



TEREOS

Sucrerie TEREOS – 9 rue d’Erre à Escaudœuvres (59)

Mémoire de réhabilitation

R001-1621760-002MSA-V01 du 19/03/2024

Référence R001-1621760-002MSA-V01

Fiche contrôle qualité

Intitulé de l'étude Mémoire de réhabilitation
Client TEREOS
Site Sucrerie TEREOS - 9 Rue d'Erre à Escaudœuvres (59)

Interlocuteur Vincent BATTEUX
Adresse 99, rue d'Erre 59161 ESCAUDOEUVRES
Email Vincent.batteux@tereos.com
Téléphone/Portable -

Référence du document R001-1621760-002MSA-V01
Date 19/03/2024

Superviseur Julien Caboche, Responsable d'affaires

Responsable étude Vincent Cottel, Chef de projets 

Rédacteur Maurine Sauvage, Ingénieure d'étude

Coordonnées

TAUW France - Agence de Douai
Ecopark
91, impasse Simone de Beauvoir
59450 Sin Le Noble
T +33 32 70 88 181

Siège social - Agence de Dijon
Parc tertiaire de Mirande
14 D Rue Pierre de Coubertin 21000 Dijon
T: +33 38 06 80 133
F: +33 38 06 80 144
E: info@TAUW.fr

TAUW France est membre de TAUW Group bv - Représentante légale : Mme Perrine Marchant

www.tauw.com

Version	Date	Statut	Pages	Annexes
01	19/03/2024	Création du document	73	1



Table des matières

Résumé non technique.....	2
1 Introduction.....	1
2 Méthodologie.....	2
2.1 Politique nationale des sites et sols pollués.....	2
2.2 Liste des sources d'informations consultées.....	2
3 Présentation du site et de son environnement (A100).....	3
3.1 Localisation du site.....	3
3.2 Projet d'aménagement / usage futur.....	4
3.3 Activités exercées sur le site.....	4
3.3.1 Activités historiques.....	4
3.4 Contexte géologique.....	6
3.4.1 Secteur autour du site.....	6
3.4.2 Au droit du site.....	7
3.5 Contexte hydrogéologique.....	7
3.6 Contexte hydrologique.....	7
4 Etudes et investigations antérieures.....	8
5 Définition des pollutions dans les sols et les eaux souterraines.....	16
5.1 Rappel sur la méthodologie de gestion des sites et sols pollués (problématique des pollutions concentrées).....	16
5.1.1 Gestion des pollutions concentrées.....	16
5.1.2 Définition de la notion de pollution concentrée.....	16
5.2 Caractérisation des pollutions concentrées dans les sols.....	18
5.2.1 Approche cartographique – méthode n°2.....	18
5.2.2 Analyse statistique – méthode n°3.....	19
5.2.3 Bilan massique – méthode n°4.....	33
5.3 Caractérisation des pollutions concentrées dans les eaux souterraines.....	46
5.4 Définition des zones de pollutions concentrées.....	46
6 Schéma conceptuel post investigations.....	52

Référence R001-1621760-002MSA-V01

6.1	Usage du site	52
6.2	Cibles	52
6.3	Sources de pollution.....	52
6.4	Vecteurs de transfert potentiels	52
7	Plan de gestion (A330) : méthodologie	55
7.1	Contraintes associées au site et à la pollution	55
7.2	Contraintes associées aux enjeux sanitaires	56
7.3	Objectifs des mesures de gestion proposées	56
7.4	Gestion des zones de pollution concentrée	57
7.4.1	Définition des scénarios de gestion	57
7.4.2	Principe des travaux d'excavation des ZPC	57
7.4.3	Dimensionnement du traitement	58
7.4.4	Suivi des performances pendant et après le traitement.....	58
7.4.5	Coût estimatif des opérations de traitement des ZPC	59
7.5	Gestion des pollutions résiduelles.....	61
7.5.1	Maîtrise du risque par inhalation de polluants volatils	61
7.5.2	Maîtrise du risque par contact direct, ingestion et inhalation de poussières.....	62
7.5.3	Maîtrise du risque pour les canalisations d'eau potable	62
7.5.4	Maitrise du risque pour les captages d'eau industriel	62
7.5.5	Maitrise du risque sanitaire en phase travaux.....	64
7.6	Contrôle de l'application des mesures de gestion.....	64
7.7	Conservation de la mémoire des mesures de gestion proposées	65
8	Schéma conceptuel intégrant les mesures de gestion	67
8.1	Usage du site	67
8.2	Cibles	67
8.3	Pollutions résiduelles après traitement	67
8.4	Vecteurs de transfert et voies d'exposition	67
9	Synthèse technique	69
9.1	Conclusion	69
9.2	Recommandations	72

10 Limites de validité de l'étude 73

Figures

Figure 1 Localisation du site d'étude (source : IGN)..... 3

Figure 2 : Localisation du site d'étude (source: rapport GINGER BURGEAP,2024)..... 4

Figure 3 Activités potentiellement polluantes (source : Rapport GINGER BURGEAP, 2024)..... 6

Figure 4 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les sols hors métaux – Zones impactées 1 & 2 (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023)..... 11

Figure 5 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les sols hors métaux – Zones impactées 3 & 4 (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023)..... 12

Figure 6 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les sols hors métaux – Zone impactée 6 (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023)..... 13

Figure 7 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les sols hors métaux – Zone impactée 5 & 7 (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023) 14

Figure 8 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les eaux souterraines (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023) 15

Figure 9 : Analyse statistiques des percentiles - HCT 20

Figure 10 : Évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HCT 20

Figure 11 : Distribution des concentrations en HCT 21

Figure 12 : Analyse statistiques des percentiles - HCT 22

Figure 13 : Évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HCT 23

Figure 14 : Distribution des concentrations en HCT 23

Figure 15 : Analyse statistiques des percentiles - HAP 25

Figure 16 : Évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HAP 25

Figure 17 : Distribution des concentrations en HAP 26

Figure 18 : Analyse statistiques des percentiles - HCT 27

Figure 19 : Évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HCT 28

Figure 20 : Distribution des concentrations en HCT 28

Référence R001-1621760-002MSA-V01

Figure 21 : Analyse statistiques des percentiles - HAP	30
Figure 22 : Évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HAP	30
Figure 23 : Distribution des concentrations en HAP	31
Figure 24 : Analyse statistiques des percentiles - HCT	32
Figure 25 : Graphique de la masse en HCT restante par rapport au volume de terre traitée	35
Figure 26 : Graphique de la masse en HCT restante par rapport au volume de terre traitée	37
Figure 27 : Graphique de la masse en HAP restante par rapport au volume de terre traitée – zone 3-4	39
Figure 28 : Graphique de la masse en HCT restante par rapport au volume de terre traitée	41
Figure 29 : Graphique de la masse en HAP restante par rapport au volume de terre traitée – zone 5-7	43
Figure 30 : Graphique de la masse en HCT restante par rapport au volume de terre traitée	45
Figure 31 : Localisation des zones de pollution concentrée zone 1, zone 2, zone 3 et zone 4 dans les sols	50
Figure 32 : Localisation des zones de pollution concentrée zone 5, zone 6, zone 7	51
Figure 33 schéma conceptuel initial pour un usage futur industriel	54
Figure 34 : Schéma d'un traitement par excavation des sols (source : BRGM)	58
Figure 35 : Localisation des forages à usage industriel connus au droit du site (Source : Porter à Connaissance TEREOS- IPSB réf 100-EI-01-1-01/A18132 Indice E)	62
Figure 36 : Caractéristique des forages au droit du site (Source : Porter à Connaissance TEREOS- IPSB réf 100-EI-01-1-01/A18132 Indice E)	63

Tableaux

Tableau 1 : Codification des missions des normes NF X 31-620	2
Tableau 2 : Sources d'informations consultées	2
Tableau 3 Historique du site (source : Rapport GINGER BURGEAP).....	5
Tableau 4 : Synthèse des données analytiques pour les HCT	19
Tableau 5 : Synthèse des données analytiques pour les HCT	21
Tableau 6 : Synthèse des données analytiques pour les HAP	24
Tableau 7 : Synthèse des données analytiques pour les HCT	26
Tableau 8 : Synthèse des données analytiques pour les HAP	29
Tableau 9 : Synthèse des données analytiques pour les HCT	31
Tableau 10 : Bilan de masse en HCT – zone 1-2	34
Tableau 11 : Bilan de masse en HCT – zone 3-4	36
Tableau 12 : Bilan de masse en HAP-zone 3-4	38
Tableau 13 : Bilan de masse en HCT – zone 5-7	40
Tableau 14 : Bilan de masse en HAP-zone 3-4	42
Tableau 15 : Bilan de masse en HCT – zone 6	44
Tableau 16 : Informations générales concernant les sources concentrées ZPC	47
Tableau 17 : Vecteurs de transfert et voies d'exposition pour un usage industriel.....	53
Tableau 18 : Estimation des coûts de traitement – ensemble des ZPC	60
Tableau 19 : Mesures de contrôle définies au stade travaux	64
Tableau 20 : Vecteurs de transfert et voies d'exposition retenus après mesures de gestion.....	68

Résumé non technique

<p>Contexte de l'étude</p>	<p>Dans le cadre de la cessation partielle d'activité de son site à Escaudœuvres, la société TEREOS a sollicité TAUW France pour l'accompagner en qualité de maître d'œuvre pour des travaux de désamiantage, de déconstruction, et de retrait de sources concentrées de pollution de l'ensemble du site.</p> <p>Le site a fait l'objet de plusieurs études environnementales depuis les années 2000. Dans le cadre de la cessation d'activité, deux études environnementales ont été réalisées par le bureau d'études GINGER BURGEAP en septembre 2023 et novembre/décembre 2023 et pour le compte de la société TEREOS. Celles-ci ont mise en évidence :</p> <p><u>Dans les sols :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Un bruit de fond en métaux ; • Des impacts en HCT C10-C40 et/ou HAP au droit de différentes zones principalement concentrés dans les remblais jusque 1 m ; • La présence de teneurs importantes en sodium notamment à proximité de la cuve de bisulfite de soude et en ammonium, azote NTK et nitrates au droit de la zone de stockage divers dans la partie sud du site <p><u>Dans les eaux souterraines :</u> un dépassement de la valeur de référence en eau potable en Benzo(a)pyrène exclusivement observé au droit du piézomètre PZ3 localisé en amont des activités du site.</p> <p><u>Dans les gaz des sols :</u> à l'échelle du site, des anomalies de concentrations en TPH, BTEX et COHV.</p> <p>TAUW France a recommandé la réalisation d'un plan de gestion permettant de définir les pollutions concentrées et les mesures de gestion à mettre en œuvre afin de réhabiliter les zones reconnues comme étant impactées.</p>
<p>Objectifs de l'étude</p>	<p>Le présent document présente le plan de gestion établi selon la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués. Celui-ci permet de statuer sur les mesures de gestion à mettre en œuvre au droit du site permettant de gérer ces impacts au cours des travaux d'aménagement du site et limiter son extension sur l'environnement.</p>
<p>Missions réalisées</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Synthèse des études antérieures • Plan de gestion (PG)
<p>Résultats et des définitions des Zones de Pollution Concentrée</p>	<p>L'approche cartographique couplée à l'analyse statistique et à un bilan massique ont permis de définir sept zones de pollution concentrée (ZPC) dans les sols au droit du site. :</p> <ul style="list-style-type: none"> • ZPC Zone 1 (200 m³) : HCT • ZPC Zone 2 (10 m³) : PCB • ZPC Zone 3 (204 m³) : HAP et HCT • ZPC Zone 4 (200 m³) : HAP et HCT • ZPC Zone 5 (50 m³) : HCT

	<ul style="list-style-type: none"> • ZPC Zone 6 (130 m³) : HCT • ZPC Zone 7 (90 m³) : HAP et HCT <p>Aucune pollution concentrée n'a été mise en évidence dans les eaux de la nappe alluviale. A ce stade, aucun traitement de la nappe n'est préconisé. Une surveillance de la qualité des eaux souterraines pourra être réalisée dans le cadre du suivi post-travaux de dépollution.</p>
<p>Choix du traitement des ZPC</p>	<p>Compte-tenu de la cessation partielle d'activité de TEREOS, le site est démantelé de toute installation. Dans ce cadre, conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, la mesure de gestion retenue est l'excavation des ZPC pour le traitement hors site des terres impactées.</p> <p>Cette solution est confortée par le caractère peu perméable des sols impactés au droit du site ne permettant pas de mettre en place des traitements in-situ efficaces, ainsi que le délais court lié à la reprise du site par un autre industriel.</p> <p>Sur la base des hypothèses prises en considération, les coûts relatifs à la gestion des ZPC dans sa globalité sont estimés entre 176 k€ et 211 k€.</p>
<p>Mesures de gestion et de contrôle</p>	<p>En phase travaux, les mesures de gestion et de contrôle suivantes devront être mises en œuvre :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La gestion des pollutions concentrées dans les sols jusqu'à l'atteinte des seuils de coupure définis ou jusqu'à l'atteinte des limites techniques, • La maîtrise du risque sanitaire en phase travaux (mesures élémentaires de prévention pour les travailleurs, validation des plans de prévention, ...), • La gestion des teneurs résiduelles dans les sols par des éventuelles mesures de restriction d'usage ; • L'utilisation de matériaux non concernés par le risque de perméation pour la réalisation du réseau d'eau potable du site.
<p>Analyse des enjeux sanitaires</p>	<p>L'analyse des risques résiduels prédictive montre des niveaux de risques sanitaires inférieurs aux seuils d'acceptabilité du ministère de l'Environnement pour un usage industriel, au vu des hypothèses prises en compte. L'état de qualité des milieux est compatible avec l'usage envisagé, avant la réalisation des travaux de dépollution.</p>
<p>Recommandations</p>	<p>Au regard des résultats obtenus et afin de confirmer le coût relatif à la gestion de la zone de pollution concentrée (ZPC), TAUW France a établi les recommandations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le comblement des forages à usage industriel qui ne sont plus utilisés dans le cadre de l'usage futur envisagé, dans les règles de l'art afin de prévenir toute pollution de ces aquifères à partir de la surface ; • Si un ou plusieurs forages sont conservés : la réalisation de prélèvement(s) afin de contrôler la qualité des eaux souterraines de la nappe de la craie du Cambrésis et vérifier le potentiel d'utilisation dans le cadre d'un usage industriel ;

1 Introduction

Dans le cadre de la cessation partielle d'activité de son site à Escaudœuvres, la société TEREOS a sollicité TAUW France pour l'accompagner en qualité de maître d'œuvre pour des travaux de désamiantage, de déconstruction, et de retrait de sources concentrées de pollution de l'ensemble du site.

Le site a fait l'objet de plusieurs études environnementales depuis les années 2000¹. Dans le cadre de la cessation d'activité, deux études environnementales ont été réalisées en septembre 2023 et novembre/décembre 2023 et pour le compte de la société TEREOS.

TAUW France a recommandé la réalisation d'un plan de gestion permettant de définir les pollutions concentrées et les mesures de gestion à mettre en œuvre afin de réhabiliter les zones reconnues comme étant impactées. Ce plan de gestion a pour objectif de statuer sur les mesures de gestion à mettre en œuvre au droit du site afin de gérer ces impacts, limiter son extension sur l'environnement en vue d'assurer la comptabilité du projet futur avec l'état des différents milieux.

Le présent document présente le plan de gestion selon la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués.

¹ Rapport ECOTECH de juin 2000 relative à l'étape A de l'étude des sols selon le guide méthodologique « Gestion des sites Potentiellement pollués » réalisé par le ministère de l'environnement ;
Rapport ECOTECH d'octobre 2000 relative à l'étape B de l'étude des sols selon le même guide méthodologique ;
Rapport de base réalisé par GINGER BURGEAP le 27/11/2020 et référencé CESINO181483 / RESINO08585-03 ;
Diagnostic complémentaire du milieu souterrain réalisé par GINGER BURGEAP le 03/10/2023 et référencé 1052189-01 / NO3700201 /CV_NO0000995.
Rapport BURGEAP, « mémoire de réhabilitation », référencé 1072193-01/NO3700264/CV_NO0001434 en date du 14/02/2024

2 Méthodologie

2.1 Politique nationale des sites et sols pollués

Dans le cadre de la présente étude, TAUW France a suivi le contenu de la note du 19 avril 2017, établie par le ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD) relative aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués.

Les prestations réalisées par TAUW France sont conformes :

- A la norme NF X 31-620-1 de décembre 2021 « Qualité des sols – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués – Partie 1 : Exigences générales »,
- A la norme NF X 31-620-2 de décembre 2021 « Qualité des sols – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués – Partie 2 : Exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle ».

Les missions décrites ci-dessous font référence à la codification des missions des normes NF X 31-620.

Tableau 1 : Codification des missions des normes NF X 31-620

Code	Prestation	Missions réalisées
PG	Plan de gestion dans le cadre d'un projet de réhabilitation ou d'aménagement d'un site	X

2.2 Liste des sources d'informations consultées

Dans le cadre de cette étude, les sources d'informations dans le tableau suivant ont été consultées par TAUW France en février 2024.

Tableau 2 : Sources d'informations consultées

Données	Sources d'informations
Situation et environnement immédiat	Localisation géographique du site sur plan IGN (source : www.geoportail.gouv.fr) Extrait du plan cadastral du site (source : www.cadastre.gouv.fr)
Données antérieures	Rapport BURGEAP, « mémoire de réhabilitation », référencé 1072193-01/NO3700264/CV_NO0001434 en date du 14/02/2024

3 Présentation du site et de son environnement (A100)

3.1 Localisation du site

Le site est localisé au 99 rue d'Erre, 59161 Escaudœuvres. Le site appartient à la société TEREOS et était exploité par la même société pour une activité de Sucrerie. Le site s'inscrit dans un contexte résidentiel et agricole. Il est délimité :

- Au nord, par le canal de l'Escaut suivi de parcelles agricoles ;
- A l'est, par la rue d'Erre suivi de logements individuels avec jardins et du centre-ville d'Escaudœuvres ;
- Au sud, par la rue du marais puis des logements individuels avec jardins, de parcelles agricoles et la zone commerciale Auchan Cambrai
- A l'ouest, par des parcelles boisées, un jardin collectif et le centre universitaire de Cambrai.

La localisation du site est présentée sur la figure ci-dessous.

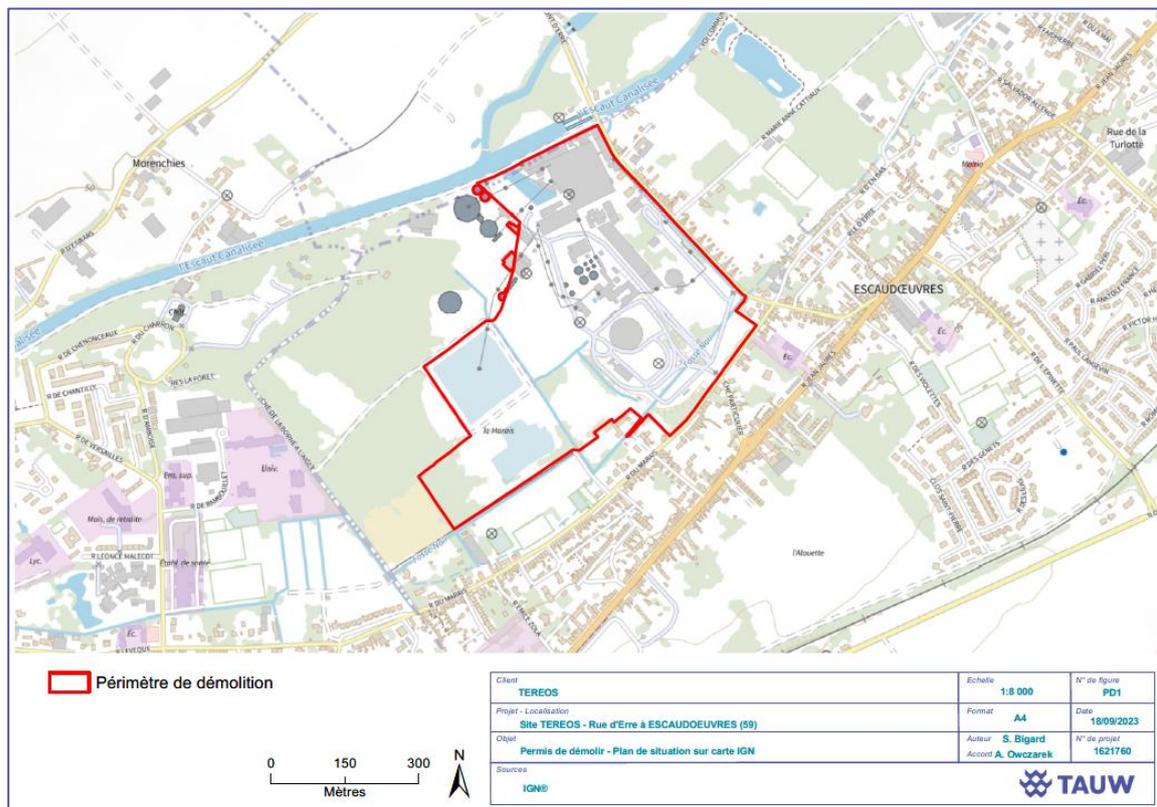


Figure 1 Localisation du site d'étude (source : IGN)

3.2 Projet d'aménagement / usage futur

Une partie du site est reprise par une société spécialisée en agroalimentaire. La société TEREOS conserve une partie au nord-ouest du site.



Figure 2 : Localisation du site d'étude (source: rapport GINGER BURGEAP,2024)

L'usage futur sera donc un usage industriel.

3.3 Activités exercées sur le site

3.3.1 Activités historiques

Le site, depuis sa création en 1872 jusqu'à sa fermeture en 2023, a toujours eu la même activité principale de sucrerie.

L'étude historique et documentaire a permis d'identifier les faits suivants :

Référence R001-1621760-002MSA-V01

Tableau 3 Historique du site (source : Rapport GINGER BURGEAP)

Date	Fait marquant
1872	Fondation de la sucrerie par l'ingénieur Jules LINARD. Au démarrage la sucrerie traite environ 500 tonnes de betteraves par jour, rapidement la capacité augmente et passe à 3 000 tonnes/jour. <i>Arrêté préfectoral du 28 mars 1873</i>
1890 - 1900	Extension de l'usine ainsi que l'aménagement de bassin de décantation pour éviter la pollution des eaux.
1914-1918	L'usine est totalement sinistrée.
1923	Reconstruction et modernisation de la sucrerie.
1931 et 1934	Arrêtés préfectoraux autorisant le stockage d'alcool le 5 août 1931 et le 7 juin 1934.
1936	Arrêté préfectoral autorisant le dépôt de benzène le 6 juin 1936. <i>Document non consulté</i>
1939	L'usine transforme plus de 300 000 tonnes de betteraves.
1960	Fusion de la société avec les sucreries MILLET.
1965	Fermeture de l'usine BOHAIN avec la suppression des râperies, ce qui permet l'augmentation de la production de la sucrerie, soit 7 000 tonnes/jour.
1971	Inauguration du silo de stockage de sucre de 35 000 tonnes Création de la société SODECA (Société de Déshydratation du Sucre)
1972	La société F.BEGHIN prend le contrôle de l'usine.
1974	La sucrerie atteint une capacité de traitement de betteraves de 8 000 tonnes/jour.
1984	Réalisation d'un nouveau centre de réception à sous-sol.
1986	BEGHIN-SAY prend la sucrerie Centrale de Cambrai en location-gérance afin d'harmoniser son approvisionnement.
1987	Inauguration du silo à sucre d'une capacité de 80 000 tonnes
1988	Démarrage du stockage sur la parcelle localisée en partie centre-ouest de l'usine avec des déchets du type DIB, poussières de balayages, boues de curage des fossés, cendres, bidons, ferrailles, pneu etc... Ce dépôt sera alimenté durant 2 à 3 ans. Après cette exploitation, l'enfouissement des déchets continuera avec un contrôle plus strict ; seuls les résidus de pellets, matières organiques, suies et cendres continueront d'être enfouis. La surface approximative du dépôt est d'environ 17 000 m ² sur une parcelle de 20 000 m ² .
1991	Réfection complète de l'atelier d'évaporation

Les sources de pollution potentielles identifiées à l'issue de l'étude historique et documentaires sont présentées sur la figure ci-dessous.

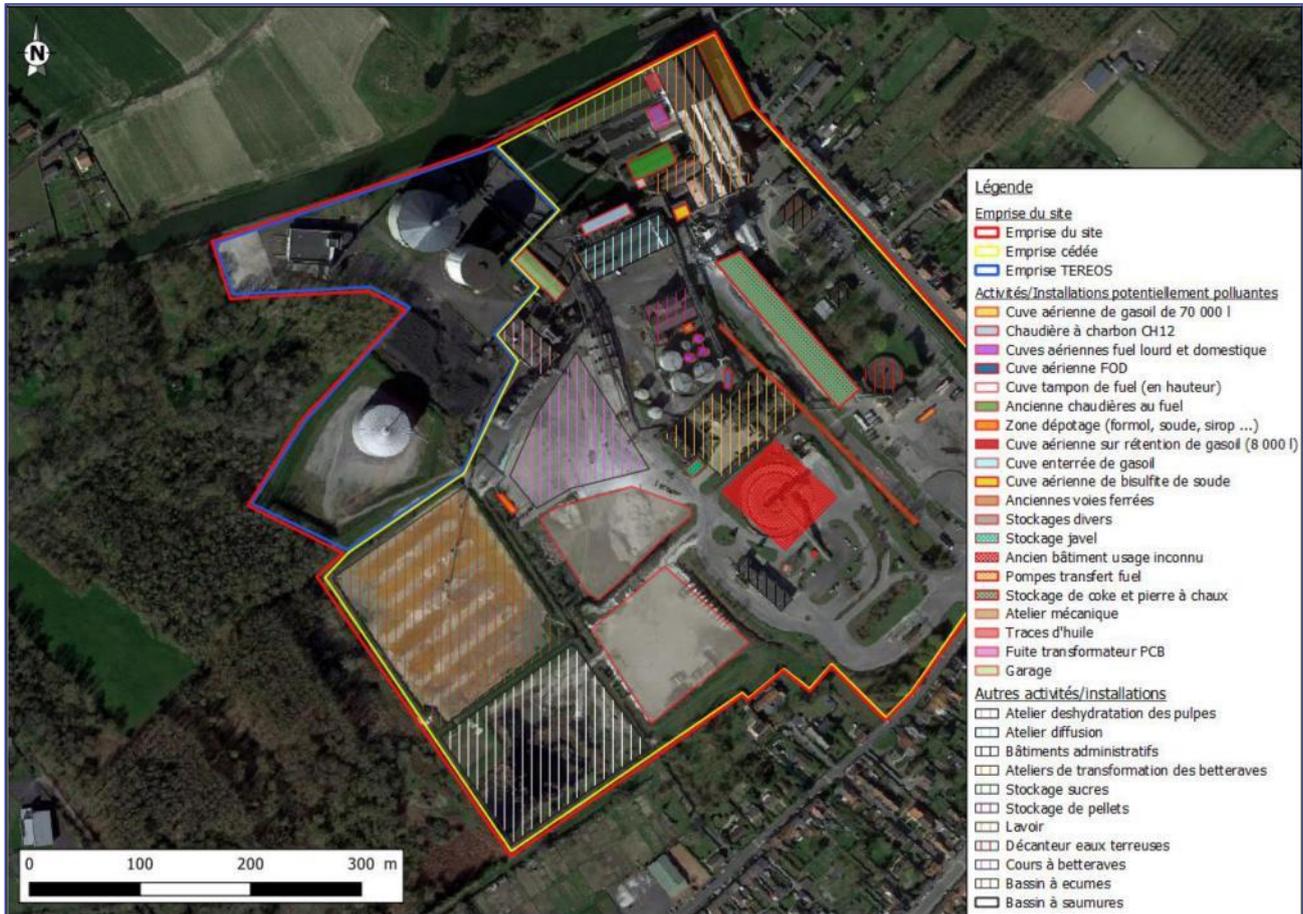


Figure 3 Activités potentiellement polluantes (source : Rapport GINGER BURGEAP, 2024)

A noter qu'en avril 2020, le site a fait l'objet d'une rupture d'une digue qui retenait des eaux de lavage de betteraves entrainant le déversement des eaux chargées en matières organiques dans l'Escaut.

3.4 Contexte géologique

3.4.1 Secteur autour du site

La géologie dans le secteur d'étude est la suivante :

- Des argiles et tourbe jusqu'à 6 m de profondeur ;
- Des cailloutis et des morceaux de craie de 6 à 13 m de profondeur ;
- De la craie grise à silex du Turonien supérieur jusqu'à 36 m de profondeur ;
- De la craie blanche du Turonien supérieur de 36 à 42 m de profondeur ;
- Des dièves à partir de 42 m de profondeur.

3.4.2 Au droit du site

A noter qu'au regard des observations réalisées au cours des investigations réalisées dans le cadre des études antérieures, la succession des formations géologiques observées au droit du site est la suivante, de la surface vers la profondeur :

- Des remblais limoneux avec cailloux et morceaux de briques jusqu'à 0,5 à 1 m de profondeur ;
- Des limons argileux gris vert jusqu'à la fin des sondages.

3.5 Contexte hydrogéologique

La première nappe présente au droit du site est contenue dans les alluvions. D'après l'étude de vulnérabilité, cette nappe est rencontrée au droit du site à partir de 2 m de profondeur ; dans le cadre des études antérieures, des arrivées d'eau ont été observées entre 0,6 et 1 m de profondeur. La seconde nappe rencontrée au droit du site est la nappe libre de la craie du Cambrésis, attendue vers 27 m de profondeur au droit du site.

La nappe alluviale est en continuité hydraulique avec la nappe de la craie et drainée par l'Escaut. Le sens d'écoulement théorique de cette nappe est supposé vers le nord en direction de l'Escaut. Ces 2 nappes sont vulnérables aux pollutions de surface en raison de l'absence d'horizons imperméables les protégeant.

D'après les données, deux captages en eau potable sont présents dans un rayon de 2 km autour du site étudié en aval/latéral hydrogéologique. A noter que plusieurs captages industriels captant la nappe de la craie sont présents sur site.

3.6 Contexte hydrologique

Le canal de l'Escaut est situé en bordure nord du site étudié et s'écoule du sud vers le Nord avant de se jeter dans la mer.

4 Etudes et investigations antérieures

Les études antérieures réalisées au droit du site sont les suivantes :

- Rapport ECOTECH de juin 2000 relative à l'étape A de l'étude des sols selon le guide méthodologique « Gestion des sites potentiellement pollués » réalisé par le ministère de l'environnement ;
- Rapport ECOTECH d'octobre 2000 relative à l'étape B de l'étude des sols selon le même guide méthodologique ;
- Rapport de base réalisé par GINGER BURGEAP le 27/11/2020 et référencé CESINO181483 / RESINO08585-03 ;
- Diagnostic complémentaire du milieu souterrain réalisé par GINGER BURGEAP le 03/10/2023 et référencé 1052189-01 / NO3700201 /CV_NO0000995 ;
- Diagnostic complémentaire du milieu souterrain réalisé par GINGER BURGEAP le 14/02/2024 et référencé 1072193-01 / NO3700264 /CV_NO0001434.

Les résultats obtenus, les conclusions et les recommandations éventuelles issus des différentes investigations antérieures à 2023 sont synthétisées dans le dernier rapport émis par GINGER BURGEAP en février 2024.

Les pages suivantes présentent les données issues de la dernière étude réalisée (Rapport Diagnostic complémentaire du milieu souterrain réalisé par GINGER BURGEAP en février 2024), ainsi que les plans synthétiques reprenant la localisation de l'ensemble des sondages de sol et du réseau piézométrique.

Diagnostic complémentaire : du 27/11 au 30/11/2023 et le 10/11/2023

Investigations sur les sols :

31 sondages entre 2 et 5 m de profondeur pour délimiter :

- Autour du sondage B14 (zone impactée n°3) présentant un impact en HCT C10-C40 non délimité horizontalement vers le sud-est ;
- Autour et sur les sondages B32, B38, B47 et B48 (zones impactées n°4 à 7) présentant des impacts en hydrocarbures non délimités spatialement ;
- Dans une moindre mesure autour du sondage BGP19 (zone impactée n°2) présentant des anomalies déjà délimitées.

Nota Bene : la zone impactée 1 ayant été délimitée lors du diagnostic réalisé précédemment, celle-ci n'a pas fait l'objet d'investigations complémentaires.

Investigations sur les eaux souterraines :

Installation de 4 nouveaux piézomètres entre 5 et 7 m de profondeur : Pz5 à Pz8

Investigations sur les gaz du sol :

Mise en place de 2 piézaires complémentaires sur le secteur B6 avec PzR5 et sur le secteur B226 avec PzR1

Programme analytique global :

Milleux reconnus	Investigations								Analyses sol							
	Prestations /méthode	Localisation	Zone impactée	Sondages	Objectifs	Qté	Prof. (m)	Total ml	Mesures in situ	HCT C5-C40, HAP	HCT C5-C40	HAP	PCB	Azote NTK, nitrates, nitrites ammonium	Pack ISDI + 8métaux + COHV + HCT C5-C10	
Sols	Sondages au carottier sous gaine	secteur B14	Z3	B50, B51, B52	Délimiter la zone de pollution à l'Est et au Sud	3	2	6	PID	4	-	-	-	-	2	
		Secteur BGP19	Z2	B57, B58, B59	valider l'absence de PCB (initialement identifié en 2018 et absent en 2023)	3	2	6		4	-	-	4	-	2	
		Secteur B48	Z4	B53 à B56	Délimiter la zone de pollution en hydrocarbures	4	2	8		6	-	-	-	-	2	
				B48bis	Délimitation verticale	1	3	3		2	-	-	-	-	1	
		Secteur B38	Z6	B60 à B63	Délimiter la zone de pollution en hydrocarbures et ammonium	4	3	12		6	-	-	-	8	2	
				B60Bis	Délimitation horizontale B60	1	3	3		-	3	-	-	-	-	
				B38 bis	Délimitation verticale	1	3	3		2	-	-	-	-	1	
		Secteur B32	Z5	B64 à B67	Délimiter la zone de pollution en hydrocarbures	4	3	12		6	-	-	-	-	2	
				B66Bis et B67Bis	Délimitation horizontale B66 et B67	2	3	6		-	-	6	-	-	-	
				B32bis	Délimitation verticale	1	3	3		1	-	-	-	-	1	
		Secteur B46 / 47	Z7	B68 à B73	Délimiter la zone de pollution en hydrocarbures	6	5	30		15	-	-	-	-	3	
				B47bis	Délimitation verticale	1	5	5		3	-	-	-	-	1	
		Mis en place de nouveaux piézomètres	Aval du site	-	Pz5 à Pz8	Obtenir des informations complémentaires	4	7		28	-	-	-	-	-	4
Mis en place de piézaires	Secteur B6	-	PzR5	1	1,5		1,5	1	-	-	-	-	-			
	Secteur B26	Z1	PzR1	1	1,5		1,5	1	-	-	-	-	-			
TOTAL Sols									37	128	51	3	6	4	8	21

Les cartes de présentation des résultats obtenus sont présentées après ce tableau

Sols :

Les résultats d'analyses obtenus en aout 2023 ayant mis en évidence des dépassements réguliers du bruit de fond régional en métaux et de la valeur de référence en naphthalène sur l'ensemble du site, seuls les composés organiques sont pris en considération dans l'interprétation réalisée.

