



Tauw

interxion™



INTERXION

Diagnostic complémentaire et Plan de gestion

Site PAR8 - Avenue Marcel Cachin, La Courneuve
(93)

R001-1614811VAQ-V02 du 23/10/2018



Table des matières

Résumé non technique.....	7
1 Introduction.....	9
1.1 Contexte de l'étude	9
1.2 Objectifs de l'étude.....	10
2 Méthodologie.....	11
2.1 Politique nationale des sites et sols pollués	11
2.2 Liste des sources d'informations consultées.....	11
3 Caractéristiques du site.....	12
3.1 Localisation	12
3.2 Etat actuel du site.....	12
3.3 Voisinage immédiat du site	12
3.4 Rappel de la situation administrative du site	13
3.5 Projet d'aménagement.....	14
4 Synthèse des études antérieures.....	15
4.1 Synthèse des investigations et des résultats	15
5 Investigations complémentaires sur les sols (A200)	21
5.1 Hygiène et sécurité	21
5.2 Stratégie d'investigation	21
5.3 Résultats	28
6 Investigations sur les eaux souterraines (A210)	35
6.1 Programme d'investigations.....	35
6.2 Mesures piézométriques	35
6.3 Prélèvement et conditionnement des échantillons	35
6.4 Programme analytique	36
6.5 Présentation des valeurs de référence	36
6.6 Résultats d'analyse	36
6.7 Interprétation des résultats d'analyses.....	38
7 Investigations sur les gaz du sol (mission A230)	39
7.1 Programme d'investigations.....	39
7.2 Prélèvement et conditionnement des échantillons	39
7.3 Programme analytique	40
7.4 Résultats sur le milieu air	41

7.5	Interprétation des résultats d'analyses.....	46
8	Schéma conceptuel initial.....	47
8.1	Sources de pollution.....	47
8.2	Usage projeté.....	47
8.3	Cibles.....	47
8.4	Voie de transfert et voies d'exposition retenues.....	47
8.5	Conclusion du schéma conceptuel.....	49
9	Définition des mesures de gestion.....	50
9.1	Généralités.....	50
9.2	Objectifs et périmètre.....	50
9.3	Pollutions concentrées dans les sols.....	51
9.4	Gestion des pollutions concentrées.....	56
9.5	Gestion des déblais.....	71
9.6	Mise en œuvre de la méthode de gestion retenue.....	77
9.7	Mesures de gestion complémentaires à mettre en œuvre.....	80
9.8	Conservation de la mémoire.....	83
9.9	Restrictions d'usage à mettre en œuvre.....	83
10	Schéma conceptuel final.....	84
10.1	Sources de pollution.....	84
10.2	Usage projeté.....	84
10.3	Cibles.....	84
10.4	Voies de transfert et voies d'exposition retenues.....	84
10.5	Conclusion du schéma conceptuel.....	85
11	Analyse des Risques Résiduels (ARR) prédictive.....	86
11.1	Principe de la modélisation des risques sanitaires.....	86
11.2	Modélisation.....	95
11.3	Identification des incertitudes.....	103
12	Conclusions et recommandations.....	108
13	Limites de validité de l'étude.....	111



Table des annexes

Annexe 1	Localisation du site
Annexe 2	Cadastre
Annexe 3	Reportage photographique
Annexe 4	Vue aérienne récente
Annexe 5	Résultats de l'étude HPC 2010
Annexe 6	Résultats de l'étude GEOSAN 2016
Annexe 7	Coupes de sondage
Annexe 8	Bordereaux de résultats d'analyse sols et gaz du sol
Annexe 9	Fiches de prélèvements des eaux souterraines
Annexe 10	Bordereaux de résultats d'analyses eaux souterraines
Annexe 11	Fiches de prélèvement gaz du sol
Annexe 12	Localisation des zones de pollution concentrée
Annexe 13	Rapports MODUL'ERS
Annexe 14	Feuilles de calculs air extérieur

Fiche contrôle Qualité

Destinataire du rapport	INTERXION
Site	Site PAR8 - Avenue Marcel Cachin, La Courneuve (93)
Interlocuteur	Bruno Forest
Adresse	129 Boulevard Malesherbes - 75017 Paris
E-mail	brunof@interxion.com
Téléphone	01-53-56-81-64
Intitulé du rapport	Diagnostic complémentaire et Plan de gestion
Notre référence / date	R001-1614811-V02 du 23/10/2018
Rédacteur	Romain Vaquette – Ingénieur d'études
Responsable de l'étude	Romain Vaquette – Ingénieur d'études
Superviseur	Cedric Bayart – Chef de projets



Coordonnées

Tauw France - Agence de Douai
Z.I. Dornigies / Bâtiment Euréka
100 rue Branly
59500 DOUAI
Téléphone : 03 27 08 81 81
Fax : 03 27 08 81 82
Email : info@tauw.fr

Siège social – Agence de Dijon
Parc tertiaire de Mirande
14 D Rue Pierre de Coubertin
21000 Dijon
Téléphone : 03 80 68 01 33
Fax : 03 80 68 01 44
Email : info@tauw.fr

Tauw France est membre de Tauw Group bv – Représentant légal : M. Eric MARTIN

www.tauw.com

Gestion des révisions

Version	Date	Statut	Pages	Exemplaire client	Annexes	Tome
V01	22/10/2018	Création du document	111	1	14	1
V02	23/10/2018	Correction	111	1	14	1

Référencement du modèle de rapport : DS 88 21-11-11



Résumé non technique

Contexte de l'étude	<p>La société INTERXION porte un projet d'installation de data-center sur un terrain d'une superficie d'environ 63 000 m², localisé du 2 au 20 avenue Marcel Cachin à La Courneuve (93).</p> <p>Le projet prévoit également la réalisation d'un square ouvert au public et d'une école de la seconde chance.</p> <p>Dans ce cadre, différentes études environnementales ont mis en évidence une pollution des différents milieux sol, eau souterraine et gaz du sol par les solvants chlorés principalement.</p>
Objectifs de l'étude	<p>→ Investigations complémentaires pour caractérisation complémentaire des zones de pollution concentrée et des futurs déblais générés par le projet pour évaluation les filières d'élimination potentielles</p> <p>→ Evaluer les différentes possibilités de gestion des contaminations du site par le biais d'un bilan coûts-avantages.</p>
Investigations réalisées	<p>→ Réalisation de 6 piézairs et 16 sondages de sol</p> <p>→ Réalisation de prélèvements d'eau souterraine au droit de 4 piézomètres</p> <p>→ Réalisation de prélèvements de gaz du sol au droit de 5 piézairs</p> <p>→ Interprétation des résultats d'analyses.</p>
Conclusions de l'étude	<p>Les différentes investigations menées ont permis de délimiter 5 zones de pollution concentrée, dont 2 seront gérées avec les terrassements nécessaires à la création du data-center.</p> <p>Le bilan coûts-avantages réalisé a permis d'établir 2 scénarios de traitement :</p> <ul style="list-style-type: none">• Extraction des polluants par chauffage et aspiration de l'air des sols (venting à chaud)• Dégradation des polluants par voie biologique sur site, après excavation (biopile). <p><u>Avant déploiement à pleine échelle, la technique de traitement sélectionnée devra être validée par un essai-pilote.</u></p> <p>De plus des mesures de gestion visant notamment à prévenir le contact direct avec les matériaux laissés en place et interdire l'usage des eaux souterraines au droit du site (hors campagnes de prélèvements pour suivi de la qualité).</p> <p>Une Analyse des Risques Résiduels prédictive menée sur la base d'hypothèses jugées sécuritaires mais réalistes a montré l'absence de risque inacceptable suite à la mise en place des mesures de gestion.</p>



Recommandations

Compte-tenu des volumes et coûts importants liés à la gestion des déblais, Tauw France recommande de réaliser un tri des matériaux à l'avancement afin de les orienter vers les filières de traitement optimales.

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.

Les mesures mises en œuvre devront être validées dans un dossier de récolement des travaux.

Une Analyse des Risques Résiduels post-travaux devra être menée.

La mémoire de l'ensemble des opérations devra être tracée.

Tauw France préconise également d'assurer la pérennité des mesures de gestion complémentaires au moyen d'un dossier de demande de Servitudes d'Utilité Publique.

1 Introduction

1.1 Contexte de l'étude

La société INTERXION porte un projet d'installation de data-center sur un terrain localisé du 2 au 20 avenue Marcel Cachin à La Courneuve (93).

Le site d'étude, d'une superficie d'environ 68 000 m², est situé avenue Marcel Cachin sur la commune de La Courneuve (93). Le terrain d'étude se situe dans une zone urbaine dense.

Le site a été historiquement occupée par des activités liées à l'aéronautique jusqu'en 2017. La dernière activité recensée est celle de la société Airbus Helicopters pour la fabrication de pâles d'hélicoptères. Ce site était soumis à la législation relative aux Installations Classées (ICPE).

A ce jour, nous n'avons pas d'information sur le fait que la procédure de cessation d'activités ait été menée à son terme.

Le plan de masse du site d'étude est présenté sur la figure suivante.



Figure 1.1 : Localisation du site d'étude



Dans le cadre de la cessation d'activité de la société Airbus Helicopters, des études de pollution ainsi qu'un mémoire de réhabilitation ont été réalisés. Ces études sont synthétisées dans le chapitre « Synthèse des études antérieures ».

Les différentes études de pollution ont montré la présence de contaminations en composés volatils (COHV essentiellement) dans les sols et l'eau souterraine.

Suite aux résultats des études précédentes et en raison de l'évolution du projet, la société INTERXION, nouvel exploitant du site, a sollicité Tauw France pour la réalisation d'un diagnostic complémentaire et d'un plan de gestion adapté au projet et aux différents usages associés.

1.2 Objectifs de l'étude

Afin de répondre aux objectifs et aux besoins d'INTERXION, Tauw France a réalisé les prestations suivantes :

- la réalisation d'**investigations sur les sols (mission A200)**. Ce diagnostic complémentaire permet d'évaluer la qualité des terrains au niveau des aires potentiellement contaminées identifiées et de réaliser un plan de terrassement dans l'optique d'optimiser la gestion des déblais générés par le projet ;
- des **investigations sur les eaux souterraines (mission A210)**. Ces investigations permettent d'évaluer l'évolution de la qualité des eaux souterraines depuis 2016 ;
- des **investigations sur les gaz du sol (mission A230)**. Ces investigations permettent le recueil des données nécessaires à la réalisation d'une **analyse des risques sanitaires (A320)** afin de vérifier la compatibilité sanitaire des terrains avec les différents usages envisagés.

Nota : Aucune étude relative à l'historique du site (mission A110) ou à la vulnérabilité des milieux (mission A120) n'est présente dans ce document, ces recherches ayant déjà été réalisées dans le cadre d'études antérieures.

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 en charge de l'Environnement, relative aux sites et sols pollués - mise à jour des textes méthodologiques de gestion des sites et sols pollués de 2007.

Les prestations réalisées par Tauw France sont conformes :

- A la norme NF X 31-620-1 « Qualité des sols – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués – exigences générales »,
- A la norme NF X 31-620-2 « Qualité des sols – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués – 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 2.1 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
Diagnostic de l'état des milieux		
A200	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols	X
A210	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines	X
A230	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les gaz du sol	X
Evaluation des impacts sur les enjeux à protéger		
A320	Analyse des enjeux sanitaires	X
A330	Identification des différentes options de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts/avantages	X

2.2 Liste des sources d'informations consultées

Dans le cadre de cette étude, les sources d'informations suivantes ont été consultées par Tauw France.

Tableau 2.2 Sources d'informations consultées

Données	Sources d'informations
Situation et environnement immédiat	- visite du site et des environs.
	- carte IGN – Géoportail.
	- plan de masse du site et plan de masse du projet.
	- plan cadastral.
	- diagnostic de l'état du sous-sol : HPC Envirotec, réf. HPC-F2A/2.09.4442 d, du 08/06/10.
	- diagnostic complémentaire : GEOSAN, réf. GFMC16.17915, du 18/11/2016.
	- mémoire de réhabilitation : GEOSAN/TAUW, réf. GFMC16.17915, du 22/03/2017.



3 Caractéristiques du site

3.1 Localisation

La société INTERXION porte un projet d'installation de data-center sur un terrain localisé du 2 au 20 avenue Marcel Cachin à La Courneuve (93).

Le site d'étude, d'une superficie d'environ 68 000 m², est situé avenue Marcel Cachin sur la commune de La Courneuve (93). Le terrain d'étude se situe dans une zone urbaine dense.

La topographie du site est relativement plane ; sa cote altimétrique est d'environ 37 m NGF.

Les coordonnées du centre du site, dans le système Lambert 93, sont les suivantes :

- X : 655 930 m ;
- Y : 6 869 900 m.

Le terrain d'étude correspondant aux trois parcelles suivantes, référencées au cadastre de la commune :

- la parcelle n°91 de la section 0U de 1 m² ;
- la parcelle n°126 de la section 0U respectivement de 4 186 m² ;
- la parcelle n°197 de la section 0R de 63 834 m².

Un plan de localisation du site sur un extrait de carte IGN ainsi qu'un extrait du plan cadastral sont respectivement présentés en **Annexes 1 et 2**.

3.2 Etat actuel du site

Le site a été historiquement occupé par des activités liées à l'aéronautique jusqu'en 2017.

La dernière activité recensée est celle de la société Airbus Helicopters pour la fabrication de pâles d'hélicoptères.

Les bâtiments au droit du site sont actuellement en cours de démolition.

Avant le début des travaux de démolition, les bâtiments industriels et tertiaires présents occupaient environ 80% de la surface au sol, le reste correspond à des surfaces imperméabilisées. La part d'espaces verts s'élevait à environ 5% de la surface totale.

Les clichés photographiques pris au cours des interventions terrain de septembre 2018, illustrant l'état général du site d'étude, sont présentés en **Annexe 3**.

