des Sites et Sols Pollués et pourront varier plus ou moins significativement d'un site à l'autre, notamment en fonction des polluants, des bilans massiques, de la complexité à atteindre la pollution et à intervenir sur le site. S'ils peuvent permettre d'obtenir une fourchette de prix avant la réalisation d'un projet, un budget réaliste ne pourra être obtenu qu'en faisant appel à un professionnel du domaine des Sites et Sols Pollués.

Évolution 2009/2019 :

Entre 2009 et 2019, les coûts associés aux **Biotertres** hors site sont restés globalement stables.

Répartition des coûts :

Le coût total des traitements biologiques hors site a été réparti selon les trois types de charges définies ci-dessus.

Les filières hors site se caractérisent par l'absence de coûts directement liés à l'investissement. En effet, les investissements initiaux de l'installation se répercutent indirectement dans les charges récurrentes qui intègrent l'amortissement des installations pour l'opérateur de traitement.

Les charges récurrentes sont principalement liées aux opérations à effectuer pour constituer le terte. Les charges liées aux consommables sont limitées à l'injection d'air ou de nutriments et au traitement des éventuels lixiviats collectés. Cette technique engendre des coûts de maintenance peu élevés. Néanmoins, une surveillance analytique importante est nécessaire pour suivre précisément la dégradation de la pollution ce qui permet d'optimiser l'ajout d'air ou de nutriments selon les bactéries présentes.

Efficacité

Le rendement de ce procédé varie fortement en fonction des conditions du milieu ; il peut dans certains cas atteindre plus de 90% si le temps de traitement est suffisamment long.

Délai

Actualisation en date du 27/05/2020

3/4

Les techniques biologiques reposent sur des mécanismes de biodégradation complexes qui sont généralement très longs. Le temps de traitement est donc élevé et très variable selon l'objectif de dépollution.

Les temps de traitement nécessaires varient de quelques semaines à plusieurs mois, voire 18 à 24 mois.



SelecDEPOL
Outil interactif de pré-sélection des techniques de dépollution et des
mesures constructives



N'imprimer cette page que si nécessaire et utiliser si possible l'impression recto-verso

Confinement par couverture et étanchéification

Principe

Les confinements physiques ont pour but d'empêcher l'écoulement des eaux souterraines hors du lieu contaminé.

Le confinement physique consiste à :

- isoler les contaminants de façon à prévenir leur propagation de manière pérenne,
- s'assurer du maintien de cet isolement par des mesures de contrôles rigoureux,
- s'assurer de l'efficacité de cet isolement par des mesures de suivi à long terme.

Les mesures à mettre en place seront choisies et modulées en fonction des conditions particulières de chaque cas, tels que :

- la nature et l'ampleur de la contamination,
- les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et hydrologiques du terrain,
- l'usage du terrain (nappe d'eau souterraine utilisée comme source d'eau potable...)
- et, le cas échéant, les spécificités du projet envisagé (maisons, jardins...).

De telles mesures de confinement doivent être pérennes et adaptées aux usages du site. Aussi, il est important d'apporter des éléments démonstratifs tangibles sur les performances du confinement et sur leur pérennité.

Caractéristiques

Mise en œuvre : *In situ*

Nature : Méthode physique par piégeage de la pollution

Matrices :

- Sol

Domaines d'application :

- ZNS

Termes anglais : containment, landfill cap

Codification/norme : C312a

Polluants traités :

- TPH lourd
- TPH léger
- SCOV
- SCOHV
- Explosifs et composés pyrotechniques
- Dioxines/Furannes
- COV
- HAP
- Métaux/Métalloïdes
- Pesticides/Herbicides
- PCB
- COHV

Description

Le but de l'isolation de surface (**Confinement par couverture et étanchéification**) est multiple :