Au droit de la zone impactée 2 (BGP19/B25) : Les impacts mis en évidence en 2018 en HCT C10-C40 et PCB sont considérés comme ponctuels et sont totalement délimités spatialement

Au droit de la zone impactée 3 (BGP21/B13 et B14) : Les impacts mis en évidence en 2018 et aout 2023 en HCT C10-C40 sont délimités horizontalement et verticalement sur le premier mètre de sol et une emprise de 370 m².

Au droit de la zone impactée 4 (sondage B48) : Vis-à-vis des résultats obtenus, l'étendue de l'impact en HCT C10-C40 mis en évidence en aout 2023 au droit de B48 est totalement délimitée. A contrario, l'impact observé en HAP sur le deuxième mètre de sol au droit du sondage B54 n'est lui pas délimité. En effet, cette teneur est 3 fois plus importante que celle observée précédemment au droit du sondage B48.

Au droit de la zone impactée 5 (sondage B32) : Les résultats obtenus, permettent de conclure que l'impact en HAP mis en évidence en aout 2023 au droit de B32 est totalement délimité. Toutefois il est à noter que de nouveaux impacts observés en HAP sur les deuxièmes et troisièmes mètres de sol au droit des sondages B66, B67 et B67Bis, ces impacts ne sont eux pas délimités. En effet, les teneurs observées sont plus élevées que celle observée précédemment au droit du sondage B32.

Au droit de la zone impactée 6 (sondage B38) : L'étendue latérale de l'impact en HCT C10-C40 observé au droit du sondage B38 en aout 2023 n'est pas défini.

Au droit de la zone impactée 7 (sondages B46 et B47) : Les impacts mis en évidence en aout 2023 en HCT C10-C40 et HAP sont considérés comme totalement délimités spatialement entre 2 et 4m de profondeur et une emprise de 100 m2.

En fonction des dépassements mis en évidence, **plusieurs filières d'évacuation hors site des terres sont envisageables** : ISDI (Installation de Stockage de Déchets Inertes), ISDI+ (Installation de Stockage de Déchets Inertes pouvant accepter des dépassements d'un facteur 3 des valeurs limites sur éluas définis par l'arrêté du 12/12/2014), ISDND (Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux), ISDD (Installation de Stockage de Déchets Dangereux).

L'estimation des coûts liés à la gestion des terres impactées (transport et filière) est d'environ 307 k€ HT.

Etudes / Investigations réalisées	Résultats											
<p>Programme eaux souterraines :</p> <table border="1" data-bbox="489 428 1231 495"> <thead> <tr> <th>Polluants recherchés</th> <th>Nombre d'échantillons analysés</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HCT C5-C40, HAP, BTEX, COHV</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table> <p>Programme d'analyse sur les gaz du sol :</p> <table border="1" data-bbox="563 714 1092 852"> <thead> <tr> <th>Substances analysées</th> <th>Nombre d'échantillons analysés</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hydrocarbures par TPH</td> <td rowspan="4">6</td> </tr> <tr> <td>BTEX</td> </tr> <tr> <td>Naphtalène</td> </tr> <tr> <td>COHV</td> </tr> </tbody> </table>	Polluants recherchés	Nombre d'échantillons analysés	HCT C5-C40, HAP, BTEX, COHV	8	Substances analysées	Nombre d'échantillons analysés	Hydrocarbures par TPH	6	BTEX	Naphtalène	COHV	<p>Eaux souterraines :</p> <p>Sens d'écoulement nappe superficielle : Est</p> <p>Les résultats d'analyse mettent en évidence des teneurs inférieures aux valeurs de références ou du même ordre de grandeur que la limite de quantification du laboratoire pour l'ensemble des composés organiques analysés à l'exception du piézomètre Pz3 localisé en amont des activités du site et présentant une teneur en Benzo(a)pyrène légèrement supérieure à la valeur de référence en eau potable.</p> <p>Ainsi, les anomalies de concentrations en composés organiques observées sur les sols n'impactent pas les eaux souterraines présentes au droit du site.</p> <p>Gaz du sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des teneurs significatives en hydrocarbures volatils au droit de PzR3 (Zone impactée 3) et dans une moindre mesure au droit de PzR1 (Zone impactée 1) et PzR4 (Zone impactée 5) avec notamment des concentrations en hydrocarbures aliphatiques C8-C10 et C10-C12 supérieures aux valeurs de référence pour l'air ambiant intérieur et extérieur lorsqu'elles existent. Des teneurs en Benzène supérieures aux valeurs de référence pour l'air intérieur et extérieur au droit de PzR3 et PzR4 ; Des teneurs en TCE au droit de PzR4 et PCE au droit de PzR5 supérieures au bruit de fond de l'air intérieur et extérieur ; L'absence de teneurs, ou la présence de teneurs non significatives pour les autres paramètres analysés.
Polluants recherchés	Nombre d'échantillons analysés											
HCT C5-C40, HAP, BTEX, COHV	8											
Substances analysées	Nombre d'échantillons analysés											
Hydrocarbures par TPH	6											
BTEX												
Naphtalène												
COHV												
Conclusions globales de l'étude	Recommandation de GINGER BRUGEAP											
<p>Les investigations réalisées sur les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol en décembre 2023 par GINGER BURGEAP ont montré :</p> <p>Dans les sols :</p> <ul style="list-style-type: none"> Un bruit de fond en métaux et naphtalène avec des teneurs supérieures aux valeurs de référence sur l'ensemble du site et notamment des concentrations significatives en chrome, cuivre, plomb, zinc et mercure ; Des impacts en HCT C10-C40 et/ou HAP dans les sols : <ul style="list-style-type: none"> Des zones impactées 1 et 2, délimitées spatialement sur le premier mètre de sols (impact limité aux sondages BGP10/B26 et BGP19). A noter également un impact en PCB observé en 2018 au droit du sondage BGP19 (non retrouvé lors de la dernière campagne). L'impact relevé au droit de BGP19 en 2018 est par conséquent considéré comme ponctuel ; De la zone impactée 3, délimitée spatialement sur le premier mètre de sols des sondages BGP21 et B14 ; De la zone impactée 4, partiellement délimitée (teneur observée en HAP au droit de B54 entre 1 et 2 m de profondeur) ; De la zone impactée 5, partiellement délimitée spatialement (teneurs observées en HAP au droit de B66, B67 et B67Bis entre 1 et 3 m de profondeur) ; De la zone impactée 6, exclusivement entre 1 et 2 m de profondeur et dont l'étendue n'est pas définie (teneurs observées en B60 et B60Bis) ; De la zone impactée 7 : entre 2 et 4 m de profondeur (principalement sur le sondage B47) et dont l'étendue verticale et horizontale est délimitée ; Un léger impact en HAP (50,32 mg/kg) dans les sols prélevés au droit du piézomètre PZ6 ; Un impact en HCT C10-C40 dans les sols prélevés au droit des piézaires PzR1 et PzR5 ; La présence de teneurs importantes en sodium notamment à proximité de la cuve de bisulfite de soude et en ammonium, azote NTK et nitrates au droit de la zone de stockage divers (zone impactée 6). <p>Dans les eaux souterraines : un dépassement de la valeur de référence en eau potable en Benzo(a)pyrène a exclusivement été observé au droit du piézomètre PZ3 localisé en amont des activités du site.</p> <p>A noter qu'en aout 2023 des dépassements des valeurs de référence en eau potable et brute en sodium ont été observés sur l'ensemble des ouvrages ainsi que des dépassements en nickel et en arsenic au droit du piézomètre PZ4 (paramètres non analysés lors de la dernière campagne).</p> <p>Dans les gaz des sols : à l'échelle du site, des anomalies de concentrations en TPH, BTEX et COHV. L'ensemble de ces teneurs est conforme aux valeurs de référence utilisées après application du facteur d'atténuation (facteur alpha), à l'exception d'une teneur significative en hydrocarbures volatils de l'ouvrage PzR3 (localisé au droit de la zone impactée 6). Cette teneur significative observée dans les gaz du sol est corrélée avec les teneurs constatées dans les sols ;</p>	<ul style="list-style-type: none"> Un recouvrement pérenne des terres en place sur l'ensemble du site par un revêtement minéral ou une couche de matériaux sains d'au moins 10 cm d'épaisseur afin d'éviter tout contact direct avec les futurs usagers ; La réalisation d'investigations complémentaires sur les sols afin de délimiter les zones impactées autour des sondages B54, B67, B67Bis et B60Bis (zones impactées n°4 à 6) présentant des impacts en hydrocarbures et définir plus précisément les couts de gestion ; Une fois que le plan d'aménagement sera défini : <ul style="list-style-type: none"> La mise en place et le prélèvement de piézaires au droit des zones non investiguées présentant les plus fortes concentrations en composés volatils dans les sols et où seront construits de futurs bâtiments afin de statuer sur la qualité des gaz des sols au droit du site ; La réalisation d'un plan de gestion afin de gérer les différents impacts identifiés dans les sols et la réalisation d'une analyse des risques sanitaires, afin de vérifier la compatibilité sanitaire de l'état des milieux du site avec les activités envisagées (activité industrielle dans le domaine de l'agroalimentaire) ; Les suivis environnementaux éventuels après réalisation des travaux. Une mesure d'urgence de la cuve enterrée de gasoil ayant impacté le sous-sol en procédant à son nettoyage, sa neutralisation et son démantèlement dans les règles de l'art ; En cas d'excavation et d'évacuation hors site des terres, de faire suivre les opérations de terrassement par un bureau d'études spécialisé en environnement ; De garder en mémoire la qualité des sols en procédant à une identification pérenne du présent rapport dans les documents d'urbanisme et fonciers. 											

Référence R001-1621760-002MSA-V01

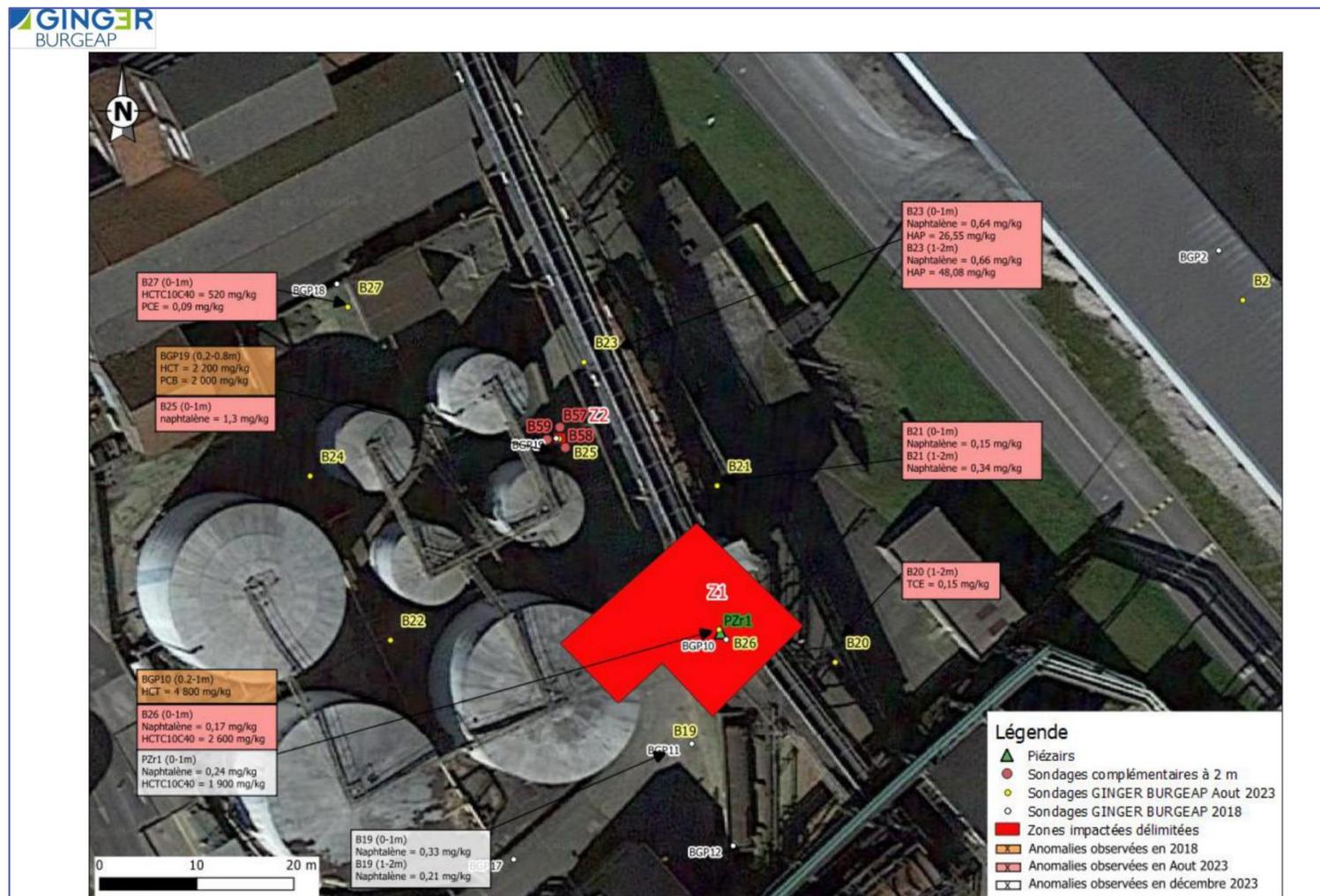


Figure 4 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les sols hors métaux – Zones impactées 1 & 2 (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023)

Référence R001-1621760-002MSA-V01

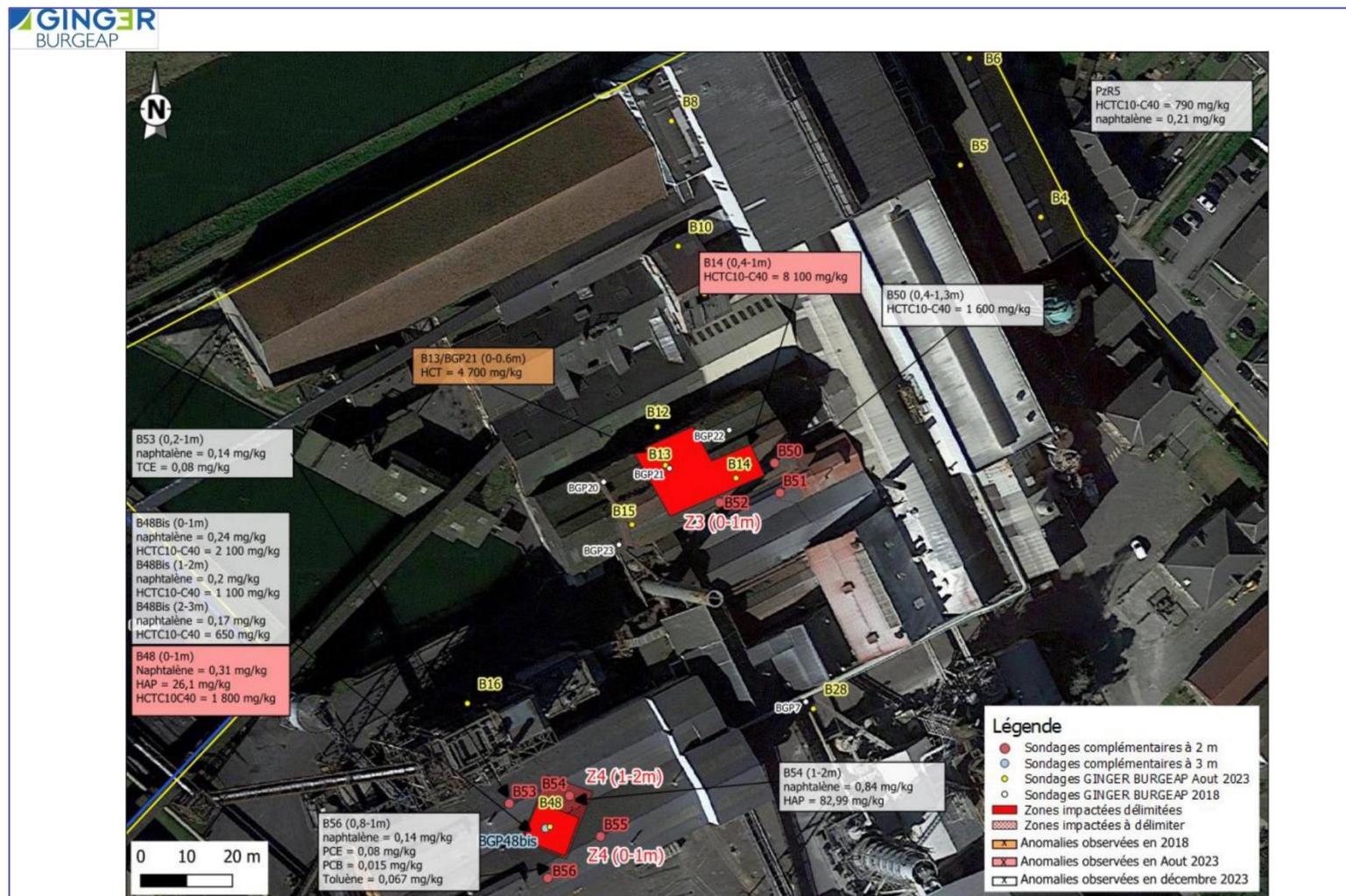


Figure 5 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les sols hors métaux – Zones impactées 3 & 4 (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023)

Référence R001-1621760-002MSA-V01

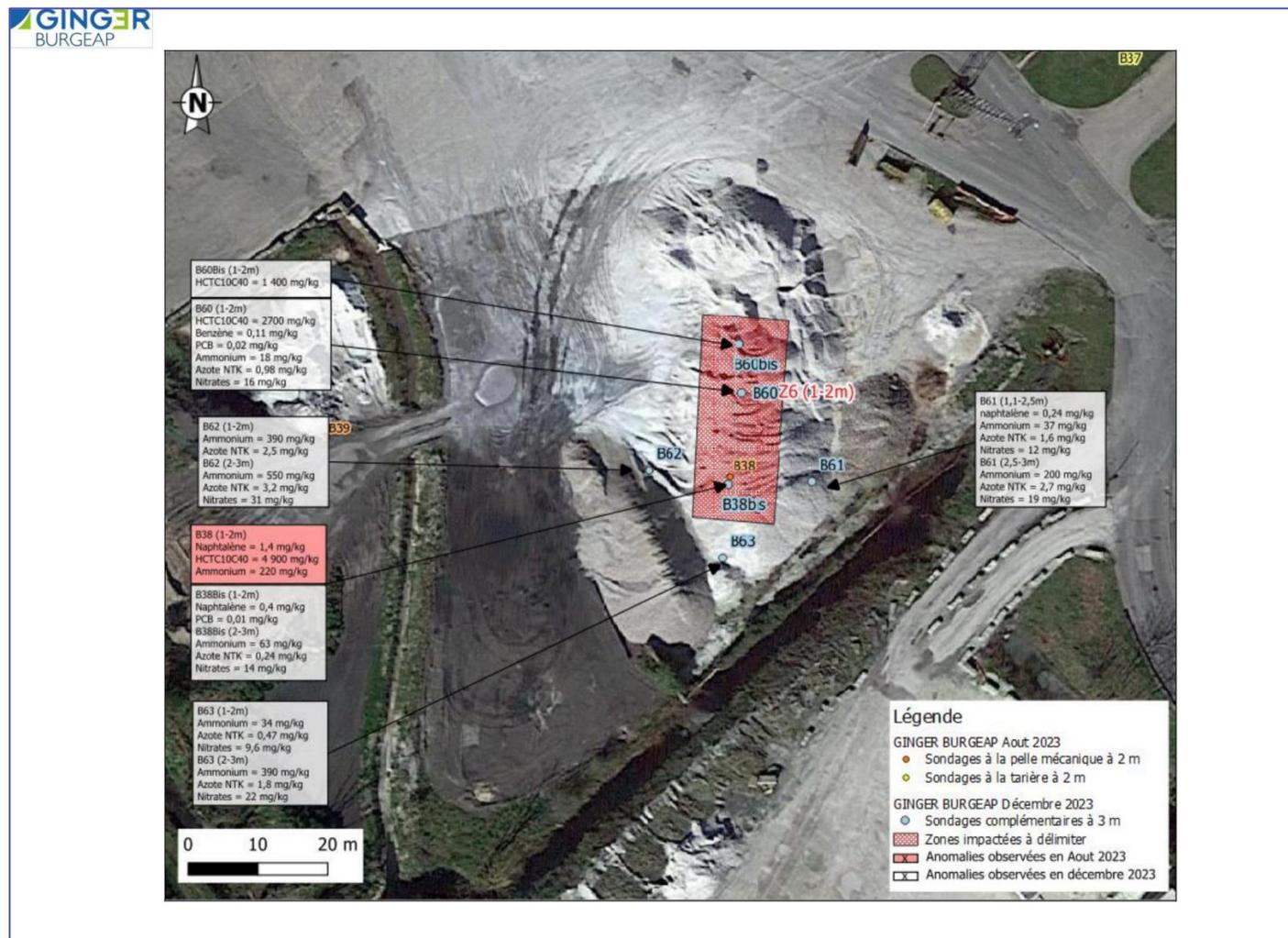


Figure 6 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les sols hors métaux – Zone impactée 6 (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023)

Référence R001-1621760-002MSA-V01

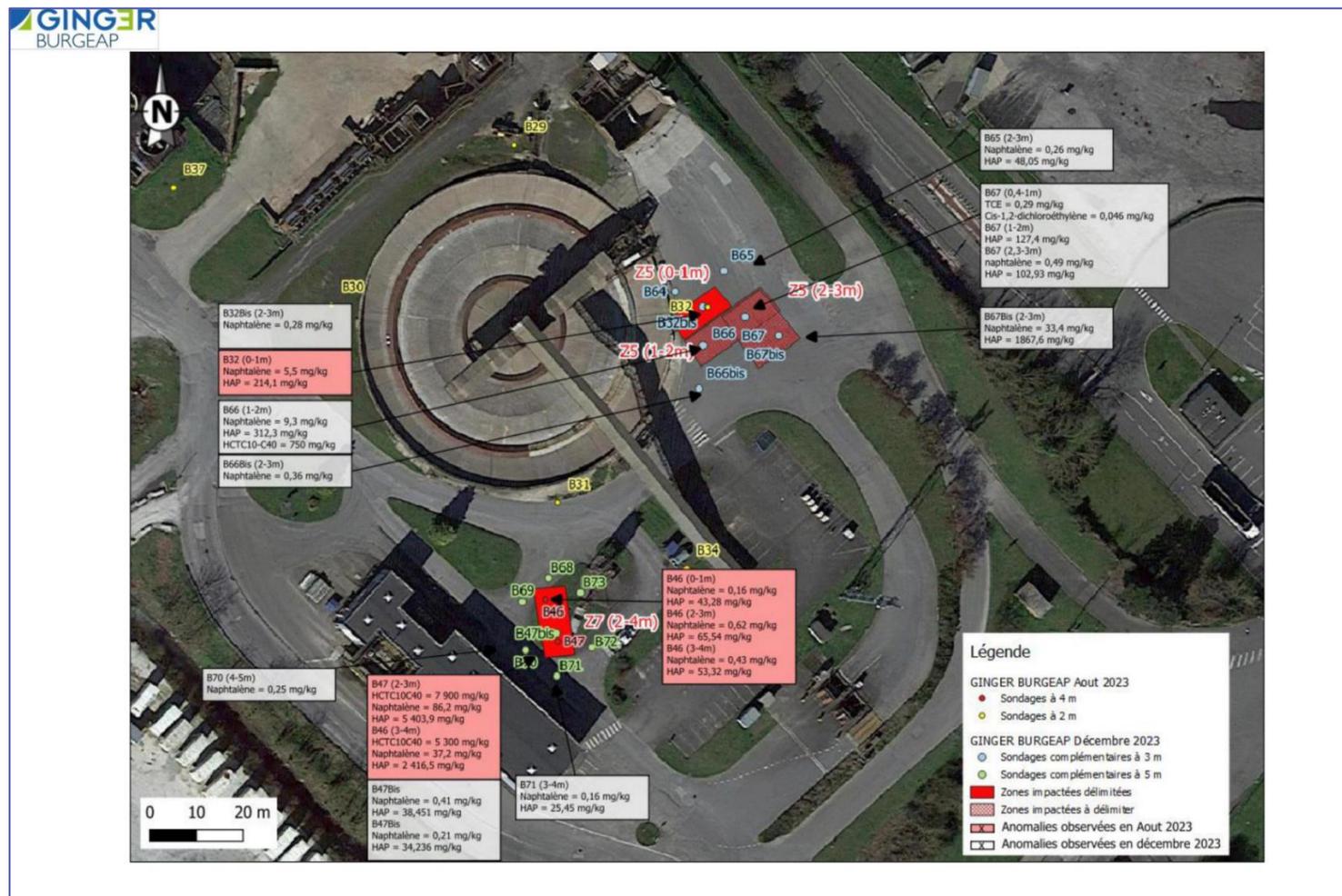


Figure 7 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les sols hors métaux – Zone impactée 5 & 7 (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023)

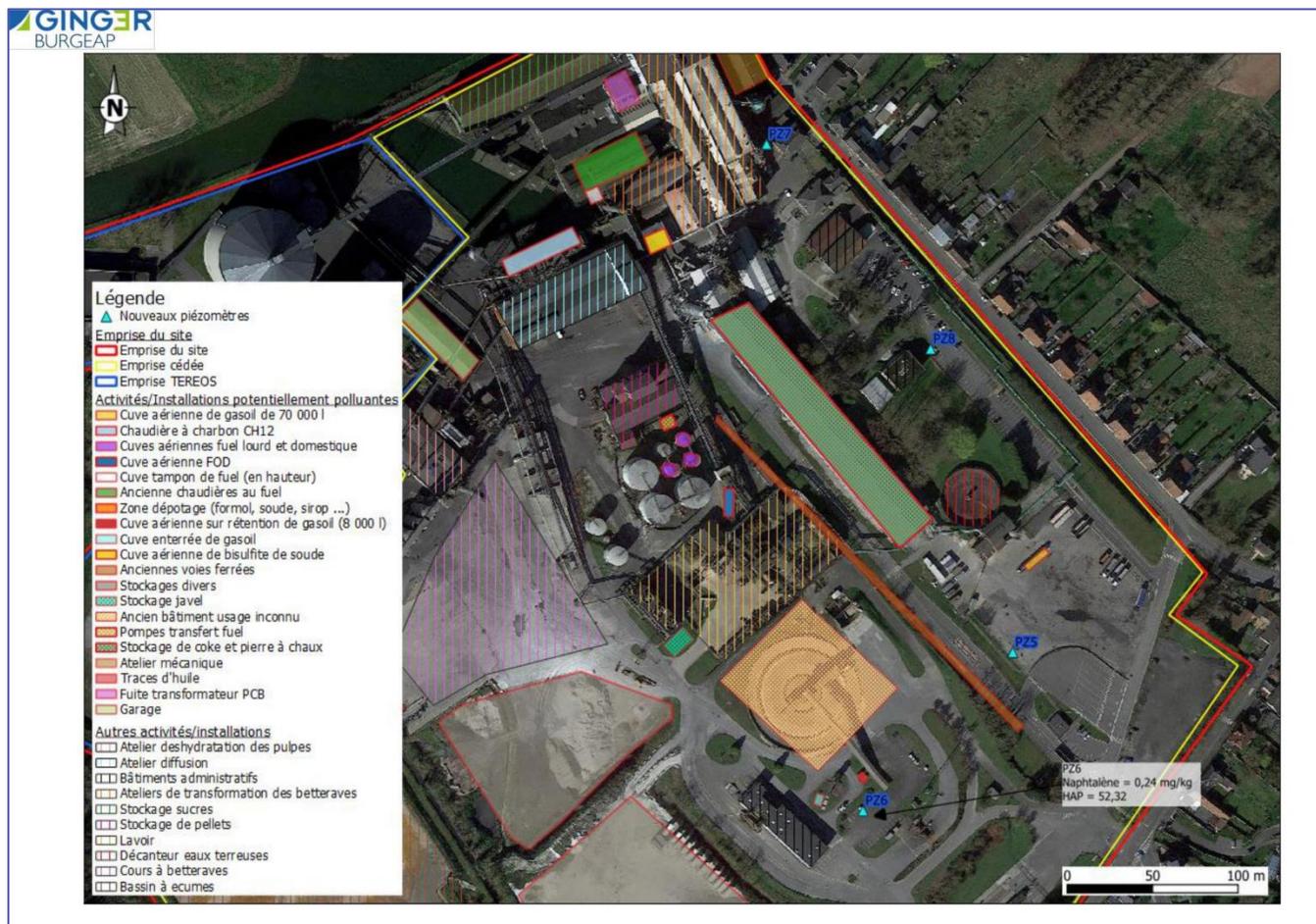


Figure 8 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les eaux souterraines (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023)

5 Définition des pollutions dans les sols et les eaux souterraines

5.1 Rappel sur la méthodologie de gestion des sites et sols pollués (problématique des pollutions concentrées)

5.1.1 Gestion des pollutions concentrées

D'après la note ministérielle du 19 avril 2017, « la politique de gestion des risques suivant l'usage des milieux ne dispense pas de rechercher les possibilités de suppression des pollutions compte tenu des techniques disponibles et de leurs coûts économiques.

En tout premier lieu, les possibilités de suppression des pollutions et de leurs impacts doivent être recherchées. La maîtrise des impacts suppose la maîtrise préalable des sources de pollution et des pollutions concentrées.

Ainsi, 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.

Il est cependant nécessaire, quand la suppression des pollutions n'est pas possible, à l'issue d'une démarche d'établissement d'un bilan « coûts - avantages », de garantir que les impacts provenant des pollutions résiduelles sont maîtrisés et acceptables tant pour les populations que pour l'environnement. »

Ainsi, si les pollutions concentrées doivent prioritairement être supprimées, une telle suppression n'est pas pour autant obligatoire.

Conformément à l'article R. 512-39-3, II du Code de l'environnement, la méthodologie rappelle que le choix de retenir la suppression dépend des conclusions du bilan coût - avantage réalisé par l'exploitant (l'objectif étant néanmoins de s'assurer que les pollutions résiduelles sont maîtrisées et acceptables).

5.1.2 Définition de la notion de pollution concentrée

Cette notion n'est pas évoquée ni définie dans la réglementation. Selon les définitions génériques de la Méthodologie, une distinction peut être faite entre une « source de pollution », une « pollution concentrée » et une « pollution diffuse » :

Source de pollution :

« La définition d'une source de pollution, en se référant aux sources naturelles (d'eau) et aux sources d'énergie, se comprend aisément. Ce concept est applicable aux sites pollués qui présentent une capacité à « émettre » des pollutions. Cela se traduit par le transfert de polluants dans l'environnement.

Référence R001-1621760-002MSA-V01

Lorsque le transfert de pollution est constaté, la nécessité d'agir pour maîtriser la situation ne souffre généralement d'aucune contestation.

Pollution diffuse :

Une pollution diffuse est caractérisée par la présence d'une ou de plusieurs substances dont les concentrations sont relativement uniformes et impactent de grands volumes et de grandes surfaces d'un ou plusieurs milieux. »

Pollution concentrée :

Une pollution concentrée correspond à un volume fini de milieu souterrain au sein duquel les concentrations en une ou plusieurs substances sont significativement supérieures aux concentrations de ces mêmes substances à proximité immédiate de ce volume même en l'absence d'émission dans l'environnement.

L'UPDS a défini dans son guide² 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 ».

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.

Sur la base des données disponibles sur le site d'étude (investigations réalisées depuis 2022), TAUW France a basé la détermination des zones de pollution concentrées en étudiant la convergence des méthodes d'interprétation cartographique (n°2), d'une analyse statistique (n°3) et d'un bilan massique (n°4).

² « Pollution concentrée – définition, outils de caractérisation dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués », avril 2016, UPDS

5.2 Caractérisation des pollutions concentrées dans les sols

5.2.1 Approche cartographique – méthode n°2

L'approche cartographique est basée sur l'étude des plans de synthèse des résultats des investigations qui présentent les impacts et anomalies notables de concentrations dans les sols et les eaux souterraines pour les différents paramètres. L'analyse des différentes cartographies de concentrations permet de définir :

- Des zones impactées en HCT notées « zone 1 » et « zone 2 », délimitées spatialement sur le premier mètre de sols.
A noter également un impact en PCB observé en 2018 au droit du sondage BGP19 (non retrouvé lors de la dernière campagne). L'impact relevé au droit de BGP19 en 2018 est par conséquent considéré comme ponctuel ;
- Une zone impactée en HCT et HAP notée « zone 3 », délimitée spatialement sur le premier mètre de sols au droit des sondages BGP21 et B14 ;
- Une zone impactée en HCT et HAP nommée « zone 4 », partiellement délimitée (teneur observée en HAP au droit de B54 entre 1 et 2 m de profondeur) ;
- Une zone impactée en HCT et HAP nommée « zone 5 », partiellement délimitée spatialement (teneurs observées en HAP au droit de B66, B67 et B67Bis entre 1 et 3 m de profondeur) ;
- Une zone impactée en HCT nommée « zone 6 », exclusivement entre 1 et 2 m de profondeur et dont l'étendue n'est pas définie (teneurs observées en B60 et B60Bis) ;
A noter également dans cette zone la présence de teneurs importantes en sodium notamment à proximité de la cuve de bisulfite de soude et en ammonium, azote NTK et nitrates au droit de la zone de stockage divers.
- Une zone impactée en HCT et HAP nommée « zone 7 », : entre 2 et 4 m de profondeur (principalement sur le sondage B47) et dont l'étendue verticale et horizontale est délimitée.

Ces zones sont présentées au [chapitre 4](#) et les cartographies de chaque zone sont présentées sur les figures suivantes :

- *Figure 4 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les sols hors métaux – Zones impactées 1 & 2 (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023) ;*
- *Figure 5 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les sols hors métaux – Zones impactées 3 & 4 (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023) ;*
- *Figure 6 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les sols hors métaux – Zone impactée 6 (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023) ;*
- *Figure 7 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les sols hors métaux – Zone impactée 5 & 7 (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023) ;*
- *Figure 8 : Cartographie des anomalies de concentrations dans les eaux souterraines (GINGER BURGEAP – 2018 et 2023).*

5.2.2 Analyse statistique – méthode n°3

Nota Bene : Pour la zone 6, les anomalies en azote NTK et en nitrates détectés sont relativement faibles avec des teneurs de l'ordre du seuil de quantification du laboratoire.

Des anomalies en ammonium sont également retrouvées avec des concentrations relativement importantes par rapport au bruit de fond (teneur maximale de 550 mg/kg pour un bruit de fond aux alentours de 10 mg/kg) mais celles-ci sont ponctuelles à l'échelle du site. De plus, il convient de noter que l'ammonium est une forme de l'azote et se transforme rapidement en azote nitrique dans les sols et absorbé par les végétaux. Dans ce cadre, la gestion de ces anomalies n'est pas retenue dans le présent plan de gestion.

Aussi, ces composés ne présentent pas de risque sanitaire pour un futur usage industriel. Ces paramètres ne sont donc pas retenus pour la réalisation d'une analyse statistique.