Une vue aérienne du site, avant les travaux de démolition, est présentée en **Annexe 4**.

3.3 Voisinage immédiat du site

L'environnement du site dans son ensemble est caractérisé par la présence des principaux éléments suivants :

- de nombreuses voies de circulation, en particulier l'autoroute A86 au sud du site (à environ 50 mètres), l'autoroute A1 en partie est du site (à moins de 150 mètres) et l'autoroute A1 au nord ;

- la présence d'Établissements Recevant du Public (collège Politzer, Lycée Brel) au nord du site (à environ 150 m) ;
- le Parc Départemental de La Courneuve à une distance d'environ 600 mètres, au nord ;
- une zone d'activité à l'est du site ;
- des zones d'habitation à 20 m à l'ouest du site.

3.4 Rappel de la situation administrative du site

D'après la base de données des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), le site est soumis à autorisation depuis l'arrêté préfectoral du 29/10/1991.

A ce jour, nous n'avons pas d'information sur le fait que la procédure de cessation d'activités ait été menée à son terme.

Le tableau suivant récapitule les activités du site soumises à la réglementation sur les ICPE.

Tableau 1 : Inventaire réglementaire

Rubrique	Caractéristiques de l'installation	Régime
3260	Traitement de surface Volume des cuves affectées au traitement de surface = 91 m ³	Autorisation
1111	Emploi ou stockage de substances ou préparations très toxiques Stockage d'acide fluorhydrique = 480 kg	Autorisation
2564.1	Nettoyage, dégraissage, décapage de surfaces quelconques par des procédés utilisant des liquides organohalogénés ou des solvants organiques 14 installations de fontaine à solvants (5 fontaines de 350 litres de méthyléthylène et 9 de 350 litres de diestone) ; Volume total des cuves = 4 900 litres.	Autorisation
2565.2	Revêtement métallique ou traitement de surfaces quelconques par voie électrolytique ou chimique Volume des cuves de traitement = 91 000 litres ; Cuve de dégraissage lessiviel = 11 771 litres ; Cuve masquage perchloroéthylène = 3 192 litres	Autorisation
2940.2	Application, cuisson, séchage de vernis, peinture, apprêt, colle, enduit, etc. Atelier de Finition de Pâle (AFP) = 65 kg/j ; Atelier de peinture petites pâles = 35 kg/j ; Application bâtiment O = 11 kg/j.	Autorisation
1432	Stockage en réservoirs manufacturés de liquides inflammables Capacité équivalente = 22,1 m ³	Déclaration
2575	Emploi de matières abrasives Puissance totale des sableuses = 190,5 kW	Déclaration
2910.A	Combustion	Déclaration
2915.2	Procédés de chauffage Thermorégulateurs des moules et presses – Capacité en huile = 6 300 litres	Déclaration

3.5 Projet d'aménagement

Le projet d'aménagement consiste essentiellement en la construction d'un bâtiment de data-center en R+5 avec un niveau de sous-sol (environ -4 m de profondeur) pour accueillir un parking. Un square sera également aménagé à l'angle nord-ouest ainsi qu'une école de la seconde chance à l'angle nord-est.

Le plan masse du projet d'aménagement est repris ci-dessous.

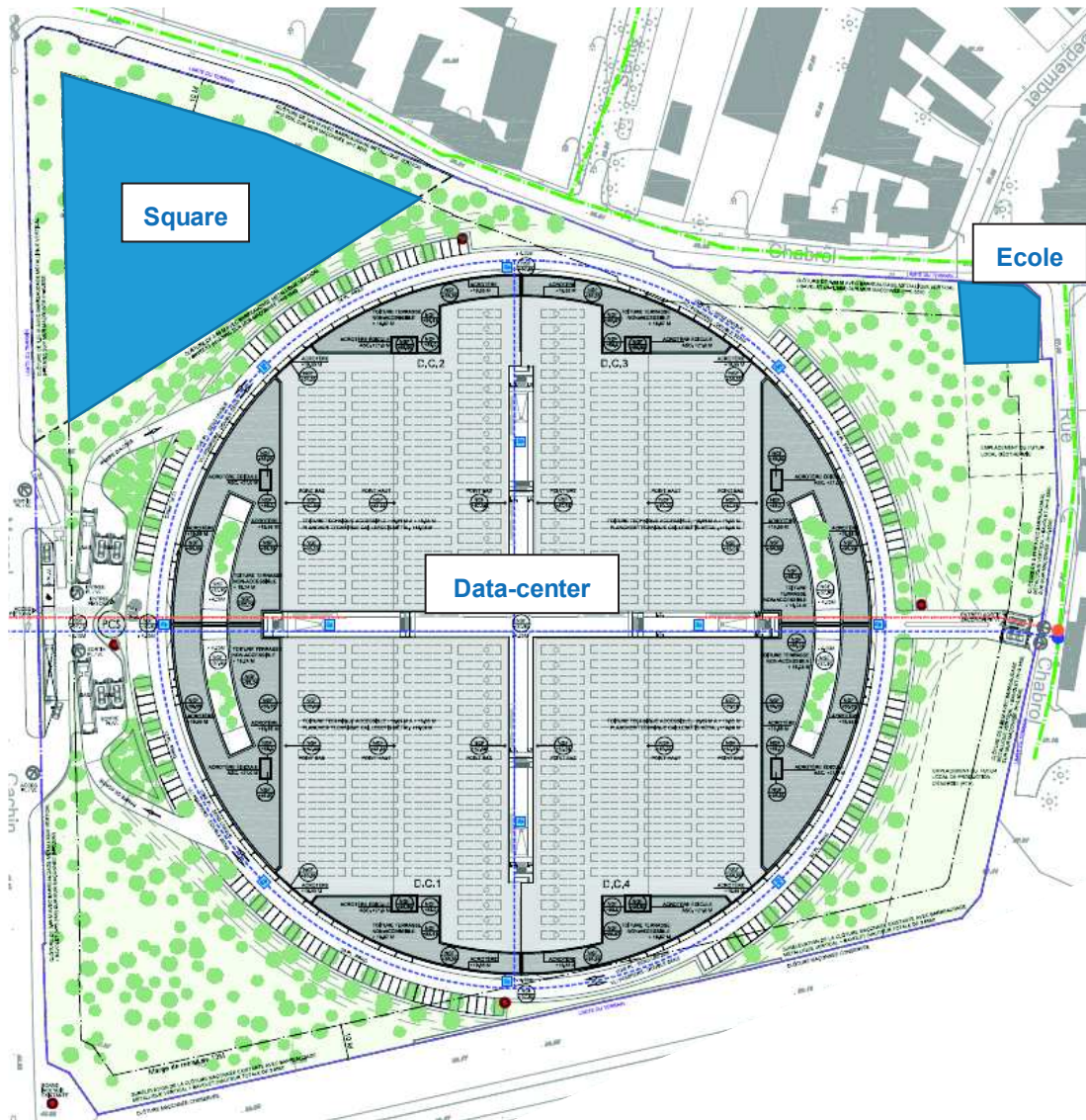


Figure 3.1 : Projet d'aménagement



4 Synthèse des études antérieures

4.1 Synthèse des investigations et des résultats

La zone d'étude a fait l'objet de plusieurs études environnementales. Ces études sont les suivantes :

- diagnostic initial de pollution réalisé par HPC Envirotec pour le compte d'Airbus Helicopters – « Diagnostic de l'état du sous-sol », réf. HPC-F 2A/2.09.4442 d, daté du 8 juin 2010 ;
- diagnostic complémentaire réalisé par GEOSAN pour le compte d'Airbus Helicopters – « Diagnostic complémentaire de pollution », réf. GFMC16.17915, daté du 18 novembre 2016.
- mémoire de réhabilitation réalisé par GEOSAN/TAUW pour le compte d'Airbus Helicopters – « Mémoire de réhabilitation », réf. GFMC16.17915, daté du 22 mars 2017.

Ces différentes études sont synthétisées dans le tableau suivant par ordre chronologique.

Les plans d'implantation de ces investigations sont présentés dans les 2 Figures en pages suivantes.

Les cartographies des résultats analytiques remarquables de HPC Envirotec et de Geosan/Tauw France sont présentées respectivement en **Annexes 5 et 6**.

Tableau 4.1 Synthèse des investigations environnementales antérieures

Rapports existants	Investigations réalisées	Substances analysées	Bilan des investigations
Diagnostic initial de pollution HPC Envirotec (juin 2010)	<ul style="list-style-type: none"> - campagne de prélèvement des sols : 76 sondages de sol entre 0,5 et 5 m de profondeur (référéncés Sx). - campagne de prélèvement des gaz du sol : 15 piézairs entre 1 et 3 m de profondeur (référéncés Prx). - campagne de prélèvement des eaux souterraines : 5 piézomètres entre 25 et 28,5 m de profondeur (référéncés Pzx). 	<p>Sols : 8 métaux lourds, HCT C5-C40, HAP, BTEX (+autres CAV), PCB, COHV, COT et analyses sur éluat.</p> <p>Eaux souterraines : 8 métaux lourds, HCT C5-C40, HAP, BTEX (+autres CAV), PCB, COHV.</p> <p>Gaz du sol : hydrocarbures C5-C16, BTEX (+autres CAV), et naphtalène, COHV, solvants polaires.</p>	<p>Sols</p> <ul style="list-style-type: none"> - présence généralisée d'Eléments Traces Métalliques (ETM) à des teneurs significatives sur la quasi-totalité du site ; - présence d'impacts ponctuels en hydrocarbures C10-C40 et en chrome hexavalent en partie nord-ouest ; - présence de trois zones impactées par des solvants chlorés (trichloroéthylène et tétrachloroéthylène) au nord-ouest, au sud-est et plus ponctuellement au nord-est. <p>Eaux souterraines</p> <ul style="list-style-type: none"> - sens d'écoulement de la nappe des Calcaires de St-Ouen et des Sables de Beauchamp en direction de l'ouest-nord-ouest au droit du site ; - présence de teneurs significatives en solvants chlorés (substances concernées : TCE, PCE et leurs produits de dégradation cis-1,2-dichloroéthylène et chlorure de vinyle) au droit de l'ensemble des ouvrages (impacts présents en surface et/ou en profondeur), l'ouvrage le plus impacté étant situé en bordure ouest du site (aval hydraulique) avec une extension probable en périphérie ouest-nord-ouest de ce dernier. <p>Gaz du sol</p> <p>Contamination en solvants chlorés (principalement TCE et PCE) ainsi que des teneurs élevées en BTEX.</p>
Diagnostic complémentaire de pollution GEOSAN (novembre 2016)	<ul style="list-style-type: none"> - campagne de prélèvement des sols : 12 sondages MIP à ± 10 m de profondeur (référéncés de MIP1 à MIP12). 20 sondages de sol entre 2 et 10 m de profondeur (référéncés de 101 à 109, de 111 à 115 et de 201 à 206). - campagne de prélèvement des gaz du sol : 5 piézairs à 2 m de profondeur (référéncés de 1001 à 1005). - campagne de prélèvement des eaux souterraines : 9 piézomètres entre 6 et 15 m de profondeur (référéncés de Pz8 à Pz15 et P110). 	<p>Sols : 8 métaux lourds, HCT C5-C40, HAP, BTEX, PCB, COHV, COT et analyses sur éluat.</p> <p>Eaux souterraines : 8 métaux lourds, HCT C5-C40, HAP, BTEX, COHV.</p> <p>Gaz du sol : hydrocarbures C5-C16, BTEX, naphtalène, COHV.</p>	<p>Sols</p> <ul style="list-style-type: none"> - contamination diffuse en métaux ; - contamination en hydrocarbures au niveau de la zone des cuves en activité (forages 109 et 110) ; - contamination diffuse en COHV, plus importante en TCE au niveau des ouvrages 201, 203 et PZ9, délimitée verticalement à 2,4 m et horizontalement par les sondages MIP1 à MIP5 ; - contamination en HCT observée par HPC Envirotec) en partie nord-ouest (S63) non confirmée, mais contamination en HAP (non analysé par HPC Envirotec) ; - dépassements des valeurs d'admissibilité en ISDI pour les sulfates et la fraction soluble ; - pour les sondages MIP : <ul style="list-style-type: none"> -- des contaminations en hydrocarbures et COHV à 6,5 m et entre 7 et 10 m de profondeur au niveau du MIP7 ; -- des contaminations en hydrocarbures et COHV entre 6,5 et 8,4 m de profondeur au niveau du MIP8. <p>Eaux souterraines</p> <ul style="list-style-type: none"> - contaminations en COHV au droit du site. Par rapport à la précédente campagne de 2010, accroissement très important des concentrations des composés de dégradation du trichloroéthylène ; La contamination en COHV des eaux souterraines ne semble pas sortir du site ; - contamination en BTEX et HAP. <p>Gaz du sol</p> <p>Contamination en solvants chlorés (principalement TCE et PCE), plus importantes que celles observées lors de la précédente campagne de 2010, ainsi que des teneurs élevées en BTEX et en hydrocarbures volatils.</p>
Mémoire de réhabilitation GEOSAN/TAUW (mars 2017)	-	-	<p>Les différentes études de pollution ont montré la présence de contaminations en composés volatils (COHV essentiellement) dans les sols et l'eau souterraine.</p> <p>Le mémoire de réhabilitation a déterminé plusieurs Zones de Pollution Concentrée (ZPC) qu'il convient de traiter afin d'obtenir un état sanitaire compatible avec l'usage projeté. Il a aussi déterminé la présence d'une contamination en hydrocarbures au droit de cuves enterrées qui doivent être démantelées dans le cadre des opérations de mise en sécurité du site.</p> <p>Le bilan coûts/avantages réalisé dans le cadre du mémoire de réhabilitation a montré que la technique de traitement optimale est la mise en place d'un venting à chaud dans la zone non saturée.</p>