- **confinement des sols souillés**. Il s'agit de prévenir la contamination vers les enjeux identifiés :
 - mise en place d'une isolation de surface perméable ou semi-perméable afin d'empêcher (ou de limiter) la percolation des eaux de pluie à travers la zone non saturée, puis l'infiltration des eaux souillées vers les eaux souterraines et superficielles,
 - mise en place d'une barrière entre la source de pollution et :
 - les humains (ingestion directe de sols, contact cutané),
 - la faune (rongeurs, terriers),
 - la flore (racine),
 - mise en place d'une barrière au-dessus de la source de pollution afin de prévenir le réenivol de poussières,
- **surélévation de la surface du sol** afin de fournir les pentes adaptées pour le ruissellement et le drainage contrôlé des eaux de surface,
- **limitation des flux de gaz** vers l'atmosphère et les habitations et maîtrise de leur récupération,
- **renforcement de la stabilité mécanique du stockage**,
- **intégration du site dans son environnement** (mise en place de conditions permettant la croissance des plantes).

En fonction des enjeux identifiés, l'isolation de surface pourra mettre en jeu différents types de couverture (simple ou multicouche) :

- **la couverture multicouche terreuse** : d'une perméabilité supérieure ou égale à 10^{-6} m/s, elle est peu performante vis-à-vis des infiltrations d'eau. Elle concerne :
 - les sites à faible potentiel polluant (ou faiblement évolutif) vis-à-vis des gaz, des eaux souterraines et superficielles,
 - les sites devant faire l'objet d'un confinement vis-à-vis du contact direct et de l'ingestion de sols souillés.
- **la couverture multicouche semi-perméable** : d'une perméabilité comprise entre 10^{-6} et à 10^{-9} m/s, elle limite moyennement les infiltrations et les émanations de gaz. Elle est utilisée pour :
 - les sites présentant un environnement peu vulnérable,
 - les sites dont on souhaite épuiser le potentiel polluant tout en limitant l'impact des rejets.
- **la couverture multicouche imperméable** : d'une perméabilité inférieure ou égale à 10^{-9} m/s, elle limite très fortement les infiltrations et les émanations de gaz. C'est pourquoi, elle s'applique à :
 - des sites à fort potentiel polluant,
 - des sites à environnement vulnérable.

Moyens

La sélection des matériaux à mettre en œuvre se base non seulement sur leurs coûts mais aussi sur leurs caractéristiques vis-à-vis de la protection, l'étanchéité, du drainage, de la filtration, de la séparation, du renforcement, de la résistance à l'érosion, de la pérennité, du type de polluant...

La mise en place de ces matériaux est réalisée à l'aide d'engins de chantiers spécifiques.

Il est nécessaire de mettre en place des filets avertisseurs au-dessus du confinement.

Facteurs

Le **Confinement par couverture et étanchéification** présente les avantages suivants :

- permet de confiner un très grand nombre de polluants,
- particulièrement bien adapté pour les grands volumes de pollution par des composés inorganiques voire mixte,
- technique éprouvée ayant démontré une grande fiabilité et des résultats extrêmement significatifs,
- compétitivité en termes de coût et de performance pour des volumes importants et des composés récalcitrants,
- fiabilité.

Ses inconvénients et facteurs limitants sont les suivants :

- les pollutions ne sont pas détruites et restent en place : aucune action n'est réalisée sur le volume et la toxicité des déchets. La seule action est relative à la réduction importante du transfert de pollution,
- il est primordial de garder la mémoire de la pollution et d'instaurer des restrictions,
- il est nécessaire de réaliser un suivi à très long terme,
- il est nécessaire d'entretenir le confinement afin de s'assurer la pérennité de son bon fonctionnement (endommagement du confinement du au gel/dégel, tassement différentiel, passage d'engins, dessiccation, attaque de rongeurs, végétation, ...),
- la couverture permet seulement de limiter les transferts verticaux (eaux pluviales, gaz, contact, réenvols de poussières) mais ne permet pas de contrôler les flux horizontaux,
- le **Confinement par couverture et étanchéification** nécessite parfois d'autres mesures de confinements complémentaires (confinement vertical, encapsulation, mesures constructives...),
- la mise en place notamment au niveau des soudures doit être irréprochable,
- il est nécessaire de tenir compte des exigences d'entretien et de suivi dans le temps (servitudes ...),
- étant donné que les confinements existants n'ont que quelques dizaines d'années au plus, il est difficile de prouver l'efficacité du confinement sur le long terme.