L'analyse statistique a été menée pour les HCT et pour les HAP retrouvés sur l'ensemble du site. Afin d'établir des seuils de coupure cohérents avec les impacts identifiés de manière cartographique, l'analyse a été réalisée par zones géographiques telles que : zones 1-2, zones 3-4, zones 5-7 et zone 6.

5.2.2.1 Zone 1-2

Impact en HCT

TAUW France a basé son analyse statistique sur les échantillons de sol confectionnés à partir des sondages réalisés sur l'ensemble de la zone 1-2.

Le tableau ci-après synthétise les données analytiques pour le HCT sur la base des résultats obtenus.

Tableau 4 : Synthèse des données analytiques pour les HCT

Nb d'analyses disponibles	Nb d'analyses > Limite de quantification
29	20

Les données obtenues à partir des analyses disponibles sont les suivantes :

HCT (mg/kg)	
Concentration minimale	0
Concentration maximale	2600
Concentration moyenne	21,33
Médiane	0,00
Ecart type	179,85
Centile 10	20
Centile 20	20
Centile 30	23,24
Centile 50	47,5
Centile 60	97,5
Centile 70	136
Centile 80	60,7
Centile 90	148
Centile 95	298
Centile 100	2600

Référence R001-1621760-002MSA-V01

L'étude du tableau précédent amène les remarques suivantes :

- 30 % des échantillons prélevés au droit du site présentent des teneurs en HCT inférieures ou proches de la limite de quantification du laboratoire (20 mg/kg MS) ;
- 10 % des échantillons présentent des teneurs supérieures à 148 mg/kg MS dont 5 % présentent des teneurs supérieures à 298 mg/kg MS.

La représentation graphique du tableau précédent est présentée ci-dessous.

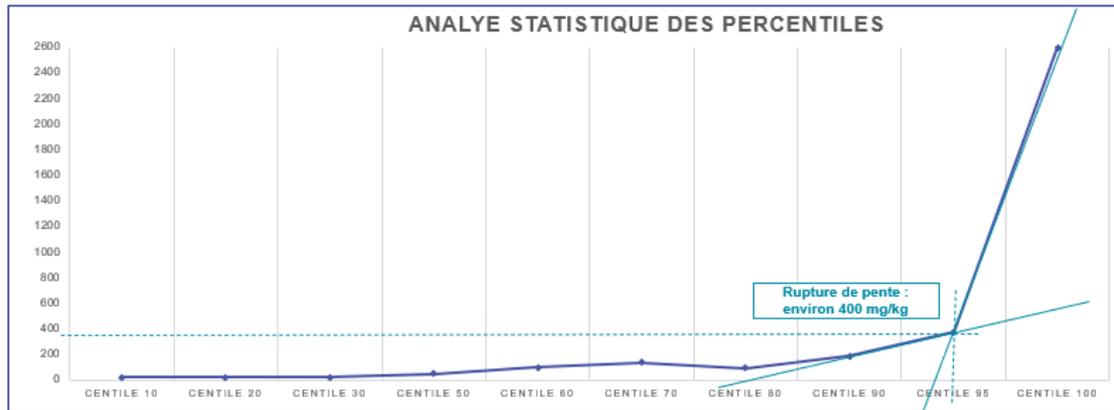


Figure 9 : Analyse statistiques des percentiles - HCT

L'étude de la précédente figure permet de définir une rupture de pente aux alentours du percentile 95 correspondant à une teneur en HCT de 400 mg/kg.

Le graphique ci-après présente les fréquences cumulées des gammes de concentrations en HCT rencontrées au droit du site, sur la base d'intervalles fixes (200 mg/kg).

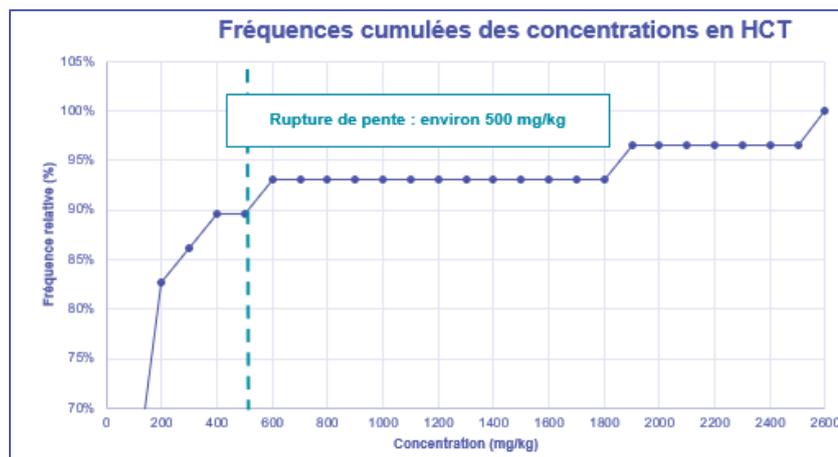


Figure 10 : Évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HCT

Référence R001-1621760-002MSA-V01

L'étude du précédent graphique fait apparaître une rupture de pente aux environs de 500 mg/kg se situant aux environs du 96^e percentile des teneurs en HCT, permettant de séparer deux ensembles d'échantillons :

- Ensemble 1 : 27 échantillons pour lesquels les concentrations en HCT sont comprises entre 20 mg/kg (correspondant à la LQ) et 500 mg/kg ; et
- Ensemble 2 : 3 échantillons pour lesquels les concentrations en HCT sont supérieures à 500 mg/kg.

Le graphique suivant permet de visualiser la répartition des concentrations au droit du site.

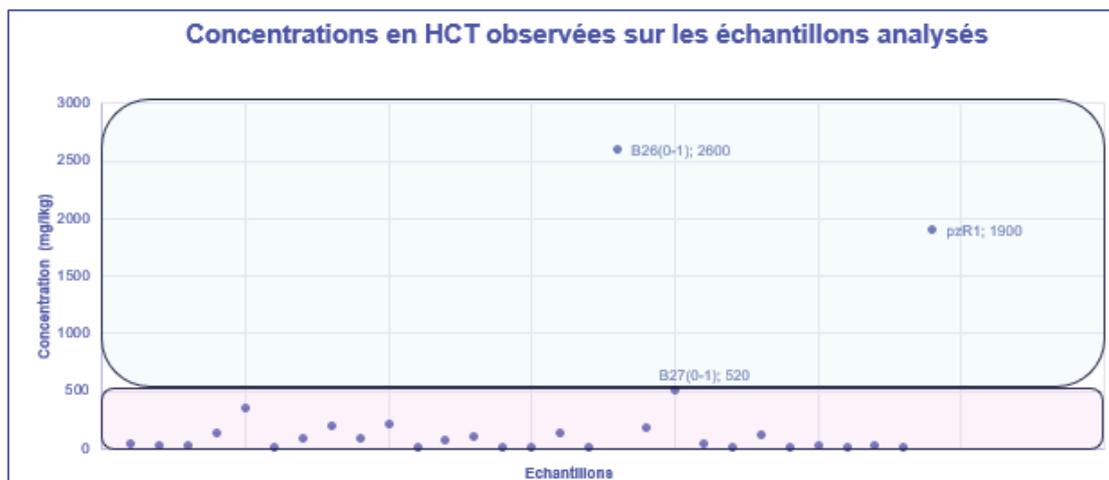


Figure 11 : Distribution des concentrations en HCT

Les échantillons présentant des teneurs en HCT supérieures à 500 mg/kg ont été prélevés au droit des sondages B26, B27 et PzR1.

Ainsi, l'analyse statistique réalisée pour la zone 1 permettrait de définir un seuil de coupure en HCT entre 400 et 500 mg/kg.

Compte-tenu de l'usage industriel futur, un seuil de coupure de 500 mg/kg est retenu.

5.2.2.2 Zone 3-4

Impact en HCT

TAUW France a basé son analyse statistique sur les échantillons de sol confectionnés à partir des sondages réalisés sur la zone 3-4.

Le tableau ci-après synthétise les données analytiques pour le HCT sur la base des résultats obtenus.

Tableau 5 : Synthèse des données analytiques pour les HCT

Nb d'analyses disponibles	Nb d'analyses > Limite de quantification
37	23

Référence R001-1621760-002MSA-V01

Les données obtenues à partir des analyses disponibles sont les suivantes :

HCT (mg/kg)	
Concentration minimale	0
Concentration maximale	8100
Concentration moyenne	57,28
Médiane	0,00
Ecart type	484,81
Centile 10	20
Centile 20	20,0
Centile 30	20
Centile 50	51,7
Centile 60	85,48
Centile 70	166
Centile 80	612
Centile 90	1300
Centile 95	1860
Centile 100	8100

L'étude du tableau précédent amène les remarques suivantes :

- 50 % des échantillons prélevés au droit du site présentent des teneurs en HCT inférieures ou proches de la limite de quantification du laboratoire (20 mg/kg MS) ;
10 % des échantillons présentent des teneurs supérieures à 1 300 mg/kg MS dont 5 % présentent des teneurs supérieures à 1 860 mg/kg MS.

La représentation graphique du tableau précédent est présentée ci-dessous.

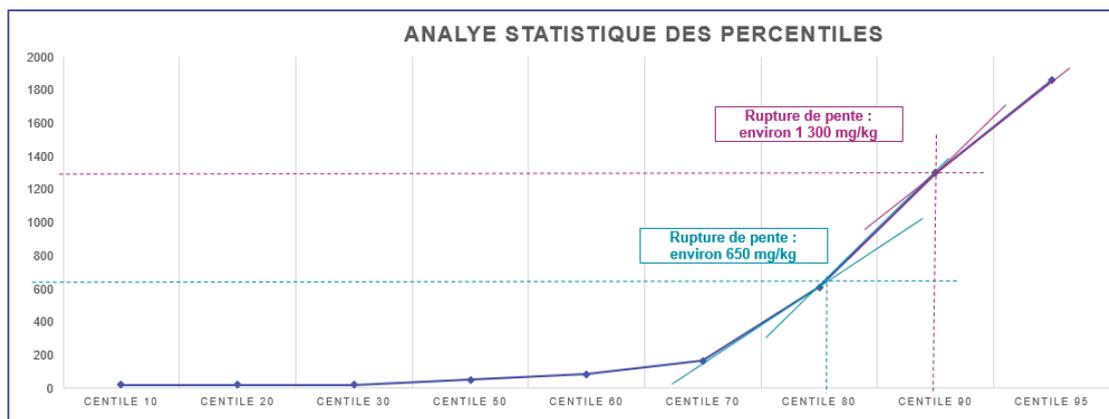


Figure 12 : Analyse statistiques des percentiles - HCT

Référence R001-1621760-002MSA-V01

L'étude de la précédente figure permet de définir deux ruptures de pente :

- Une première aux alentours du percentile 80 correspondant à une teneur en HCT de 650 mg/kg ;
- Une deuxième aux alentours du percentile 90 correspondant à une teneur en HCT de 1 300 mg/kg.

Le graphique ci-après présente les fréquences cumulées des gammes de concentrations en HCT rencontrées au droit du site, sur la base d'intervalles fixes (100 mg/kg).

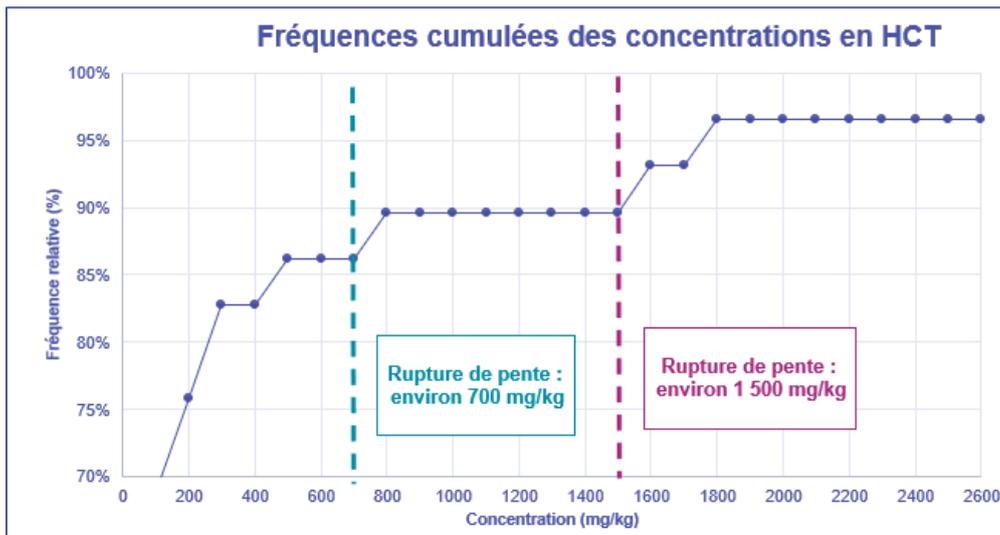


Figure 13 : Évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HCT

L'étude du précédent graphique fait apparaître deux ruptures de pente, aux environs de 700 mg/kg et aux environs de 1 500 mg/kg.

Le graphique suivant permet de visualiser la répartition des concentrations au droit du site.

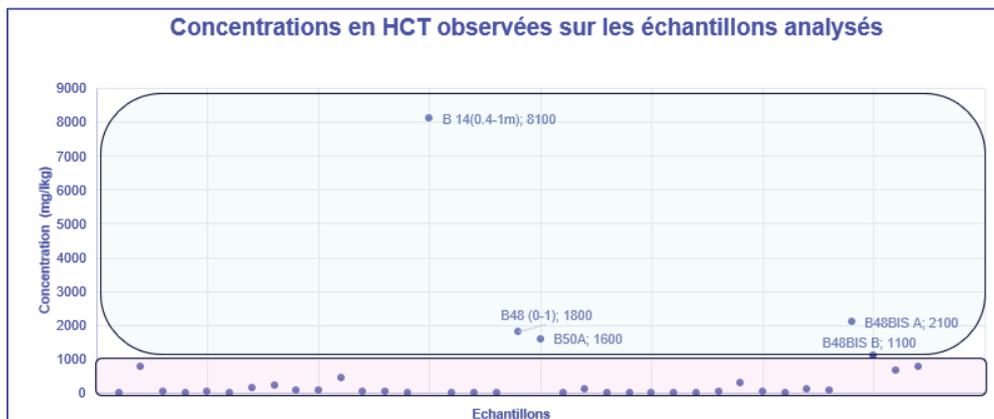


Figure 14 : Distribution des concentrations en HCT

Référence R001-1621760-002MSA-V01

Deux ensembles sont visibles :

- Ensemble 1 : 33 échantillons pour lesquels les concentrations en HCT sont comprises entre 20 mg/kg (correspondant à la LQ) et 1 500 mg/kg ; et
- Ensemble 2 : 5 échantillons pour lesquels les concentrations en HCT sont supérieures à 1 000 mg/kg.

Les échantillons présentant des teneurs en HCT supérieures à 1 000 mg/kg ont été prélevés au droit des sondages B14, B48, B50 et B48 bis.

Ainsi, l'analyse statistique réalisée pour la zone géographique 3-4 permettrait de définir un seuil de coupure en HCT soit à 700 mg/kg, soit à 1 000 mg/kg.

Compte-tenu de l'usage industriel futur, il est retenu un seuil de coupure à 1 000 mg/kg MS.

Impact en HAP

TAUW France a basé son analyse statistique sur les échantillons de sol confectionnés à partir des sondages réalisés sur la zone 3-4.

Le tableau ci-après synthétise les données analytiques pour le HAP sur la base des résultats obtenus.

Tableau 6 : Synthèse des données analytiques pour les HAP

Nb d'analyses disponibles	Nb d'analyses > Limite de quantification
37	24

Les données obtenues à partir des analyses disponibles sont les suivantes :

HAP (mg/kg)	
Concentration minimale	0
Concentration maximale	83
Concentration moyenne	0,83
Médiane	0,00
Ecart type	5,37
Centile 10	0
Centile 20	0,1
Centile 30	0,4218
Centile 50	2,26
Centile 60	3,324
Centile 70	5,254
Centile 80	9,17
Centile 90	19,84
Centile 95	24,74
Centile 100	83

L'étude du tableau précédent amène les remarques suivantes :

Référence R001-1621760-002MSA-V01

- 30 % des échantillons prélevés au droit du site présentent des teneurs en HAP inférieures ou proches de la limite de quantification du laboratoire (0,05 mg/kg MS) ;
- 10 % des échantillons présentent des teneurs supérieures à 19,8 mg/kg MS dont 5 % présentent des teneurs supérieures à 24,7 mg/kg MS.

La représentation graphique du tableau précédent est présentée ci-dessous.

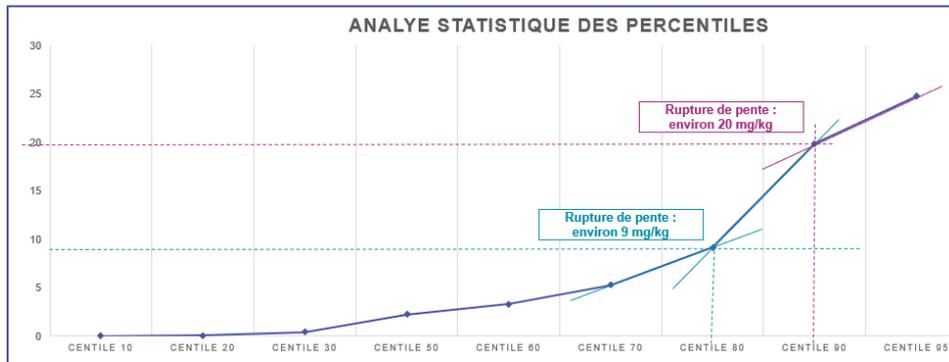


Figure 15 : Analyse statistiques des percentiles - HAP

L'étude de la précédente figure permet de définir deux ruptures de pente :

- Une première aux alentours du percentile 80 correspondant à une teneur en HAP de 9 mg/kg ;
- Une deuxième aux alentours du percentile 90 correspondant à une teneur en HAP de 20 mg/kg ;

Le graphique ci-après présente les fréquences cumulées des gammes de concentrations en HAP rencontrées au droit du site, sur la base d'intervalles fixes (3 mg/kg).

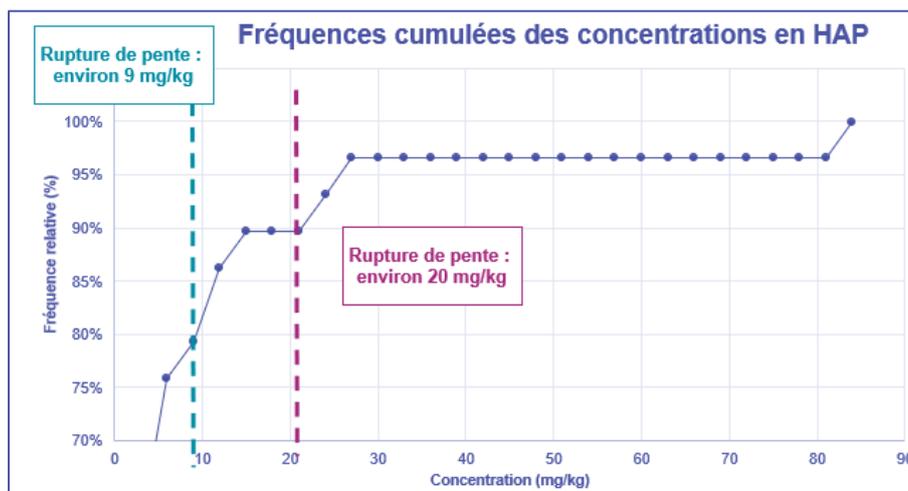


Figure 16 : Évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HAP

L'étude du précédent graphique fait apparaître deux ruptures de pente aux environs de 9 mg/kg et 20 mg/kg, permettant de séparer deux ensembles d'échantillons :

- Ensemble 1 : 33 échantillons pour lesquels les concentrations en HAP sont comprises entre 0,05 mg/kg (correspondant à la LQ) et 20 mg/kg ; et
- Ensemble 2 : 4 échantillons pour lesquels les concentrations en HAP sont supérieures à 20 mg/kg.

Le graphique suivant permet de visualiser la répartition des concentrations au droit du site.

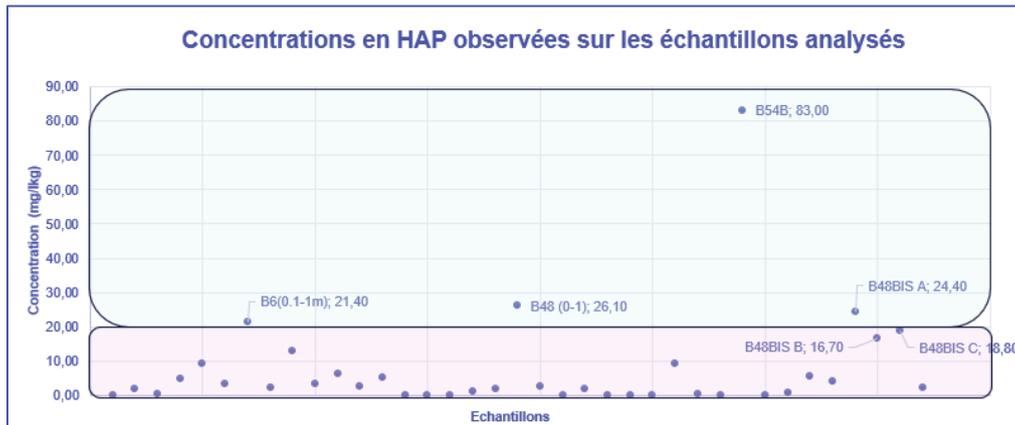


Figure 17 : Distribution des concentrations en HAP

Les échantillons présentant des teneurs en HAP supérieures à 20 mg/kg ont été prélevés au droit des sondages B6, B48, B45 et B48 Bis.

Ainsi, l'analyse statistique réalisée pour la zone 3-4 permettrait de définir un seuil de coupure en HAP soit à 9 mg/kg, soit à 20 mg/kg.

Compte-tenu de l'usage industriel futur, il est retenu un seuil de coupure à 20 mg/kg MS.

5.2.2.3 Zone 5-7

Impact en HCT

TAUW France a basé son analyse statistique sur les échantillons de sol confectionnés à partir des sondages réalisés sur la zone 5-7.

Le tableau ci-après synthétise les données analytiques pour le HCT sur la base des résultats obtenus.

Tableau 7 : Synthèse des données analytiques pour les HCT

Nb d'analyses disponibles	Nb d'analyses > Limite de quantification
48	43

Les données obtenues à partir des analyses disponibles sont les suivantes :

HCT (mg/kg)	
Concentration minimale	20
Concentration maximale	7900
Concentration moyenne	375,04
Médiane	63,80

Ecart type	1360,28
Centile 10	20
Centile 20	20
Centile 30	20
Centile 50	63,8
Centile 60	78,72
Centile 70	110
Centile 80	140
Centile 90	290
Centile 95	669
Centile 100	7900

L'étude du tableau précédent amène les remarques suivantes :

- 30 % des échantillons prélevés au droit du site présentent des teneurs en HCT inférieures ou proches de la limite de quantification du laboratoire (20 mg/kg MS) ;
- 10 % des échantillons présentent des teneurs supérieures à 290 mg/kg MS dont 5 % présentent des teneurs supérieures à 669 mg/kg MS.

La représentation graphique du tableau précédent est présentée ci-dessous.

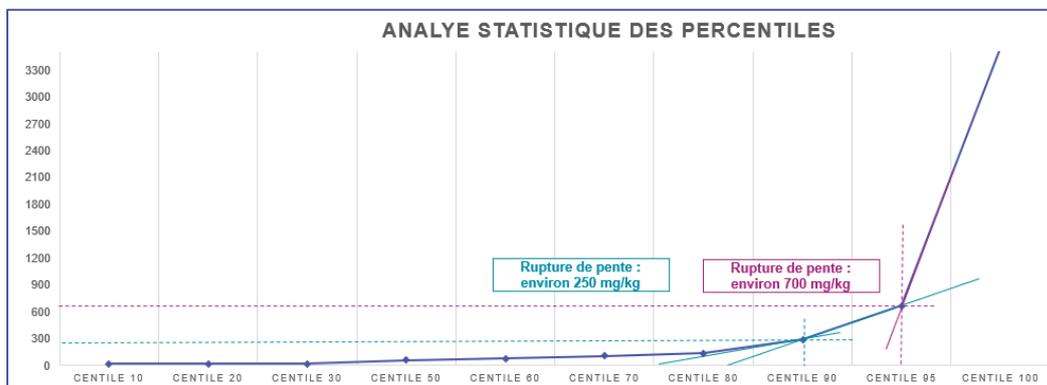


Figure 18 : Analyse statistiques des percentiles - HCT

L'étude de la précédente figure permet de définir deux ruptures de pente :

- Une aux alentours du percentile 90 correspondant à une teneur en HCT de 250 mg/kg ;
- Une aux alentours du percentile 95 correspondant à une teneur de 700 mg/kg.

Le graphique ci-après présente les fréquences cumulées des gammes de concentrations en HCT rencontrées au droit du site, sur la base d'intervalles fixes (100 mg/kg).

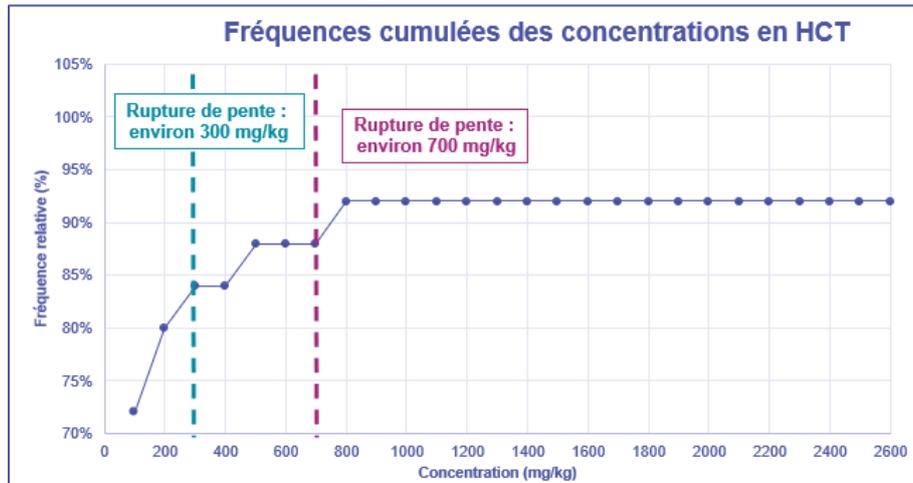


Figure 19 : Évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HCT

L'étude du précédent graphique fait apparaître deux ruptures de pente à 300 et 700 mg/kg.

Le graphique suivant permet de visualiser la répartition des concentrations au droit du site.

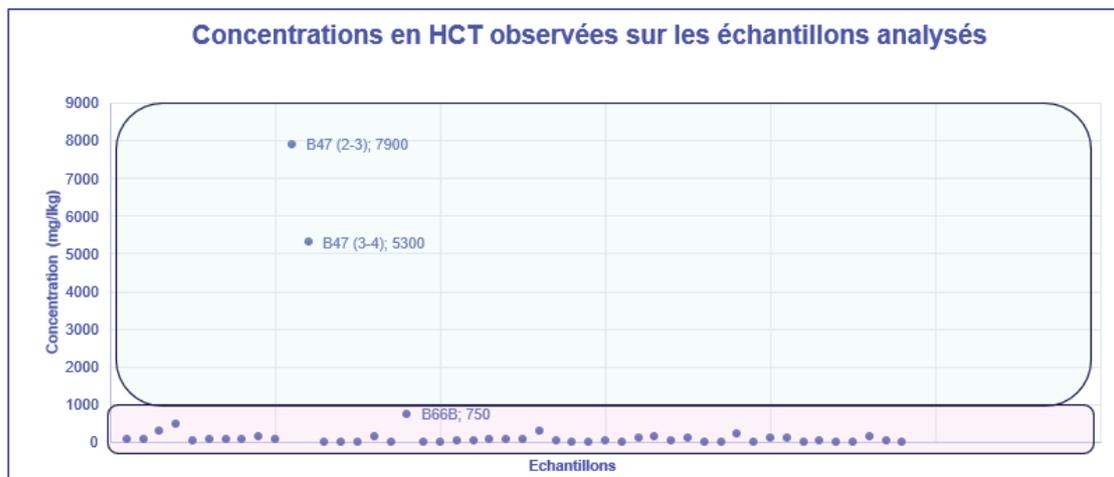


Figure 20 : Distribution des concentrations en HCT

L'étude de la répartition des teneurs permet de séparer deux ensembles d'échantillons :

- Ensemble 1 : 44 échantillons pour lesquels les concentrations en HCT sont comprises entre 20 mg/kg (correspondant à la LQ) et 750 mg/kg ; et
- Ensemble 2 : 2 échantillons pour lesquels les concentrations en HCT sont supérieures à 750 mg/kg.

Les échantillons présentant des teneurs en HCT supérieures à 750 mg/kg ont été prélevés au droit du sondage B47.

Ainsi, l'analyse statistique réalisée pour la zone géographique 3-4 permettrait de définir un seuil de coupure en HCT soit à 300 mg/kg, soit à 750 mg/kg.

Compte-tenu de l'usage industriel futur, il est retenu un seuil de coupure à 750 mg/kg MS.

Impact en HAP

TAUW France a basé son analyse statistique sur les échantillons de sol confectionnés à partir des sondages réalisés sur l'ensemble de la zone 5-7.

Le tableau ci-après synthétise les données analytiques pour le HAP sur la base des résultats obtenus.

Tableau 8 : Synthèse des données analytiques pour les HAP

Nb d'analyses disponibles	Nb d'analyses > Limite de quantification
48	35

Les données obtenues à partir des analyses disponibles sont les suivantes :

HAP (mg/kg)	
Concentration minimale	0
Concentration maximale	5400
Concentration moyenne	188,35
Médiane	6,53
Ecart type	844,25
Centile 10	0
Centile 20	0
Centile 30	0,4988
Centile 50	6,525
Centile 60	10,16
Centile 70	15,28
Centile 80	41,38
Centile 90	110,2
Centile 95	277,7
Centile 100	5400

L'étude du tableau précédent amène les remarques suivantes :

- 30 % des échantillons prélevés au droit du site présentent des teneurs en HAP inférieures ou proches de la limite de quantification du laboratoire (0,05 mg/kg MS) ;
- 10 % des échantillons présentent des teneurs supérieures à 110 mg/kg MS dont 5 % présentent des teneurs supérieures à 277 mg/kg MS.

La représentation graphique du tableau précédent est présentée ci-dessous.

Référence R001-1621760-002MSA-V01

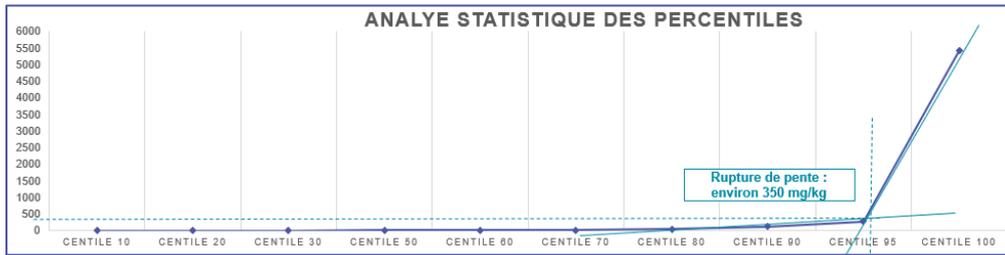


Figure 21 : Analyse statistiques des percentiles - HAP

L'étude de la précédente figure permet de définir une rupture de pente aux alentours du percentile 95 correspondant à une teneur en HAP de 350 mg/kg.

Le graphique ci-après présente les fréquences cumulées des gammes de concentrations en HAP rencontrées au droit du site, sur la base d'intervalles fixes (100 mg/kg).

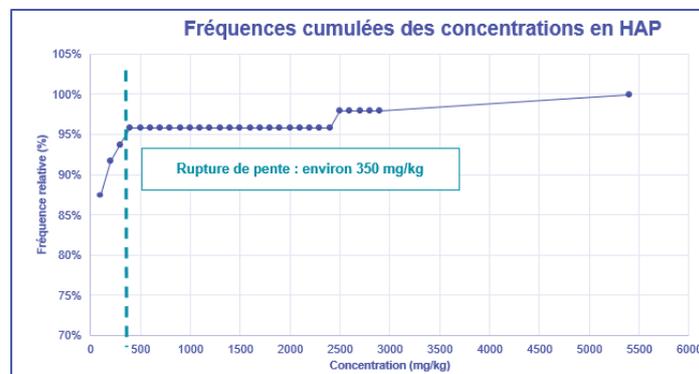


Figure 22 : Évolution du pourcentage cumulé de la population d'analyses en fonction des teneurs mesurées en HAP

L'étude du précédent graphique fait apparaître une rupture de pente (aux environs de 350 mg/kg) se situant aux environs du 96^e percentile des teneurs en HAP, permettant de séparer deux ensembles d'échantillons :

- Ensemble 1 : 46 échantillons pour lesquels les concentrations en HAP sont comprises entre 0,05 mg/kg (correspondant à la LQ) et 350 mg/kg ; et
- Ensemble 2 : 2 échantillons pour lesquels les concentrations en HAP sont supérieures à 350 mg/kg.

Le graphique suivant permet de visualiser la répartition des concentrations au droit du site.



Référence R001-1621760-002MSA-V01

Figure 23 : Distribution des concentrations en HAP

Les échantillons présentant des teneurs en HAP supérieures à 350 mg/kg ont été prélevés au droit du sondage B47.

Ainsi, l'analyse statistique réalisée pour la zone 5-7 permettrait de définir un seuil de coupure en HAP aux alentours de 350 mg/kg.

5.2.2.4 Zone 6

Impact en HCT

TAUW France a basé son analyse statistique sur les échantillons de sol confectionnés à partir des sondages réalisés sur l'ensemble de la zone 6.

Le tableau ci-après synthétise les données analytiques pour le HCT sur la base des résultats obtenus.

Tableau 9 : Synthèse des données analytiques pour les HCT

Nb d'analyses disponibles	Nb d'analyses > Limite de quantification
13	9

Les données obtenues à partir des analyses disponibles sont les suivantes :

HCT (mg/kg)	
Concentration minimale	0
Concentration maximale	4900
Concentration moyenne	32,65
Médiane	0,00
Ecart type	334,60
Centile 10	20
Centile 20	20
Centile 30	29,18
Centile 50	110
Centile 60	272
Centile 70	316
Centile 80	382
Centile 90	2238
Centile 95	3580
Centile 100	4900

L'étude du tableau précédent amène les remarques suivantes :

- 30 % des échantillons prélevés au droit du site présentent des teneurs en HCT inférieures ou proches de la limite de quantification du laboratoire (20 mg/kg MS) ;

Référence R001-1621760-002MSA-V01

- 10 % des échantillons présentent des teneurs supérieures à 2 238 mg/kg MS dont 5 % présentent des teneurs supérieures à 3580 mg/kg MS.

La représentation graphique du tableau précédent est présentée ci-dessous.