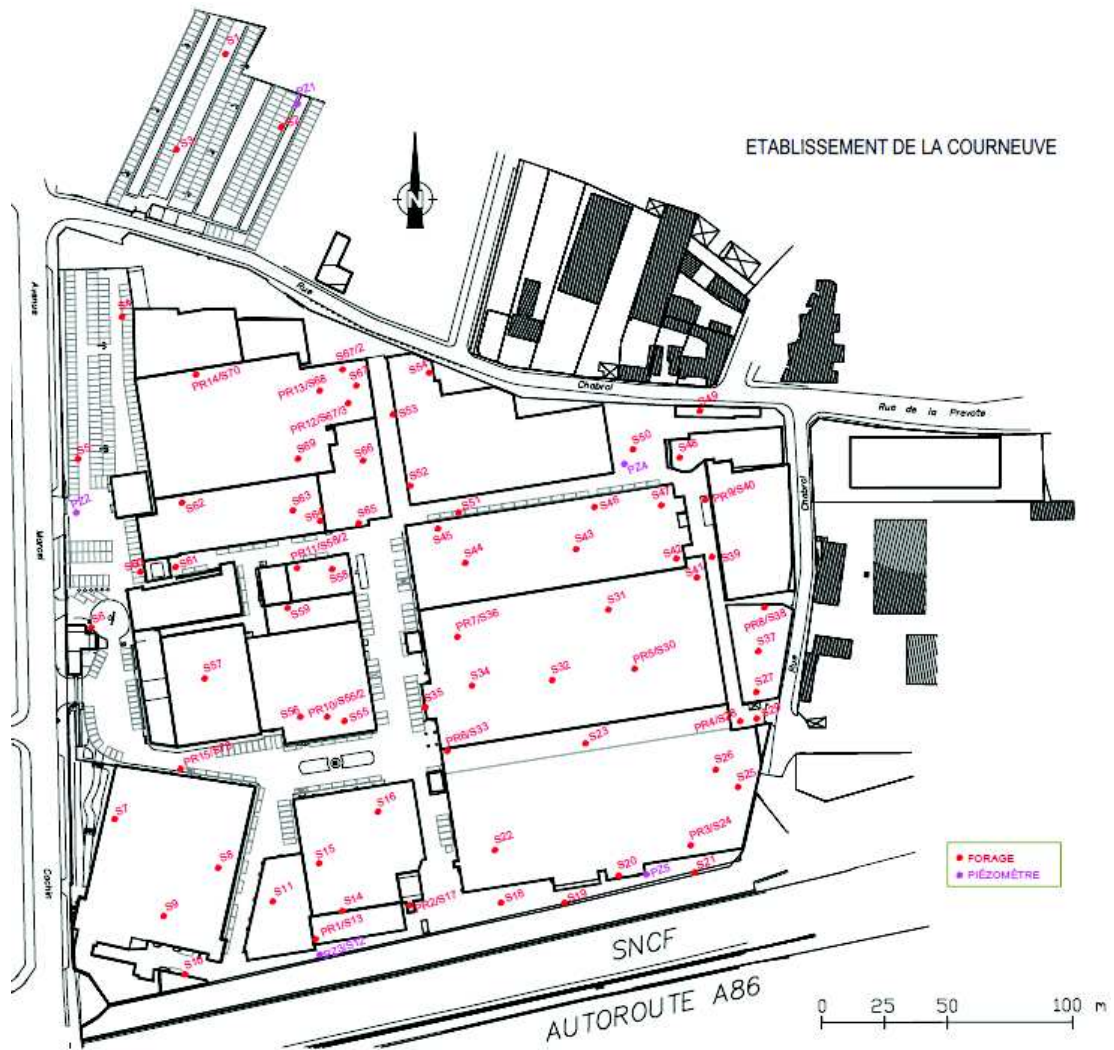


Figure 4.1 : Localisation des investigations HPC 2010

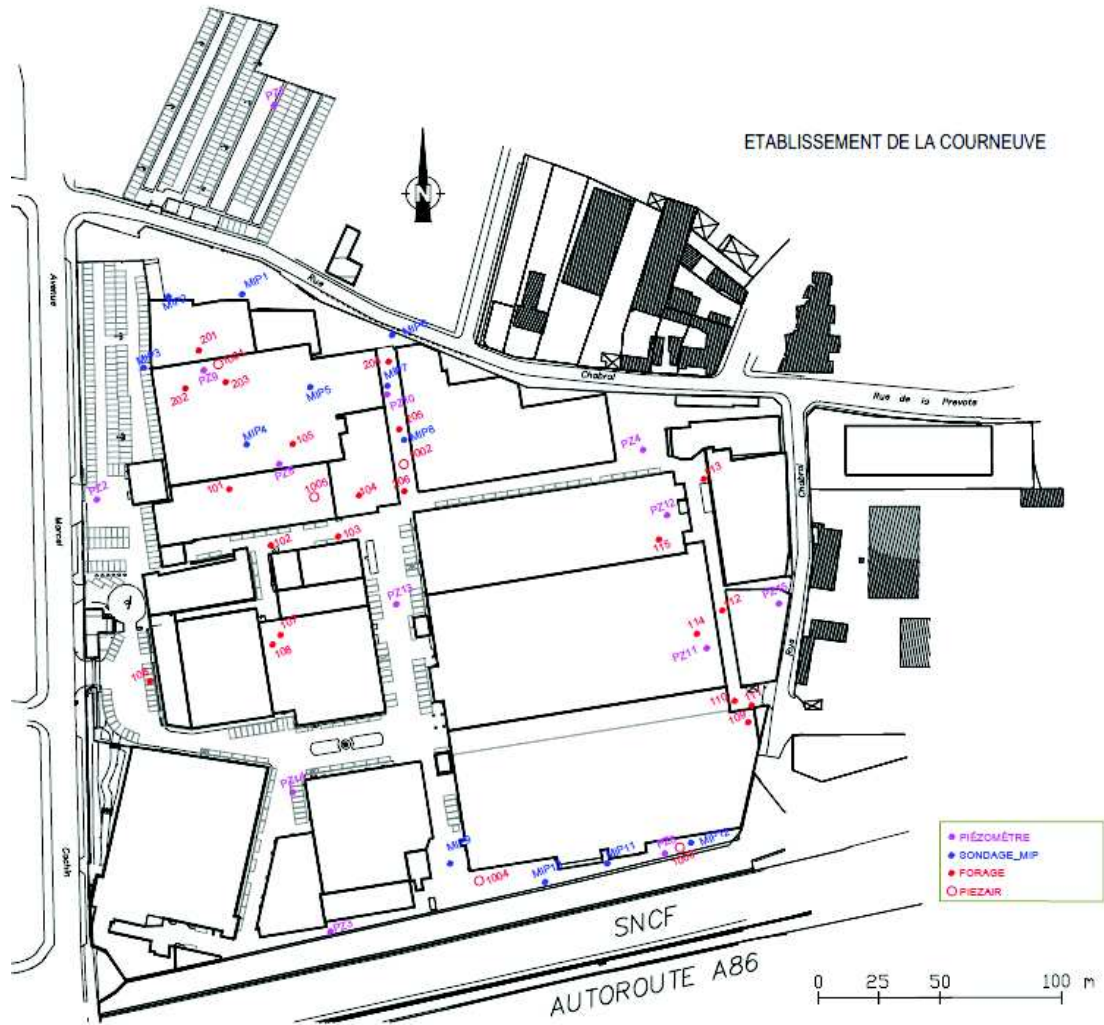


Figure 4.2 : Localisation des investigations GEOSAN 2016

Les caractéristiques des 3 Zones de Pollution Concentrée (ZPC) identifiées par GEOSAN/Tauw sont reprises dans le tableau suivant :

Tableau 4.2 : Caractéristiques des ZPC identifiées au droit du site AIRBUS Helicopters

Zone de pollution concentrée	Sondages concernés	Polluants principaux Concentrations maximales
ZPC n°1	Pr14/S70, 201, 203, PZ9, 1001	Pour les sols : [COHV] = 34,86 mg/kg MS dont 34,7 mg/kg MS en TCE Pour les gaz du sol : [COHV] = 81.068 µg/m ³ , dont 80.579 µg/m ³ de TCE [benzène] = 11,02 µg/m ³ [HC C8-C10] = 100 µg/m ³
ZPC n°2	S53, 1002	Pour les gaz du sol : [COHV] = 6.799 µg/m ³ , dont 4.711 µg/m ³ de TCE [benzène] = 3,79 µg/m ³ [HC C8-C10] = 116 µg/m ³
ZPC n°3	S18, S21, PZ5, 1004	Pour les sols : [COHV] = 15 mg/kg MS (TCE) Pour les gaz du sol : [COHV] = 24.447 µg/m ³ , dont 24.354 µg/m ³ de TCE [benzène] = 3,88 µg/m ³ [HC C8-C10] = 246 µg/m ³ [HC C10-C12] = 88 µg/m ³

N.B. : Au stade des études antérieures, les contaminations en métaux dans les sols n'ont pas été considérées pour la détermination des zones de pollution concentrée compte-tenu du recouvrement quasi intégral du site.

La localisation de ces ZPC est présentée sur la figure ci-après.

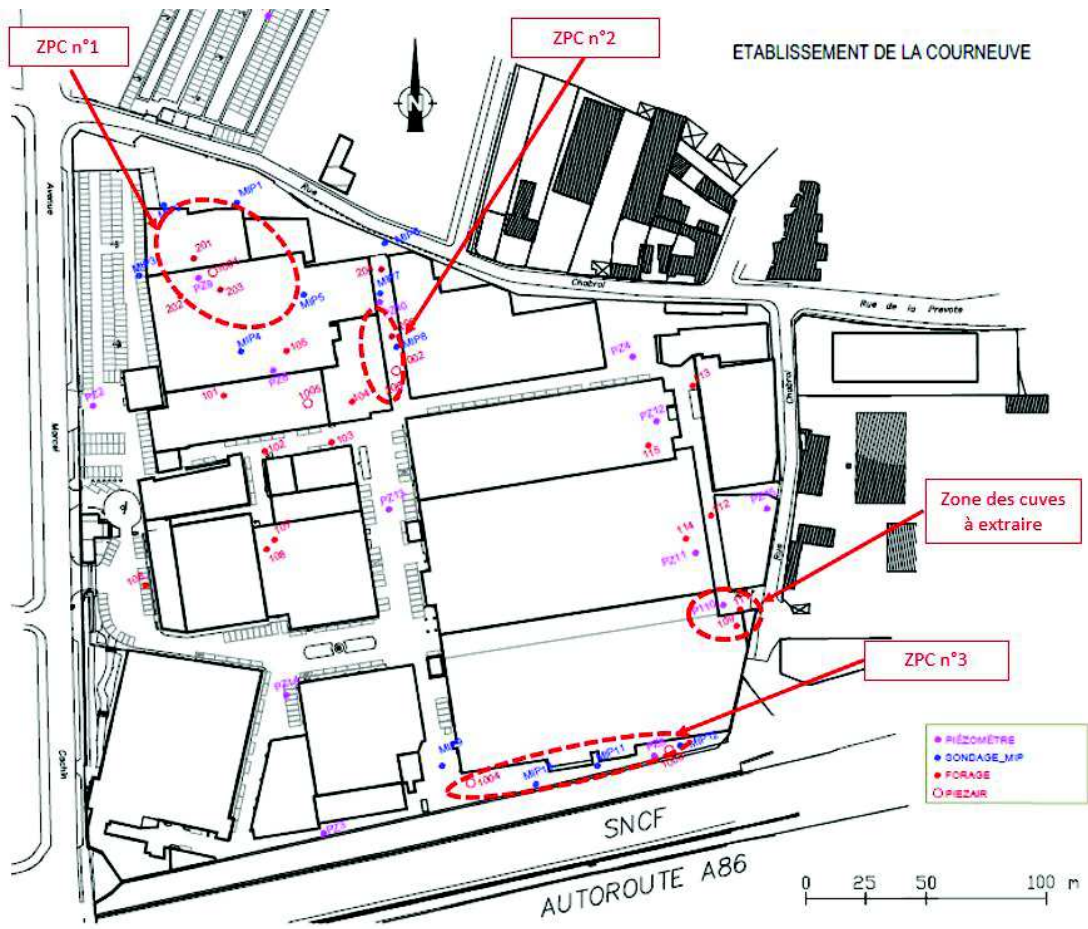


Figure 4.3 : Localisation des zones de pollution concentrée identifiées par GEOSAN/Tauw

5 Investigations complémentaires sur les sols (A200)

5.1 Hygiène et sécurité

Conformément au décret n°2011-1241 du 05/10/2011 relatif à « l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution », les investigations intrusives (sondages de sol) n'ont été initiées qu'après la réception et analyse de l'ensemble des réponses aux déclarations d'intention de commencement de travaux (DICT) réalisées par Tauw, préalablement aux travaux.

Conformément au Code du Travail (Titre I^{er}, relatif aux travaux réalisés dans un établissement par une entreprise extérieure, notamment l'article R.4512-6), Tauw a préparé une Analyse Spécifique de Risques (ASR), qui a été annexé au « plan de prévention ».

Cette ASR décrit les différentes phases des investigations (forage, échantillonnage, etc.), les risques spécifiques associés à l'intervention sur site et aux éventuelles interactions avec les activités du site et spécifie les moyens de prévention mis en œuvre pour gérer les risques identifiés (revue des plans disponibles des réseaux enterrés du site, utilisation d'un appareil de détection de câbles électriques sous tension (DigitCAT 100), port des équipements de protection individuelle (EPI), signalisation des zones de travail, etc.).

Chaque activité a été menée de manière à assurer la sécurité de l'ensemble des intervenants sur le site.

5.2 Stratégie d'investigation

Le programme d'investigation avait pour objectifs de :

- caractériser le milieu sol au regard des activités passées exercées sur le site ;
- caractériser la qualité des déblais amenés à être générés lors de l'aménagement du site ;
- caractériser la qualité des sols au droit des zones de pollution concentrée (ZPC) identifiées après terrassement ;
- définir les filières d'élimination envisageables pour les futurs déblais ;
- estimer les implications financières de gestion spécifique de déblais en filière adaptée pour le projet.