Coûts

Les coûts de traitement sont très variables. A titre indicatif, les coûts pour différents type de couverture sont les suivants (BRGM, 2010) :

- couverture avec une couche de 0,25 m de sable-bentonite : 15-35 €/m² ;
- couverture avec une couche de 0,4 m d'argile naturelle : 5-15 €/m² ;
- combinaison membrane (PEHD 2 mm) et 0,25 mm de sable bentonite : 15-30 €/m² ;
- polymère de 0,07 m de sable-bentonite : 7-15 €/m² ;
- matelas bentonitique : 5-15 €/m² ;
- couverture avec une feuille synthétique (géotextile...) : 3-7 €/m² ;
- couverture béton : 75-100 €/m² ;
- couverture asphalte : 30-60 €/m² ;
- couche externe 1 m de terre : 7-15 €/m² ;
- couche de drainage - 0,3 m : 2-5 €/m² ;
- géomembrane PEHD 2 mm : 7-15 €/m² ;
- système drainant : 1-3 €/m² ;
- profilage (avec engins de terrassement classiques) : 2-5 €/m².

Plus généralement, les prix de confinement peuvent être déclinés comme suit :

Actualisation en date du 27/05/2020

2/3

- confinement par couverture non étanche (hors végétalisation) (épaisseur < 0,6m) : 8 à 20 €/m² de couverture.
- confinement par couverture et étanchéification (épaisseur < 1m) : 40 à 60 €/m² de couverture.

Répartition des coûts :

Le coût total a été réparti selon trois types de charges :

- **Charges exceptionnelles** correspondant au coût de la phase initiale (phase pilote, mise en place du chantier : installation d'une unité de traitement, préparation du terrain) et intervenant de façon unique (au démarrage du chantier par exemple) ;
- **Charges récurrentes** correspondant au coût de la phase « chantier » (traitement (matériel, main d'œuvre, réactifs ou produits), élimination des déchets), à renouveler au cours du traitement ;
- **Charges liées aux études** (hors études de risques sanitaires préalables au chantier) **et suivi de la dépollution** correspondant aux coûts des analyses et prestations intellectuelles (rédaction de rapports, réunions sur site)

L'investissement initial est assez important. Il est notamment lié à l'ouvrage de confinement à mettre en place et aux différents travaux et aménagements qui peuvent être nécessaires. Ce coût est très variable selon l'étendue du confinement à réaliser.

Cette technique nécessite une maintenance et une surveillance soutenue des installations afin de garantir la pérennité de l'ouvrage.

Le travail d'étude et de suivi analytique est important afin de prévenir toute évolution ou dispersion de la pollution.

Efficacité

Les confinements, lorsqu'ils sont bien conçus et bien mis en place, sont très efficaces et ne permettent pas ou très peu de fuites vers l'extérieur. Dans tous les cas, les flux sortant du confinement doivent être compatibles avec les usages sur et hors site.

Délai

C'est une technique rapide compatible avec une valorisation immobilière sur les parties confinées après les travaux de mise en œuvre. Néanmoins, la mise en place d'un suivi strict et pérenne est nécessaire.

Les délais sont relativement courts et identiques à ceux de travaux de terrassement. A titre informatif, une décharge (ou un sol pollué) de 1 à 2 hectares peut être traitée par remodelage, drainage, **Confinement par couverture et étanchéification** en quelques mois.