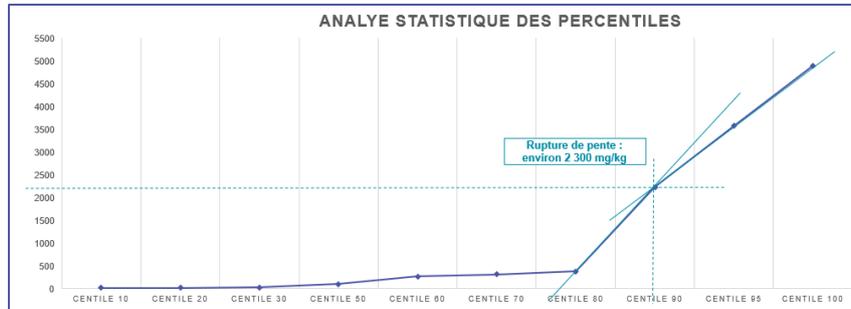
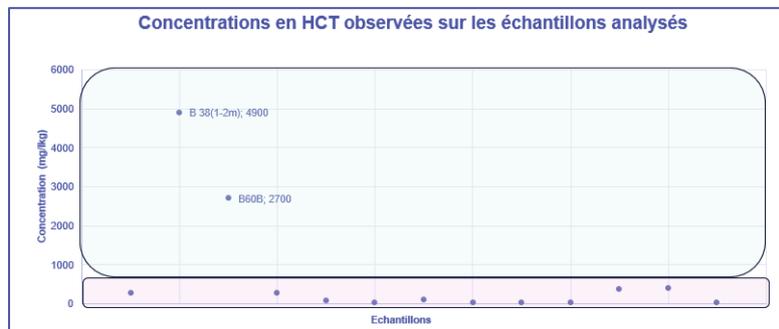


Figure 24 : Analyse statistiques des percentiles - HCT

L'étude de la précédente figure permet de définir une rupture de pente aux alentours du percentile 90 correspondant à une teneur en HCT de 2 300 mg/kg.

Du fait du faible nombre d'analyse disponible pour cette zone (13), l'analyse des fréquences cumulées des concentrations est peu pertinente.

La répartition des échantillons est présentée sur la figure ci-dessous.



La figure permet d'identifier deux ensembles d'échantillons :

- Ensemble 1 : 11 échantillons pour lesquels les concentrations en HCT sont comprises entre 20 mg/kg (correspondant à la LQ) et 2300 mg/kg ; et
- Ensemble 2 : 2 échantillons pour lesquels les concentrations en HCT sont supérieures à 2300 mg/kg.

Les échantillons présentant des teneurs en HCT supérieures à 2 300 mg/kg ont été prélevés au droit des sondages B38 et B60.

Ainsi, l'analyse statistique réalisée pour la zone géographique 6 permettrait de définir un seuil de coupure en HCT aux alentours de 2 300 mg/kg.

5.2.3 Bilan massique – méthode n°4

Le bilan massique a été établi pour chaque zone géographique pour les impacts en HCT et HAP.

Une surface hypothétique a été retenue pour chaque sondage en fonction de son implantation et de sa délimitation. Ces surfaces sont présentées dans les tableaux présentés par zone ci-après.

Les surfaces hypothétiques prises en considération dans le cadre de la présente étude pourront être réévaluées en fonction des résultats obtenus lors de futures investigations afin d'affiner le bilan de masse présenté ci-dessous.

Le bilan de masse a été établi sur la base des sondages réalisés sur l'ensemble du site et en considérant une densité des sols de 1,8.

5.2.3.1 Zone 1-2

HCT

Sur la base des paramètres considérés, le bilan de masse est présenté en page suivante.

Tableau 10 : Bilan de masse en HCT – zone 1-2

Zone	Prélèvement	Prof A (m)	Prof B (m)	Teneur (mg/kg)	Teneur supérieure à la LQ	Matière sèche (% MS)	Surface (m ²)	Epaisseur considéré ⁽¹⁾	Volume impacté (m ³)	Masse de polluant (kg) ⁽²⁾	% de polluant
Z2	B1(0-1)	0	1	47,5	oui	76,7	100	1	100	7	0,69%
Z2	B2(0-1)	0	1	32,9	oui	81,8	100	1	100	5	0,51%
Z2	B3(0-1)	0	1	28,1	oui	82,6	100	1	100	4	0,44%
Z1	B19(0-1)	0	1	140	oui	90,3	100	1	100	23	2,40%
Z1	B19(1-2)	1	2	350	oui	75	100	1	100	47	4,98%
Z1	B20(0-1)	0	1	<20,0	non	83,6	-	-	-	0	0,00%
Z1	B20(1-2)	1	2	87,5	oui	78,4	100	1	100	12	1,30%
Z1	B21(0-1)	0	1	200	oui	88,5	100	1	100	32	3,36%
Z1	B21(1-2)	1	2	100	oui	87,9	100	1	100	16	1,67%
Z1	B22(0-1)	0	1	220	oui	72,5	100	1	100	29	3,03%
Z1	B22(1-2)	1	2	<20,0	non	71,6	-	-	-	0	0,00%
Z2	B23(0-1)	0	1	80,5	oui	80	100	1	100	12	1,22%
Z2	B23(1-2)	1	2	110	oui	77,4	100	1	100	15	1,62%
Z2	B24(0-1)	0	1	<20,0	non	73,4	-	-	-	0	0,00%
Z2	B24(1-2)	1	2	<20,0	non	70,6	-	-	-	0	0,00%
Z2	B25(0-1)	0	1	140	oui	73,1	100	1	100	18	1,94%
Z2	B25(1-2)	1	2	<20,0	non	73,4	-	-	-	0	0,00%
Z1	B26(0-1)	0	1	2600	oui	77,8	100	1	100	364	38,41%
Z1	B26(1-2)	1	2	180	oui	70,5	100	1	100	23	2,41%
Z2	B27(0-1)	0	1	520	oui	75,1	100	1	100	70	7,42%
Z2	B27(1-2)	1	2	43,1	oui	74,3	100	1	100	6	0,61%
Z1	B49 (0,2-1)	0,2	1	<20,0	non	80,8	-	-	-	0	0,00%
Z2	B57A	0	1,3	130	oui	73,6	30	1,3	39	6	0,67%
Z2	B57B	1,3	2	<20,0	non	69,6	-	-	-	0	0,00%
Z2	B58A	0	1	38,8	oui	76,1	30	1	30	2	0,17%
Z2	B58B	1	2	<20,0	non	66,6	-	-	-	0	0,00%
Z2	B59A	0	1	32,9	oui	68,3	30	1	30	1	0,13%
Z2	B59B	1	2	<20,0	non	73,6	-	-	-	0	0,00%
Z1	pzR1	0	1	1900	oui	74,9	100	1	100	256	27,02%
Synthèse									1799	948,0	100%

(1) : Epaisseur basée sur les observations présentées sur les coupes techniques des sondages et sur une estimation de la délimitation verticale

(2) : Produit de la concentration, le volume, la matière sèche et d'une masse volumique considérée

$$Q \text{ (kg)} = \text{Conc (mg/kg MS)} \times 10^{-6} \times \text{volume (m}^3\text{)} \times \text{masse volumique (kg/m}^3\text{)} \times \% \text{ MS}$$

Seules les teneurs supérieures aux limites de quantification du laboratoire ont été utilisées dans le cadre du bilan matière

L'étude du précédent tableau met en évidence une masse en HCT au droit du site d'environ 948 kilos répartie dans un volume de terre impactée d'environ 1 799 m³. Il est à noter que 65 % de la masse en HCT présente dans les sols de la zone se situe au droit des sondages B26 (38 %) et PzR1 (27%).

L'utilisation du précédent tableau permet d'appréhender, en fonction de seuils de coupure définis entre 0 (enlèvement de l'ensemble des teneurs en HCT) et 2 600 (absence de traitement), les volumes de terre à traiter et les masses en HCT restantes.

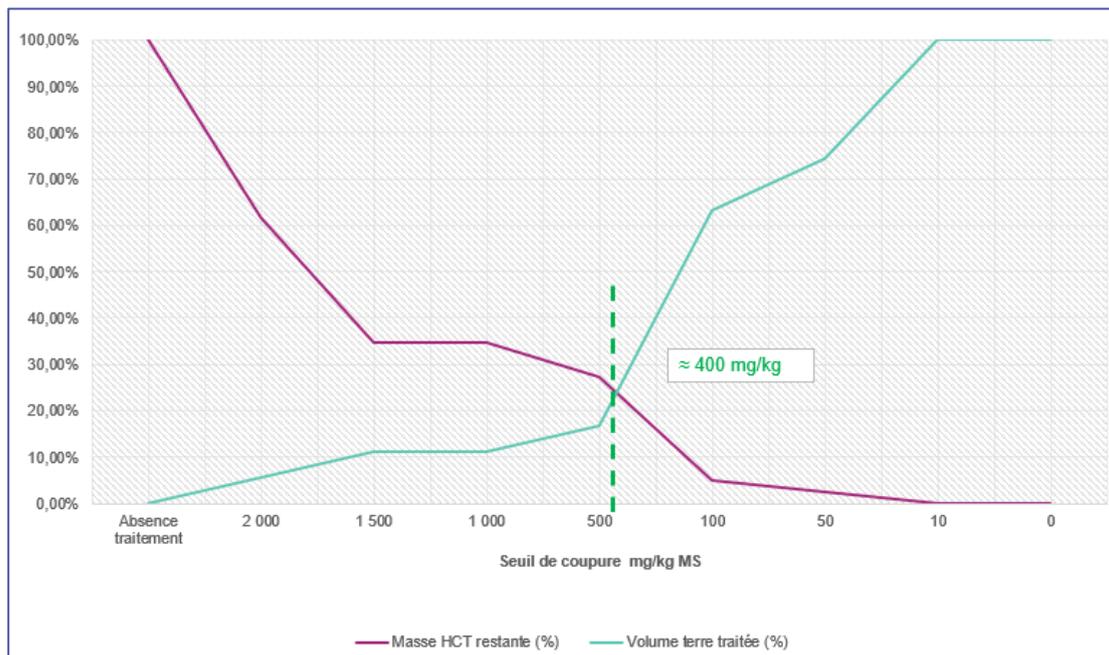


Figure 25 : Graphique de la masse en HCT restante par rapport au volume de terre traitée

La courbe relative au volume de terre traitée et à la masse en HCT restante se croisent à un seuil d'environ 400 mg/kg. Ce seuil est cohérent avec la rupture de pente déterminée lors de l'approche statique.

Pour rappel, le seuil de coupure retenu suite à l'étude statistique est de 500 mg/kg.

L'utilisation d'un seuil de coupure de **500 mg/kg** reviendrait à traiter 73 % des impacts en HCT en considérant un volume de 17 %. Ces éléments sont relativement proches du principe de Pareto (également appelé loi du 80/20) qui revient à éliminer 80 % des polluants présents au droit du site en traitant 20 % du volume d'une source. Ce principe est défini dans le guide BRGM intitulé « Définir une stratégie de dépollution : Approche basée sur la masse de polluant et la capacité de relargage d'une pollution » en date de février 2016.

5.2.3.2 Zone 3-4

HCT

Sur la base des paramètres considérés, le bilan de masse est présenté en page suivante.

Tableau 11 : Bilan de masse en HCT – zone 3-4

zone	Prélèvement	Prof A (m)	Prof B (m)	Teneur (mg/kg)	Teneur supérieure à la LQ	Matière sèche (% MS)	Surface (m ²)	Epaisseur considéré ⁽¹⁾	Volume impacté (m ³)	Masse de polluant (kg) ⁽²⁾	% de polluant
Z3	B 15(0.5-1m)	0,5	1	<20,0	non	77,5	-	-	-	0	0,00%
Z3	B 10(0.4-1m)	0,4	1	780	oui	81	100	0,6	60	68	5,24%
Z3	B 11(0.2-1m)	0,2	1	51,7	oui	69,3	100	0,8	80	5	0,40%
Z3	B5(0.1-1m)	0,1	1	<20,0	non	-	-	-	-	0	0,00%
Z3	B7(0.4-1m)	0,4	1	32	oui	87,2	100	0,6	60	3	0,23%
Z3	B4(0.1-1m)	0,1	1	<20,0	non	-	-	-	-	0	0,00%
Z3	B6(0.1-1m)	0,1	1	150	oui	87,2	100	0,9	90	21	1,63%
Z4	B 18(0.3-1m)	0,3	1	230	oui	78,5	100	0,7	70	23	1,75%
Z4	B 17(0-1m)	0	1	76,6	oui	82,2	100	1	100	11	0,87%
Z4	B 16(0.1-1m)	0,1	1	78,4	oui	82	100	0,9	90	10	0,80%
Z3	B8(0.5-1m)	0,5	1	460	oui	82	100	0,5	50	34	2,60%
Z3	B 12(0.2-1m)	0,2	1	36,3	oui	66,3	100	0,8	80	3	0,27%
Z3	B 13(0.2-1m)	0,2	1	39,9	oui	66,1	150	0,8	120	6	0,44%
Z3	B 13(1-2m)	1	2	<20,0	non	-	-	-	-	0	0,00%
Z3	B 14(0.4-1m)	0,4	1	8100	oui	77	60	0,6	36	404	31,01%
Z3	B 14(1-2m)	1	2	<20,0	non	76	-	-	-	0	0,00%
Z3	B 15(1-2m)	1	2	<20,0	non	75,6	-	-	-	0	0,00%
Z4	B28(0-1)	0	1	<20,0	non	83	-	-	-	0	0,00%
Z4	B48 (0-1)	0	1	1800	oui	79,4	50	1	50	129	9,87%
Z3	B50A	0,4	1,3	1600	oui	73,9	60	0,9	54	115	8,82%
Z3	B50B	1,3	2	<20,0	non	77,4	-	-	-	0	0,00%
Z3	B51A	0,4	1,3	130	oui	71,4	60	0,9	54	9	0,69%
Z3	B51B	1,3	2	<20,0	non	77,2	-	-	-	0	0,00%
Z3	B52A	0,1	1	<20,0	non	80,7	-	-	-	0	0,00%
Z3	B52B	1	2	<20,0	non	77,5	-	-	-	0	0,00%
Z4	B53A	0,2	1	<20,0	non	78,3	-	-	-	0	0,00%
Z4	B53B	1	2	<20,0	non	77,7	-	-	-	0	0,00%
Z4	B54A	0,2	1	54	oui	73,4	100	0,8	80	6	0,44%
Z4	B54B	1	2	290	oui	76,5	100	1	100	40	3,06%
Z4	B55A	0	1,2	22,8	oui	92,9	100	1,2	120	5	0,35%
Z4	B55B	1	2	<20,0	non	69,6	-	-	-	0	0,00%
Z4	B56A	0,8	1	130	oui	77,9	100	0,2	20	4	0,28%
Z4	B56B	1	2	90,2	oui	75,8	100	1	100	12	0,94%
Z4	B48BIS A	0	1	2100	oui	75,8	50	1	50	143	10,99%
Z4	B48BIS B	1	2	1100	oui	78,5	50	1	50	78	5,96%
Z4	B48BIS C	2	3	650	oui	75,6	50	1	50	44	3,39%
Z3	pzR5	0	1	790	oui	91,5	100	1	100	130	9,98%
Synthèse									1664	1303,4	100%

(1) : Epaisseur basée sur les observations présentées sur les coupes techniques des sondages et sur une estimation de la délimitation verticale

(2) : Produit de la concentration, le volume, la matière sèche et d'une masse volumique considérée

$Q \text{ (kg)} = \text{Conc (mg/kg MS)} \times 10^{-6} \times \text{volume (m}^3\text{)} \times \text{masse volumique (kg/m}^3\text{)} \times \% \text{ MS}$

Seules les teneurs supérieures aux limites de quantification du laboratoire ont été utilisées dans le cadre du bilan matière

L'étude du précédent tableau met en évidence une masse en HCT au droit du site d'environ 1,3 tonnes répartie dans un volume de terre impactée d'environ 1 664 m³. Il est à noter que 31 % de la masse en HCT présente dans les sols du site se situe au droit du sondage B14.

L'utilisation du précédent tableau permet d'appréhender, en fonction de seuils de coupure définis entre 0 (enlèvement de l'ensemble des teneurs en HCT) et 8 100 (absence de traitement), les volumes de terre à traiter et les masses en HCT restantes.

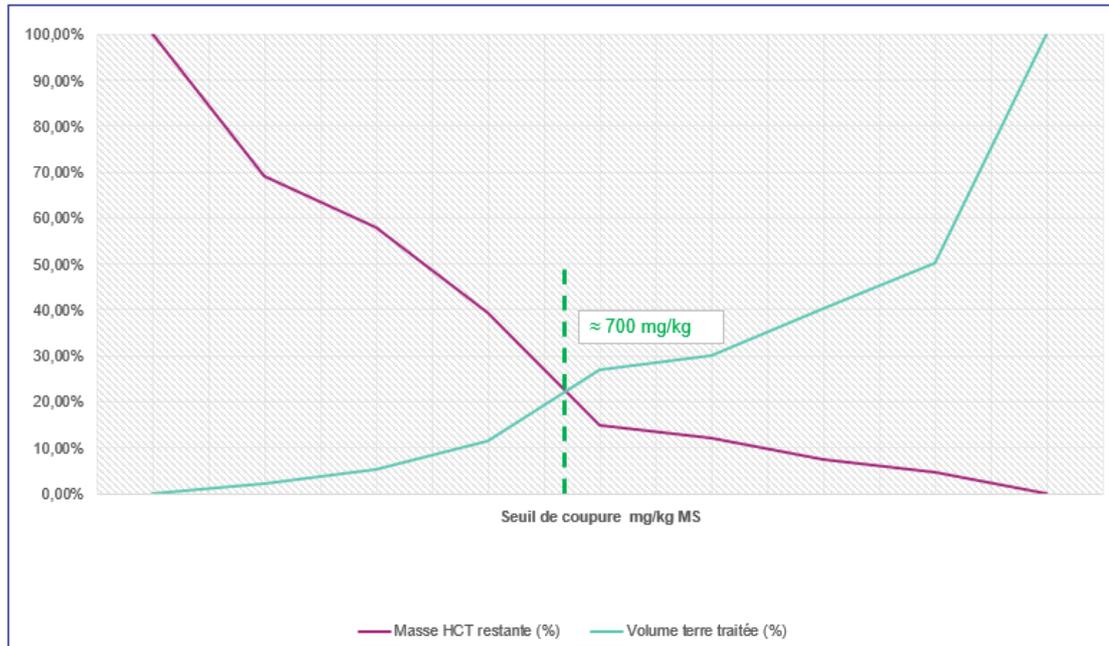


Figure 26 : Graphique de la masse en HCT restante par rapport au volume de terre traitée

La courbe relative au volume de terre traitée et à la masse en HCT restante se croisent à un seuil d'environ 700 mg/kg. Ce seuil est cohérent avec la première rupture de pente déterminée lors de l'approche statique.

Pour rappel, lors de l'étude statistique réalisée, deux ruptures de pente ont été identifiées à 700 et 1 500 mg/kg. Compte-tenu de l'usage industriel futur, le seuil de coupure de 1 500 mg/kg a été retenu.

L'utilisation d'un seuil de coupure de **1 500 mg/kg** reviendrait à traiter 61% des impacts en HCT en considérant un volume de 11 % de terres traitées.

- **HAP**

Sur la base des paramètres considérés, le bilan de masse est présenté en page suivante.

Tableau 12 : Bilan de masse en HAP-zone 3-4

Zone	Prélèvement	Prof A (m)	Prof B (m)	Teneur (mg/kg)	Teneur supérieure à la LQ	Matière sèche (% MS)	Surface (m ²)	Epaisseur considéré (1)	Volume impacté (m ³)	Masse de polluant (kg) ⁽²⁾	% de polluant
Z3	B 15(0.5-1m)	0,5	1	0,067	oui	77,5	60	0,5	30	0,003	0,01%
Z3	B 10(0.4-1m)	0,4	1	1,76	oui	81	100	0,6	60	0,154	0,52%
Z3	B 11(0.2-1m)	0,2	1	0,46	oui	69,3	100	0,8	80	0,046	0,16%
Z3	B5(0.1-1m)	0,1	1	4,88	oui	82	100	0,9	90	0,648	2,19%
Z3	B7(0.4-1m)	0,4	1	9,17	oui	87,2	100	0,6	60	0,864	2,92%
Z3	B4(0.1-1m)	0,1	1	3,3	oui	80,9	100	0,9	90	0,432	1,46%
Z3	B6(0.1-1m)	0,1	1	21,4	oui	87,2	100	0,9	90	3,023	10,23%
Z4	B 18(0.3-1m)	0,3	1	2,26	oui	78,5	100	0,7	70	0,224	0,76%
Z4	B 17(0-1m)	0	1	13,1	oui	82,2	100	1	100	1,938	6,56%
Z4	B 16(0.1-1m)	0,1	1	3,34	oui	82	100	0,9	90	0,444	1,50%
Z3	B8(0.5-1m)	0,5	1	6,42	oui	82	100	0,5	50	0,474	1,60%
Z3	B 12(0.2-1m)	0,2	1	2,57	oui	66,3	100	0,8	80	0,245	0,83%
Z3	B 13(0.2-1m)	0,2	1	5,18	oui	66,1	150	0,8	120	0,740	2,50%
Z3	B 13(1-2m)	1	2	n.d.	non	75,5	-	-	-	0,000	0,00%
Z3	B 14(0.4-1m)	0,4	1	n.d.	non	77	-	-	-	0,000	0,00%
Z3	B 14(1-2m)	1	2	n.d.	non	76	-	-	-	0,000	0,00%
Z3	B 15(1-2m)	1	2	1,26	oui	75,6	60	1	60	0,103	0,35%
Z4	B28(0-1)	0	1	1,69	oui	83	100	1	100	0,252	0,85%
Z4	B48 (0-1)	0	1	26,1	oui	79,4	50	1	50	1,865	6,31%
Z3	B50A	0,4	1,3	2,71	oui	73,9	60	0,9	54	0,195	0,66%
Z3	B50B	1,3	2	n.d.	non	77,4	-	-	-	0,000	0,00%
Z3	B51A	0,4	1,3	1,81	oui	71,4	60	0,9	54	0,126	0,43%
Z3	B51B	1,3	2	n.d.	non	77,2	-	-	-	0,000	0,00%
Z3	B52A	0,1	1	0,066	oui	80,7	80	0,9	72	0,007	0,02%
Z3	B52B	1	2	n.d.	non	77,5	-	-	-	0,000	0,00%
Z4	B53A	0,2	1	9,17	oui	78,3	100	0,8	80	1,034	3,50%
Z4	B53B	1	2	0,269	oui	77,7	100	1	100	0,038	0,13%
Z4	B54A	0,2	1	n.d.	non	73,4	-	-	-	0,000	0,00%
Z4	B54B	1	2	83	oui	76,5	100	1	100	11,429	38,69%
Z4	B55A	0	1,2	0,056	oui	92,9	100	1,2	120	0,011	0,04%
Z4	B55B	1	2	0,656	oui	69,6	100	1	100	0,082	0,28%
Z4	B56A	0,8	1	5,55	oui	77,9	100	0,2	20	0,156	0,53%
Z4	B56B	1	2	3,93	oui	75,8	100	1	100	0,536	1,82%
Z4	B48BIS A	0	1	24,4	oui	75,8	50	1	50	1,665	5,63%
Z4	B48BIS B	1	2	16,7	oui	78,5	50	1	50	1,180	3,99%
Z4	B48BIS C	2	3	18,8	oui	75,6	50	1	50	1,279	4,33%
Z3	pZR5	0	1	2,12	oui	91,5	100	1	100	0,349	1,18%
Synthèse									2270	29,5	100%

(1) : Epaisseur basée sur les observations présentées sur les coupes techniques des sondages et sur une estimation de la délimitation verticale

(2) : Produit de la concentration, le volume, la matière sèche et d'une masse volumique considérée

$$Q \text{ (kg)} = \text{Conc (mg/kg MS)} \times 10^{-6} \times \text{volume (m}^3\text{)} \times \text{masse volumique (kg/m}^3\text{)} \times \% \text{ MS}$$

Seules les teneurs supérieures aux limites de quantification du laboratoire ont été utilisées dans le cadre du bilan matière

L'étude du précédent tableau met en évidence une masse en HAP au droit du site d'environ 29,5 kilos répartie dans un volume de terre impactée d'environ 2 270 m³. Il est à noter que 39 % de la masse en HAP présente dans les sols du site se situe au droit du sondage B45.

L'utilisation du précédent tableau permet d'appréhender, en fonction de seuils de coupure définis entre 0 (enlèvement de l'ensemble des teneurs en HAP) et 83 (absence de traitement), les volumes de terre à traiter et les masses en HAP restantes.

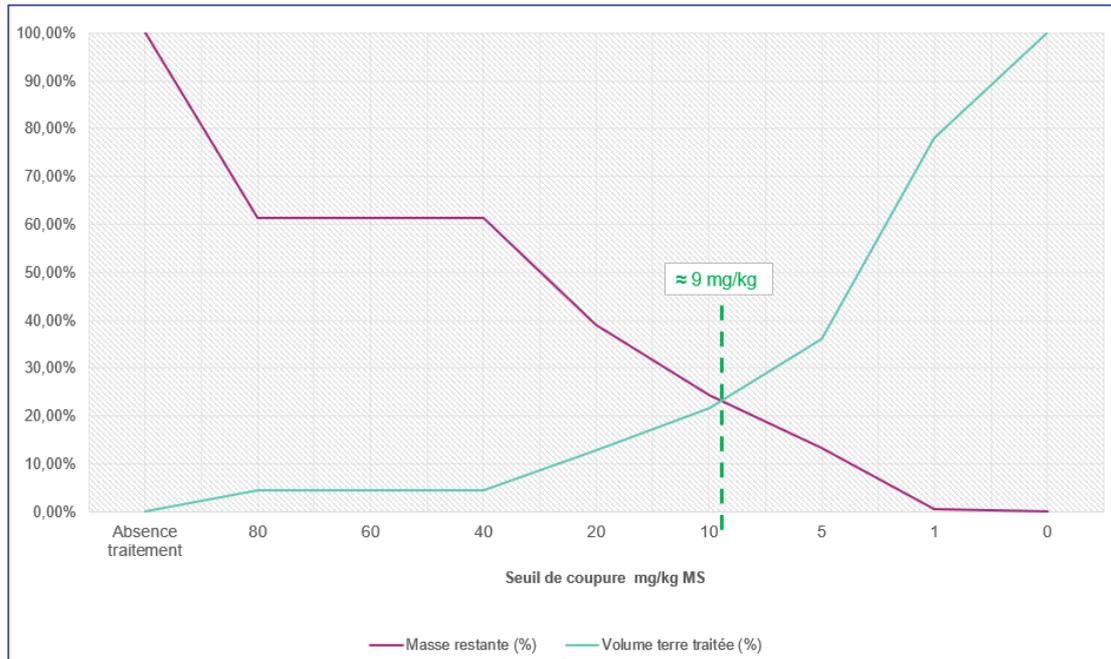


Figure 27 : Graphique de la masse en HAP restante par rapport au volume de terre traitée – zone 3-4

La courbe relative au volume de terre traitée et à la masse en HAP restante se croisent à un seuil d'environ 9 mg/kg. Ce seuil est cohérent avec la rupture de pente déterminée lors de l'approche statique.

Pour rappel, lors de l'étude statistique réalisée, deux ruptures de pente ont été identifiées à 9 et 20 mg/kg. Compte-tenu de l'usage industriel futur, le seuil de coupure de 20 mg/kg a été retenu.

L'utilisation d'un seuil de coupure de **20 mg/kg** reviendrait à traiter 61 % des impacts en HAP en considérant un volume de 13 %.

5.2.3.3 Zone 5-7

- HCT

Sur la base des paramètres considérés, le bilan de masse est présenté en page suivante.

Tableau 13 : Bilan de masse en HCT – zone 5-7

Zone	Prélèvement	Prof A (m)	Prof B (m)	Teneur (mg/kg)	Teneur supérieure à la LQ	Matière sèche (% MS)	Surface (m²)	Epaisseur considérée (1)	Volume impacté (m³)	Masse de polluant (kg)(2)	% de polluant
Z5	B29(0-1)	0	1	74,8	oui	84	50	1	50	6	0,46%
Z5	B30(0-1)	0	1	70,2	oui	81	50	1	50	5	0,42%
Z5	B31(0-1)	0	1	290	oui	83,4	50	1	50	22	1,77%
Z5	B32(0-1)	0	1	480	oui	91,3	20	1	20	16	1,28%
Z5	B34(0-1)	0	1	47	oui	81	50	1	50	3	0,28%
Z5	B37(0-1)	0	1	88,6	oui	84,4	50	1	50	7	0,55%
Z7	B46 (0-1)	0	1	63,8	oui	81,2	50	1	50	5	0,38%
Z7	Ext B46 (1-2)	1	2	76,5	oui	79,3	50	1	50	5	0,44%
Z7	B46 (2-3)	2	3	76,5	oui	79,3	50	1	50	5	0,44%
Z7	B46 (3-4)	3	4	150	oui	86,3	50	1	50	12	0,95%
Z7	B47 (0-1)	0	1	80,2	oui	74,9	30	1	30	3	0,26%
Z7	Ext B47 (1-2)	1	2	7900	oui	76,9	30	1	30	328	26,63%
Z7	B47 (2-3)	2	3	7900	oui	76,9	30	1	30	328	26,63%
Z7	B47 (3-4)	3	4	5300	oui	78,6	30	1	30	225	18,26%
Z5	B64A	0,4	1	-	non	83	-	-	-	0	0,00%
Z5	B64B	1	2	-	non	82,4	-	-	-	0	0,00%
Z5	B65A	0,4	1	-	non	83,4	-	-	-	0	0,00%
Z5	Ext B65 (1-2)	1	2	160	oui	83,3	50	1	50	12	0,97%
Z5	B66C	2	3	160	oui	83,3	50	1	50	12	0,97%
Z5	B66A	0,4	1	-	non	82,2	-	-	-	0	0,00%
Z5	B66B	1	2	750	oui	79,5	50	1	50	54	4,36%
Z5	B67A	0,4	1	-	non	83	-	-	-	0	0,00%
Z5	B67B	1	2	-	non	80,9	-	-	-	0	0,00%
Z7	B70C	2	3	27,1	oui	75,2	50	1	50	2	0,15%
Z7	B70D	3	4	51,8	oui	69,5	50	1	50	3	0,26%
Z7	B70E	4	5	85,3	oui	68,2	50	1	50	5	0,43%
Z7	Ext B71B	0	1,2	91,2	oui	82,2	50	1,2	60	8	0,66%
Z7	B71B	1,2	2	91,2	oui	82,2	50	0,8	40	5	0,44%
Z7	B71C	2	3	75,6	oui	80,2	50	1	50	5	0,44%
Z7	B71D	3	4	290	oui	73	50	1	50	19	1,55%
Z7	Ext B72C	0	1	46,7	oui	78	50	1	50	3	0,27%
Z7	B72B	1	2	46,7	oui	78	50	1	50	3	0,27%
Z7	Ext B72D	2	3	46,7	oui	61,4	50	1	50	3	0,21%
Z7	B72D	3	3,9	-	non	61,4	-	-	-	0	0,00%
Z7	B72E	3,9	4,5	-	non	62,9	-	-	-	0	0,00%
Z7	B73A	0,5	1	50,2	oui	81,5	50	0,5	25	2	0,15%
Z7	Ext B73 (1-2)	1	2	50,2	oui	81,5	50	1	50	4	0,30%
Z7	B73C	2	3	-	non	73,1	-	-	-	0	0,00%
Z7	Ext B73 (3-4)	3	4	130	oui	66,1	50	1	50	8	0,63%
Z7	B73E	4	5	130	oui	66,1	50	1	50	8	0,63%
Z7	B47bis A	0,5	1	140	oui	80,1	30	0,5	15	3	0,25%
Z7	B47bis B	1	2	28	oui	78,3	30	1	30	1	0,10%
Z7	B47bis C	2	3	110	oui	74,7	30	1	30	4	0,36%
Z7	B47bis D	3	4	-	non	71,4	-	-	-	0	0,00%
Z7	B47bis E	4	5	-	non	64,3	-	-	-	0	0,00%
Z7	B68 A	0	1	220	oui	91,8	50	1	50	18	1,48%
Z7	Ext B68	1	3	220	oui	91,8	50	2	100	36	2,95%
Z7	B68 D	3	3,8	-	non	66,9	-	-	-	0	0,00%
Z7	B68 E	3,8	4,8	110	oui	62,7	50	1	50	6	0,50%
Z7	B69 A	0,5	1	110	oui	90,9	50	0,5	25	4	0,37%
Z7	Ext B69 (1-3)	1	3	110	oui	90,9	50	2	100	18	1,46%
Z7	B69 D	3	4	-	non	64,4	-	-	-	0	0,00%
Z7	B69 E	4	4,6	49,3	oui	63,7	50	0,6	30	2	0,14%
Z5	B32bisA	0,4	1	-	non	83,4	-	-	-	0	0,00%
Z5	B32bisB	1	2	-	non	82,9	-	-	-	0	0,00%
Z5	B32bisC	2	3	140	oui	82,9	30	1	30	6	0,51%
Z5	Ext B66	1	2,5	40,5	oui	82,9	50	1,5	75	5	0,37%
Z5	B66C	2,5	3	40,5	oui	70,4	50	0,5	25	1	0,10%
Z5	B67C	2,3	3	-	-	70	-	-	-	0	-
Synthèse									1975	1231,8	100%

(1) : Epaisseur basée sur les observations présentées sur les coupes techniques des sondages et sur une estimation de la délimitation verticale

(2) : Produit de la concentration, le volume, la matière sèche et d'une masse volumique considérée

$$Q \text{ (kg)} = \text{Conc (mg/kg MS)} \times 10^{-6} \times \text{volume (m}^3\text{)} \times \text{masse volumique (kg/m}^3\text{)} \times \% \text{ MS}$$

Seules les teneurs supérieures aux limites de quantification du laboratoire ont été utilisées dans le cadre du bilan matière

L'étude du précédent tableau met en évidence une masse en HCT au droit du site d'environ 1,2 tonnes réparties dans un volume de terre impactée d'environ 1 975 m³. Il est à noter que 71 % de la masse en HCT présente dans les sols du site se situe au droit du sondage B47.

L'utilisation du précédent tableau permet d'appréhender, en fonction de seuils de coupure définis entre 0 (enlèvement de l'ensemble des teneurs en HCT) et 7 900 (absence de traitement), les volumes de terre à traiter et les masses en HCT restantes.