Ainsi, le programme d'investigations proposé par Tauw France comprenait la réalisation de :

- 4 sondages de sol à une profondeur de 5 m au droit des zones de pollution concentrée ;
- 6 sondages de sol à une profondeur de 5 m au droit du futur data-center, dont 4 sont équipés en piézairs ;
- 6 sondages de sol à une profondeur de 2 m à proximité des anciennes installations de surface ayant montré la présence d'huiles ;
- 3 sondages de sol à une profondeur de 3 m à proximité des anciennes installations des cuves enterrées ayant contenues des huiles ;
- 2 sondages de sol à 1,5 m de profondeur, au droit de la future école, équipés en piézairs.



Nota : Aucune investigation de sol n'a été prévue au droit du futur square, ces données ayant déjà été collectées lors des investigations antérieures.

5.2.1 Réalisation des sondages de sol

La procédure de sécurité mise en place par Tauw France, préalablement à l'intervention, n'a pas montré de réseaux enterrés au droit des points de sondage (DICT, détecteur de réseau de Tauw France).

Au total, 17 sondages sols, dont 6 équipés en piézaires, ont été réalisés les 10, 11 et 17 septembre 2018 par la société Astaruscle, sous la supervision continue d'un ingénieur de Tauw France.

Les sondages TW7 à TW10, initialement prévus au niveau du bâtiment J afin de caractériser un éventuel impact lié à des anciennes installations, n'ont pu être réalisés du fait des contraintes d'accès (bâtiments en cours de démolition).

Les travaux de sondage ont été réalisés à l'aide d'une foreuse mécanique permettant le battage de tube creux. Ce matériel spécifique particulièrement adapté à l'exploration des sites et sols pollués permet d'extraire et de décrire les carottes de sol non remanié, ainsi que d'effectuer des prélèvements sans difficulté à la profondeur souhaitée. Les carottes sont gainées à l'avancement dans un tube de PVC cristal à usage unique, cette technique permet d'éviter tout risque de contamination des échantillons par le matériel de prélèvement.

L'ingénieur de Tauw France, présent constamment lors des investigations, a noté la coupe des terrains traversés, les observations organoleptiques (odeur, couleur, aspect) sur site, et a effectué le prélèvement des échantillons nécessaires à la caractérisation analytique des sols traversés.

L'ensemble des travaux a été suivi via des mesures au photoioniseur (PID), équipé d'une lampe 10.6 eV et calibré à l'aide d'une bouteille d'isobutylène dosé à 100 ppm. Cet instrument réagit aux composés volatils ionisables comme le benzène et les solvants chlorés en donnant une réponse semi-quantitative à leur présence dans les gaz du sol. De même, tous les échantillons prélevés ont été inspectés avec le PID.

Dès la fin des travaux de sondage, ces derniers ont été rebouchés à l'aide des matériaux extraits, et le revêtement de surface (enrobé ou béton) a été restauré.

Les coupes descriptives de chaque sondage, levées sur le terrain, sont consultables en **Annexe 7**.

La synthèse des investigations menées est présentée dans le tableau ci-après, suivi du plan d'implantation des sondages par rapport à l'état projeté.

Tableau 5.1 : Programme d'investigations réalisé

Projet	Description des ZPC	Nombre de forages	Nombre de piézairs	Objectifs et composés ciblés
École de la seconde chance	-	-	2 piézairs à 1,5 m : TWair1 et TWair2	Acquisition de données pour l'évaluation des risques sanitaires
Square	ZPC n°1 : Bâtiments N1, N2, NN3	1 sondage à 5 m : TW1	-	Vérification de la qualité des sols après implantation du projet
	Compresseur d'huile : Bâtiment NN3	1 sondage à 2 m : TW13	-	Vérification de l'absence d'impact sol
	-	-	Prélèvement de piézairs existants : 1001 et Pr14	Acquisition de données pour l'évaluation des risques sanitaires
Data-center	ZPC n°2 : Bâtiments N4Z et R	2 sondages à 5 m : TW2, TW3	-	Vérification de la qualité des sols après implantation du projet
	ZPC n°3 : Bâtiment J, K, Y et zone déchetterie	1 sondage à 4,6 m (refus) : TW4, initialement prévu à 5 m	-	Vérification de la qualité des sols après implantation du projet
	Compresseur + cuve à huiles : Bâtiment H	1 sondage à 2 m : TW5	-	Vérification de l'absence d'impact sol suite au démantèlement
	Cuve à huile aérienne : Bâtiment CDE	1 sondage à 2 m : TW6	-	Vérification de l'absence d'impact sol
	Bacs inox, caniveaux et cuve en béton contenant des huiles : Ouest du Bâtiment J	2 sondages à 3 m : TW11 et TW12 1 sondage à 2,2 m (refus) : TW11, initialement prévu à 3 m	-	Vérification de l'absence d'impact sol Vérification de l'absence d'impact sous les cuves
	-	6 sondages à 5 m : TW14 à TW19	4 sondages équipés en piézairs à 4 m : TWair3 à TWair6	Vérification de la qualité des sols après implantation du projet Définition des filières d'élimination envisageables Acquisition de données pour l'évaluation des risques sanitaires
	-	-	-	-

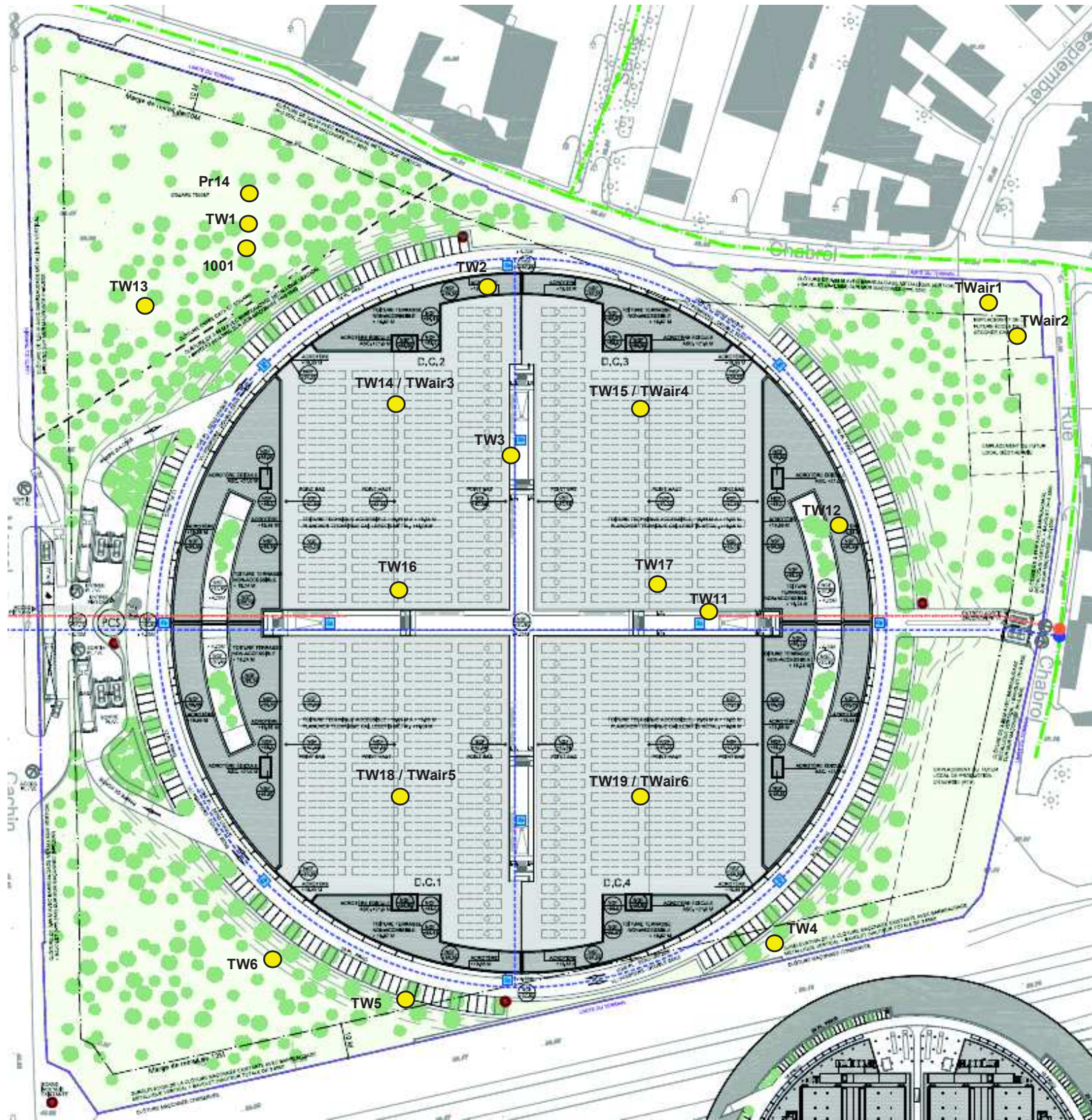


Figure 5.1 : Plan d'implantation des investigations complémentaires



5.2.2 Prélèvement et conditionnement des échantillons de sol

Les échantillons de sol ont été prélevés au droit de chaque sondage à raison *a minima* de deux échantillons par sondage, et environ d'un échantillon à chaque mètre investigué en fonction :

- des caractéristiques de l'aire potentiellement contaminée associée ;
- des couches rencontrées ;
- des indices organoleptiques observés ;
- des mesures obtenues à l'aide du Photo Ionisation Detector (PID) ;
- de la répartition spatiale des échantillons de sol confectionnés entre les différents sondages.

Les prélèvements ont été effectués au fur et à mesure des travaux de sondage, à la main gantée.

Tous les échantillons prélevés ont été inspectés avec un détecteur par photoionisation (PID).

Un total de 57 échantillons de sols a été prélevé dont 27 ont été sélectionnés pour analyses au laboratoire.

Les échantillons, référencés TwX-Y (le premier chiffre, X, correspondant au numéro du sondage et le deuxième, Y, au numéro de l'échantillon), ont été placés dans des bocaux en verre remplis au maximum, fermés hermétiquement, et conservés dans une enceinte refroidie en vue de leur envoi en express au laboratoire d'analyses.

Les échantillons de de sol ont été stockés dans des flacons en verre et placés à l'abri de la lumière dans des glacières maintenues au frais avec des pains de glaces aussitôt après le prélèvement et transportés au laboratoire dans les mêmes conditions. Les échantillons ont été envoyés sous 24 h au laboratoire d'analyses.

5.2.3 Programme analytique

Le programme analytique réalisé a un double objectif à savoir de :

- caractériser le milieu sol au regard des activités passées exercées sur le site ;
- caractériser la qualité des déblais amenés à être générés lors de l'aménagement du site.

Le programme analytique réalisé est le suivant :

15 échantillons de sols pour des packs Bilan du Sous-Sol (BSS) :

- 8 métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), selon la norme EN-ISO 11885 ;
- hydrocarbures totaux (HCT, fractions comprenant de 10 à 40 atomes de carbone), selon la norme ISO 16703 ;
- hydrocarbures volatiles (HCV, fractions comprenant de 5 à 10 atomes de carbone), selon la norme ISO 22155 ;
- hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), selon la méthode interne du laboratoire ;
- solvants aromatiques (BTEX), selon la norme ISO 22155 ;
- solvants chlorés (COHV), selon la norme ISO 22155 ;

12 échantillons de sols pour des packs ISDI étendu :

- sur matière brute :



- les douze métaux lourds sur brut (As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Sb, Se, Pb, Zn) : conforme NEN 6966 et ISO 16772 (Hg) ;
 - les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : équivalent à ISO 13877 ;
 - les hydrocarbures totaux (HCT, fraction C10-C40) : ISO 16703 ;
 - les solvants aromatiques (BTEX-benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes) : conforme à NEN-ISO 22155 ;
 - les polychlorobiphényles (PCB) : NF ISO 22155 ;
 - les composés organiques halogénés volatils (COHV) : conforme à NEN-ISO 22155 ;
 - le carbone organique total (COT) : conforme ISO 10694.
-
- sur éluat (EN 12457) :
 - la fraction soluble : équivalent à NF EN ISO 15216 ;
 - 12 métaux lourds (As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn) : NEN-EN-ISO 17294-2 ; EN 13370 ;
 - les fluorures : ISO 10359-1 et NEN-EN 13370 ;
 - les sulfates : Equivalent à ISO 22743 ;
 - les chlorures : équivalent à EN ISO 10304-1 / équivalent à EN ISO 15682 ;
 - l'indice phénol : EN-ISO 13370 ;
 - le carbone organique total (COT) : EN 13370 ;
 - les cyanures : EN-ISO 14403.

Sur 2 échantillons de sols :

- granulométrie pour la caractérisation des sols au niveau de la crépine des piézairs.

Les échantillons de sols ont été envoyés au laboratoire Eurofins, à Saverne. Ce laboratoire est accrédité COFRAC (Comité Français d'accréditation). Cette accréditation garantit toutes les activités d'analyses du Laboratoire d'analyses environnementales.

5.2.4 Synthèse du programme d'investigations

Le tableau ci-après synthétise les caractéristiques des sondages réalisés ainsi que le programme d'échantillonnage retenu.