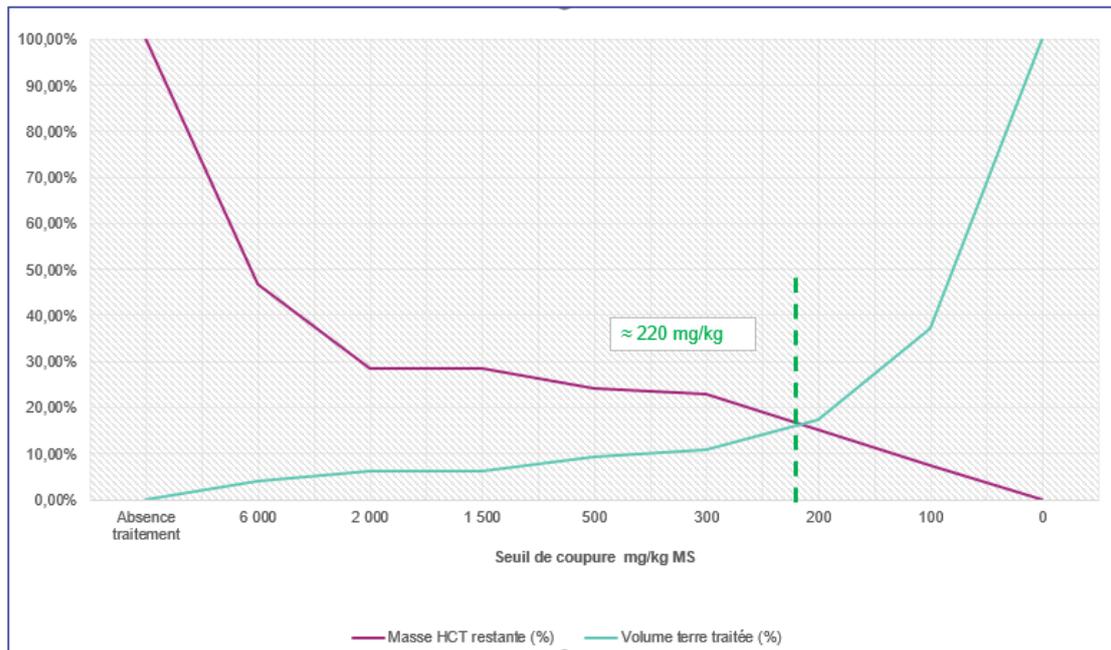


Figure 28 : Graphique de la masse en HCT restante par rapport au volume de terre traitée

La courbe relative au volume de terre traitée et à la masse en HCT restante se croisent à un seuil d'environ 220 mg/kg. Ce seuil est proche de celui obtenu avec la rupture de pente déterminée lors de l'approche statique (250 à 300 mg/kg).

Pour rappel, lors de l'étude statistique réalisée, deux ruptures de pente ont été identifiées à 300 et 700 mg/kg. Compte-tenu de l'usage industriel futur, le seuil de coupure de 700 mg/kg a été retenu.

L'utilisation d'un seuil de coupure de **700 mg/kg** reviendrait à traiter 76 % des impacts en HCT en considérant un volume de 10 %, en cohérence avec le principe de Pareto.

- **HAP**

Sur la base des paramètres considérés, le bilan de masse est présenté en page suivante.

Tableau 14 : Bilan de masse en HAP-zone 3-4

Zone	Prélevement	Prof A (m)	Prof B (m)	Teneur (mg/kg)	Teneur supérieure à la LQ	Matière sèche (% MS)	Surface (m ²)	Epaisseur considérée (1)	Volume impacté (m ³)	Masse de polluant (kg) ⁽²⁾	% de polluant
Z5	B29(0-1)	0	1	13,7	oui	84	50	1	50	1,04	0,16%
Z5	B30(0-1)	0	1	7,39	oui	81	50	1	50	0,54	0,08%
Z5	B31(0-1)	0	1	8,45	oui	83,4	50	1	50	0,63	0,10%
Z5	B32(0-1)	0	1	214	oui	91,3	20	1	20	7,03	1,11%
Z5	B34(0-1)	0	1	15,1	oui	81	50	1	50	1,10	0,17%
Z5	B37(0-1)	0	1	7,63	oui	84,4	50	1	50	0,58	0,09%
Z7	B46 (0-1)	0	1	43,3	oui	81,2	50	1	50	3,16	0,50%
Z7	Ext B46 (1-2)	1	2	65,5	oui	79,3	50	1	50	4,67	0,74%
Z7	B46 (2-3)	2	3	65,5	oui	79,3	50	1	50	4,67	0,74%
Z7	B46 (3-4)	3	4	53,3	oui	86,3	50	1	50	4,14	0,65%
Z7	B47 (0-1)	0	1	14,7	oui	74,9	30	1	30	0,59	0,09%
Z7	Ext B47 (1-2)	1	2	5400	oui	76,9	30	1	30	224,24	35,33%
Z7	B47 (2-3)	2	3	5400	oui	76,9	30	1	30	224,24	35,33%
Z7	B47 (3-4)	3	4	2420	oui	78,6	30	1	30	102,71	16,18%
Z5	B64A	0,4	1	nd	non	83	-	-	-	0,00	0,00%
Z5	B64B	1	2	nd	non	82,4	-	-	-	0,00	0,00%
Z5	B65A	0,4	1	nd	non	83,4	-	-	-	0,00	0,00%
Z5	Ext B65 (1-2)	1	2	48,1	oui	83,3	50	1	50	3,61	0,57%
Z5	B65C	2	3	48,1	oui	83,3	50	1	50	3,61	0,57%
Z5	B66A	0,4	1	0,485	oui	82,2	50	0,6	30	0,02	0,00%
Z5	B66B	1	2	312	oui	79,5	50	1	50	22,32	3,52%
Z5	B67A	0,4	1	nd	non	83	-	-	-	0,00	0,00%
Z5	B67B	1	2	127	oui	80,9	50	1	50	9,25	1,46%
Z7	B70C	2	3	0,156	oui	75,2	50	1	50	0,01	0,00%
Z7	B70D	3	4	5	oui	69,5	50	1	50	0,31	0,05%
Z7	B70E	4	5	12	oui	68,2	50	1	50	0,74	0,12%
Z7	Ext B71B	0	1,2	2,85	oui	82,2	50	1,2	60	0,25	0,04%
Z7	B71B	1,2	2	2,85	oui	82,2	50	0,8	40	0,17	0,03%
Z7	B71C	2	3	7,6	oui	80,2	50	1	50	0,55	0,09%
Z7	B71D	3	4	25,5	oui	73	50	1	50	1,68	0,26%
Z7	Ext B72C	0	1	25,5	oui	78	50	1	50	1,79	0,28%
Z7	B72B	1	2	15,3	oui	78	50	1	50	1,07	0,17%
Z7	Ext B72D	2	3	nd	non	61,4	-	-	-	0,00	0,00%
Z7	B72D	3	3,9	nd	non	61,4	-	-	-	0,00	0,00%
Z7	B72E	3,9	4,5	nd	non	62,9	-	-	-	0,00	0,00%
Z7	B73A	0,5	1	5,32	oui	81,5	50	0,5	25	0,20	0,03%
Z7	Ext B73 (1-2)	1	2	5,32	oui	81,5	50	1	50	0,39	0,06%
Z7	B73C	2	3	1,72	oui	73,1	50	1	50	0,11	0,02%
Z7	Ext B73 (3-4)	3	4	1,72	oui	66,1	50	1	50	0,10	0,02%
Z7	B73E	4	5	nd	non	66,1	-	-	-	0,00	0,00%
Z7	B47bis A	0,5	1	38,5	oui	80,1	30	0,5	15	0,83	0,13%
Z7	B47bis B	1	2	9,7	oui	78,3	30	1	30	0,41	0,06%
Z7	B47bis C	2	3	34,2	oui	74,7	30	1	30	1,38	0,22%
Z7	B47bis D	3	4	5,66	oui	71,4	30	1	30	0,22	0,03%
Z7	B47bis E	4	5	0,623	oui	64,3	30	1	30	0,02	0,00%
Z7	B68 A	0	1	3,08	oui	91,8	50	1	50	0,25	0,04%
Z7	Ext B68	1	3	3,08	oui	91,8	50	2	100	0,51	0,08%
Z7	B68 D	3	3,8	nd	non	66,9	-	-	-	0,00	0,00%
Z7	B68 E	3,8	4,8	nd	non	62,7	-	-	-	0,00	0,00%
Z7	B69 A	0,5	1	nd	non	90,9	-	-	-	0,00	0,00%
Z7	Ext B69 (1-3)	1	3	nd	non	90,9	-	-	-	0,00	0,00%
Z7	B69 D	3	4	nd	non	64,4	-	-	-	0,00	0,00%
Z7	B69 E	4	4,6	nd	non	63,7	-	-	-	0,00	0,00%
Z5	B32bisA	0,4	1	nd	non	83,4	-	-	-	0,00	0,00%
Z5	B32bisB	1	2	1,57	oui	82,9	30	1	30	0,07	0,01%
Z5	B32bisC	2	3	17,5	oui	82,9	30	1	30	0,78	0,12%
Z5	Ext B66	1	2,5	0,761	oui	82,9	50	1,5	75	0,09	0,01%
Z5	B66C	2,5	3	0,761	oui	70,4	50	0,5	25	0,02	0,00%
Z5	B67C	2,3	3	103	oui	70	50	0,7	35	4,54	0,72%
Synthèse									1925	634,7	100%

(1) : Epaisseur basée sur les observations présentées sur les coupes techniques des sondages et sur une estimation de la délimitation verticale

(2) : Produit de la concentration, le volume, la matière sèche et d'une masse volumique considérée

$$Q \text{ (kg)} = \text{Conc (mg/kg MS)} \times 10^{-6} \times \text{volume (m}^3\text{)} \times \text{masse volumique (kg/m}^3\text{)} \times \% \text{ MS}$$

Seules les teneurs supérieures aux limites de quantification du laboratoire ont été utilisées dans le cadre du bilan matière

L'étude du précédent tableau met en évidence une masse en HAP au droit du site d'environ 634 kilos répartie dans un volume de terre impactée d'environ 1 925 m³. Il est à noter que 86 % de la masse en HAP présente dans les sols du site se situe au droit du sondage B47.

L'utilisation du précédent tableau permet d'appréhender, en fonction de seuils de coupure définis entre 0 (enlèvement de l'ensemble des teneurs en HAP) et 5 400 (absence de traitement), les volumes de terre à traiter et les masses en HAP restantes.

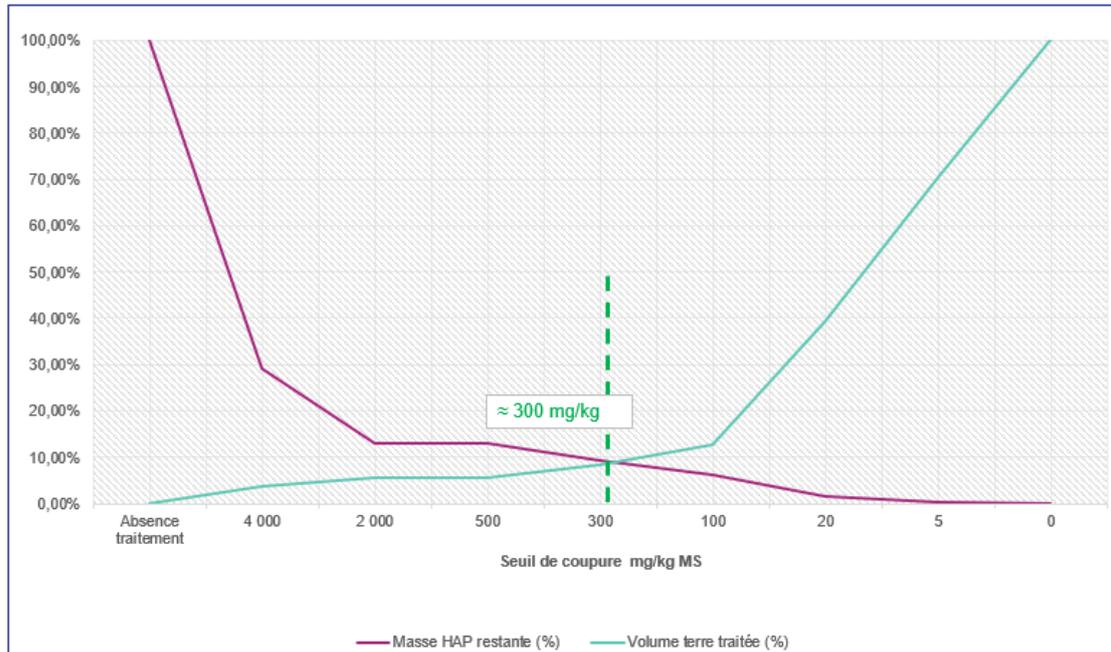


Figure 29 : Graphique de la masse en HAP restante par rapport au volume de terre traitée – zone 5-7

La courbe relative au volume de terre traitée et à la masse en HAP restante se croisent à un seuil d'environ 300 mg/kg. Ce seuil est cohérent avec la rupture de pente déterminée lors de l'approche statique (350 mg/kg).

L'utilisation d'un seuil de coupure de **350 mg/kg** reviendrait à traiter 87% des impacts en HAP en considérant un volume de 5 %, en lien avec le sondage impacté B47.

5.2.3.4 Zone 6

- HCT

Sur la base des paramètres considérés, le bilan de masse est présenté en page suivante.

Tableau 15 : Bilan de masse en HCT – zone 6

Prélèvement	Prof A (m)	Prof B (m)	Teneur (mg/kg)	Teneur supérieure à la LQ	Matière sèche (% MS)	Surface (m ²)	Epaisseur considéré ⁽¹⁾	Volume impacté (m ³)	Masse de polluant (kg) ⁽²⁾	% de polluant
B 38(0-1m)	0	1	270	oui	92,3	30	1	30	13	1,94%
B 38(1-2m)	1	2	4900	oui	59,3	30	1	30	157	22,63%
ext B60 (0-1)	0	1	2700	oui	85,3	50	1	50	207	29,89%
B60B	1	2	2700	oui	85,3	50	1	50	207	29,89%
B60C	2	3	280	oui	64,9	50	1	50	16	2,36%
ext B61 (0-1)	0	1	72,7	oui	73,9	50	1	50	5	0,70%
B61B	1,1	2,5	72,7	oui	73,9	50	1,4	70	7	0,98%
B61C	2,5	3	<20,0	non	69,2	-	-	-	0	0,00%
ext B62 (0-1)	0	1	110	oui	72,4	50	1	50	7	1,03%
B62B	1	2	110	oui	72,4	50	1	50	7	1,03%
B62C	2	3	<20,0	non	58,7	-	-	-	0	0,00%
ext B63 (0-1)	0	1	35,3	oui	70,6	50	1	50	2	0,32%
B63B	1	2	35,3	oui	70,6	50	1	50	2	0,32%
B63C	2	3	<20,0	non	67,3	-	-	-	0	0,00%
B38bisA	0	1	370	oui	91,3	30	1	30	18	2,63%
B38bisB	1	2	390	oui	77,5	30	1	80	44	6,28%
B38bisC	2	3	<20,0	non	71,2	-	-	-	0	0,00%
Synthèse								640	693,5	100%

(1) : Epaisseur basée sur les observations présentées sur les coupes techniques des sondages et sur une estimation de la délimitation verticale

(2) : Produit de la concentration, le volume, la matière sèche et d'une masse volumique considérée

$Q \text{ (kg)} = \text{Conc (mg/kg MS)} \times 10^{-6} \times \text{volume (m}^3\text{)} \times \text{masse volumique (kg/m}^3\text{)} \times \% \text{ MS}$

Seules les teneurs supérieures aux limites de quantification du laboratoire ont été utilisées dans le cadre du bilan matière

L'étude du précédent tableau met en évidence une masse en HCT au droit du site d'environ 694 kilos réparties dans un volume de terre impactée d'environ 694 m³. Il est à noter que 60 % de la masse en HCT présente dans les sols du site se situe au droit du sondage B60 et 24 % au droit du sondage B38.

L'utilisation du précédent tableau permet d'appréhender, en fonction de seuils de coupure définis entre 0 (enlèvement de l'ensemble des teneurs en HCT) et 4 900 (absence de traitement), les volumes de terre à traiter et les masses en HCT restantes.

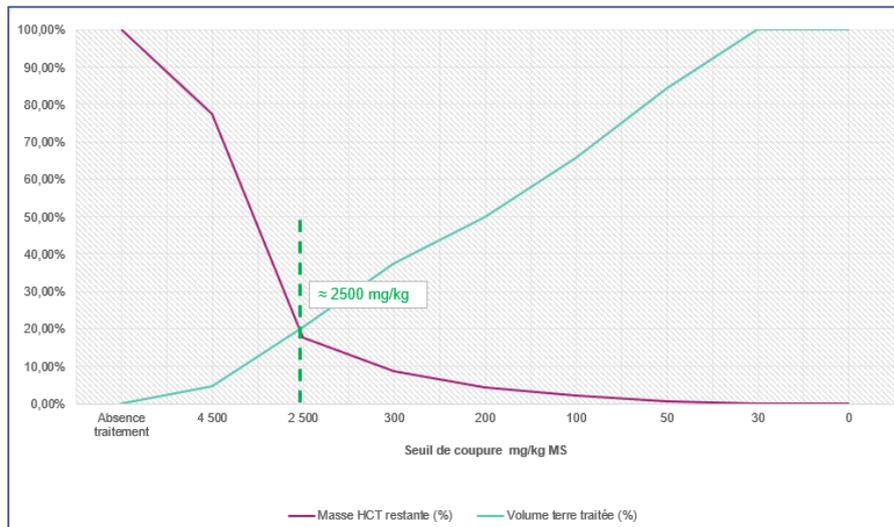


Figure 30 : Graphique de la masse en HCT restante par rapport au volume de terre traitée

La courbe relative au volume de terre traitée et à la masse en HCT restante se croisent à un seuil d'environ 2 500 mg/kg. Ce seuil est cohérent avec la rupture de pente déterminée lors de l'approche statique (2 300 mg/kg).

L'utilisation d'un seuil de coupure de **2 300 mg/kg** reviendrait à traiter 82% des impacts en HCT en considérant un volume de 20 %, en cohérence avec le principe de Pareto.

5.3 Caractérisation des pollutions concentrées dans les eaux souterraines

Les résultats de la campagne de prélèvements réalisée par GINGER BURGEAP lors des investigations menées en 2023 ne mettent pas en évidence de pollution concentrée dans les eaux souterraines de la nappe alluviale.

En effet, les résultats montrent des teneurs inférieures aux valeurs de références ou du même ordre de grandeur que la limite de quantification du laboratoire pour l'ensemble des composés organiques analysés, à l'exception du piézomètre Pz3 localisé en amont des activités du site et présentant une teneur en Benzo(a)pyrène légèrement supérieure à la valeur de référence en eau potable.

Ainsi, les anomalies de concentrations en composés organiques observées sur les sols n'impactent pas les eaux souterraines présentes au droit du site.

A ce stade, aucun traitement de la nappe n'est préconisé. Une surveillance de la qualité des eaux souterraines pourra être réalisée dans le cadre du suivi post-travaux de dépollution.

Nota Bene : des forages à usage industriel sont référencés au droit du site. Si ces forages ne sont plus utilisés dans le cadre de l'usage futur envisagé, ceux-ci devront être comblés dans les règles de l'art.

Le comblement vise à pérenniser l'étanchéité entre les différents horizons aquifères traversés et régionalement isolés ainsi qu'à prévenir toute pollution de ces aquifères à partir de la surface.

La méthode de comblement est détaillée au §7.5.4 du présent rapport.

5.4 Définition des zones de pollutions concentrées

Sur la base des précédents chapitres, cinq Zones de Pollutions Concentrées (ZPC) ont été mises en évidence au droit du site. Ces dernières ont été déterminées sur la base des conclusions obtenues lors de la combinaison de l'approche statistique, de l'analyse cartographique et du bilan de masse.

Celles-ci sont présentées dans les tableaux suivants :

Référence R001-1621760-002MSA-V01

Tableau 16 : Informations générales concernant les sources concentrées ZPC

ZPC ZONE 1 : HCT				
Seuils de coupure		HCT: 500 mg/kg		
Polluant concerné (concentration maximale)		Hydrocarbures C10-C40 : 2 600 mg/kg		
Sondages réalisés / piézomètres installés concernés par l'anomalie de concentration définie dans le secteur étudié		HCT : B26 et PZR1 jusque 1 m B27 relevée à 520 mg/kg non incluse, du fait de l'usage industriel futur étudié		
Sondage	Profondeur moyenne	Surface estimée	Volume (en place)	Tonnage
				(Hypothèse : 1,8 t/m ³)
B26	0-1 m	100 m ²	100 m ³	180 tonnes
PZR1	0-1 m	100 m ²	100 m ³	180 tonnes
Filière d'évacuation envisageable (sur la base des concentrations maximales mesurées dans les sols)		Biocentre		

ZPC ZONE 2 : PCB				
Seuils de coupure		Non concerné – impact ponctuel en PCB		
Sondages réalisés / piézomètres installés concernés par l'anomalie de concentration définie dans le secteur étudié		PCB : 2 000 mg/kg		
Sondages réalisés / piézomètres installés concernés par l'anomalie de concentration définie dans le secteur étudié		BGP19 ponctuel non retrouvé en 2023		
Profondeur moyenne	Surface estimée	Volume (en place)	Tonnage	
			(Hypothèse : 1,8 t/m ³)	
0-1 m	10 m ²	10 m ³	20 t	
Filière d'évacuation envisageable (sur la base des concentrations maximales mesurées dans les sols)		ISDD		

ZPC ZONE 3 : HCT-HAP				
Seuils de coupure		HCT: 1 000 mg/kg HAP: 20 mg/kg		
Polluant concerné (concentration maximale)		Hydrocarbures C10-C40 : 1 600 mg/kg HAP: 48 mg/kg		
Sondages réalisés / piézomètres installés concernés par l'anomalie de concentration définie dans le secteur étudié		HCT : B50 jusque 1,3 m (60 m ²) HAP : B14 jusque 1,3 m (60 m ²)		
Sondage	Profondeur moyenne	Surface estimée	Volume (en place)	Tonnage
				(Hypothèse : 1,8 t/m ³)
B50	0,1-1,3 m	60 m ²	78 m ³	140 t
B14	0,4-1 m	60 m ²	36 m ³	64,8 t
B6	0.1-1 m	100 m ²	90 m ³	162 t
Filière d'évacuation envisageable (sur la base des concentrations maximales mesurées dans les sols)		Biocentre		

Référence R001-1621760-002MSA-V01

ZPC ZONE 4 : HCT-HAP				
Seuils de coupure		HCT: 1 000 mg/kg HAP: 20 mg/kg		
Polluant concerné (concentration maximale)		Hydrocarbures C10-C40 : 2 100 mg/kg HAP: 83 mg/kg		
Sondages réalisés / piézomètres installés concernés par l'anomalie de concentration définie dans le secteur étudié		HCT : B48BIS jusque 1 m HAP : B54 entre 1 et 2 m – non délimité en profondeur (RAS 0-1 m) B48Bis jusque 2 m		
Sondage	Profondeur moyenne	Surface estimée	Volume (en place)	Tonnage
				(Hypothèse : 1,8 t/m ³)
B48 Bis	0-2 m	50 m ²	100 m ³	180 t
B54	1-2 m	100 m ²	100 m ³	180 t
Filière d'évacuation envisageable (sur la base des concentrations maximales mesurées dans les sols)			Biocentre	

ZPC ZONE 5 : HCT				
Seuils de coupure		HCT: 750 mg/kg HAP: 350 mg/kg		
Polluant concerné (concentration maximale)		Hydrocarbures C10-C40 : 750 mg/kg		
Sondages réalisés / piézomètres installés concernés par l'anomalie de concentration définie dans le secteur étudié		HCT : B66 entre 1 et 2 m – non délimité (RAS entre 0 et 1m)		
Profondeur moyenne	Surface estimée	Volume (en place)	Tonnage	
			(Hypothèse : 1,8 t/m ³)	
1-2 m	50 m ²	50 m ³	90 t	
Filière d'évacuation envisageable (sur la base des concentrations maximales mesurées dans les sols)			Biocentre	

ZPC ZONE 6 : HCT				
Seuils de coupure		HCT: 2 500 mg/kg		
Polluant concerné (concentration maximale)		Hydrocarbures C10-C40 : 4 900 mg/kg		
Sondages réalisés / piézomètres installés concernés par l'anomalie de concentration définie dans le secteur étudié		HCT : B38 entre 1 et 2 m – non délimité B60 jusque 2 m		
Sondage	Profondeur moyenne	Surface estimée	Volume (en place)	Tonnage
				(Hypothèse : 1,8 t/m ³)
B38	1-2 m	30 m ²	30 m ³	54 t
B60	0-2 m	50 m ²	100 m ³	180 t
Filière d'évacuation envisageable (sur la base des concentrations maximales mesurées dans les sols)			Biocentre	

Référence R001-1621760-002MSA-V01

ZPC ZONE 7 : HCT-HAP			
Seuils de coupure		HCT: 750 mg/kg HAP: 350 mg/kg	
Polluant concerné (concentration maximale)		Hydrocarbures C10-C40 : 7 900 mg/kg HAP: 5 400 mg/kg	
Sondages réalisés / piézomètres installés concernés par l'anomalie de concentration définie dans le secteur étudié		HCT : B47 entre 1 et jusque 4 m – non délimité HAP : B47 entre 1 et jusque 4 m – non délimité	
Profondeur moyenne	Surface estimée	Volume (en place)	Tonnage
			(Hypothèse : 1,8 t/m ³)
1-4 m	30 m ²	90 m ³	162 t
Filière d'évacuation envisageable (sur la base des concentrations maximales mesurées dans les sols)		Biocentre	

La délimitation des pollutions concentrées est présentée sur les figures suivantes :

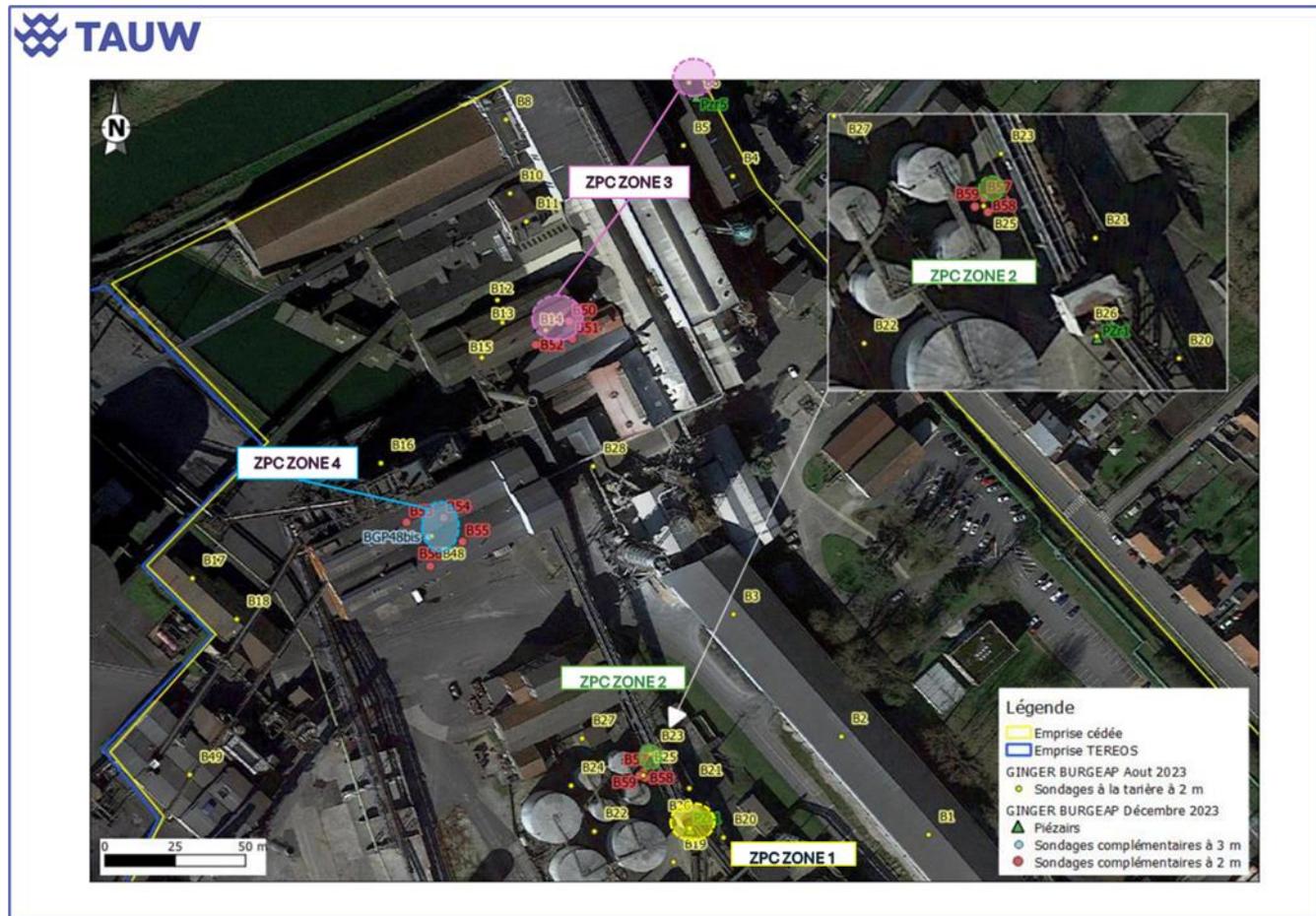


Figure 31 : Localisation des zones de pollution concentrée zone 1, zone 2, zone 3 et zone 4 dans les sols

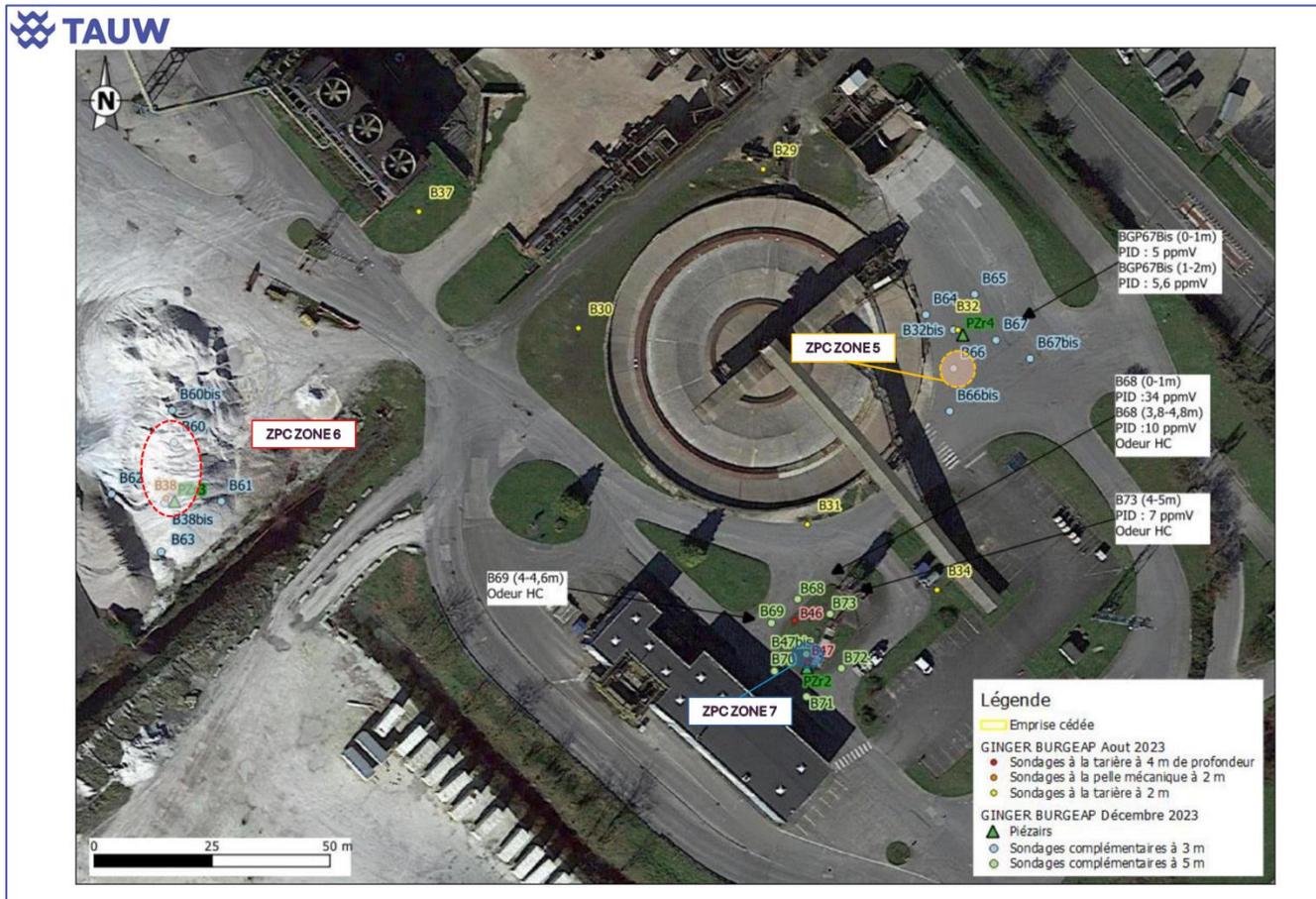


Figure 32 : Localisation des zones de pollution concentrée zone 5, zone 6, zone 7

6 Schéma conceptuel post investigations

Selon la méthodologie de gestion des sites et sols pollués en application de la note du 19 avril 2017, le schéma conceptuel est réalisé pour établir un bilan factuel de l'état d'un site ou d'un milieu. Cet état des lieux permet d'appréhender l'état des pollutions des milieux et les voies d'exposition aux impacts au regard des activités constatées ou prévues.

Le schéma conceptuel présente :

- La (ou les) source(s) de pollution,
- Les voies de transferts possibles,
- Les cibles potentielles,
- Les milieux d'exposition.

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

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

6.1 Usage du site

L'usage futur du site est un usage industriel.

6.2 Cibles

Dans le cadre de la reprise du site pour un futur usage industriel, les cibles à considérer sont les futurs travailleurs.

6.3 Sources de pollution

La « source » désigne le milieu ou l'activité à partir desquels les substances non désirables s'accumulent ou initient le transfert vers les autres milieux.

A l'issue des phases d'investigations de la qualité des milieux (sols, eaux souterraines), sept zones de pollutions concentrées ont été identifiées dans les sols.

Les polluants concentrés détectés sont des hydrocarbures C10-C40, des HAP, et des PCB de manière ponctuelle en zone 3. Aucune pollution concentrée n'a été détectée dans les eaux souterraines.

6.4 Vecteurs de transfert potentiels

Le « vecteur » définit le ou les moyens de transferts (voies de transport, dispersion, diffusion) des substances présentes au niveau des sources en direction des cibles. Les vecteurs de transfert et voies d'exposition pris en compte dans le cadre de cette étude sont identifiés dans tableau en page suivante.

Tableau 17 : Vecteurs de transfert et voies d'exposition pour un usage industriel

SCHEMA CONCEPTUEL : SOURCES / TRANSFERT / EXPOSITION / CIBLES RETENUES POUR LE PROJET

Client : TEREOS Ecaudoeuves N° projet 1621760

Titre de l'étude : Plan de gestion

Sources considérées	Modes de transfert possibles	Milieux d'exposition	Voies d'exposition potentielles	SUR SITE					HORS SITE			
				Voie présente sur site	Zone d'exposition	Cibles considérées	Voie retenue sur site	Justification	Voie présente hors site	Cibles considérées	Justification	
Sols pollués			Contact cutané	OUI	au droit du site	travailleurs	OUI	exposition aux polluants au droit des zones non recouvertes du site	NON	Résidents alentours	Impact sol présent uniquement au droit du site	
			Ingestion	OUI	au droit du site	travailleurs	OUI	exposition aux polluants au droit des zones non recouvertes du site	NON	Résidents alentours	Impact sol présent uniquement au droit du site	
		Volatilisation vers la surface	Gaz du sol	Inhalation de vapeurs	OUI	au droit du site	travailleurs	OUI	présence de composés volatils dans les sols et les gaz du sol	NON	Résidents alentours	Impact sol présent uniquement au droit du site
		Dispersion atmosphérique de poussières	Sol	Inhalation et ingestion de particules	OUI	au droit du site	travailleurs	OUI	exposition aux polluants au droit des zones non recouvertes du site	NON	Résidents alentours	Impact sol présent uniquement au droit du site
		Bioaccumulation/ dépôt de poussières sur les cultures potagères	Fruits et légumes cultivés	consommation de denrées contaminées	NON	au droit du site	travailleurs	NON	pas de cultures potagères prévues dans le cadre du projet	NON	Résidents alentours	Impact sol présent uniquement au droit du site
		Perméation via les canalisations d'eau	eau de distribution	Inhalation, ingestion et contact cutané	OUI	au droit du site	travailleurs	OUI	présence potentielle de canalisations d'eau de distribution dans les zones impactées	NON	Résidents alentours	Impact sol présent uniquement au droit du site
<p>percolation vers la nappe</p> <p>Absence de transfert avéré</p>		<p>Justification via-à-vis du transfert vers les eaux :</p>		absence de pollution concentrée dans les eaux souterraines								

Un risque n'existe qu'en présence d'une source, d'une cible et d'une voie d'exposition.