Tableau 5.2 Synthèse des investigations sur les sols

Sondage	Profondeur totale	Echantillon de sol	Prof. (m)	Lithologie	Caractéristiques organoleptiques	Analyses	PID (ppm v)
TW1	5 m	TW1-1	0,25-1,2	R gris noir	Couleur noire. Morceaux de briques	-	1,3
		TW1-2	1,6-2	A verte et passages S ocre	-	-	0
		TW1-3	2-3		-	-	0
		TW1-4	4-5		-	BSS	0
TW2	5 m	TW2-1	0,05-0,8	RS brun	-	-	0
		TW2-2	0,8-1,6	L marron noir	Couleur noire.	-	0
		TW2-3	2-3	A verte	-	-	0
		TW2-4	4-5		Terres humides	BSS	0
TW3	5 m	TW3-1	0,05-1	RLS brun gris	Morceaux de briques	-	0
		TW3-2	1-1,5	R noir	Couleur noire.	-	0
		TW3-3	2-3	A verte et passages S	-	-	0
		TW3-4	4-5		Terres humides	BSS	0
TW4	4,6 m	TW4-1	0,1-1	R	Couleur noire. Déchets d'incinération	BSS	0,1
		TW4-2	1-1,5	L buns	Couleur noire.	-	0
		TW4-3	1,5-2,4	L buns et S gris	-	-	0
		TW4-4	3-3,6	LS marron foncé avec passages G	-	-	0
		TW4-5	3,6-4	LS vert	-	-	0
TW5	2 m	TW5-1	0,2-1,2	RLS marron	Morceaux de briques	BSS	0,2
		TW5-2	1,4-2	S brun	-	-	0
TW6	2 m	TW6-1	0,3-1	R	Morceaux de briques, de verres	BSS	0
		TW6-2	1,2-2	SL brun	-	-	0
TW11	2,2 m	TW11-1	0,2-0,7	RL rouge noir vert	Couleur noire.	BSS	4,1
		TW11-2	0,7-1,7	S légèrement L	-	-	0,3
		TW11-3	1,7-2,2	L gris	-	-	0,1
TW12	3 m	TW12-1	0,2-1	RL brun gris	-	BSS	0,2
		TW12-2	1-2	L légèrement S gris	-	-	0
		TW12-3	2-3		-	-	0
TW13	2 m	TW13-1	0,4-1,4	R avec cendres	Couleur noire. Déchets d'incinération	BSS	0
		TW13-2	1,4-2	L marron	-	-	0
TW14	5 m	TW14-1	0,05-1,4	R	-	ISDI étendu	0,5
		TW14-2	2-3	SL gris vert	-	ISDI étendu	0
		TW14-3	3,2-4	L marron foncé verdâtre	-	-	0
		TW14-4	4-5		-	BSS	0
TW15	5 m	TW15-1	0,4-1,4	R? LG brun vert	Couleur noire (trace).	ISDI étendu	0,3
		TW15-2	1,4-2,4	L gris vert avec S	-	-	0
		TW15-3	3-4		-	ISDI étendu	0
		TW15-4	4-5		Terres humides	BSS	0
TW16	5 m	TW16-1	0,05-1,4	RL brun gris	Morceaux de briques	ISDI étendu	0
		TW16-2	1,4-2,4	LS gris	-	-	0
		TW16-3	3-4	A vert	-	ISDI étendu	0
		TW16-4	4,5-5	A marron foncé	-	BSS	0
TW17	5 m	TW17-1	0,2-1	LS marron	Couleur noire (trace).	ISDI étendu	0,7
		TW17-2	1-1,8	A verte et passages S	-	-	0,7
		TW17-3	2-3		-	ISDI étendu	0
		TW17-4	4-5		Terres humides	BSS	0
TW18	5 m	TW18-1	0-1	R brun gris	Couleur noire (trace).	ISDI étendu	0,4
		TW18-2	1-2	AS gris vert	-	ISDI étendu	0
		TW18-3	3-4		-	granulométrie	0
		TW18-4	4-5		-	BSS	0
TW19	5 m	TW19-1	0,2-1		R	Couleur noire. Morceaux de briques, de verres	ISDI étendu
		TW19-2	1-2	L marron foncé	-	-	0
		TW19-3	2-3	LS gris vert	-	ISDI étendu	0
		TW19-4	4-5		Terres humides	BSS	0
TWair1	1,5 m	TWair1-1	0,2-0,6	RSG brun clair	-	-	0
		TWair1-2	0,6-1,5	A verte et passages S	-	granulométrie	0
TWair2	1,5 m	TWair2-1	0,2-0,5	L marron	Couleur noire (trace).	-	0,1
		TWair2-2	0,5-1,5	A verte et passages S	-	-	0

R : remblai ; G : grave ; S : sable ; L : limon ; A : argile

5.3 Résultats

5.3.1 Observations de terrain

De manière générale, en cohérence avec les études précédentes, la succession de terrains suivante a été observée au droit des sondages :

- couche de revêtement de surface (enrobe ou dalle béton) de 5 à 30 cm d'épaisseur ;
- une couche de remblais relativement hétérogène. Ces remblais sont constitués principalement de sables ou de limons associés à des matériaux anthropiques (déchets d'incinération, morceaux de briques et de verres) sur une profondeur de 1 m à 1,5 m ;
- le terrain naturel est globalement constitué d'une première lithologie de limon plus ou moins sableux, puis par des argiles verdâtres vers 2-3 m de profondeur. D'après les études antérieures, des passages plus crayeux ou marneux peuvent être rencontrés.

Des indices organoleptiques ont été détectés lors de la réalisation des sondages, dans la lithologie de remblais : coloration noire des terres, déchets d'incinération, morceaux de briques et de verres.

Les échantillons prélevés ont été inspectés avec un photoioniseur (PID - Photo Ionisation Detector). Ces mesures semi-quantitatives ont été reportées sur les coupes descriptives présentées en **Annexe 7**. Ces mesures ont permis de mettre en évidence des composés volatils dans quelques échantillons de remblais présentant une coloration noire (entre 0,1 ppmv et 4,1 ppmv).

Aucune arrivée d'eau n'a été identifiée au niveau des sondages. Cependant, des terres humides ont été rencontrées à partir de 4 m de profondeur.

5.3.2 Valeurs de comparaison

Il n'existe pas de valeurs de référence réglementaire pour comparer nos résultats. Les référentiels cités sont des indications mais l'interprétation des résultats analytiques a été menée sur la base de notre expérience en matière de sites et sols pollués.

- **Métaux et métalloïdes**

Les concentrations sont comparées aux valeurs couramment observées dans les sols d'Ile-de-France et en particulier au 95^{ème} percentile de la distribution de concentrations mesurées (c.à.d. tel que 5% des valeurs mesurées sont supérieures ou égales) selon les recommandations de la CIRE IDF (Cellule Interrégionale d'Epidémiologie de la DRASS d'IDF - Note du 3/07/2006).

Pour l'arsenic, la valeur de comparaison est celle observée dans les sols dits « ordinaires » à l'échelle nationale. Ces valeurs sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 5.2 : Référentiel Valeurs en métaux couramment observées dans les sols d'Ile-de-France (mg/kg de MS)

Arsenic *	Cadmium	Chrome	Cuivre	Mercure	Nickel	Plomb	Zinc
1-25	0.16-0.51	30.5-65.2	8.3-28	0.04-0.32	12.2-31.2	21-53.7	41-88

- **Composés organiques dans les sols**

Pour les composés organiques recherchés par les analyses, nous ne disposons pas de valeurs de bruit de fond national ou local car ils sont généralement dus aux activités anthropiques. Un constat d'impact est caractérisé par le dépassement des seuils de détection.

- **Acceptation en ISDI**

Pour vérifier la destination des sols susceptibles d'être terrassés, les résultats sont comparés aux critères de l'arrêté du 12 décembre 2014 présentés ci-après.

Tableau 5.4 : Critères d'acceptation en centre de déchets inertes (ISDI) d'après l'arrêté du 12 décembre 2014

Matrice	Paramètres	Seuil ISDI (mg/kg/MS)
Eluat	Antimoine	0,06
	Arsenic	0,5
	Baryum	20
	Cadmium	0,04
	Chrome total	0,5
	Cuivre	2
	Mercure	0,01
	Molybdène	0,5
	Nickel	0,4
	Plomb	0,5
	Sélénium	0,1
	Zinc	4
	Fluorures	10
	Chlorures**	800
	Sulfates**	1000*
COT sur éluât	500	
Indice Phénols	1	
Fraction soluble**	4000**	
Sols bruts	COT	30 000***
	BTEX	6
	PCB	1
	HCT	500
	HAP	50

*Si le déchet ne respecte pas cette valeur pour le sulfate, il peut être encore jugé conforme aux critères d'admission si la lixiviation ne dépasse pas les valeurs suivantes : 1 500 mg/l à un ratio L/S=0,1 l/kg et 6 000 mg/kg de matière sèche à un ratio L/S=10 l/kg. Il est nécessaire d'utiliser l'essai de percolation NF CEN/TS 14405 pour déterminer la valeur lorsque L/S=0,1 l/kg dans les conditions d'équilibre initial ; la valeur correspondant à L/S=10 l/kg peut être déterminée par un essai de lixiviation NF EN 12457-2 ou par un essai de percolation NF CEN/TS 14405 dans des conditions approchant l'équilibre local.

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

***Pour les sols, une valeur limite plus élevée peut être admise, à condition que la valeur limite de 500 mg/kg MS soit respectée pour le COT total sur éluât, soit au pH du sol, soit pour un pH situé entre 7.5 et 8.0

Les critères organoleptiques (couleur, odeur...) sont également pris en compte dans l'acceptation des terres par les installations de stockage des déchets et peuvent constituer des motifs de refus lorsqu'ils sont présents.

5.3.3 Résultats des analyses en laboratoire

Les résultats d'analyses obtenus pour les échantillons de sol collectés sont repris dans le tableau en page suivante.

La légende prise en compte dans ce tableau est la suivante :

- R : remblai ; G : grave ; S : sable ; L : limon ; A : argile ;
- en grisé : concentration inférieure à la limite de quantification du laboratoire ou non déterminée (n.d.)
- **en gras et rouge** : Concentration supérieure à la valeur de référence retenue

Les bordereaux d'analyses du laboratoire sont présentés en **Annexe 8**. Ces bordereaux précisent également les normes et méthodes analytiques mises en œuvre.



5.3.4 Analyses de granulométrie :

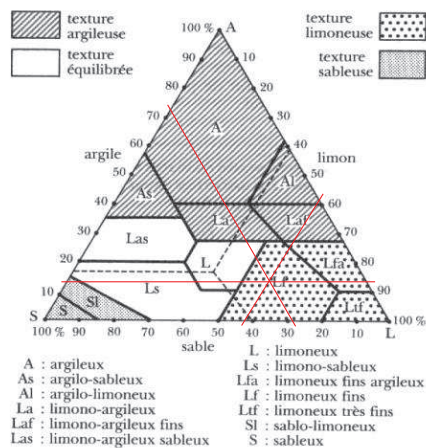
Des analyses de granulométrie ont été réalisées sur 2 échantillons de sols prélevés lors du forage des piézais, au niveau de la crépine et au-dessus : pour TW18, entre 3 m et 4 m de profondeur, et pour TWair1, entre 0,6 m et 1,5 m de profondeur.

Les analyses mettent en évidence une lithologie limoneuse sableuse voir de limons fins. Nos observations de terrain, mettant plutôt en avant la présence d'argiles plus ou moins sableuses, restent cohérentes avec les résultats des analyses granulométriques.

A noter cependant qu'environ 10% (pour TWair1) et 30% (pour TW18) des grains des échantillons sont supérieurs à 2 mm (refus au tamis).

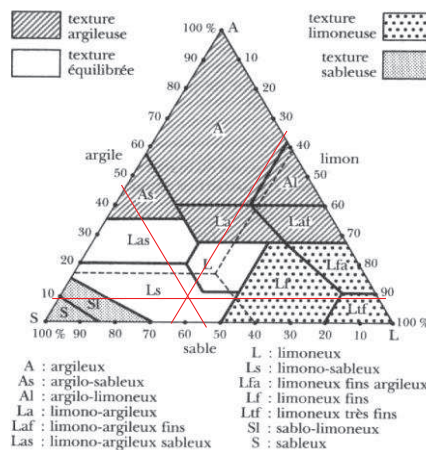
Ce refus important pourra s'expliquer par la nature crayeuse du terrain naturel, relevée notamment dans les études antérieures.

Tableau 5.4 Résultats d'analyses - granulométrie



Batiment		TWair 1-2
Résultats bruts		
<2µm	%	13,05
<63 µm	%	70,65
<2000µm	%	100
Résultats calculés		
Argiles	%	13
Limons	%	58
Sables	%	29

TRIANGLE DES TEXTURES (d'après U.S. département of agriculture)



Batiment		TW 18-3
Résultats bruts		
<2µm	%	8,77
<63 µm	%	45
<2000µm	%	100
Résultats calculés		
Argiles	%	9
Limons	%	36
Sables	%	55

TRIANGLE DES TEXTURES (d'après U.S. département of agriculture)



5.3.5 Interprétation des résultats d'analyses

En cohérence avec les études antérieures, les résultats d'analyses menées sur les sols ont permis de constater :

Dans les remblais :

- des dépassements réguliers du fond géochimique en métaux ;
- des concentrations en HCT comprises entre 107 mg/kg et 525 mg/kg, sur 8 des 12 échantillons de remblais, associées à des teneurs élevées en HAP sur deux échantillons (230 mg/kg pour l'échantillon TW16-1 et 350 mg/kg pour l'échantillon TW5-1). On remarquera toutefois que les concentrations en naphtalène restent faibles ;
- des concentrations significatives en trichloroéthylène sur 9 des 12 échantillons de remblais. On notera en particulier les concentrations de 24,5 mg/kg pour l'échantillon TW11-1 et de 87,1 mg/kg pour l'échantillon TW19-1 ;
- une concentration significative en PCB de 8,93 mg/kg pour l'échantillon TW14-1 ;
- des concentrations pour les autres solvants chlorés et les BTEX relativement faibles ou inférieures aux limites de quantification du laboratoire.

Dans le terrain naturel :

- l'absence d'anomalies de concentrations.

Au final, les échantillons réalisés sous les ZPC déterminées au stade du mémoire de réhabilitation ne montrent pas de pollution significative.