En présence de voies d'exposition pertinentes retenues au droit du site, il existe des risques pour les futurs usagers en l'état.

Nota Bene : d'après les informations à notre disposition, quelques forages présents au droit du site pourraient être utilisés pour le futur usage industriel. La qualité des eaux souterraines de la nappe de la craie du Cambésis captée en profondeur par ces ouvrages n'est pas connue à ce jour. Compte-tenu de l'absence de pollution concentrée dans les eaux de la nappe alluviale, le transfert de polluants potentiels depuis la première nappe vers la nappe de la Craie n'est pas retenu dans la suite de l'étude.

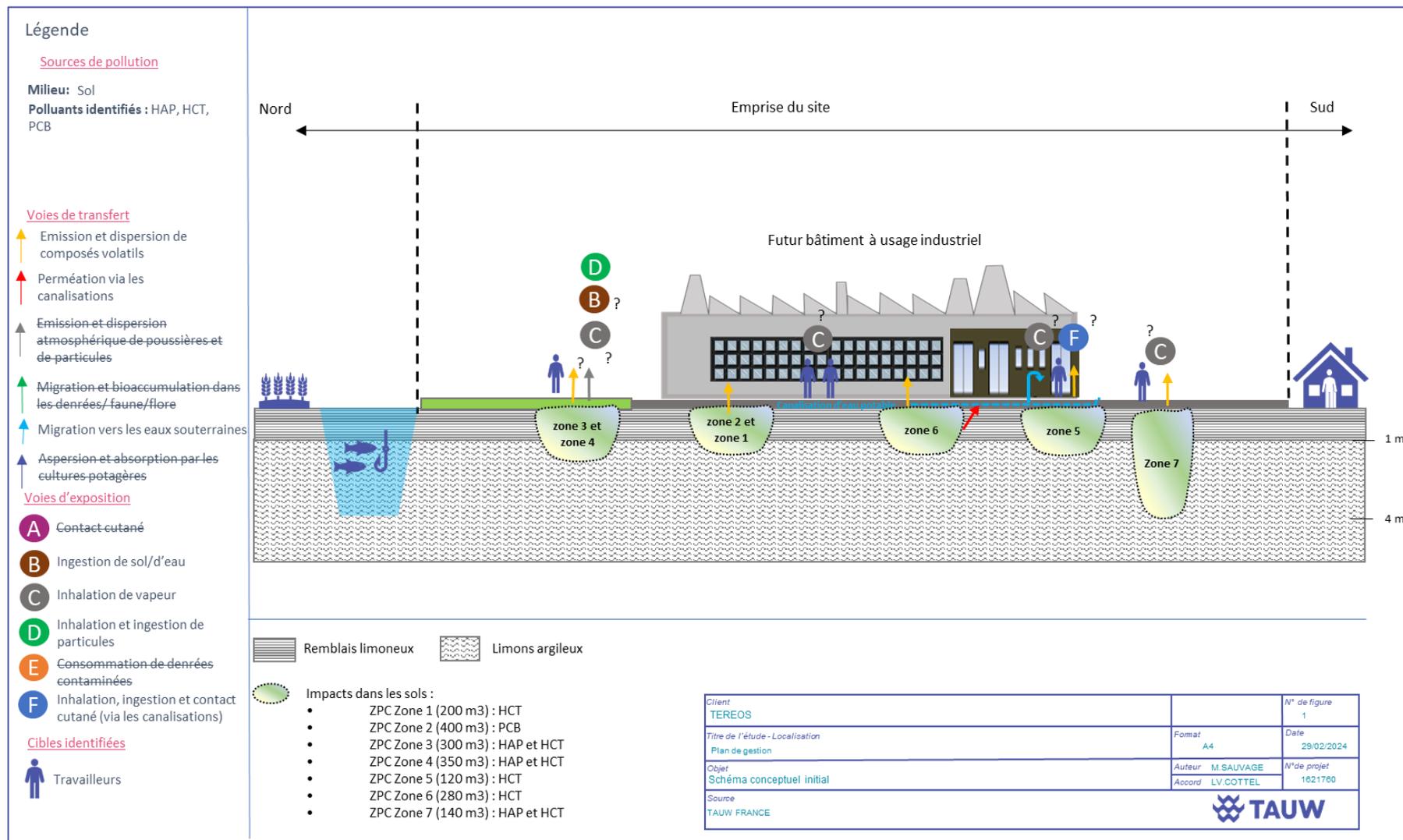


Figure 33 schéma conceptuel initial pour un usage futur industriel

7 Plan de gestion (A330) : méthodologie

Selon les textes du 19 avril 2017 du Ministère chargé de l'Environnement relatifs à la prévention de la pollution des sols et à la gestion des sols pollués en France, la stratégie des mesures de gestion d'un site pollué doit se concevoir de la manière suivante :

- Maîtrise de la source de pollution par des travaux de réhabilitation (enlèvement / destruction total ou partiel de la source),
- Limitation du transfert par confinement ou immobilisation : dans les sols, les gaz de sol, les eaux souterraines et superficielles, au niveau des bâtiments (mesures constructives),
- Modification des aménagements : changement d'usage (sur et / ou hors site), changement de l'aménagement du site (adaptation de l'espace projet aux contraintes et aux pollutions résiduelles du site), contrôle des activités (servitudes).

La maîtrise de la source de pollution est la première option de gestion à envisager car elle participe à la démarche globale de réduction des émissions de substances responsables de l'exposition chronique des populations et elle participe à la démarche globale d'amélioration de la qualité des milieux. De plus, sans maîtrise des sources, il n'est pas économiquement ou techniquement pertinent de chercher à maîtriser les impacts. S'il est impossible d'enlever complètement la source de pollution (après prise en compte des meilleures techniques à un coût économiquement acceptable), il faudra néanmoins garantir que les impacts provenant des sources résiduelles sont maîtrisés et acceptables pour les populations et l'environnement.

Les options de limitation des transferts doivent permettre via les mesures de remédiation ou des mesures constructives d'autoriser les usages des milieux sans risque excessif ou, si cela s'avère nécessaire, en renseignant les usages des milieux (changement d'usage). La maîtrise des usages doit aussi être envisagée en prenant en compte les meilleures techniques à un coût économiquement acceptable.

7.1 Contraintes associées au site et à la pollution

Les contraintes ou incertitudes connues à ce stade peuvent être catégorisées de la manière suivante :

- **Délimitation des ZPC :**
 - ✓ Sols :
 - La majorité des impacts en HCT et en HAP ont pu être délimités latéralement et en profondeur ; sur certaines zones, il reste toutefois des incertitudes quant à l'extension verticale de la pollution,
 - Un impact en PCB avait ponctuellement été mis en évidence sur la zone 3 en 2018 au droit d'un seul sondage, mais cet impact n'a pas été retrouvé lors du diagnostic complémentaire ; il existe donc une incertitude sur la localisation précise de cet impact ;

- **La configuration du site** : le site n'est plus en activité et le projet d'aménagement prévoit le démantèlement des structures en place. En ce sens, aucune contrainte technique n'est rencontrée dans l'emprise du site.
- **Nature des objectifs de traitement** : l'objectif clairement explicité dans ce plan de gestion est de fournir des solutions de traitement des ZPC pour un usage futur industriel.
- **Les caractéristiques des sols permettant d'exclure certaines techniques** :
Les sols du site sont constitués de remblais limoneux jusqu'à environ 1 m en moyenne puis des sols limoneux à argileux jusqu'à au moins 4 m de profondeur (base de la formation non atteinte).
Les sols de type « sable limono-argileux » présentent une perméabilité faible de 1.10^{-8} cm². Étant donnée la faible perméabilité de ces matériaux, toute technique de traitement physique par pompage des gaz du sol ou d'injection de fluide (traitement chimique ou biologique) peut être difficile à mettre en œuvre.
- **Risques sanitaires et nuisances engendrés par le traitement** : les traitements proposés doivent permettre de garantir une maîtrise des risques sanitaires pour les riverains voisins et de maîtriser toute émission ou nuisance (odeur, bruit...) Le cas échéant, des solutions de réduction des nuisances devront être proposées.

7.2 Contraintes associées aux enjeux sanitaires

Dans certains cas, des techniques sont pertinentes pour la gestion d'une pollution concentrée, mais ne permettent pas d'atteindre les objectifs de la réhabilitation. Des traitements complémentaires (qui peuvent intervenir en second lieu) peuvent permettre de poursuivre la réhabilitation pour atteindre les objectifs. Il convient alors de réaliser à nouveau l'étape de sélection des techniques de dépollution, en tenant compte des nouvelles conditions initiales (terrains déjà partiellement dépollués).

Toutefois, lorsqu'il n'est plus pertinent de rechercher des traitements complémentaires, selon les pollutions résiduelles attendues, il convient de compléter le scénario de gestion par des dispositions constructives et/ou des restrictions d'usage, avant d'évaluer le scénario de gestion dans son ensemble.

L'analyse des enjeux sanitaires a montré l'absence de risque non acceptable au regard de l'usage futur industriel du site (voir Chapitre 7).

Les travaux de réhabilitation à mener au droit du site ne seront donc pas réalisés dans le cadre d'une incompatibilité des milieux avec les usages actuellement réalisés mais d'une gestion de pollution concentrée, conformément à la méthodologie des sites et sols pollués.

7.3 Objectifs des mesures de gestion proposées

Dans le cadre de ce plan de gestion, les mesures proposées auront pour objectifs de traiter les sols afin de supprimer les pollutions concentrées dans les sols.

7.4 Gestion des zones de pollution concentrée

7.4.1 Définition des scénarios de gestion

La réhabilitation des sites est une opération délicate puisque chaque site est spécifique. En effet, chaque site est une combinaison unique :

- De caractéristiques environnementales (géologie, hydrogéologie, topographie, hydrologie),
- De polluants (nature, concentration, quantité, comportements physicochimiques, mélange, répartition spatiale, toxicité...),
- D'usages présents ou futurs (captages, usage sensible, ...).

Par conséquent, il est très difficile d'associer une technologie à un type de pollution. Par ailleurs, pour répondre aux exigences de temps, d'efficacité et d'espace, le scénario de gestion de la pollution concentrée mis en œuvre est souvent une combinaison de différentes techniques.

D'une manière générale, le choix du scénario de gestion dépendra des caractéristiques intrinsèques des techniques (rendement, mise en place) mais aussi des contraintes spécifiques au site (espace disponible, temps de traitement envisageable), du projet d'aménagement, des cibles et des usages présents sur et hors site.

Aussi, conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués en vigueur : *« Quelle que soit la nature des polluants, lorsque les volumes de terres polluées en cause sont limités et accessibles, les terres sont excavées et évacuées vers les filières de gestion appropriées sans engager d'études lourdes et coûteuses qui devraient aboutir finalement à cette option de gestion. Dans ce cas précis, le bilan coût-avantage n'est pas nécessaire et le plan de gestion se limite à décrire les actions engagées ».*

Compte-tenu de la cessation partielle d'activité de TEREOS, le site est démantelé de toute installation. Aussi, les zones de pollutions concentrées dans les sols peu profonds peuvent facilement être excavées.

Cette solution est confortée par le caractère peu perméable des sols impactés au droit du site, permettant de difficilement retenir un traitement par méthode physique (extraction ou injection) ou un traitement nécessitant un contact entre le polluant et le réactif.

De plus, ce traitement permettra de respecter les contraintes de délais liées à la reprise du site par un nouvel industriel.

Les chapitres suivants du présent plan de gestion présenteront donc une solution de traitement unique correspondant à des travaux d'excavation des zones de pollution concentrée. Cette excavation permettra donc de supprimer les ZPC sol.

7.4.2 Principe des travaux d'excavation des ZPC

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.

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.

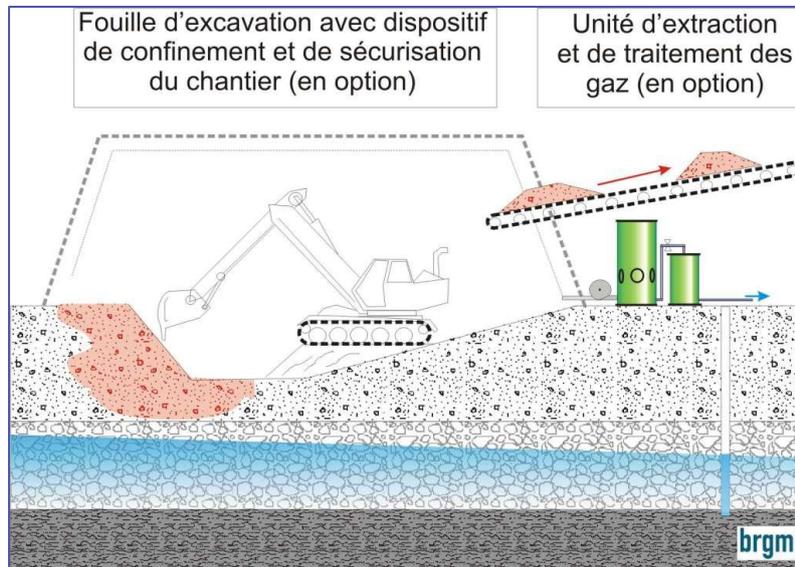


Figure 34 : Schéma d'un traitement par excavation des sols (source : BRGM)

7.4.3 Dimensionnement du traitement

Le traitement ainsi défini pourra être réalisé en fonction des cadences d'avancement des terrassements et des évacuations.

En raison du faible volume de terres à traiter attendu, celles-ci pourront être chargées directement en camion (et non stockées temporairement) selon les contraintes d'accès à la zone. Un chargement par bennes amovibles type « Ampliroll » est également envisageable. Si un stockage tampon devait être nécessaire, il conviendra de le dimensionner afin de limiter les risques de lixiviation vers les sols et d'envol de poussière.

7.4.4 Suivi des performances pendant et après le traitement

Les bords et fond de fouille pourront être vérifiés à l'avancement des excavations à l'aide d'un PID. Des analyses en laboratoire permettront de valider l'arrêt des excavations et caractériser les teneurs résiduelles laissées en place.

Après retrait des terres impactées, un remblaiement sera nécessaire. Les remblais apportés in fine devront être compactés en fonction des objectifs de portance de la zone selon la méthodologie et les objectifs qui seront définis dans l'étude géotechnique.

Un suivi de la qualité des eaux souterraines pourra être réalisé après traitement dans le cadre de la surveillance des milieux post-travaux.

7.4.5 Coût estimatif des opérations de traitement des ZPC

Les coûts estimatifs de traitement des ZPC ont été calculés pour chaque zone identifiée sur la base des données considérées pour la caractérisation des pollutions concentrées. Ces estimations pourront être affinées dans le cadre de la consultation pour la réalisation des travaux de réhabilitation suite à la réalisation d'investigations complémentaires au droit du site.

Pour chaque estimation, une fourchette basse et une fourchette haute ont été calculées selon les retours d'expérience de TAUW France.

La fourchette haute a été calculée en considérant une majoration de 20% de terres impactées au droit de chaque zone.

Les coûts unitaires principaux retenus pour l'estimation des travaux sont les suivants :

- Supervision entreprise travaux : 800 €/j
- Terrassements : 800€/j
- Remblaiement : 15 €/m³
- Evacuation des terres en Biocentre : 65€/tonne
- Evacuation des terres en ISDD (impact en PCB) : 150 €/tonne

Traitement des ZPC		
Phases :	min	max
Préparation du chantier	3 000 €	5 000 €
ZPC 1		
Terrassements :	1 600 €	1 600 €
transport et filière :	30 600 €	36 700 €
remblaiement :	3 000 €	3 600 €
TOTAL ZPC 1 :	35 200 €	41 900 €
ZPC 2		
Terrassements :	800 €	800 €
transport et filière :	3 400 €	4 100 €
remblaiement :	200 €	200 €
TOTAL ZPC 2 :	4 400 €	5 100 €
ZPC 3		
Terrassements :	2 400 €	2 400 €
transport et filière :	31 200 €	37 400 €
remblaiement :	2 700 €	3 200 €
TOTAL ZPC 3 :	36 300 €	43 000 €
ZPC 4		
Terrassements :	3 200 €	3 200 €
transport et filière :	30 600 €	36 700 €
remblaiement :	3 000 €	3 600 €
TOTAL ZPC 4 :	36 800 €	43 500 €
ZPC 5		
Terrassements :	800 €	800 €
transport et filière :	7 700 €	9 200 €
remblaiement :	800 €	900 €
TOTAL ZPC 5 :	9 300 €	10 900 €
ZPC 6		
Terrassements :	1 600 €	1 600 €
transport et filière :	19 900 €	23 900 €
remblaiement :	2 000 €	2 300 €
TOTAL ZPC 6 :	23 500 €	27 800 €
ZPC 7		
Terrassements :	1 600 €	1 600 €
transport et filière :	13 800 €	16 500 €
remblaiement :	1 400 €	1 600 €
TOTAL ZPC 7 :	16 800 €	19 700 €
DOE		
DOE entreprise travaux toutes zones	2 500 €	3 500 €
Estimation travaux TOTAL ZPC	167 800 €	200 400 €
Aléas études et travaux	8 000 €	10 000 €
Estimation finale	176 000 €	210 000 €

Tableau 18 : Estimation des coûts de traitement – ensemble des ZPC

Sur la base des hypothèses prises en considération, les coûts relatifs à la gestion des ZPC dans sa globalité sont estimés entre 176 k€ et 210 k€.

Ces coûts pourront être affinés en phase chantier en affinant la délimitation latérale des zones de pollution concentrées.

7.5 Gestion des pollutions résiduelles

7.5.1 Maîtrise du risque par inhalation de polluants volatils

Afin d'établir un état initial, des calculs de risques sanitaires ont été réalisés sur la base des données actuellement disponibles, préalablement aux opérations de dépollution. L'analyse des enjeux sanitaires est disponible en **Annexe 1**.

Les résultats des calculs de risques sont présentés dans le tableau suivant.

Traceurs	C air modélisée (mg/m3)	QDi (Effet non cancérigène)	ERli (Effet cancérigène)
Hydrocarbures aromatiques volatils			
Benzène	1,3E-04	1,2E-02	1,3E-06
Toluène	9,3E-05	4,6E-06	-
Xylènes	4,4E-05	4,1E-04	-
Composés organiques halogénés volatils (COHV)			
Tétrachloroéthylène (PCE)	7,9E-05	1,8E-04	8,2E-09
Trichloroéthylène (TCE)	2,8E-04	8,1E-05	1,1E-07
Hydrocarbures totaux (HCT)			
Hydrocarbures Aliphatiques C5-C6	1,9E-03	9,9E-05	-
Hydrocarbures Aliphatiques C6-C8	1,1E-02	5,5E-04	-
Hydrocarbures Aliphatiques C8-C10	1,1E-01	1,0E-01	-
Hydrocarbures Aliphatiques C10-C12	5,4E-02	5,0E-02	-
Hydrocarbures Aromatiques C8-C10	5,6E-03	2,6E-02	-
Hydrocarbures Aromatiques C10-C12	6,6E-03	3,1E-02	-
Hydrocarbures Aromatiques C12-C16	8,4E-04	3,9E-03	-
Total		2,3E-01	
Seuil		1	1,00E-05
Substance porteuse de risque		Hydrocarbures Aromatiques C8-C10 : 43,1 %	Benzène : 91,7 %

Pour le scénario industriel, avec l'exposition des travailleurs par inhalation des vapeurs des polluants à l'intérieur :

- Le QD est inférieur au seuil d'acceptabilité des risques de la note ministérielle d'avril 2017 (QD = 1) ;
- L'ERI est inférieur au seuil d'acceptabilité des risques de la note ministérielle d'avril 2017 (ERI = 1×10^{-5}).

Les substances porteuses de risque par inhalation dans l'air intérieur sont :

- Pour le Quotient de Danger, les hydrocarbures aromatiques C8-C10 à 43,1%
- Pour l'Excès de Risque Individuel, le Benzène à 91,7 %.

Cette étude montre des niveaux de risques sanitaires inférieurs aux seuils d'acceptabilité du ministère de l'Environnement pour un usage industriel, au vu des hypothèses prises en compte. L'état de qualité des milieux est compatible avec l'usage envisagé.

Ainsi la qualité des terrains est compatible avec l'usage futur industriel, avant la réalisation de l'ensemble des traitements. Les travaux de réhabilitation à mener au droit du site ne sont donc pas réalisés dans le cadre d'une incompatibilité des milieux avec les usages actuellement réalisés mais d'une gestion de pollution concentrée, conformément à la méthodologie des sites et sols pollués.

7.5.2 Maîtrise du risque par contact direct, ingestion et inhalation de poussières

Les sols impactés considérés comme pollutions concentrées seront excavés dans le cadre du projet.

Au droit des futurs espaces verts, il est considéré que des remblais d'apport seront mis en place en surface sur au moins 30 cm d'épaisseur, ce qui empêchera tout contact direct avec les sols résiduels qui resteront en place.

7.5.3 Maîtrise du risque pour les canalisations d'eau potable

Suite à la gestion des pollutions concentrées, les canalisations seront mises en place dans des remblais sains.

7.5.4 Maitrise du risque pour les captages d'eau industriel

D'après les données disponibles, le site dispose de cinq forages mais n'est alimenté en eau de nappe que par quatre forages F01, F02, F04 et F05, suite à la condamnation du forage F03.

Ceux-ci sont présentés sur la figure ci-dessous.



Figure 35 : Localisation des forages à usage industriel connus au droit du site (Source : Porter à Connaissance TEREOS- IPSB réf 100-EI-01-1-01/A18132 Indice E)

Les caractéristiques des forages sont les suivants :

	F01	F02	F04	F05
CODE BSS	00371X0166/F6	00371X0165/F3	00371X0174/F7	00371X0168/F9
COORDONNEES GEOGRAPHIQUES (LAMBERT II ETENDU)	X : 665 747 m Y : 2 577 964 m Z : 43 m	X : 665 723 m Y : 2 577 949 m Z : 43 m	X : 665 638 m Y : 2 577 887 m Z : 43 m	X : 665 748 m Y : 2 577 833 m Z : 43 m
ANNEE DE CREATION	1964	1964	1964	1964
PROFONDEUR DE L'OUVRAGE	38,7 m	38,7 m	38,7 m	38,9 m
MASSE D'EAU SOLLICITEE	Craie du CAMBRESIS » code AG010			

Figure 36 : Caractéristique des forages au droit du site (Source : Porter à Connaissance TEREOS- IPSB réf 100-EI-01-1-01/A18132 Indice E)

Dans le cadre du futur usage, si les forages en place ne sont plus exploités, ceux-ci doivent être comblés, selon la procédure présentée ci-après.

En cas de réutilisation, un contrôle caméra devra être réalisé afin de vérifier si l'architecture de l'ouvrage permet une exploitation sans risque de contamination. De plus, des analyses de la qualité de l'eau devront être réalisées par l'exploitant afin de s'assurer de la compatibilité de l'eau avec l'usage envisagé.

Lorsque l'arrêt est définitif (abandon) ou si le forage est non-conforme à la réglementation, son propriétaire doit le faire combler par des techniques appropriées, dont l'efficacité n'est pas remise en cause avec le temps et qui permettent de garantir l'absence de circulation d'eau et l'absence de transfert de pollution depuis la surface ou la sub-surface.

Le comblement vise à pérenniser l'étanchéité entre les différents horizons aquifères traversés et régionalement isolés ainsi qu'à prévenir toute pollution de ces aquifères à partir de la surface.

Les modalités de comblement varient avec la géométrie (profondeur, diamètre) et le type de forage. Le comblement des puits devra être réalisé par une entreprise de forage spécialisée.

Suivant les recommandations de la norme NF X 10-999 et l'arrêté du 11 septembre 2003 fixant les prescriptions générales applicables aux puits, la fermeture du puits doit garantir l'absence de circulation d'eau entre les différentes nappes d'eau souterraine contenues dans les formations géologiques aquifères traversées et l'absence de transfert de pollution.

Pour cela, les matériaux suivants seront mis en œuvre :

- Démolition de la cimentation du piézomètre ;
- Dégagement des conduites éventuellement présentes avec extraction de celle-ci ;
- Gravier en vis-à-vis de la zone crépiné ;
- Bouchon de trois mètres d'argile gonflante (sobranite ou matériau similaire) ;
- Comblement du piézomètre au coulis bento-ciment jusqu'en surface avec réfection à l'identique de la surface (enrobé, béton, espace vert).

Une note de fin de travaux décrivant le comblement et démantèlement des ouvrage devra être remise au préfet dans un délai de 2 mois à compter de la fin de la réalisation des travaux.

7.5.5 Maitrise du risque sanitaire en phase travaux

La présence et la manipulation de terres polluées nécessitent la prise en compte de précautions vis-à-vis des travailleurs et des personnes pouvant être en contact (direct ou non) avec les sols pollués pendant la phase de travaux.

Les mesures élémentaires de prévention de la santé des travailleurs sont, a minima :

- Balisage des zones de traitement,
- Respect des règles d'hygiène (interdiction de manger, boire et fumer dans la zone de chantier, nettoyage des mains et retrait des vêtements de travail en fin de journée, ...),
- Rédaction, diffusion et affichage des procédures et consignes diverses,
- Mesures de protections collectives (contrôle des émissions de poussières, bâchage des bennes de transport, balayage des voiries, ...),
- Port d'équipements de protection individuelle (EPI) adaptés (gants, maques filtrants, ...).

Ces prescriptions devront être prises en compte dans le Plan Général de Coordination (PGC) et le Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS).

En cas de découverte d'une contamination lors des travaux (non identifiée dans les études de pollution réalisées sur le site), l'entreprise en charge des travaux doit :

- Avertir le maître d'ouvrage ou le donneur d'ordre,
- Informer le médecin du travail, en vue d'un éventuel suivi médical des salariés,
- Baliser la zone polluée,
- Suspendre les travaux dans l'attente des résultats du diagnostic complémentaire.

7.6 Contrôle de l'application des mesures de gestion

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. Le tableau ci-après reprend les différentes mesures de contrôle à réaliser pour chaque phase.

Tableau 19 : Mesures de contrôle définies au stade travaux

Points clefs à maîtriser	Mesures de gestion et de contrôle en phase travaux
Gestion des pollutions concentrées dans les sols	<p>Le traitement des zones de pollution concentrée dans les sols permettra d'induire une amélioration de la qualité des eaux souterraines au droit du site.</p> <p>Le contrôle des concentrations résiduelles des milieux après traitement sera réalisé via le prélèvement d'échantillons de sols, d'eaux souterraines et/ou de gaz du sol.</p>

Points clefs à maîtriser	Mesures de gestion et de contrôle en phase travaux
Gestion des anomalies en métaux et HAP au droit des futurs espaces verts	Au droit des futurs espaces verts, le traitement des terres résiduelles éventuelles consiste au recouvrement des sols sur au moins 30 cm d'épaisseur par du remblais sain d'apport. Un contrôle de la qualité du remblais mis en place sera réalisé.
Risque pour l'inhalation de polluants volatils	Le traitement de la zone de pollution concentrée entrainera une amélioration de la qualité des gaz de sol et donc une amélioration de l'air ambiant (diminution des transferts) L'entreprise en charge des travaux devra mettre en œuvre les moyens nécessaires pour limiter l'exposition des travailleurs aux composés volatils présents dans les milieux.
Risque pour la perméation de polluants dans les canalisations	Les réseaux d'eau potable devront être posés dans du remblais d'apport sain.
Risque de contamination de la nappe de la Craie du Cambrésien	En cas de non-réutilisation des forages en place au droit du site, ceux-ci devront être comblés dans les règles de l'art afin d'empêcher toute éventuelle contamination de la nappe, conformément à la norme NF X 10-999 et à l'arrêté du 11 septembre 2003.
Risque sanitaire en phase travaux	La vérification de la mise en œuvre des mesures élémentaires de prévention pour les travailleurs (balisage, règles d'hygiène, protections collectives et individuelles, ...) La validation des PGC / PPSPS en termes de mesures d'Hygiène Sécurité mises en œuvre L'alerte du maître d'ouvrage en cas de découverte d'une contamination des sols non identifiée

Les mesures mises en œuvre au cours des travaux seront présentées dans un dossier de récolement des travaux.

7.7 Conservation de la mémoire des mesures de gestion proposées

Le maintien d'anomalies résiduelles sur le site nécessite de mettre en place des mesures de conservation de la mémoire :

- Nécessité d'actualiser les mesures de gestion en cas d'évolution du projet (modification de l'usage, ...),
- Nécessité de garantir le recouvrement des remblais laissés en place,
- Dispositions à respecter en cas d'excavation sur le site,
- Restriction de l'usage des sols au droit des futurs éventuels espaces verts, à savoir :
 - La mise en place d'au moins 30 cm de terre saine au niveau des futures zones non recouvertes.
 - La pose d'un géotextile ou d'un grillage avertisseur à l'interface des sols historiques et de la terre végétale saine ;

Référence R001-1621760-002MSA-V01

- L'interdiction de creuser au-delà du géotextile ou grillage avertisseur sans mesures de gestion adaptées ;

La qualité des sols ainsi que les mesures mises en œuvre devront être gardées en mémoire et annexées aux actes notariés et aux documents d'urbanisme.

8 Schéma conceptuel intégrant les mesures de gestion

Suite à la mise en œuvre des mesures de gestion précédemment décrites, le schéma conceptuel du site évolue comme suit.

8.1 Usage du site

L'usage futur du site pris en compte est un usage résidentiel.

8.2 Cibles

Dans le cadre de l'usage futur du site, les cibles à considérer sur le site sont les futurs résidents des habitations ; population composée d'adultes et d'enfants.

Hors site, compte-tenu du contexte résidentiel, les usagers à proximité considérés sont les résidents, à l'exception de la partie Sud du site ou des hangars sont présents. Les cibles sont donc les travailleurs, population composée d'adultes.

8.3 Pollutions résiduelles après traitement

A la suite des travaux de réhabilitation :

- Les zones de pollution concentrées seront traitées ; les teneurs résiduelles seront faibles et non significatives d'un impact ;
- Les impacts dans les eaux souterraines auront été en partie traités lors des excavations des zones de pollution concentrées ;
- Le réseau de distribution d'eau potable aura été réalisé avec des matériaux non soumis au risque de perméation.

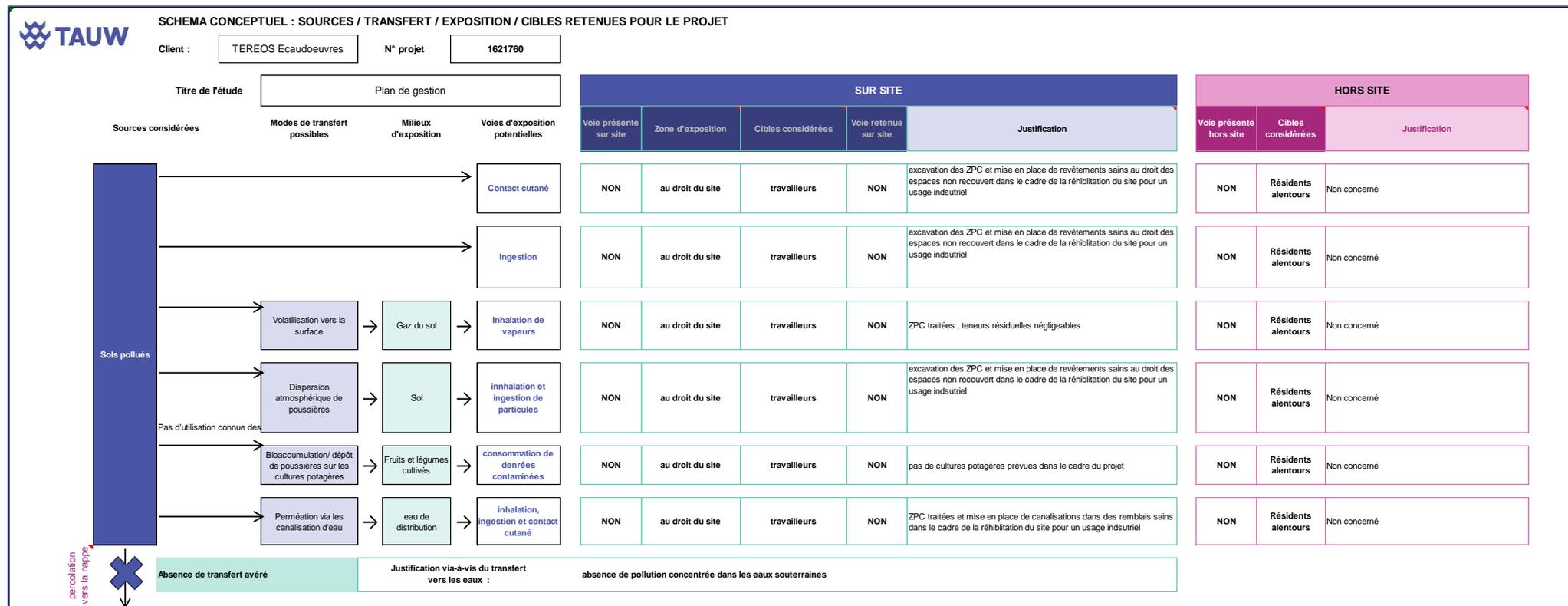
Le contrôle des concentrations résiduelles devra être assuré par la réalisation d'analyses de contrôle dans les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol.

8.4 Vecteurs de transfert et voies d'exposition

Les vecteurs de transfert et voies d'exposition pris en compte après la réalisation des travaux de réhabilitation sont identifiés dans le Tableau 20.

Nota Bene : d'après les informations à notre disposition, quelques forages présents au droit du site pourraient être utilisés pour le futur usage industriel. La qualité des eaux souterraines de la nappe de la craie du Cambrésis captée en profondeur par ces ouvrages n'est pas connue à ce jour. Compte-tenu de l'absence de pollution concentrée dans les eaux de la nappe alluviale, le transfert de polluants potentiels depuis la première nappe vers la nappe de la Craie n'est pas retenu dans la suite de l'étude.

Tableau 20 : Vecteurs de transfert et voies d'exposition retenus après mesures de gestion



Un risque n'existe qu'en présence d'une source, d'une cible et d'une voie d'exposition.

En l'absence de voies d'exposition pertinentes retenues au droit du site, il n'existe pas de risques pour les futurs usagers suite à la mise en œuvre des mesures de gestion.

9 Synthèse technique

9.1 Conclusion

Dans le cadre de la cessation partielle d'activité de son site à Escaudœuvres, la société TEREOS a sollicité TAUW France pour l'accompagner en qualité de maître d'œuvre pour des travaux de désamiantage, de déconstruction, et de retrait de sources concentrées de pollution de l'ensemble du site.

Le site a fait l'objet de plusieurs études environnementales depuis les années 2000. Dans le cadre de la cessation d'activité, deux études environnementales ont été réalisées par le bureau d'études GINGER BURGEAP en septembre 2023 et novembre/décembre 2023 et pour le compte de la société TEREOS. Ces études ont mis en évidence :

Dans les sols :

- Un bruit de fond en métaux, notamment en cuivre, chrome, mercure et zinc ;
- Des impacts en HCT C10-C40 et/ou HAP au droit de différentes zones principalement concentrés dans les remblais jusque 1 m ;
- La présence de teneurs importantes en sodium notamment à proximité de la cuve de bisulfite de soude et en ammonium, azote NTK et nitrates au droit de la zone de stockage divers dans la partie sud du site

Dans les eaux souterraines : un dépassement de la valeur de référence en eau potable en Benzo(a)pyrène exclusivement observé au droit du piézomètre PZ3 localisé en amont des activités du site.

Dans les gaz des sols : à l'échelle du site, des anomalies de concentrations en TPH, BTEX et COHV.

TAUW France a recommandé la réalisation d'un plan de gestion permettant de définir les pollutions concentrées et les mesures de gestion à mettre en œuvre afin de réhabiliter les zones reconnues comme étant impactées. Ce plan de gestion a pour objectif de statuer sur les mesures de gestion à mettre en œuvre au droit du site afin de gérer ces impacts, limiter son extension sur l'environnement en vue d'assurer la comptabilité du projet futur avec l'état des différents milieux.

Caractérisation des pollutions concentrées

« Une pollution concentrée correspond à un volume fini de milieu souterrain au sein duquel les concentrations en une ou plusieurs substances sont significativement supérieures aux concentrations de ces mêmes substances à proximité immédiate de ce volume même en l'absence d'émission dans l'environnement ».

La caractérisation des pollutions concentrées dans les sols au droit du site a mis en évidence sept Zones de Pollutions Concentrées (ZPC) au droit du site. Ces dernières ont été déterminées sur la base des conclusions obtenues lors de la combinaison de l'approche statistique, de l'analyse cartographique et du bilan de masse, telles que :

- ZPC Zone 1 (200 m³) : HCT
- ZPC Zone 2 (10 m³) : PCB
- ZPC Zone 3 (204 m³) : HAP et HCT
- ZPC Zone 4 (200 m³) : HAP et HCT
- ZPC Zone 5 (50 m³) : HCT
- ZPC Zone 6 (130 m³) : HCT
- ZPC Zone 7 (90 m³) : HAP et HCT

Les études réalisées ne montrent pas de pollution concentrée dans les eaux souterraines. Les anomalies détectées dans les sols au droit du site n'impactent donc pas la qualité des eaux souterraines.

A ce stade, aucun traitement de la nappe n'est préconisé. Une surveillance de la qualité des eaux souterraines pourra être réalisée dans le cadre du suivi post-travaux de dépollution.

Gestion de la zone de pollution concentrée (ZPC)

Conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués en vigueur :
« *Quelque soit la nature des polluants, lorsque les volumes de terres polluées en cause sont limités et accessibles, les terres sont excavées et évacuées vers les filières de gestion appropriées sans engager d'études lourdes et coûteuses qui devraient aboutir finalement à cette option de gestion. Dans ce cas précis, le bilan coût-avantage n'est pas nécessaire et le plan de gestion se limite à décrire les actions engagées* ».

Compte-tenu de la cessation partielle d'activité du site TEREOS, le site sera démantelé et vierge de toute installation. Les zones de pollutions concentrées dans les sols peu profonds pourront ainsi être facilement excavées. Cette solution est confortée par le caractère peu perméable des sols impactés au droit du site, permettant de difficilement retenir un traitement par méthode physique (extraction ou injection) ou un traitement nécessitant un contact entre le polluant et le réactif.

Sur la base des hypothèses prises en considération, les coûts relatifs à la gestion des ZPC dans sa globalité sont estimés entre 176 k€ et 210 k€.

A noter que la nappe ne sera pas traitée en tant que telle par cette technique au niveau de PZ3 présentant un impact. Toutefois, les excavations permettront de supprimer l'ensemble des formations impactées et donc la nappe associée.

Maîtrise des risques relatifs aux impacts résiduels présents dans les milieux

L'analyse des risques résiduels prédictive montre des niveaux de risques sanitaires inférieurs aux seuils d'acceptabilité du ministère de l'Environnement pour un usage industriel, au vu des hypothèses prises en compte. L'état de qualité des milieux est compatible avec l'usage envisagé.

Ainsi la qualité des terrains est compatible avec l'usage futur industriel, avant la réalisation de l'ensemble des traitements. Les travaux de réhabilitation à mener au droit du site ne sont donc pas réalisés dans le cadre d'une incompatibilité des milieux avec les usages actuellement réalisés mais d'une gestion de pollution concentrée, conformément à la méthodologie des sites et sols pollués.

Mesures de gestion et de contrôle

En phase travaux, les mesures de gestion et de contrôle suivantes devront être mises en œuvre :

- La gestion de la pollution concentrée dans les sols par l'excavation des ZPC identifiées dans les sols sur la base des seuils de coupure calculés ;
- La gestion des teneurs résiduelles dans les sols par des éventuelles mesures de restriction d'usage ;
- L'utilisation de matériaux non concernés par le risque de perméation pour la réalisation du réseau d'eau potable du site ;
- La maîtrise du risque sanitaire en phase travaux (mesures élémentaires de prévention pour les travailleurs, validation des plans de prévention, alerte du maître d'ouvrage en cas de découverte d'une contamination des sols non identifiée) ;

9.2 Recommandations

Au regard des résultats obtenus et afin de confirmer le coût relatif à la gestion de la zone de pollution concentrée (ZPC), TAUW France a établi les recommandations suivantes :

- Le comblement des forages à usage industriel qui ne sont plus utilisés dans le cadre de l'usage futur envisagé, dans les règles de l'art afin de prévenir toute pollution de ces aquifères à partir de la surface ;
- Si un ou plusieurs forages sont conservés : la réalisation de prélèvement(s) afin de contrôler la qualité des eaux souterraines de la nappe de la craie du Cambrésis et vérifier le potentiel d'utilisation dans le cadre d'un usage industriel.

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

Les mesures mises en œuvre devront être validées via une ATTES TRAVAUX et l'ensemble des études réalisées au droit du site devront être conservés en mémoire.

10 Limites de validité de l'étude

TAUW France a établi ce rapport au vu des informations fournies par le client/maître d'ouvrage et au vu des connaissances techniques acquises au jour de l'établissement du rapport.

De plus, TAUW France ne saurait être tenu responsable des mauvaises interprétations de son rapport et/ou du non-respect des préconisations qui auraient pu être rédigées.



Référence R001-1621760-002MSA-V01

Annexe 1 Analyse des enjeux sanitaires



TEREOS

Sucrerie TEREOS – 9 rue d’Erre à Escaudœuvres (59)

Analyse des Enjeux Sanitaires (A320)

Annexe au rapport TAUW France réf. R001-1621760-002MSA-V01

P001-1621760-002MSA-V01

19 mars 2024

Référence P001-1621760-002MSA-V01

Fiche contrôle qualité

Intitulé de l'étude ARR prédictive
Client TEREOS

Site Sucrerie TEREOS - 9 Rue d'Erre à Escaudœuvres (59)
Interlocuteur Vincent BATTEUX
Adresse du site 99, rue d'Erre 59161 ESCAUDOEUVRES
Email Vincent.batteux@tereos.com
Téléphone -

Référence du document P001-1621760-002MSA-V01
Date 19/03/2024

Superviseur Julien Caboche, Responsable d'affaires

Responsable étude Carole-Anne Fouque, ingénieure d'études

Rédacteur(s) Maurine Sauvage, Ingénieure d'études




Coordonnées

TAUW France - Agence de Douai
Ecopark
91, impasse Simone de Beauvoir
59450 Sin Le Noble
T +33 32 70 88 181
E info@tauw.fr

Siège social - Agence de Dijon
Parc tertiaire de Mirande
14 D Rue Pierre de Coubertin 21000 Dijon
T: +33 38 06 80 133

TAUW France est membre de TAUW Group bv - Représentante légale: Mme Perrine MARCHANT

www.tauw.com

Gestion des révisions

Version	Date	Statut	Pages	Annexes
01	19/03/2024	Création du document	17	3

Référencement du modèle : /



URS is a member of Registrar of Standards (Holdings) Ltd.



Table des matières

1	Objectifs.....	1
2	Présentation du projet d'aménagement.....	1
3	Investigations réalisées sur les gaz du sol	2
4	Caractérisation de l'exposition résiduelle	3
4.1	Voies d'exposition résiduelles retenues	3
4.2	Caractérisation du budget Espace – temps des cibles	3
5	Identification des dangers et relation doses - réponses des substances retenues	5
5.1	Choix des traceurs	5
5.2	Concentrations résiduelles retenues	5
5.3	Synthèse toxicologique des traceurs retenus	6
5.3.1	Sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence.....	7
5.3.2	Cas des hydrocarbures totaux	7
5.3.3	Synthèse des VTR	8
6	Evaluation des concentrations résiduelles dans les milieux d'exposition.....	11
6.1	Paramètres de modélisation liés aux aménagements	11
6.2	Paramètres liés à la nature des sols	12
6.3	Concentrations résiduelles modélisées dans l'air intérieur au droit du futur bâtiment	13
7	Caractérisation du risque sanitaire	15
7.1	Résultats des calculs de risque au droit du bâtiment en place	15
7.2	Incertitudes et discussion des résultats	16

Table des annexes

Annexe 1	Méthodologie des calculs de risque
Annexe 2	Détails des calculs de risques
Annexe 3	Etude de sensibilité et incertitudes

1 Objectifs

L'objectif de cette étude est de quantifier les risques sanitaires en fonction de la qualité des milieux (gaz du sol) et de l'usage du site (maîtrise du risque par inhalation de polluants volatils).

La suite de l'étude ne s'intéressera qu'aux effets chroniques, c'est-à-dire aux effets sur le long terme des pollutions étudiées.

Les limites et les diverses sources d'incertitudes associées à l'évaluation des risques ainsi que leurs conséquences seront présentées et discutées.

Les paragraphes suivants sont établis sur la base des résultats obtenus depuis les prélèvements des gaz du sol réalisés par le bureau d'étude GINGER BURGEAP en mars 2023.

Le scénario étudié est le suivant : **exposition des futurs travailleurs.**

Les voies d'exposition étudiées sont : **l'inhalation de composés volatils.**

Ce calcul de risque permet de prendre en compte le cumul des risques. Les valeurs de gestion existantes doivent être néanmoins respectées individuellement *a minima*.

Si l'une des données utilisées pour la caractérisation des risques sanitaires est modifiée (caractérisation complémentaire des sols et gaz du sol ; modification de l'usage) ; les conclusions de l'étude pourraient ne plus être applicables : une mise à jour de l'étude serait alors nécessaire.

La méthodologie appliquée dans les paragraphes ci-dessous est présentée en Annexe 1.

2 Présentation du projet d'aménagement

A la suite du démantèlement des anciennes infrastructures de la société TEREOS, le site sera réhabilité pour un usage industriel.

A la date de réalisation de cette étude, aucun plan d'aménagement de la future installation n'a été transmis.

Les zones de pollution concentrées identifiées dans les sols seront traitées conformément au plan de gestion réalisé par TAUW France.

3 Investigations réalisées sur les gaz du sol

Des investigations ont été menées par GINGER BURGEAP entre le 27/11/2023 et le 11/12/2023. Le détail des investigations menées et la présentation des résultats sont disponibles dans le rapport GONGER BURGEAP référencé 1072193-01 / NO3700264 / CV_NO0001434.

5 piézaires de 1,5 m de profondeur ont été mis en place par GINGER CEBTP (pôle sondage) du 27 au 30/11/2023. Les prélèvements de gaz du sol ont été réalisés le 11/12/2023 par un intervenant de GINGER BURGEAP, par pompage à un débit de l'ordre de 0,2 L/min pendant 3 h.

La localisation des piézaires est reprise sur la figure suivante.

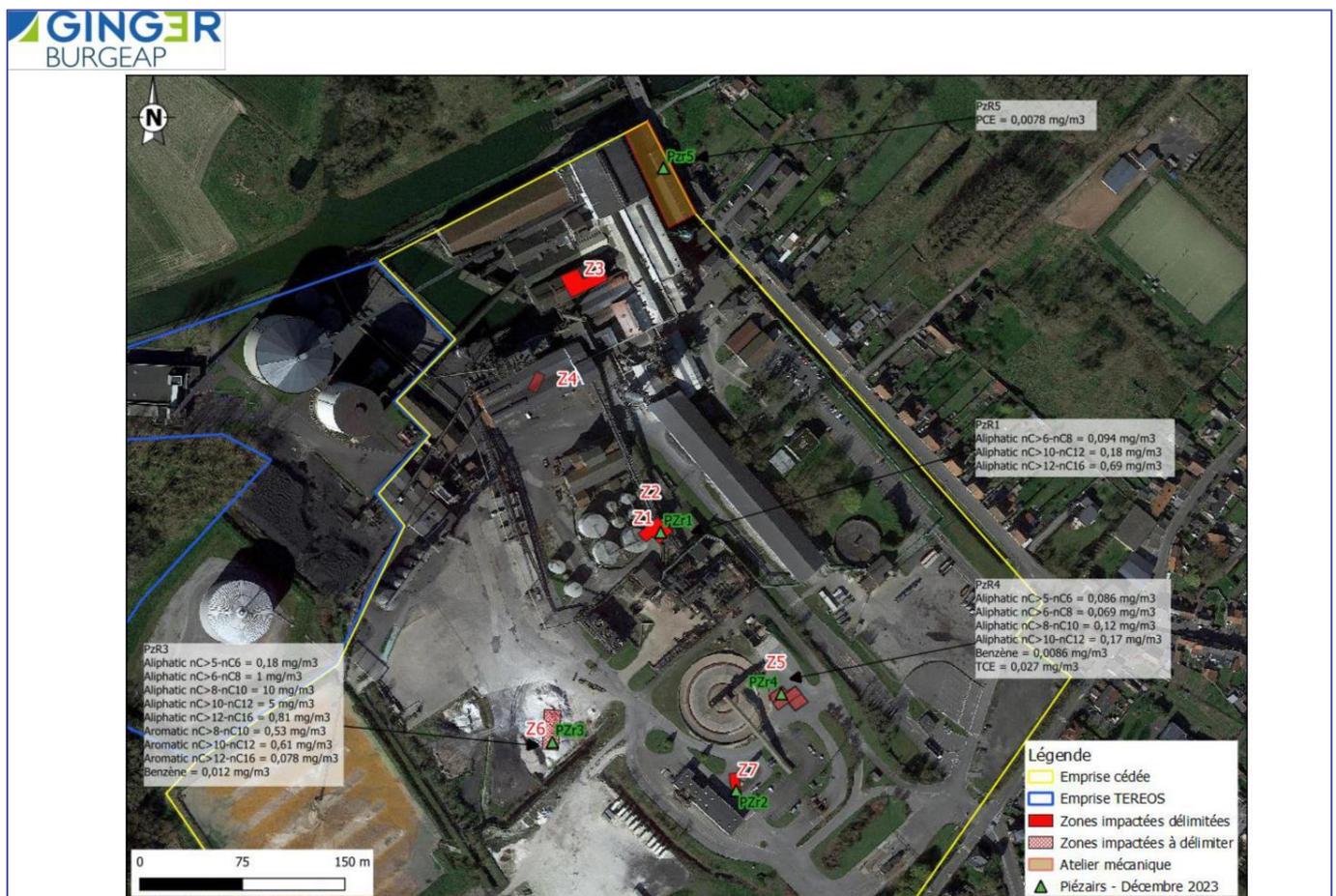


Figure 1 : Localisation des piézaires sur vue aérienne

4 Caractérisation de l'exposition résiduelle

4.1 Voies d'exposition résiduelles retenues

Au vu du schéma conceptuel établi à l'issue des diagnostics, l'exposition des employés se fera par l'inhalation de composés volatils après transfert des sols vers l'air ambiant.

La voie d'exposition étudiée est l'inhalation de composés volatils en air ambiant.

La voie d'exposition par inhalation de composés volatils en extérieur n'est pas retenue en première approche car il s'agit d'une voie d'exposition non prépondérante.

Les voies d'exposition par contact direct, d'ingestion de sol et d'inhalation de poussières ne sont pas retenues car il est considéré que le site présentera une couverture de surface (dalle béton, enrobé, terres végétales sur l'ensemble du site).

La voie d'exposition par ingestion de végétaux autoproduits n'est pas retenue car cet usage n'est pas prévu sur le site.

D'après les informations à notre disposition, aucun puits captant la nappe alluviale n'est présent au droit du site. Cette voie d'exposition par contact direct n'est donc pas retenue.

Par ailleurs, les données disponibles sur la nappe alluviale peu profonde montrent que les anomalies identifiées sur les sols au droit du site n'impactent pas la première nappe.

Nota Bene : D'après les informations à notre disposition, quelques forages présents au droit du site pourraient être utilisés pour le futur usage industriel. La qualité des eaux souterraines de la nappe de la craie du Cambrésis captée en profondeur par ces ouvrages n'est pas connue à ce jour.

En l'absence de données, le transfert de polluants potentiels depuis les eaux souterraines pour un usage industriel n'est pas pris en compte dans la suite de cette étude.

4.2 Caractérisation du budget Espace – temps des cibles

Les cibles principales exposées seront les employés exposés dans les locaux.

Les clients ou visiteurs sont présents ponctuellement, avec des durées moins importantes que les employés. De ce fait, leur exposition n'est pas considérée comme chronique. Ainsi, dans la suite de l'étude, il a été choisi de prendre en compte une évaluation des risques pour les employés uniquement.

Du fait de la durée d'exposition en extérieur limitée pour les employés, seule l'exposition dans l'air intérieur du bâtiment est considérée dans la suite de l'étude.

Le tableau suivant synthétise une estimation des temps de présence des **cibles employés adultes**.

Tableau 1 : Hypothèses d'exposition retenues pour les employés

Paramètres	Unité	Valeur employés	Source d'information
Durée d'exposition journalière en intérieur en RdC	Heures	8	<u>Employés</u> Durée légale du temps de travail Tableau 3 p59 Guide INERIS DRC-12-125929-13162B - 1ère édition - Aout 2013 - Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires
Nombre de jour théorique d'exposition annuelle	Jours	235	- Durée légale annuelle de travail : 228 jours/an ou 1 607 heures/an pour le travail de 5j/semaine et 35h/semaine et 1 787 heures pour le travail de 5j/semaine et 39h/semaine (Article L3121-41 du Code de travail) - Durée maximale annuelle légale de travail :: 235 j/an (Article L3121-66 du Code de travail)
Durée d'exposition théorique	Années	43	- Durée légale du travail
Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition pour les substances à seuil	Années	43	
Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition pour les substances sans seuil	Années	70	- Conventionnellement 70 ans (en cohérence avec le mode de construction des ERU) dans le guide INERIS DRC-12-125929-13162B - 1ère édition - Aout 2013 - Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires - 82 ans : durée de vie moyenne en France en 2018 : 85,3 ans pour les femmes et 79,4 ans pour les hommes (INSEE, 2019) - Valeur par défaut du logiciel Csoil

5 Identification des dangers et relation doses - réponses des substances retenues

5.1 Choix des traceurs

Une substance qualifiée de « traceur de risque » est une substance dont les effets sanitaires sur le long terme sont connus.

Dans le cadre de cette étude, les substances mesurées dans les gaz du sol avec des teneurs résiduelles supérieures à la limite de quantification du laboratoire et disposant de VTR ont été retenues comme traceurs de risque.

A noter que le milieu gaz du sol est un milieu intégrateur de pollution car il conjugue les dégazages issus des eaux souterraines et du sol.

Les substances non détectées dans les gaz du sol ne sont pas retenues dans la suite de cette étude dans la mesure où les limites de quantification ont été déterminées pour être inférieures à des concentrations pouvant engendrer un risque inacceptable.

5.2 Concentrations résiduelles retenues

Les composés retenus pour la voie d'exposition par inhalation sont les substances volatiles détectées dans les gaz du sol et qui disposent de valeurs toxicologiques de référence et/ou des valeurs de gestion réglementaires. Ces substances sont :

- Hydrocarbures aliphatiques C5-C16,
- Hydrocarbures aromatiques C5-C16,
- Solvants aromatiques : Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes,
- Solvants chlorés (COHV) :
Tétrachloroéthylène (PCE), Trichloroéthylène (TCE), Tétrachlorométhane, Trichlorométhane (chloroforme), 1,1,1-Trichloroéthane, 1,2-Dichloroéthane

La sensibilité des résultats des calculs de risques en fonction de ces paramètres sont présentés dans le chapitre incertitude.

Remarque 1 :

Les teneurs en hydrocarbures aromatiques C5-C6 et C6-C7 qui correspondent respectivement au benzène et au toluène disposant de leurs propres VTR, n'ont pas été retenues pour ne pas considérer deux fois la même substance et ne pas surestimer les risques sanitaires évalués.

Remarque 2 :

Les hydrocarbures aromatiques C8-C10 comprennent les xylènes et l'éthylbenzène. Ces composés disposent de valeurs toxicologiques de référence spécifiques. Pour ces composés, les teneurs analysées spécifiquement sont donc retenues. La concentration retenue pour les hydrocarbures aromatiques >C8-C10 correspond à la différence entre la concentration analysée pour cette fraction et la somme des concentrations analysées en xylènes et en éthylbenzène.

Référence P001-1621760-002MSA-V01

Les concentrations retenues sont présentées dans le

Tableau 2 suivant.

Tableau 2 : Teneurs retenues pour les calculs de risques

Hydrocarbures par TPH	Concentration maximale relevée (en mg/m ³)	Ouvrage	Retenue pour l'ARR prédictive
Aliphatique nC>5-nC6	0,18	PzR3	0,18
Aliphatique nC>6-nC8	1	PzR3	1
Aliphatique nC>8-nC10	10	PzR3	10
Aliphatique nC>10-nC12 (3)	5	PzR3	5
Aliphatique nC>12-nC16	0,81	PzR3	0,81
Aromatique nC>6-nC7 (benzène)	0,012	PzR3	-
Aromatique nC>7-nC8 (toluène)	0,0089	PzR4	-
Aromatique nC>8-nC10	0,53	PzR3	0,5258
Aromatique nC>10-nC12	0,61	PzR3	0,61
Aromatique nC>12-nC16	0,078	PzR3	0,078
Somme des TPH	18,2258	PzR3	-
BTEX			
Benzène	0,012	PzR3	0,012
Toluène	0,0089	PzR4	0,0089
Ethylbenzène	<LQ	-	-
m+p - Xylène	0,0042	PzR4	0,0042
o - Xylene	<LQ	-	-
Autres HAM			
Naphtalène	<LQ	-	-
COHV			
Tétrachloroéthylène (PCE)	0,0078	PzR5	0,0078
Trichloroéthylène (TCE)	0,027	PzR4	0,027
Cis-1,2-dichloroéthylène	<LQ	-	-
Trans-1,2-dichloroéthylène	<LQ	-	-
1,1-dichloroéthylène	<LQ	-	-
Chlorure de Vinyle	<LQ	-	-
1,1,2-trichloroéthane	<LQ	-	-
1,1,1-trichloroéthane	<LQ	-	-
1,2-dichloroéthane	<LQ	-	-
1,1-dichloroéthane	<LQ	-	-
Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone)	<LQ	-	-
Trichlorométhane (chloroforme)	<LQ	-	-
Dichlorométhane	<LQ	-	-

5.3 Synthèse toxicologique des traceurs retenus

Définition et généralité sur les Valeurs Toxicologiques de Référence

L'évaluation du risque toxicologique fait appel à des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) provenant d'organismes gouvernementaux nationaux et internationaux reconnus.

Référence P001-1621760-002MSA-V01

La Valeur Toxicologique de Référence (VTR) d'une substance correspond à la relation existante entre la dose d'exposition et l'apparition probable d'un effet sanitaire lié à une exposition répétée.

Les VTR sont établies grâce à :

- La détermination d'un effet critique ;
- La détermination d'une dose critique ;
- La détermination d'une dose critique pour l'homme par des ajustements ;
- L'application de facteurs d'incertitude.

Les VTR sont spécifiques d'un effet :

- À seuil (de dose) : effet nocif pour la santé qui ne se manifeste qu'au-delà d'une certaine dose ou concentration d'exposition ;
- Sans seuil (de dose) : effet nocif qui se manifeste quelle que soit la dose ou la concentration, si elle est non nulle. Les effets cancérogènes appartiennent à cette catégorie.

5.3.1 Sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence

Le choix des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) a été motivé par la note d'information n° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et à la gestion des sites et sols pollués.

Ce document recommande de sélectionner les VTR en respectant la méthodologie suivante :

- Sélection des valeurs établies par l'ANSES ;
- À défaut, sélection des valeurs retenues par l'expertise nationale ;
- À défaut, valeur la plus récente disponible sur les bases de données de l'US EPA, l'ATSDR, et l'OMS/IPCS ;
- À défaut, valeur la plus récente disponible sur les bases de données de Santé Canada, du RIVM, l'OEHHA et EFSA.

Nous n'avons pas fait de distinction de VTR pour les reprotoxiques ou mutagènes.

5.3.2 Cas des hydrocarbures totaux

Concernant les hydrocarbures totaux (HCT), les organismes présentés ci-dessus ne proposent pas de valeurs toxicologiques de références par substance.

Etant donnée la complexité de la composition des HCT, plusieurs organismes dont le TPHCWG (TPH Criteria Working Group) ont préféré une approche par fraction basée sur la toxicologie et/ou sur leur comportement environnemental (mobilité, volatilité...) à une approche globale des HCT. Cette approche est reprise par le RIVM.

Dans la suite de l'étude, l'approche du TPHCWG qui définit 13 fractions (6 fractions aliphatiques et 7 fractions aromatiques) selon le concept d'Equivalent Carbone (EC) sera retenue. Les fractions analysées seront assimilées aux fractions TPH définies par le TPHCWG. Les valeurs toxicologiques indiquées par cet organisme seront donc retenues.

Référence P001-1621760-002MSA-V01

5.3.3 Synthèse des VTR

Les tableaux suivants présentent les VTR des substances retenues selon les différentes voies d'exposition. Seules les substances disposant de VTR sont présentées dans les tableaux ci-dessous. Ces valeurs ont été sélectionnées après consultation du site de l'ANSES.

Tableau 3 : VTR retenues pour la voie inhalation – effet à seuil

Effets à seuil						
Substances	N° CAS	VTR retenue mg/m ³	Facteur d'incertitude	Source	Organe cible	Commentaire
Hydrocarbures aromatiques volatils						
Benzène	71-43-2	1,0E-02	10	ATSDR, 2007	Système immunitaire	Sélection ANSES - 2012
Toluène	108-88-3	1,9E+01	5	ANSES, 2017	Système nerveux	Valeur ANSES
Xylènes	1330-20-7	1,0E-01	300	US EPA, 2003	Système nerveux	Sélection ANSES - 2020
Composés organiques halogénés volatils (COHV)						
Tétrachloroéthylène (PCE)	127-18-4	4,0E-01	30	ANSES, 2018	Système nerveux	Valeur ANSES
Trichloroéthylène (TCE)	79-01-6	3,2E+00	75	ANSES, 2018	Système rénal	Valeur ANSES
Hydrocarbures totaux (HCT)						
Hydrocarbures Aliphatiques C5-C6	ND	1,8E+01	100	TPHCWG, 1997	Système nerveux	TPHCWG, Seule valeur disponible
Hydrocarbures Aliphatiques C6-C8	ND	1,8E+01	100	TPHCWG, 1997	Système nerveux	Seule valeur disponible, reprises par le RIVM
Hydrocarbures Aliphatiques C8-C10	ND	1,0E+00	1000	TPHCWG, 1997	Systèmes hépatique et sanguin	Seule valeur disponible, reprises par le RIVM
Hydrocarbures Aliphatiques C10-C12	ND	1,0E+00	1000	TPHCWG, 1997	Systèmes hépatique et sanguin	Seule valeur disponible, reprises par le RIVM
Hydrocarbures Aliphatiques C12-C16	ND	1,0E+00	1000	TPHCWG, 1997	Systèmes hépatique et sanguin	Seule valeur disponible, reprises par le RIVM
Hydrocarbures Aromatiques C8-C10	ND	2,0E-01	1000	TPHCWG, 1997	Décroissance du poids	Seule valeur disponible, reprises par le RIVM
Hydrocarbures Aromatiques C10-C12	ND	2,0E-01	1000	TPHCWG, 1997	Décroissance du poids	Seule valeur disponible, reprises par le RIVM
Hydrocarbures Aromatiques C12-C16	ND	2,0E-01	1000	TPHCWG, 1997	Décroissance du poids	Seule valeur disponible, reprises par le RIVM

Tableau 4 : VTR retenues pour la voie inhalation – effet sans seuil

Effets sans seuil					
Substances	N° CAS	VTR retenue ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) -1	Source	Organe cible	Commentaire
Hydrocarbures aromatiques volatils					
Benzène	71-43-2	2,60E-05	ANSES, 2014	Système immunitaire	Valeur ANSES
Toluène	108-88-3	ND			
Xylènes	1330-20-7	ND			
Composés organiques halogénés volatils (COHV)					
Tétrachloroéthylène (PCE)	127-18-4	2,60E-07	US EPA, 2012, sélection ANSES, 2018	Système hépatique	Sélection ANSES - 2018
Trichloroéthylène (TCE)	79-01-6	1,00E-06	ANSES, 2018	Système rénal	Valeur ANSES
Hydrocarbures totaux (HCT)					
Hydrocarbures Aliphatiques C5-C6	ND	ND			
Hydrocarbures Aliphatiques C6-C8	ND	ND			
Hydrocarbures Aliphatiques C8-C10	ND	ND			
Hydrocarbures Aliphatiques C10-C12	ND	ND			
Hydrocarbures Aliphatiques C12-C16	ND	ND			
Hydrocarbures Aromatiques C8-C10	ND	ND			
Hydrocarbures Aromatiques C10-C12	ND	ND			
Hydrocarbures Aromatiques C12-C16	ND	ND			

6 Evaluation des concentrations résiduelles dans les milieux d'exposition

Il s'agit de modéliser le transfert des composés volatils depuis les gaz du sol vers l'air intérieur du futur bâtiment.

6.1 Paramètres de modélisation liés aux aménagements

Les paramètres de modélisation sont présentés dans le tableau suivant.

En l'absence de plan d'aménagement du futur bâtiment, il est considéré la réalisation d'un bâtiment à usage industriel de type entrepôt de plain-pied sans sous-sol.

Un scénario d'exposition majorant a été envisagé tel que :

- Un employé exposé dans un bureau individuel de 10 m² environ (surface retenue pour un bureau individuel d'après la norme Afnor NF X 35-102)

L'impact du choix de ces paramètres sur les risques sanitaires sera étudié dans la partie consacrée aux incertitudes.

Tableau 5 : Paramètres des aménagements retenus pour modélisation

Paramètre	Bureau individuel	Unité	Source d'information
BATIMENT			
Présence d'un niveau inférieur	Non	-	Données du site Selon le projet
Taux de ventilation	0,45		Bureau : Moyenne pour tout type de locaux résidentiels (Guide EPA : Exposure Factors Handbook - Octobre 2011).
Hauteur de la pièce	2,20	M	Bureau : Décret n° 48-1766 du 22 novembre 1948 fixant les conditions de détermination de la surface corrigée des locaux d'habitation ou à usage professionnel - article 3
Surface de la pièce	10	M ²	Bureau : le code du travail ne fixe aucune surface minimale, la norme AFNOR NF X 35-102 est un cadre de référence que l'employeur peut utiliser, il est préconisé de respecter une surface minimale de travail de 10 m ² par personne.
Différence de pression (entre la pièce en rez-de-chaussée et les sols)	40	G/cm-S2	Valeur conservatoire définie par Johnson et Ettinger
DALLE / FONDATION			
Epaisseur d'une dalle béton	15	Cm	Dallage à usage industriel ou assimilé collection technique CIMBETON - réf B61 - Document guide de prescription - Bâtiment d'industrie, de commerce et de stockage à base de composants en béton (DTU 13.3)

Paramètre	Bureau individuel	Unité	Source d'information
Porosité du béton	0,12	Cm ³ /cm ³	Béton ordinaire de rapport E/C = 0,48, d'après « Caractérisation des pâtes de ciments et des bétons – Méthodes, analyse, interprétation ». Véronique BAROGHEL-BOUNY. LCPC, 1994.
Teneur en eau dans les fissures	0,05	Cm ³ /cm ³	Béton ordinaire de rapport E/C = 0,48- d'après « Caractérisation des pâtes de ciments et des bétons – Méthodes, analyse, interprétation ». Véronique BAROGHEL-BOUNY. LCPC, 1994.
Taux de fissures dans la dalle béton	0,002	Cm/cm	Hypothèse issue du modèle de Johnson & Ettinger
Profondeur des fondations depuis la surface	0,015	M	Profondeur de la dalle du sous-sol par rapport au TN selon le projet

Taux de transfert RDC / étages

En absence de données bibliographiques fiables sur les taux de transfert des gaz entre les étages, nous considérons dans la suite de l'étude l'absence de dilution entre le RdC et les étages.

Les employés éventuellement présents dans les étages d'un bâtiment seront donc exposés aux mêmes concentrations en polluants volatils que les employés présents en rez-de-chaussée.

6.2 Paramètres liés à la nature des sols

Nous ne disposons pas d'analyses granulométriques sur les sols superficiels du site d'étude (remblais).

En l'absence de données, compte-tenu de la mise en place de remblais au droit des futurs bâtiments industriels, il est considéré que les sols correspondront à des sols de nature sableuse, dont les paramètres sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 6 : Paramètres des sols retenus pour la modélisation à partir de gaz des sols

Paramètre		Unité	Source d'information
Type de sol	Sable	-	Mise en place de remblais sableux
Perméabilité intrinsèque	9,91E-08	Cm ²	Perméabilité caractéristique des sols de type Sable
Porosité des sols	0,375	Cm ³ /cm ³	J&E
Teneur en eau des sols	0,054	Cm ³ /cm ³	J&E
Teneur en air des sols	0,321	Cm ³ /cm ³	J&E
Densité du sol	1,7	G/cm ³	J&E
Fraction de carbone organique	0,002	G OC/g sol	J&E

Référence P001-1621760-002MSA-V01

6.3 Concentrations résiduelles modélisées dans l'air intérieur au droit du futur bâtiment

Les concentrations dans l'air intérieur ont été modélisées à l'aide du logiciel RISC5.

Les concentrations résiduelles modélisées sont présentées dans le tableau ci-après.