Les forages TW5 à TW13 ciblant des installations de surface potentiellement polluantes ne montrent pas de pollution significative, à l'exception de l'échantillon TW5-1 qui montre un impact en HAP et HCT dans une moindre mesure.

Pour ce qui concerne les forages TW14 à TW19 et l'évaluation de leur admissibilité en ISD, on observe que :

- l'échantillon montre TW14-1 présente une valeur en HAP sur brut supérieure au seuil d'admission en ISDI et devra être éliminé en ISDND ;
- l'échantillon TW15-1 présente des valeurs en antimoine, fraction soluble et sulfates sur éluat supérieures aux seuils d'admission en ISDI et pourra être éliminé en ISDI+ ;
- l'échantillon montre TW16-1 présente une valeur en HAP sur brut supérieure au seuil d'admission en ISDI et devra être éliminé en ISDND ;
- l'échantillon TW16-3 présente une valeur en antimoine sur éluat supérieure au seuil d'admission en ISDI et pourra être éliminé en ISDI+ ;
- l'échantillon TW17-1 présente des valeurs en fraction soluble et sulfates sur éluat supérieures aux seuils d'admission en ISDI et devra être éliminé en ISDND ;
- l'échantillon TW19-1 présente des valeurs en zinc, chlorures, fraction soluble et sulfates sur éluat supérieures aux seuils d'admission en ISDI et devra être éliminé en ISDND.



6 Investigations sur les eaux souterraines (A210)

6.1 Programme d'investigations

Afin de vérifier l'état de contamination des eaux souterraines, Tauw France a réalisé une campagne de prélèvement au droit des piézomètres existants : PZ2, PZ8, PZ10 et PZ15.

Le programme d'échantillonnage prévoyait également le prélèvement des piézomètres PZ3, PZ5, PZ9, PZ11, PZ12 et PZ14, mais ceux-ci n'ont pu être prélevés du fait de leur endommagement.

Les études antérieures ont mis en évidence un sens d'écoulement de la nappe des Calcaires de St Ouen et des Sables de Beauchamp en direction de l'Ouest-Nord-Ouest au droit du site.

6.2 Mesures piézométriques

Une mesure du niveau d'eau souterraine a été réalisée le 7 septembre 2018 au niveau des 4 piézomètres prélevés par un opérateur de Tauw France.

Les eaux souterraines ont été rencontrées entre 3 et 4 m par rapport au terrain naturel.

6.3 Prélèvement et conditionnement des échantillons

Avant la purge du piézomètre, le contrôle de la présence d'une éventuelle couche flottante de produits purs (hydrocarbures ou autres) est réalisé à l'aide d'une sonde sonore multiphase. Dans le cadre de cette campagne, aucune couche flottante n'a été mise en évidence sur l'ensemble des piézomètres échantillonnés.

La purge des ouvrages a été effectuée à l'aide d'une pompe péristaltique autonome de type Eijkelpomp.

Un volume au moins équivalent à trois fois le volume présent au repos dans les piézomètres a été pompé préalablement à la prise d'échantillons.

En accord avec le Maître d'Ouvrage, les eaux de purge ont été rejetées dans le réseau EP du site après filtration dans un charbon actif.

Afin de prévenir les risques de contamination croisée entre les ouvrages, le tuyau de prélèvement est remplacé à chaque pompage pour chacun des piézomètres afin d'éviter toute risque de contamination croisées entre les ouvrages. De plus, le fait de réaliser les prélèvements à l'aide d'une pompe péristaltique fait que le liquide n'est jamais en contact avec le corps de pompe.

Les échantillons ont été conditionnés dans des flacons fournis par le laboratoire avec les renseignements permettant de les identifier (code barre identifiant le flacon pour le laboratoire, nom de l'échantillon, date de prélèvement, lieu et n° de projet).

Le remplissage des flacons a été réalisé en évitant les remous qui pourraient être propices à une évaporation plus rapide des composés volatils. De même, chaque bouteille a été remplie jusqu'en

haut du goulot de façon à limiter le contact entre l'échantillon et l'air et à conserver l'échantillon dans l'état le plus proche de celui existant dans le sous-sol.

Les mesures du pH, de la température et de la conductivité ont été réalisées sur site avant l'échantillonnage à l'aide d'un appareil portatif de terrain de type « multi-paramètres ».

Les échantillons ont été stockés dans une glacière au froid et à l'abri de la lumière lors de la campagne d'échantillonnage.

Les échantillons ont été pris en charge directement par le coursier du laboratoire concerné. Les échantillons ont ainsi été soumis aux protocoles d'analyse dès le lendemain de leur arrivée au laboratoire.

Les fiches de prélèvements des eaux souterraines sont présentées en **Annexe 9**.

6.4 Programme analytique

Le programme analytique appliqué sur chaque ouvrage est le suivant :

- HCT : Hydrocarbures totaux, fraction C5 à C40 ;
- HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques, équivalent à ISO 13877 ;
- ETM : 8 métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) : EN-ISO 11885, ISO 16772 ;
- BTEX : Solvants aromatiques, ISO 22155 ;
- COHV : Composés organo-halogénés volatils, conforme à NEN-ISO 22155.

Les échantillons d'eaux souterraines ont été analysés par le laboratoire Agrolab. Ce laboratoire est accrédité par le RVA STERLAB reconnu par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC).

6.5 Présentation des valeurs de référence

Les résultats analytiques des échantillons d'eaux souterraines ont été comparés aux valeurs limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (limite de « potabilisation ») définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007 (Annexe 2 de l'arrêté) relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine.

6.6 Résultats d'analyse

Le tableau synthétique des résultats d'analyses de Tauw France sur les eaux souterraines est présenté en page suivante et les bordereaux d'analyses du laboratoire sont consultables en **Annexe 10**.

La légende prise en compte dans le tableau est la suivante :

- en grisé : concentration inférieure à la limite de quantification du laboratoire ou non déterminée (n.d.) ;
- en gras et rouge : Concentration supérieure à la valeur de référence (VR) retenue.

Tableau 6.1 Résultats d'analyses des eaux souterraines

Point de prélèvement	Unité	Méthode	LQ	VR	Réf.	Notes	VR	Réf.	Notes	Pz2	Pz8	Pz10	Pz15
Date de prélèvement				Potabilité			Potabilisation						
Eléments traces (ET) - métaux et métalloïdes													
Arsenic (As)	mg/l	NEN-EN-ISO17294-2	10	10	(1)		100	(2)		11	27	<10	22
Cadmium (Cd)	mg/l	NEN-EN-ISO17294-2	0,2	5	(1)		5	(2)		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Chrome (Cr)	mg/l	NEN-EN-ISO17294-2	4	50	(1)		50	(2)		<4	<4	<4	<4
Cuivre (Cu)	mg/l	NEN-EN-ISO17294-2	4	2000	(1)		1000	(3)		<4	<4	<4	<4
Mercurure (Hg)	µg/l	EN 1483	0,1	1	(1)		1	(2)		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nickel (Ni)	mg/l	NEN-EN-ISO17294-2	10	20	(1)					<10	<10	<10	<10
Plomb (Pb)	mg/l	NEN-EN-ISO17294-2	10	10	(1)		50	(2)		<10	<10	<10	<10
Zinc (Zn)	mg/l	NEN-EN-ISO17294-2	4				5000	(2)		<4	8,2	<4	8,1
Hydrocarbures totaux (HCT)													
Hydrocarbures totaux C5-C10	µg/l	méthode interne	10							<10	<10	15	10,00
Hydrocarbures totaux C10-C40	µg/l	méthode interne	50				1000	(2)		<50	<50	<50	<50
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)													
Naphtalène	µg/l	méthode interne	0,02							<0,02	0,02	0,02	<0,02
Acénaphthylène	µg/l	méthode interne	0,05	0,01	(1)					<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Acénaphthène	µg/l	méthode interne	0,01							<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluorène	µg/l	méthode interne	0,01							<0,01	0,01	0,01	<0,01
Phénanthrène	µg/l	méthode interne	0,01							0,02	0,01	<0,010	<0,010
Anthracène	µg/l	méthode interne	0,01							<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranthène	µg/l	méthode interne	0,01							<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pyrène	µg/l	méthode interne	0,01							<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(a)anthracène	µg/l	méthode interne	0,01							<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Chrysène	µg/l	méthode interne	0,01							<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(b)fluoranthène	µg/l	méthode interne	0,01							<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(k)fluoranthène	µg/l	méthode interne	0,01	0,01	(1)					<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(a)pyrène	µg/l	méthode interne	0,01							<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo(ah)anthracène	µg/l	méthode interne	0,01	0,01	(1)					<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g,h,i)pérylène	µg/l	méthode interne	0,01							<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	µg/l	méthode interne	0,01							<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
HAP (somme 4)	µg/l	méthode interne		0,1	(1)	(A)				n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
HAP (somme 6)	µg/l	méthode interne					1	(2)	(B)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Somme HAP (16 EPA)	µg/l	méthode interne								0,02	0,04	0,03	n.a.
Composés (mono-)aromatiques volatils (CAV)													
Benzène	µg/l	EN-ISO 11423-1	0,2	1	(1)					<0,2	<0,2	5,3	0,4
Toluène	µg/l	EN-ISO 11423-1	0,5	700	(4)					<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ethylbenzène	µg/l	EN-ISO 11423-1	0,5	300	(4)					<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
m,p-Xylène	µg/l	EN-ISO 11423-1	0,2							<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
o-Xylène	µg/l	EN-ISO 11423-1	0,5							<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Somme Xylènes	µg/l	EN-ISO 11423-1		500	(4)					n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)													
Tétrachloroéthylène	µg/l	EN-ISO 10301	0,1	10	(6)					<0,1	<0,1	0,9	<0,1
Trichloroéthylène	µg/l	EN-ISO 10301	0,5	10	(6)					1,2	29	19	<0,5
Somme PCE+TCE	µg/l	-		10	(1)					1,2	29	19,9	n.d.
1,1-Dichloroéthylène	µg/l	EN-ISO 10301	0,1	70	(7)					<0,1	0,6	0,3	<0,1
cis-1,2-Dichloroéthène	µg/l	EN-ISO 10301	0,5	100	(7)					3,6	140	51	4,8
Trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l	EN-ISO 10301	0,5	50	(4)					0,87	3,4	2,1	0,78
1,2-dichloroéthylène (cis et trans)	µg/l	-								4,5	140	53	5,6
Chlorure de Vinyle	µg/l	EN-ISO 10301	0,2	0,5	(1)					<0,2	<0,2	13	19
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l	EN-ISO 10301	0,5	26	(7)					<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
1,1,2-Trichloroéthane	µg/l	EN-ISO 10301	0,5							<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
1,1-Dichloroéthane	µg/l	EN-ISO 10301	0,5							2,7	4,7	3	3,1
1,2-Dichloroéthane	µg/l	EN-ISO 10301	0,5	3	(1)					<0,5	0,6	51	<0,5
Tétrachlorométhane	µg/l	EN-ISO 10301	0,1							<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Trichlorométhane	µg/l	EN-ISO 10301	0,5							<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Dichlorométhane	µg/l	EN-ISO 10301	0,5							<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

Références :

- (1) Ministère en charge de la santé - Arrêté du 11 janvier 2007 - Annexe I-I - Limites de qualité dans l'eau destinée à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux conditionnées
- (2) Ministère en charge de la santé - Arrêté du 11 janvier 2007 - Annexe II - Limites de qualité des eaux brutes de toute origine utilisées pour la
- (3) Ministère en charge de la santé - Arrêté du 11 janvier 2007 - Annexe I-II - Références de qualité dans l'eau destinée à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux conditionnées
- (4) Organisation Mondiale de la Santé (OMS) - Guidelines for drinking water quality, 4th Edition, 2011- Annexe 3 - Guideline values
Valeur Guide Environnementale (VGE) proposée par l'INERIS en complément des NQE - Avril 2014 - Concentration indicative d'un polluant ou d'un
- (5) groupe de polluants dans l'eau potable à ne pas dépasser afin de protéger la santé humaine et l'environnement. Valeur déterminée selon la même
- (6) Ministère en charge de l'Environnement - Arrêté du 17 décembre 2008 - Annexe II - Partie A - Valeurs seuils pour les eaux souterraines
Normes de qualité environnementales (NQE) réglementaires définies par la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/DCE) - Applicable dans l'eau visant la
- (7) protection de l'ensemble des organismes d'eau douce et de la santé humaine - Valeur exprimée sous forme de moyenne annuelle

Notes :

- (A) Pour la somme des composés suivants : Benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(g,h,i)pérylène et indéno(1,2,3-c,d)pyrène
(B) Somme des composés suivants : fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)pérylène et indéno[1,2,3-cd]pyrène.



6.7 Interprétation des résultats d'analyses

Les résultats d'analyses obtenus sur les eaux souterraines montrent, en cohérence avec les précédentes campagnes de prélèvement :

- Une présence de COHV sur l'ensemble des ouvrages. On observe de nombreux dépassements des valeurs de référence eau potable en trichloroéthylène, 1,2-dichloroéthane, 1-2-dichloroéthylène et chlorure de vinyle. On remarquera en particulier :
 - Les concentrations en trichloroéthylène comprises entre 1,2 et 29 µg/l pour une valeur de référence eau potable fixée à 10 µg/l ;
 - Les concentrations en chlorure de vinyle comprises de 13 et 19 µg/l pour une valeur de référence eau potable fixée à 0,5 µg/l ;
 - Les concentrations en cis-1,2-Dichloroéthène entre 3,6 et 140 µg/l pour une valeur de référence eau potable fixée à 100 µg/l ;
 - Une concentration en 1,2-Dichloroéthane de 51 µg/l au droit du PZ10 pour une valeur de référence eau potable fixée à 3 µg/l.
- Des concentrations en métaux toutes inférieures aux valeurs de référence, sauf pour l'Arsenic qui présente des concentrations supérieures à la valeur de référence eau potable au droit des ouvrages PZ2, PZ8 et PZ15 ;
- Des concentrations en BTEX inférieures aux limites de quantification à l'exception de la concentration de 5,3 µg/l en benzène quantifiée au droit du PZ10, en dépassement de la valeur de référence eau potable fixée à 1 µg/l ;
- Des concentrations en hydrocarbures toutes inférieures ou du même ordre de grandeur que les limites de quantification ;
- Des concentrations en HAP inférieures ou du même ordre de grandeur que les limites de quantification.