Référence P001-1621760-002MSA-V01

Tableau 7 : Concentrations résiduelles modélisées dans l'air intérieur (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Substances	exposition futurs travailleurs	AIR INTERIEUR		AIR EXTERIEUR et INTERIEUR	AIR EXTERIEUR		Seuils de gestion - INERIS, 2021			Limite olfactive
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valeurs guide OMS	Bruit de fond (source OQAI percentile 90)	Valeurs réglementaires - Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène, Article R221-1 du Code de l'Environnement ou directive 2004/107/CE	R1	R2	R3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hydrocarbures aromatiques volatils										
Benzène	0,1261	5,7	2	1,7	2,2	2	2	10	30	15000
Toluène	0,0933	46,9	20000	260	9,0	-	20000	21000	21000	9000
Xylènes	0,0438	22/8,1*	-	-	5,6/2,3*	-	10	1000	8800	310
Composés organiques halogénés volatils (COHV)										
Tétrachloroéthylène (PCE)	0,0787	5,2	250	250	2,4	-	250	1250	1380	181000
Trichloroéthylène (TCE)	0,2778	3,3	10	23	1,6	-	10	50	3200	151000
Hydrocarbures totaux (HCT)										
Hydrocarbures Aliphatiques C5-C6	1,9339	-	-	-	-	-	18000	180000	-	600000
Hydrocarbures Aliphatiques C6-C8	10,7437	-	-	-	-	-	18000	180000	-	
Hydrocarbures Aliphatiques C8-C10	107,4370	-	-	-	-	-	1000	10000	-	
Hydrocarbures Aliphatiques C10-C12	53,7184	-	-	-	-	-	1000	10000	-	4000 - 8000
Hydrocarbures Aromatiques C8-C10	5,6490	-	-	-	-	-	200	2000	-	
Hydrocarbures Aromatiques C10-C12	6,5537	-	-	-	-	-	200	2000	-	
Hydrocarbures Aromatiques C12-C16	8,38E-01	-	-	-	-	-	200	2000	-	

* m,p-Xylène / o-Xylène

Pour l'ensemble des substances, les teneurs modélisées dans l'air intérieur du bâtiment industriel dans un bureau individuel sont inférieures aux valeurs de référence.

La méthodologie d'avril 2017 prévoit que les substances pour lesquelles la concentration dans l'air intérieur est inférieure aux valeurs de gestion existantes (benzène, toluène, éthylbenzène, TCE et PCE) ne soient pas prises en compte dans le calcul du risque sanitaire. Dans une approche sécuritaire car elle intègre le bruit de fond pour les substances volatiles, l'ensemble des substances a été retenu pour l'évaluation des risques sanitaires

7 Caractérisation du risque sanitaire

7.1 Résultats des calculs de risque au droit du bâtiment en place

Les résultats des calculs de risques sont présentés dans le tableau ci-dessous. Le détail est présenté en [Annexe 2](#).

Tableau 8 : Calculs de risques – Employés

Traceurs	C air modélisée (mg/m ³)	QDi (Effet non cancérigène)	ERli (Effet cancérigène)
Hydrocarbures aromatiques volatils			
Benzène	1,3E-04	1,2E-02	1,3E-06
Toluène	9,3E-05	4,6E-06	-
Xylènes	4,4E-05	4,1E-04	-
Composés organiques halogénés volatils (COHV)			
Tétrachloroéthylène (PCE)	7,9E-05	1,8E-04	8,2E-09
Trichloroéthylène (TCE)	2,8E-04	8,1E-05	1,1E-07
Hydrocarbures totaux (HCT)			
Hydrocarbures Aliphatiques C5-C6	1,9E-03	9,9E-05	-
Hydrocarbures Aliphatiques C6-C8	1,1E-02	5,5E-04	-
Hydrocarbures Aliphatiques C8-C10	1,1E-01	1,0E-01	-
Hydrocarbures Aliphatiques C10-C12	5,4E-02	5,0E-02	-
Hydrocarbures Aromatiques C8-C10	5,6E-03	2,6E-02	-
Hydrocarbures Aromatiques C10-C12	6,6E-03	3,1E-02	-
Hydrocarbures Aromatiques C12-C16	8,4E-04	3,9E-03	-
Total		2,3E-01	
Seuil		1	1,00E-05
Substance porteuse de risque		Hydrocarbures Aromatiques C8-C10 43,1 %	Benzène : 91,7 %

Le quotient de danger cumulé et l'excès de risque individuel sont inférieurs aux valeurs seuils.

Cette étude montre des niveaux de risques sanitaires inférieurs aux seuils d'acceptabilité du ministère de l'Environnement pour un usage industriel, au vu des hypothèses prises en compte. L'état de qualité des milieux est compatible avec l'usage industriel envisagé, avant la réalisation des travaux de dépollution.

7.2 Incertitudes et discussion des résultats

Les informations traitées dans l'étude des risques pour la santé humaine associés aux polluants comportent systématiquement des imprécisions et des incertitudes.

Dans ce cadre, l'impact de ces imprécisions et incertitudes sur la quantification des risques doit être évalué afin de pouvoir conclure de manière définitive sur la compatibilité du site avec les scénarios d'usage considérés. La discussion de ces incertitudes est présentée en **Annexe 3**.

D'une manière générale et dans la mesure du possible, dès la mise en place d'une hypothèse pour l'évaluation du risque sanitaire, les choix réalistes et sécuritaires ont systématiquement été appliqués, ou les recommandations ministérielles ou d'organismes nationaux ou internationaux reconnus en matière d'évaluation des risques suivies.

La synthèse de ces incertitudes est présentée dans le Tableau 9 ci-après.

Tableau 9 : Principales incertitudes

Donnée d'entrée	Hypothèses retenues	Justification	Impact sur les risques
Voies d'exposition résiduelle	Prise en compte de la voie inhalation	Prise en compte de la voie d'exposition adaptée à l'usage futur du site et aux caractéristiques des pollutions résiduelles	Réaliste
Caractérisation des contaminations	Prise en compte des concentrations mesurées dans les gaz des sols pour un futur bâtiment à usage industriel	Prise en compte des concentrations dans le milieu intégrateur de pollution conjuguant les dégazages issus des sols et éventuellement des eaux souterraines	Réaliste
	Mesure des gaz du sol entre 1 et 1,5 m de profondeur sur l'ensemble du site	Réalisation des prélèvements des gaz du sol en cohérence avec le projet d'un bâtiment de plain-pied	Réaliste
	Cinq points de prélèvement, 1 témoin blanc de terrain/blanc de transport	Variabilité latérale des teneurs dans les gaz du sol et dans l'air intérieur du bâtiment Vérification de l'absence de contamination des supports par un bruit de fond ambiant et/ou par une contamination au moment du transport au laboratoire	Réaliste
	Une campagne de prélèvements	Réalisation des mesures en période hivernale plutôt favorable au dégazage	Réaliste à minorant
	Prise en compte des substances dont les concentrations modélisées dans l'air intérieur sont inférieures aux VGAI	Approche sécuritaire	Majorant
Budget espace – temps	8h/j, 235j/an, pendant 43 ans	Prise en compte d'une durée d'exposition de 43 ans sur le site pour un employé	Majorant
Aménagements au droit du projet de futur bâtiment	Taux de ventilation de 0,45 vol/h pour un bureau individuel	Taux de ventilation faible pour un bureau	Réaliste à majorant
	Taille des locaux de 10 m ² pour un bureau	Hypothèse sécuritaire prise par TAUW en l'absence de plans projet	Réaliste à majorant
Caractérisation des sols	Perméabilité intrinsèque du sol aux vapeurs	Selon les observations de terrain	Réaliste

Référence P001-1621760-002MSA-V01

Donnée d'entrée	Hypothèses retenues	Justification	Impact sur les risques
	Profondeur de la source gaz sol au droit des bâtiments : 0,01 m	Prise en compte de la volatilisation des substances accumulées sous la dalle béton	Réaliste à majorant
Modèle de transfert	Transfert à partir des gaz du sol vers l'air intérieur	Privilégié conformément à la méthodologie par rapport à la modélisation à partir des sols et/ou des eaux souterraines	Réaliste
Caractérisation des risques	Choix des VTR	Selon la note d'information DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014	Réaliste
	Calculs des risques	Non distinction des différents organes cibles pour les effets à seuil	Majorant
	Synergie des substances	Non prise en compte en l'absence de données	Inconnu

Sur la base des hypothèses majoritairement sécuritaires ou réalistes prises en compte dans l'analyse des risques sanitaires, les risques sanitaires évalués pour l'exposition par inhalation des travailleurs dans un bureau individuel de plain-pied sont inférieurs aux seuils d'acceptabilité du ministère de l'Environnement.

Le site est compatible avec l'usage industriel futur.

Annexe 1 Méthodologie des calculs de risque

Identification des dangers et relation doses – réponses des substances traceurs

Notion de toxicité

Extrait du document : INERIS, Evaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des ICPE, 2003.

« Les substances chimiques sont susceptibles de provoquer des effets aigus liés à une exposition courte à des doses en général assez élevées et des effets subchroniques ou chroniques susceptibles d'apparaître suite à une exposition prolongée à des doses plus faibles. Dans le cadre de l'évaluation du risque sanitaire d'un site c'est essentiellement la toxicité subchronique à chronique qui nous préoccupe.

Les substances chimiques peuvent avoir un effet local directement sur les tissus avec lesquels elles entrent en contact (par exemple irritation, sensibilisation cutanée, cancer cutané...) ou un effet dit « systémique » si elles pénètrent dans l'organisme et agissent sur un ou plusieurs organes distants du point de contact. Cette distinction concerne à la fois les toxiques non cancérigènes et les toxiques cancérigènes, mais l'usage conduit souvent à confondre « toxiques systémiques » et « toxiques non cancérigènes ».

On distingue également les toxiques présentant un effet à seuil et les toxiques sans seuil comme définis ci-après :

- *Effets à seuil : indique un effet qui survient au-delà d'une dose administrée, pour une durée d'exposition déterminée à une substance isolée. L'intensité des effets croît alors avec l'augmentation de la dose administrée. En deçà de cette dose, on considère que l'effet ne surviendra pas. Ce sont principalement les effets non cancérogènes, voire les cancérogènes non génotoxiques, qui sont classés dans cette famille.*
- *Effets sans seuil : indique un effet qui apparaît quelle que soit la dose reçue. La probabilité de survenue croît avec la dose et la durée d'exposition, mais l'intensité de l'effet n'en dépend pas. Cette famille concerne principalement les effets cancérigènes génotoxiques.*

Cette distinction repose sur des mécanismes d'action différents. »

Choix des traceurs

Tous les polluants présents dans le sous-sol ne peuvent être pris en considération car leurs effets sanitaires sont fort disparates et pour nombre d'entre eux mal connus. Ainsi, parmi les substances détectées dans les sols et/ou les gaz du sol et/ou les eaux souterraines, seules les plus représentatives du risque chronique et présentes sur le site étudié seront prises en compte. Ces substances sont qualifiées de « traceur de risque ».

Définition et généralité sur les Valeurs Toxicologiques de Référence

L'évaluation du risque toxicologique fait appel à des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) provenant d'organismes gouvernementaux nationaux et internationaux reconnus.

Référence P001-1621760-002MSA-V01

La Valeur Toxicologique de Référence (VTR) d'une substance correspond à la relation existante entre la dose d'exposition et l'apparition probable d'un effet sanitaire lié à une exposition répétée.

Les VTR sont établies grâce à :

- La détermination d'un effet critique
- La détermination d'une dose critique
- La détermination d'une dose critique pour l'homme par des ajustements
- L'application de facteurs d'incertitude.

Les VTR sont spécifiques d'un effet :

- Effet à seuil (de dose) : effet nocif pour la santé qui ne se manifeste qu'au-delà d'une certaine dose ou concentration d'exposition
- Effet sans seuil (de dose) : effet nocif qui se manifeste quelle que soit la dose ou la concentration, si elle est non nulle. Les effets cancérogènes appartiennent à cette catégorie.

Sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence

Le choix des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) a été motivé par la note d'information réf.DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et à la gestion des sites et sols pollués.

Ce document recommande de sélectionner les VTR en respectant la méthodologie suivante :

- Sélection des valeurs établies par l'ANSES
- A défaut, sélection des valeurs retenues par l'expertise nationale (Anses) sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente
- A défaut, valeur la plus récente disponible sur les bases de données de l'US EPA, l'ATSDR, et l'OMS/IPCS
- A défaut, valeur la plus récente disponible sur les bases de données de Santé Canada, du RIVM, l'OEHHA et EFSA.

Caractérisation des concentrations dans l'air des bâtiments

Transfert des substances des sols / eaux souterraines / gaz du sol dans l'air intérieur des bâtiments

Les concentrations dans l'air intérieur sont modélisées à l'aide du logiciel RISC5. La modélisation des transferts de l'air des sols vers l'air intérieur dans les logements a été réalisée sur la base des équations de Johnson & Ettinger (1991). Il tient compte à la fois des phénomènes de transfert diffusif (représentés par les équations de Fick et de Milligton et Quirck) et des phénomènes de transfert convectifs.

Le modèle J&E fonctionne en considérant une source infinie, c'est-à-dire dont les concentrations n'évoluent pas dans le temps. Il permet de calibrer la profondeur de la source et de prendre en compte les différents mouvements convectifs et diffusifs des polluants volatils dans les sols, contrairement à d'autres modèles. Il est par ailleurs adapté pour modéliser des concentrations dans l'air intérieur de bâtiments sans vide sanitaire.

Caractérisation du risque sanitaire

L'estimation du risque est distinguée selon la nature des effets sanitaires (systémiques ou stochastiques). Les polluants sont également distingués selon les organes cibles qu'ils sont susceptibles d'atteindre.

En cas d'exposition conjointe à plusieurs agents dangereux, l'US EPA recommande :

- Pour les substances à seuils : de faire la somme des Quotients Danger (QD) des agents ayant des effets toxiques identiques (même mécanisme d'action et même organe cible)
- Pour les substances cancérigènes : d'additionner tous les excès de risques individuels (ERI) quel que soit le type de cancer et l'organe touché, de manière à apprécier le risque cancérigène global qui pèse sur la population exposée.

En première approche simplificatrice et majorante, nous sommes systématiquement les Quotients Danger pour l'ensemble des substances non cancérigènes prises en compte, quel que soit l'organe cible des effets.

Méthode pour le calcul des concentrations inhalées en fonction des scénarios d'exposition

Pour la voie respiratoire, la concentration moyenne inhalée est retranscrite par la formule suivante :

$$CI = [\sum_i(C_i \cdot t_i)] * \frac{T \cdot F}{T_m}$$

Avec :

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

C_i : la concentration de polluant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps t_i

T_i : la fraction du temps d'exposition à la concentration C_i pendant une journée

T : Durée d'exposition (années)

T_m : la période sur laquelle l'exposition est moyennée (années)

F : Fréquence d'exposition (nombre de jours d'exposition par an).

Référence P001-1621760-002MSA-V01

Quantification du risque pour les substances à seuil

Pour les effets à seuil, la survenue d'un effet toxique chez l'Homme est représentée par un Quotient de Danger, calculé de la manière suivante : **QD_{Inhalation} = CI / VTR**

Avec :

QD : Quotient de Danger

VTR : Valeur Toxicologique de Référence

CI : Concentration Inhalée

Lorsque ce quotient est inférieur à 1, la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable, même pour les populations sensibles. Au-delà de 1, la possibilité d'apparition d'un effet toxique ne peut plus être exclue.

La valeur du quotient calculé est comparée à la recommandation ministérielle du guide méthodologique de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 qui stipule que cette valeur doit être inférieure à 1 pour l'ensemble des traceurs de risque retenus.

Quantification du risque pour les substances cancérigènes

Pour les substances sans seuil, un excès de risque individuel (ERI) a été calculé en multipliant la concentration inhalée par l'excès de risque unitaire par inhalation (ERU_i).

Pour les différentes voies d'exposition, l'excès de risque individuel est calculé comme suit :

$$\text{ERLi} = \text{CI} \times \text{ERU}_{\text{inhalation}}$$

Avec :

ERI : Excès de Risque Individuel

ERU : Excès de Risque Unitaire

CI : Concentration Inhalée

L'ERI représente la probabilité qu'un individu a de développer l'effet associé à la substance pendant sa vie du fait de l'exposition considérée.

L'acceptabilité des risques évalués s'apprécie ensuite par comparaison à des niveaux de risques jugés socialement acceptables. Il n'existe pas, bien entendu, de seuil absolu d'acceptabilité, mais la valeur de 10^{-6} (soit un cas de cancer supplémentaire sur un million de personnes exposées durant leur vie entière) est considérée aux USA comme le seuil de risque acceptable en population générale, alors que la valeur de 10^{-4} est considérée comme limite acceptable en milieu professionnel.

La valeur de 10^{-5} est souvent admise comme seuil d'intervention. Elle est reprise comme objectif dans les textes réglementaires et outils méthodologiques du ministère en charge de l'environnement d'avril 2017. Ce seuil de 10^{-5} est également utilisé par l'OMS pour définir les valeurs guides de qualité de l'eau de boisson et de qualité de l'air.



Référence P001-1621760-002MSA-V01

Annexe 2 Détails des calculs de risques

exposition futurs travailleurs Adulte - RDC

Effets non cancérogènes

Traceurs	C air modélisée (mq/m3)	indices d'exposition	Concentration inhalée (mq/m3)	VTR (mq/m3)	QDI	Pourcentage (%)
Hydrocarbures aromatiques volatils						
Benzène	1,3E-04	9,4E-01	1,2E-04	1,0E-02	1,2E-02	5,1
Toluène	9,3E-05	9,4E-01	8,7E-05	1,9E+01	4,6E-06	<1
Xylènes	4,4E-05	9,4E-01	4,1E-05	1,0E-01	4,1E-04	<1
Composés organiques halogénés volatils (COHV)						
Tétrachloroéthylène (PCE)	7,9E-05	9,4E-01	7,4E-05	4,0E-01	1,8E-04	<1
Trichloroéthylène (TCE)	2,8E-04	9,4E-01	2,6E-04	3,2E+00	8,1E-05	<1
Hydrocarbures totaux (HCT)						
Hydrocarbures Aliphatiques C5-C6	1,9E-03	9,4E-01	1,8E-03	1,8E+01	9,9E-05	<1
Hydrocarbures Aliphatiques C6-C8	1,1E-02	9,4E-01	1,0E-02	1,8E+01	5,5E-04	<1
Hydrocarbures Aliphatiques C8-C10	1,1E-01	9,4E-01	1,0E-01	1,0E+00	1,0E-01	43,1
Hydrocarbures Aliphatiques C10-C12	5,4E-02	9,4E-01	5,0E-02	1,0E+00	5,0E-02	21,6
Hydrocarbures Aromatiques C8-C10	5,6E-03	9,4E-01	5,3E-03	2,0E-01	2,6E-02	11,3
Hydrocarbures Aromatiques C10-C12	6,6E-03	9,4E-01	6,1E-03	2,0E-01	3,1E-02	13,2
Hydrocarbures Aromatiques C12-C16	8,4E-04	9,4E-01	7,9E-04	2,0E-01	3,9E-03	1,7
Total					2,3E-01	100

Effets cancérogènes

Traceurs	C air modélisée (mq/m3)	indices d'exposition	Concentration inhalée (mq/m3)	ERUI (µq/m3)-1	ERII	Pourcentage (%)
Hydrocarbures aromatiques volatils						
Benzène	1,3E-04	4,0E-01	5,1E-05	2,6E-05	1,3E-06	91,7
Toluène	9,3E-05	4,0E-01	3,7E-05	ND	-	
Xylènes	4,4E-05	4,0E-01	1,8E-05	ND	-	
Composés organiques halogénés volatils (COHV)						
Tétrachloroéthylène (PCE)	7,9E-05	4,0E-01	3,2E-05	2,6E-07	8,2E-09	<1
Trichloroéthylène (TCE)	2,8E-04	4,0E-01	1,1E-04	1,0E-06	1,1E-07	7,8
Hydrocarbures totaux (HCT)						
Hydrocarbures Aliphatiques C5-C6	1,9E-03	4,0E-01	7,8E-04	ND	-	
Hydrocarbures Aliphatiques C6-C8	1,1E-02	4,0E-01	4,3E-03	ND	-	
Hydrocarbures Aliphatiques C8-C10	1,1E-01	4,0E-01	4,3E-02	ND	-	
Hydrocarbures Aliphatiques C10-C12	5,4E-02	4,0E-01	2,2E-02	ND	-	
Hydrocarbures Aromatiques C8-C10	5,6E-03	4,0E-01	2,3E-03	ND	-	
Hydrocarbures Aromatiques C10-C12	6,6E-03	4,0E-01	2,6E-03	ND	-	
Hydrocarbures Aromatiques C12-C16	8,4E-04	4,0E-01	3,4E-04	ND	-	
Total					1,4E-06	100

Scénario	QD	Substance porteuse de risque	ERI	Substance porteuse de risque
Résidentiel				
Adulte - RDC	2,34E-01	Hydrocarbures Aromatiques C8-C10 : 43,1 %	1,44E-06	Benzène : 91,7 %
Seuil	1		1,00E-05	

Scénario	- 48 %	QD	+ 48 %	- 48 %	ERI	+ 48 %
Résidentiel						
Adulte - RDC	1,21E-01	2,34E-01	3,46E-01	7,47E-07	1,44E-06	2,13E-06
Seuil		1			1,00E-05	

Annexe 3 Etude de sensibilité et incertitudes

Les informations traitées dans l'étude des risques pour la santé humaine associés aux polluants comportent systématiquement des imprécisions et des incertitudes.

Dans ce cadre, l'impact de ces imprécisions et incertitudes sur la quantification des risques doit être évalué afin de pouvoir conclure de manière définitive sur la compatibilité entre les pollutions en place et les scénarios d'usage considérés.

Incertitudes liées à la caractérisation des contaminations résiduelles

Dans le cadre de calculs de risques sanitaires réalisés à partir de mesures de terrain, les incertitudes sont principalement liées à l'acquisition des données de terrain. Les erreurs, imprécisions ou incertitudes dans les mesures sont liées aux éléments suivants :

- L'emplacement des points de prélèvement sur le site ;
- La qualité du prélèvement sur site et son transfert au laboratoire d'analyses ;
- Les variations des précisions d'analyses et du choix des paramètres analysés ;
- Le nombre d'analyses réalisées ;
- Les erreurs de report ou et de jugement.

La succession d'étapes (levés de terrain – prélèvements – conservation et acheminement des échantillons – analyses en laboratoire – traitement des données numériques) est susceptible d'être entachée d'incertitudes difficilement quantifiables.

De plus, les investigations sont des observations ponctuelles qui ne peuvent pas fournir une vision complète de l'état des terrains. La densité d'implantation des investigations et leur nombre permettent d'obtenir une vision représentative de l'état du sous-sol, sans que l'on puisse exclure qu'une anomalie de faible extension puisse échapper à l'observation.

Investigations menées

Dans le cas présent :

- Cinq prélèvements de gaz du sol ont été réalisés sur l'ensemble du site entre 1 et 1,5 m de profondeur – approche réaliste ;
- Les milieux sols et gaz du sol ont été échantillonnés ; bien que l'échantillonnage de milieux différents ne permette pas la comparaison directe des résultats, ils sont toutefois complémentaires : les résultats des analyses de sols justifient la nature des substances volatiles mesurées dans les gaz des sols. Cette approche permet de limiter les incertitudes ;

La campagne d'analyses des gaz du sol a été réalisée le 11 décembre 2023 en période hivernale en conditions plutôt favorables au dégazage des substances volatiles à partir des sols :

- Une absence de précipitations le jour des prélèvements. Les conditions pluviométriques sont jugées plutôt favorables au dégazage des composés volatils présents des sols ;
- Les températures étaient comprises entre 11°C et 12°C. Les conditions sont jugées moyennement favorables au dégazage des composés volatils présents des sols ;

Référence P001-1621760-002MSA-V01

- La pression atmosphérique était comprise entre 1005 et 1007 hPa. Les conditions sont jugées favorables au dégazage des composés volatils présents des sols.

Substances retenues

Les composés retenus pour la voie d'exposition par inhalation sont les substances volatiles détectées dans les gaz du sol dont les concentrations sont supérieures aux limites de quantification du laboratoire.

Les hydrocarbures aromatiques C5-C6 et C7-C8 ne sont pas retenus pour les calculs de risques car ils sont respectivement assimilés au benzène et au toluène.

Concentrations retenues

Une seule campagne de prélèvements a été réalisée en période favorable au dégazage des gaz du sol, celle-ci ne tient pas compte de la variabilité saisonnière des teneurs dans les gaz du sol – approche majorante, non conforme à la méthodologie en vigueur (réalisation d'au moins deux campagnes en période favorable et défavorable au dégazage).

Afin de se placer dans des conditions majorantes d'exposition, il a été retenu les concentrations maximales mesurées sur les différents points de mesure bien qu'une même personne ne puisse pas se trouver simultanément en plusieurs points.

Ces choix de sélection des teneurs sont majorants. La prise en compte d'une teneur moyenne diminuerait le niveau de risque. Au vu des niveaux de risques calculés cette majoration n'est pas de nature à remettre en cause les calculs de risques.

Aucune potentielle saturation des supports de prélèvements n'a été identifiée au niveau des différents échantillons.

Incertitudes du laboratoire

Le laboratoire présente une incertitude maximale analytique de 48 % pour l'analyse des composés dans les gaz de sol. Ces incertitudes ne sont pas de nature à remettre en cause les conclusions de la présente étude.

Les QD et ERI prenant en compte ces incertitudes sont présentés dans le Tableau ci-après.

Tableau 10 QD – Incertitudes du laboratoire

Scénario	-48%	QD	+48%	-48%	ERI	+48%
Bâtiment en place - travailleur	1,21E-01	2,34E-01	3,46E-01	7,47E-07	1,44E-06	2,13E-06
Seuil		1			1E-05	

Justification des substances non retenues comme traceur de risques

La prise en compte des concentrations analysées dans les gaz du sol est plus réaliste que la prise en compte des concentrations mesurées dans les sols.

En effet, ce milieu intégrateur permet de s'affranchir d'une étape de modélisation des transferts et de prendre en compte la volatilisation des substances éventuellement présentes dans les eaux souterraines. Seules les substances volatiles mesurées dans les gaz du sol ont été retenues.

Référence P001-1621760-002MSA-V01

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (hors naphthalène) présents dans les sols mais non quantifié dans les gaz du sol n'ont pas été retenus dans les calculs de risques. Ces composés sont en effet peu volatils.

On notera toutefois que les composés les plus volatils à savoir le naphthalène, l'acénaphène et le l'acénaphylène correspondent en partie aux fractions C10-C12 et C12-C16 des hydrocarbures aromatiques qui ont été pris en compte dans la présente étude.

Tableau 11 Estimation de la volatilité des HAP

Paramètres	Constante de Henry (sans unité)	Pv (atm)	Estimation de la volatilité Pv < 1.5.10 ⁻⁶ : très peu volatil Pv < 1.00E-04 : peu volatil Pv < 1.00E-02 : volatil Pv > 1.00E-02 : très volatil
Acénaphène	4,67E-02	3,95E-06	Peu volatil
Acénaphylène	6,36E-03	3,75E-06	Peu volatil
Naphthalène	1,98E-02	6,71E-05	Peu volatil
Anthracène	2,67E-03	9,87E-10	Très peu volatil
Benzo(a)anthracène	1,37E-04	5,43E-11	Très peu volatil
Benzo(a)pyrène	4,63E-05	1,28E-13	Très peu volatil
Benzo(b)fluoranthène	4,55E-03	6,91E-12	Très peu volatil
Benzo (g,h,i) pérylène	6,58E-05	2,57E-14	Très peu volatil
Benzo(k)fluoranthène	3,40E-05	2,57E-14	Très peu volatil
Chrysène	3,88E-03	2,96E-12	Très peu volatil
Dibenzo (a,h) anthracène	6,03E-07	1,28E-13	Très peu volatil
Fluoranthène	6,60E-04	3,75E-08	Très peu volatil
Fluorène	2,61E-03	1,18E-06	Très peu volatil
Indéno (1.2.3-cd) pyrène	6,56E-05	2,57E-14	Très peu volatil
Phénanthrène	1,48E-03	2,37E-08	Très peu volatil
Pyrène	4,51E-04	8,88E-12	Très peu volatil

Incertitudes liées aux modèles de transfert gaz du sol – air intérieur dans le futur bâtiment

Vis-à-vis de la modélisation de transfert par le logiciel Risc5, la présente analyse des risques repose sur une modélisation des transferts depuis les gaz du sol vers l'air intérieur.

La répartition des polluants dans les trois phases physiques du système (sol solide, eau des pores, air des pores) joue un rôle déterminant dans le modèle. C'est en effet à partir des concentrations calculées pour chacune des phases, que le modèle va évaluer les concentrations dans les milieux d'exposition, prises ensuite en considération dans les tableaux de calcul des niveaux de risques. Les processus de migration sont donc déterminés par l'accumulation de processus d'étape et d'équilibre.

Le modèle utilisé dans BP RISC pour évaluer les concentrations dans l'air intérieur est celui de Johnson-Ettinger basé sur la loi de Fick, après calcul du coefficient de diffusion effective utilisant la relation de Millington-Quirk.

Le modèle BP RISC comporte des hypothèses de travail restrictives et majorantes pour les calculs de risque :

- Non prise en compte de la dégradation naturelle de la substance polluante (pas de dégradation chimique par exemple) ;
- La source de pollution est considérée comme inépuisable (infinie) ;
- Le sol est considéré comme homogène ;
- Le transfert horizontal des flux n'est pas pris en compte.

Incertitudes sur les données d'entrée relatives aux caractéristiques des sols

Les incertitudes liées aux caractéristiques des sols exercent une influence prépondérante sur les risques sanitaires évalués.

En l'absence de données sur les sols en place au droit des futurs bâtiments, des sols de type sable sont retenus dans les calculs de risques. La prise en compte de cette lithologie conduit à une augmentation des concentrations modélisées dans l'air intérieur et donc des risques sanitaires de 10 fois environ.

Les perméabilités intrinsèques et les porosités suivantes ont été prises en compte :

- La perméabilité de $9.9.10^{-8}$ cm² correspond aux terrains limoneux ;
- La porosité totale : 0,38, dont la porosité à l'eau : 0,054 et à l'air : 0,32.

La profondeur de la source gaz du sol par rapport à la dalle des bâtiments exerce une influence importante sur l'évaluation du flux des polluants vers l'air intérieur.

La source a été considérée présente à 1 cm sous la dalle dans l'approche réaliste qui tient compte de l'accumulation des gaz sous la future dalle.

Incertitudes liées au projet d'aménagement

Pour le scénario de la construction d'un futur bâtiment industriel sur la réserve foncière, nous avons considéré les éléments suivants :

- Création d'un bâtiment de plain-pied sans sous-sol ;
- une dalle d'une épaisseur de 15 cm – valeur réaliste à sécuritaire ;
- une surface de 10 m² (2 m x 5 m) et une hauteur sous plafond de 2,2 m pour un bureau individuel – valeur réaliste à sécuritaire ;
- Un taux de ventilation de 0,45 V/h pour un éventuel bureau – valeur réaliste à majorante.
Pour un petit bureau de 10 m² (volume = 22 m³) accueillant un employé, avec le débit réglementaire minimal d'air frais pour une ventilation mécanique de 25 m³ par heure par occupant, le taux de ventilation serait de 0,88 Vol/heure.

La prise en compte d'un bâtiment dans son ensemble plutôt qu'une petite pièce, ou d'une dalle béton d'un seul tenant, favorise la dispersion et la dilution des substances dans un volume plus important. Cela a pour conséquence de diminuer les concentrations modélisées.

Incertitudes liées aux scénarios d'exposition

Pour l'exposition des employés, il a été considéré l'exposition de 8 heures par jour à l'intérieur et de 0,5 heures par jour sur le parking extérieur, 235 jours par an, et ce sur une période continue de 42 ans (totalité de la durée légale de travail en France). Cette approche est très sécuritaire car un employé est considéré présent sur le site en permanence pendant 42 ans (totalité de la durée légale de travail en France). Cette approche est sécuritaire car elle ne tient pas compte de la mobilité dans le contexte de travail.

Référence P001-1621760-002MSA-V01

D'autre part, il a été retenu une exposition uniquement à l'intérieur du bâtiment. L'exposition dans les espaces verts et parking éventuel n'a pas été prise en compte car, du fait des forts effets de dilution, une situation d'exposition en extérieur est considérée comme négligeable par rapport à une situation d'exposition en intérieur, pour une source de pollution identique.

La durée de vie retenue est de 70 ans. Un calcul mené sur la base de l'espérance de vie des femmes (85 ans) aurait pour conséquence de diminuer l'exposition sur la vie entière et donc de diminuer le risque calculé.

Incertitudes liées aux standards toxicologiques

La définition des dangers et de la relation doses-effets liés à une substance demande un niveau élevé d'expertise. Des groupes de travail reconnus réalisent ce travail.

Les VTR sont le plus souvent établies à partir de données expérimentales chez l'animal : l'extrapolation à l'homme se fait généralement en appliquant des facteurs d'incertitudes (également appelés facteurs de sécurité) aux seuils sans effets néfastes définis chez l'animal. Les facteurs d'incertitude prennent en compte les paramètres suivants :

- La variabilité inter-espèces ;
- La différence de sensibilité inter-individus ;
- L'utilisation d'un LOAEL au lieu d'un NOAEL ;
- La durée de l'étude sur laquelle s'appuie l'évaluation ;
- La sévérité de l'effet ;
- La fiabilité des données ;
- La voie d'absorption.

Notons par ailleurs que les propriétés toxicologiques des substances renseignées sont prises individuellement et ne tiennent pas compte des effets antagonistes ou synergiques que peuvent avoir les substances entre elles, ce point correspondant à l'état de l'art en la matière.

Les VTR ont été choisies selon les recommandations de la note d'information n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.

Incertitudes liées à la caractérisation des risques sanitaires

L'évaluation du risque n'a été appréciée que par rapport à la toxicité des substances volatiles présentes dans les milieux investigués.

Additivité des risques

Selon les préconisations de l'INERIS, le risque engendré par le mélange des substances qui présentent des propriétés toxicologiques comparables sera la somme des risques engendrés par les différentes substances agissant sur un même organe cible. Dans le cas des substances cancérigènes, c'est le risque global attribuable à la somme des substances qui est considéré.

Les quotients danger cumulés (pour les effets à seuil) ont été calculés en sommant l'ensemble des QD, sans faire la distinction entre les organes cibles comme imposé par la méthodologie. Cette simplification des calculs induit une majoration des risques calculés pour les effets toxiques car ceux-ci n'ont pas été établis organe cible par organe cible.

Nous n'avons pas fait de distinction de VTR pour les reprotoxiques ou mutagènes.

Synergie des substances

Les données bibliographiques disponibles ne permettent pas de prendre en compte des effets synergiques des différentes substances étudiées.

Conclusions sur les incertitudes

D'une manière générale et dans la mesure du possible, dès la mise en place d'une hypothèse pour l'évaluation du risque sanitaire, les choix majorants ou réalistes ont systématiquement été appliqués, ou les recommandations ministérielles ou d'organismes nationaux ou internationaux reconnus en matière d'évaluation des risques suivis. Dans ce cadre, l'évaluation réalisée est globalement précautionneuse, réaliste et conforme à l'état de l'art. La synthèse de ces incertitudes est présentée dans le paragraphe [7.2](#).