Au final, on observe essentiellement des contaminations relativement importantes en COHV sur les ouvrages prélevés. Toutefois, par rapport aux précédentes campagnes, on observe une diminution importante des concentrations, globalement d'un facteur 10.



7 Investigations sur les gaz du sol (mission A230)

7.1 Programme d'investigations

Les investigations sur les gaz de sol ont été réalisées afin de recueillir les données nécessaires à la réalisation des calculs permettant de vérifier la compatibilité sanitaire des terrains avec les usages projetés : square, école de la seconde chance et data-center.

Ainsi, Tauw France a réalisé :

- des prélèvements au droit des 2 piézaires existants (1001 et Pr14) au droit du futur square ;
- la réalisation de 2 piézaires à 1,5 m au droit de la future école ;
- l'équipement de 4 sondages de sol en piézaires à 4 m au droit du futur data-center.

Nota : Les piézaires au droit du futur data-center ont été limités à 4 m de profondeur du fait de la proximité de la nappe superficielle.

Les prélèvements de gaz de sol ont été effectués par un ingénieur de Tauw France les 13, 17 et 25 octobre 2018. Un blanc de transport a aussi été réalisé à chaque journée de prélèvement.

Les fiches de prélèvements des gaz du sol sont présentées en **Annexe 11**.

7.2 Prélèvement et conditionnement des échantillons

Les trous de sondage ont été réalisés à l'aide de la machine de forage.

Les trous de forage ont été équipés d'un tube plein et d'un tube crépiné en PVC diamètre 0,75". Le tube a été crépiné à une profondeur comprise entre 1,0 et 1,5 m pour les piézaires à 1,5 m de profondeur, et entre 3,5 m et 4 m pour les piézaires à 4 m de profondeur. L'espace annulaire est complété d'un massif filtrant au niveau du tube crépiné. En tête, l'espace annulaire est équipé d'un bouchon d'argile et un bouchon étanche est installé en tête du tubage, de manière à éviter tout transfert vers l'air ambiant.

Les caractéristiques des ouvrages sont présentées sur les coupes lithologiques en **Annexe 7**.

Les prélèvements de gaz de sol ont été réalisés selon la norme NF-ISO 18400-204 et aux préconisations de l'INERIS.

La méthodologie suivante est appliquée par Tauw France pour le prélèvement des échantillons de gaz de sol :

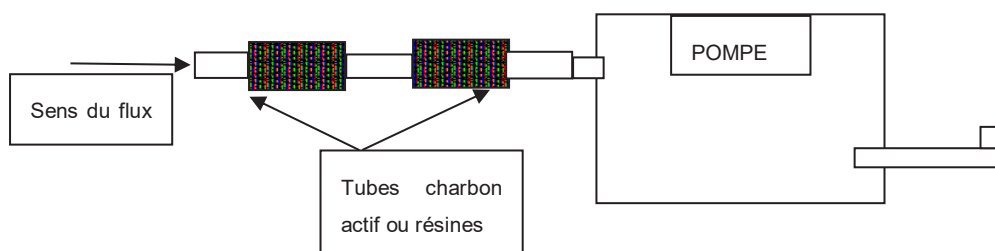
- Vérification des conditions météorologiques ;
- Purge du piézair de 5 fois son volume d'air ;
- Pompage et prélèvement des gaz de sol sur support adapté.

La matrice utilisée pour fixer les composés volatils dépend des propriétés physico-chimiques des substances et de la méthodologie d'analyse du laboratoire (charbon actif et tube hopkalite).

Le prélèvement est effectué à l'aide de tubes d'adsorbant (charbon actif et hopkalite...) branchés sur une pompe d'aspiration type GILAIR.

La figure suivante présente le principe de ce prélèvement.

Figure 7.1 : Schéma de principe du prélèvement actif



Le débit de pompage est adapté au seuil de saturation des supports de prélèvement (environ 0,25 l/min pour le charbon actif et pour le tube hopkalite).

Les durées de prélèvement sont de 3 à 4 heures. Pour prévenir un éventuel phénomène de saturation des supports, un second prélèvement court de 30 minutes a été réalisé.

L'ensemble des données de terrain a été renseigné sur une fiche de prélèvement qui comprend *a minima* les informations suivantes :

- Date et heure d'intervention et conditions météorologiques ;
- Identification du piézair et de ses caractéristiques (diamètre, nature, protection, etc.) ;
- Débit et temps de purge ;
- Profondeur de purge et d'échantillonnage ;
- Identification de l'échantillon et conditionnement.

Ces fiches de prélèvements sont présentées en **Annexe 11**.

7.3 Programme analytique

L'ensemble des échantillons et le blanc de transport ont été analysés selon les normes en vigueur par le laboratoire Eurofins, accrédité en France par le COFRAC (COmité FRançais d'ACcréditation), pour les paramètres suivants :

- TPH Hydrocarbures volatils, fraction C6-C16 : méthode interne ;
- solvants aromatiques (BTEX) : selon NF X 43-267 ;
- naphthalène : méthode interne ;
- composés organiques halogénés volatils (COHV) : NF X 43-267 ;
- mercure volatil : selon NF ISO 16772.

Les analyses portent sur la zone de mesure (ZM) et la zone de contrôle (ZC). L'analyse sur la couche de contrôle permet de vérifier et de valider qu'aucune saturation de l'échantillon n'a été réalisée lors des prélèvements de gaz du sol.

Nota :

Chaque journée de prélèvement de gaz du sol a fait l'objet d'un témoin analytique (blanc de transport, BT) permettant d'attester l'absence de contamination lors des opérations de prélèvement et/ou de transport.

7.4 Résultats sur le milieu air

7.4.1 Observations et mesures de terrain

Les conditions météorologiques relevées sur le terrain lors des campagnes de prélèvement sont présentées sur les fiches de prélèvement de l'**Annexe 11**.

Compte tenu de la température et des conditions de pression, Tauw France considère que les prélèvements ont été réalisés dans un contexte :

- favorable au dégazage des composés volatils pour les prélèvements des TWair1, TWair2, Pr14 et 1001 (température supérieure à 10°C et conditions dépressionnaires) ;
- neutre vis-à-vis du dégazage des composés volatils pour les prélèvements des TWair3, TWair4, TWair5 et TWair6 (température supérieure à 10°C mais conditions anticycloniques).

7.4.2 Présentation des valeurs de référence

Il n'existe pas de valeurs de référence pour les gaz du sol. Les résultats seront comparés aux valeurs de référence pour l'air intérieur et extérieur.

Les valeurs guides de l'ANSES : VGAI

L'agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du Travail (ANSES) s'est autosaisie en octobre 2004 en vue d'élaborer des « valeurs guides de qualité d'air intérieur » (VGAI). Les VGAI réglementaires sont établies par le ministère chargé de l'écologie, inscrites dans le code de l'environnement et sont associées à des mesures de gestion opposables. Ces "valeurs-guides" ont été déterminés sur la base des expertises de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) et du Haut Conseil de la Santé public (HCSP).

Les valeurs guides de l'air intérieur (VGAI) ont été définies comme des concentrations dans l'air d'une substance chimique en dessous desquelles aucun effet sanitaire ou aucune nuisance ayant un retentissement sur la santé n'est attendu pour la population générale en l'état des connaissances actuelles. Une VGAI vise à définir et proposer un cadre de référence destiné à protéger la population des effets sanitaires liés à une exposition à la pollution de l'air par inhalation.



Les valeurs guides du HCSP

Les VGAI proposées par l'Anses sont fondées uniquement sur des critères sanitaires et sont de nature indicative. Le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) propose au Ministère chargé de la santé, à partir des VGAI de l'Anses, des valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos. Le HCSP tient compte de considérations pratiques, réglementaires, juridiques, économiques et sociologiques.

Les valeurs de l'OQAI

Missionné par les Pouvoirs Publics, l'Observatoire de la Qualité de l'Air (OQAI) est missionné en France pour documenter les concentrations en polluants chimiques, contaminants biologiques et paramètres physiques dans les environnements clos.


Les valeurs issues des Tableaux des seuils de gestion (INERIS DRC-17-164563-03067A, 2017)

L'interprétation des concentrations en polluants volatils (gaz du sol, air intérieur) peut maintenant s'appuyer sur les valeurs de référence R1, R2 ou R3 issues des études menées sur les établissements sensibles.

Ces valeurs sont sollicitées pour comparaison après (par ordre de priorité) les valeurs réglementaires, les valeurs du HCSP et celles de l'ANSES (VGAI).

Le tableau en page suivante présente ces différentes valeurs de comparaison à titre indicatif.

Tableau 7.1 : Valeurs de comparaison de qualité des gaz du sol

 Tauw	AIR INTERIEUR		AIR EXTERIEUR et INTERIEUR	AIR EXTERIEUR		Seuils de gestion - INERIS, 2017		
	Bruit de fond logements (source OQAI percentile 90)	Valeurs guide ANSES ou valeurs repère HCSP	Valeurs guide OMS	Bruit de fond (source OQAI percentile 90)	Valeurs réglementaires - décret 2002-213 (objectif de qualité) ou directive 2004/107/CE	R1	R2	R3
	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
Composés (mono-)aromatiques volatils (CAV) et naphthalène (analysé comme volatil)								
Benzène	5,7	2	1,7	2,2	2	2	10	30
Toluène	46,9	-	260	9,0	-	3000	3800	3800
Ethylbenzène	7,5	-	-	2,1	-	1500	15000	22000
m,p-Xylène	22	-	-	5,6	-	-	-	-
o-Xylène	8,1	-	-	2,3	-	-	-	-
Somme Xylènes	-	-	-	-	-	180	1800	8800
Naphtalène	-	10	-	-	-	10	50	-
Composés Organo-Chlorés Aliphatiques Volatils (COHV)								
1,1-Dichloroéthène	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorure de Vinyle	-	-	10	-	-	2,6	26	1300
Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes	-	-	-	-	-	-	-	-
Dichlorométhane	-	-	450	-	-	10	100	2100
Trans-1,2-Dichloroéthylène	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1-Dichloroéthane	-	-	-	-	-	-	-	-
cis-1,2-Dichloroéthène	-	-	-	-	-	-	-	-
Trichlorométhane	-	-	-	-	-	63	150	150
1,2-Dichloroéthane	-	-	700	-	-	-	-	-
1,1,1-Trichloroéthane	-	-	-	-	-	-	-	-
Tétrachlorométhane	-	-	-	-	-	38	190	190
Trichloroéthylène	3,3	2	23	1,6	-	2	10	800
1,1,2-Trichloroéthane	-	-	-	-	-	1000	5500	5500
Tétrachloroéthylène	5,2	250	250	2,4	-	250	1250	1380
TPH								
Hydrocarbures aliphatiques >C5-C6	-	-	-	-	-	18000	180000	-
Hydrocarbures aliphatiques >C6-C8	-	-	-	-	-	18000	180000	-
Hydrocarbures aliphatiques >C8-C10	-	-	-	-	-	1000	10000	-
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	-	-	-	-	-	1000	10000	-
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	-	-	-	-	-	1000	10000	-
Somme Hydrocarbures aliphatiques	-	-	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	-	-	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	-	-	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures aromatiques >C8-C10	-	-	-	-	-	200	2000	-
Hydrocarbures aromatiques >C10-C12	-	-	-	-	-	200	2000	-
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16	-	-	-	-	-	200	2000	-
Somme Hydrocarbures aromatiques	-	-	-	-	-	-	-	-

7.4.3 Résultats des gaz du sol

Dans le cas présent, les suivis PID en phase de purge indiquent que celle-ci a permis une stabilisation de la qualité des gaz du sol avant et après l'échantillonnage pour tous les ouvrages.

Concernant les teneurs mesurées sur les zones de contrôle et/ou les blancs de transport :

- une concentration en mercure a été quantifiée sur la ZC de l'échantillon 1001. Compte-tenu du fait que cette concentration est très proche de la limite de quantification du laboratoire et qu'aucune concentration n'est quantifiée sur la ZM, elle n'est pas jugée pertinente ;
- des concentrations en éthylbenzène et m-p xylènes ont été mesurées sur le blanc de transport du 25/09/2018. Les concentrations quantifiées sur les échantillons de ce jour sont donc potentiellement majorées ;
- des concentrations en COHV et HCT ont été mesurées sur la ZC des échantillons TWair1 et 2. Les concentrations sur la zone de mesure sont donc potentiellement minorées.

Pour les autres échantillons, aucune concentration significative n'est mesurée sur les zones de contrôle de support ou le blanc de transport.

Le tableau synthétique des résultats d'analyses de Tauw France sur les gaz du sol est présenté en page suivante et les bordereaux d'analyses du laboratoire sont consultables en **Annexe 8**.

La légende prise en compte dans le tableau est la suivante :

- en grisé : concentration inférieure à la limite de quantification du laboratoire ou non déterminée (n.d.) ;
- **en gras et rouge** : Concentration supérieure à la valeur de référence retenue ;
- ZM : zone de mesure ; ZC : zone de contrôle.

Nota : Le piézair TWair3 n'a pas pu être prélevé du fait de la présence d'eau en fond de l'ouvrage.



7.5 Interprétation des résultats d'analyses

Les résultats d'analyses obtenus sur les gaz du sol montrent :

- des concentrations en trichloroéthylène comprises entre 99,3 et 158 667 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au droit du piézair 1001, toutes supérieures à la valeur de référence la plus contraignante fixée à 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- des concentrations en tétrachloroéthylène comprises entre 2,8 et 355 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, presque toutes supérieures à la valeur de référence la plus contraignante fixée à 5,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- des concentrations en chloroforme de 228 et 464 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivement mesurées sur les piézairs TWair2 et 1001, supérieures à la valeur de comparaison R1 de 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- des concentrations en BTEX quasiment toutes supérieures aux limites de quantification. On remarquera en particulier une concentration en benzène de 2,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour TWair2, supérieure à la valeur de référence de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- des concentrations en hydrocarbures aliphatiques et aromatiques quasiment toutes supérieures aux limites de quantification mais inférieures aux valeurs de référence ;
- des concentrations en naphtalène toutes inférieures à la limite de quantification.



8 Schéma conceptuel initial

Selon la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués en application de la note du 19 avril 2017, le schéma conceptuel est basé sur les résultats des diagnostics de qualité des milieux et réalisé pour établir un bilan factuel de l'état d'un site ou d'un milieu. Les paragraphes ci-dessous présentent le schéma conceptuel projeté dans l'usage futur du site (modèle de fonctionnement).

Cet état des lieux permet d'appréhender l'état de pollution des milieux et les voies d'exposition des cibles à ces pollutions au regard des activités constatées ou prévues.

Le modèle de fonctionnement présente :

- la (ou les) source(s) de pollution
- les voies de transferts possibles
- les cibles potentielles.

Le but du modèle de fonctionnement est de représenter de façon synthétique tous les scénarios d'expositions directes ou indirectes, susceptibles d'intervenir. Il identifie les enjeux sanitaires et environnementaux à considérer dans la gestion du site.

8.1 Sources de pollution

Les résultats d'analyses ont mis en évidence des anomalies de concentrations notables avec la présence des composés suivants :

- une contamination diffuse des remblais par les métaux, HAP, HCT et COHV ;
- des contaminations ponctuellement importantes des remblais en HCT, HAP et COHV ;
- une contamination des eaux souterraines en COHV ;
- une contamination des gaz du sol en hydrocarbures volatils, BTEX et COHV.

8.2 Usage projeté

Le projet d'aménagement consiste essentiellement en la construction d'un bâtiment de data-center avec un niveau de sous-sol (environ 4 m de profondeur) pour accueillir un parking.

Un square sera également aménagé à l'angle nord-ouest ainsi qu'une école de la seconde chance à l'angle nord-est.

8.3 Cibles

Dans le cadre du futur usage, les cibles à considérer sont les futurs travailleurs ainsi que les personnes fréquentant le square et l'école (adultes et enfants).

8.4 Voie de transfert et voies d'exposition retenues

Les voies d'exposition se distinguent selon trois grands modes d'exposition : l'ingestion (ou consommation), le contact cutané et l'inhalation.

Dans le cas présent, les voies d'exposition à considérer pour le schéma conceptuel sont définies comme suit :



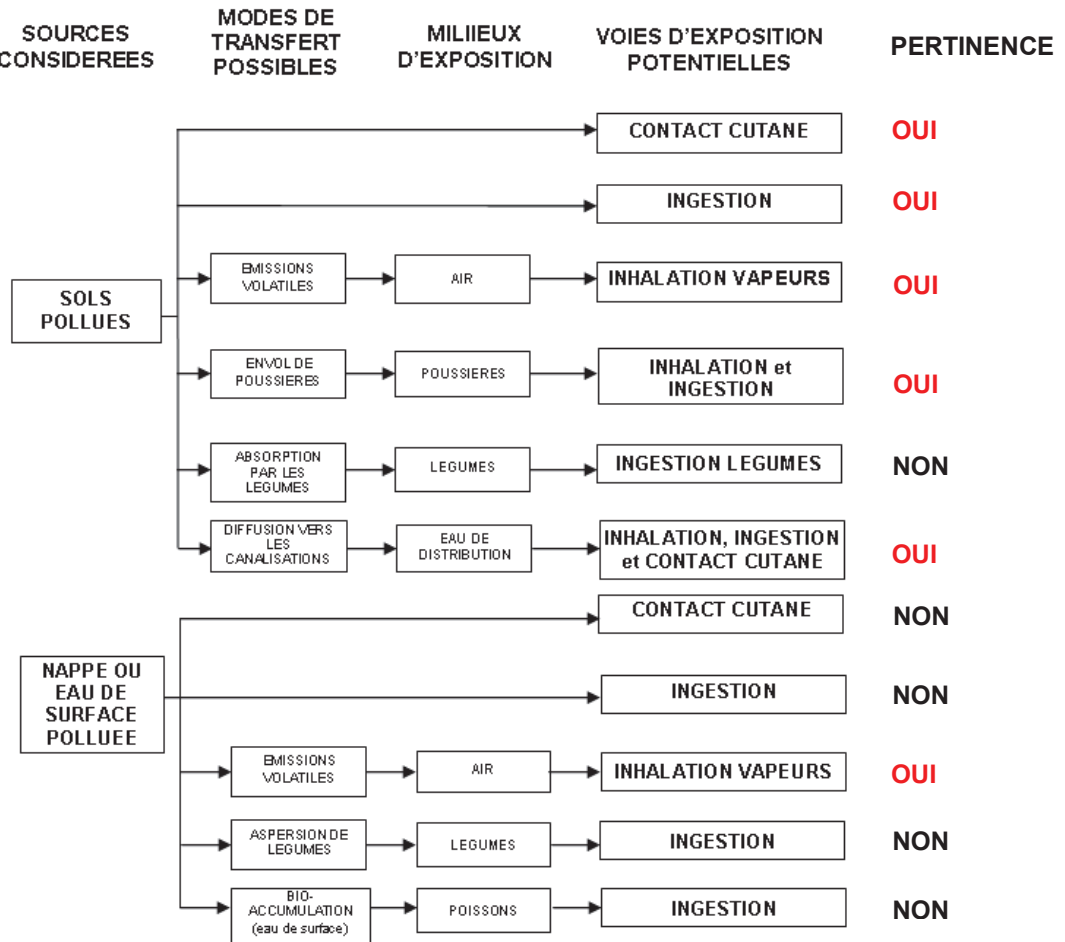
- Les voies d'exposition par inhalation d'air intérieur et extérieur aux composés volatils sont considérées du fait de la présence de COHV, BTEX et hydrocarbures volatils notamment ;
- Les voies d'exposition par ingestion d'eau potable et contact dermique via les douches sont à considérer, notamment du fait de l'impact en COHV constaté dans les sols (remblais), gaz du sol et l'eau souterraine ;
- Les voies d'exposition par ingestion de sol, inhalation de particules de sol, contact dermique avec les particules de sol, ingestion de matières en suspension et contact dermique avec les matières en suspension sont considérées, le site n'étant pas complètement recouvert ;
- Les voies d'exposition par ingestion de viande et de lait sont écartées du fait de l'absence d'élevage sur site ;
- La voie d'exposition par ingestion de végétaux autoproduits est écartée du fait de l'absence de jardin potager dans le futur projet d'aménagement ;
- La voie d'exposition par ingestion d'eau de surface est écartée du fait de l'absence d'eau de surface au droit du site.

Ainsi, les voies d'exposition retenues dans la suite de l'étude sont synthétisées dans le tableau ci-après.

8.5 Conclusion du schéma conceptuel

Le schéma conceptuel initial est synthétisé sur la figure suivante.

Figure 8.1 : Représentation du schéma conceptuel initial





9 Définition des mesures de gestion

9.1 Généralités

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 maîtrisées 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 excessifs 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.

9.2 Objectifs et périmètre

Le plan de gestion est une étude préalable à la réhabilitation et/ou l'aménagement d'un site, ayant pour objectif d'être un outil d'aide à la décision pour définir des solutions de gestion en envisageant :

- en premier lieu les possibilités de suppression des pollutions concentrées et de leurs impacts, dans les limites de faisabilité techniques et économiques du moment ;
- l'adéquation a minima entre l'état du sous-sol et des objectifs sanitaires (compatibilité avec les usages envisagés pour le site et/ou avec ceux constatés dans la zone d'influence) et environnementaux (minimisation des impacts sur l'environnement), préalablement définis au regard du contexte de l'étude ;
- la protection des ressources en eaux ;
- d'éventuelles contraintes d'aménagement futur du site.

D'une manière générale, le plan de gestion doit être d'une ampleur proportionnée aux pollutions et à leur étendue. Le choix des options de gestion dépend surtout des critères suivants :

- contraintes de sécurité ;



- aspects sanitaires et environnementaux ;
- faisabilité technique de mise en œuvre ;
- aspects économiques de faisabilité ;
- pérennité des moyens mis en œuvre ;
- sensibilité publique et médiatique ;
- aspects juridiques et administratifs (internes et externes).

D'après les observations des études antérieures, la composition chimique des gaz du sol ne semble pas influencée par la qualité des eaux souterraines, puisque les composés de dégradation du trichloroéthylène n'y sont retrouvés que très minoritairement.

De plus, la contamination en COHV des eaux souterraines ne semble pas sortir du site, les concentrations au droit des ouvrages PZ1 et PZ2, situés en aval hydraulique, ne montrant aucun dépassement des valeurs de référence.

Les efforts de réhabilitation à mener devront donc être concentrés sur la dépollution des sols et des gaz du sol, tandis qu'un suivi de la qualité des eaux souterraines devra être mis en place afin de contrôler l'avancée de la dégradation des produits et des éventuelles migrations.

9.3 Pollutions concentrées dans les sols

9.3.1 Rappel sur la méthodologie de gestion des sites et sols pollués

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. »

Par pollution concentrée, l'UPDS a défini dans son guide¹ 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,

¹ « Travaux du GT Pollution concentrée » de décembre 2014, UPDS



- Méthode N°6 - Approche géostatistique.

Sur la base des données disponibles sur le site d'étude, Tauw France a basé la détermination des sources concentrées en étudiant la convergence des méthodes d'interprétation des constats de terrain (N°1) et d'analyse statistique (N°3).

9.3.2 Caractérisation des sources de pollutions concentrées

Tauw France a basé son interprétation des constats de terrain d'après les coupes techniques des forages réalisées lors de l'intervention qui reprend la description des terrains rencontrés ainsi que les constats organoleptiques (cf. **Annexe 7**).

L'analyse statistique est basée sur l'ensemble des échantillons de sol confectionnés lors des investigations antérieures ainsi que sur les récentes investigations Tauw France.

Les tableaux ci-après synthétisent les données analytiques pour les différentes familles de substances analysées. Les statistiques présentées prennent en compte les analyses supérieures et inférieures à la limite de quantification. Pour ces dernières, la limite de quantification a été considérée.

Nota : Seuls les composés volatils et semi-volatils ont été pris en compte, les voies d'exposition liées aux autres polluants (métaux principalement) étant considérées maîtrisées par le recouvrement de l'intégralité du site (dalle béton au apport de terres saines).

Tableau 9.1 Synthèse des données analytiques pour les substances analysées dans les sols

	TCE	HCT	HAP
	mg/kg MS	mg/kg MS	mg/kg MS
Population, moyenne & écart-type (les valeurs <LQ sont prises égales à la LQ)			
nombre d'échantillons	190	190	190
nombre < LQ	134	121	138
moyenne	1,79	537,49	4,82
écart-type	7,48	4 099,88	30,47
Percentiles (les valeurs <LQ sont prises égales à la LQ)			
minimum	0,05	15,00	0,05
Percentile 1%	0,05	15,00	0,05
Percentile 2,5%	0,05	15,00	0,05
Percentile 5%	0,05	15,00	0,05
Percentile 10%	0,05	15,00	0,05
Percentile 25%	0,05	15,00	0,05
Percentile 33%	0,10	49,94	0,05
Médiane	0,10	50,00	0,05
Percentile 67%	0,10	50,00	0,80
Percentile 75%	0,14	77,00	0,80
Percentile 90%	3,44	385,80	5,24
Percentile 95%	7,76	1 023,50	10,75
Percentile 97,5%	15,41	2 373,75	19,75
Percentile 99%	25,62	5 079,00	65,35
maximum	87,10	55 000,00	350,00

LQ : limite de quantification du laboratoire

Tableau 9.2 Synthèse des données analytiques pour les substances analysées dans les eaux souterraines

	TCE
	mg/kg MS
Population, moyenne & écart-type (les valeurs <LQ sont prises égales à la LQ)	
nombre d'échantillons	53
nombre < LQ	14
moyenne	25,06
écart-type	45,18
Percentiles (les valeurs <LQ sont prises égales à la LQ)	
minimum	0,50
Percentile 1%	0,76
Percentile 2,5%	1,00
Percentile 5%	1,00
Percentile 10%	1,00
Percentile 25%	1,00
Percentile 33%	1,22
Médiane	3,30
Percentile 67%	18,18
Percentile 75%	26,20
Percentile 90%	72,40
Percentile 95%	113,46
Percentile 97,5%	178,30
Percentile 99%	195,52
maximum	208,00

Tableau 9.3 Synthèse des données analytiques pour les substances analysées dans les gaz du sol

TCE	
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Population, moyenne & écart-type (les valeurs <LQ sont prises égales à la LQ)	
nombre d'échantillons	30
nombre < LQ	6
moyenne	9 137,63
écart-type	31 510,52
Percentiles (les valeurs <LQ sont prises égales à la LQ)	
minimum	0,01
Percentile 1%	0,01
Percentile 2,5%	0,01
Percentile 5%	0,02
Percentile 10%	0,03
Percentile 25%	0,09
Percentile 33%	0,31
Médiane	1,70
Percentile 67%	115,46
Percentile 75%	408,23
Percentile 90%	6 675,04
Percentile 95%	55 277,37
Percentile 97,5%	102 052,75
Percentile 99%	136 021,10
maximum	158 666,67

Au final, le traceur considéré est le trichloroéthylène qui est le composé majoritaire dans les sols et les gaz du sol.

Afin de définir les zones les plus impactées, un tri des concentrations a été réalisé à l'aide des tableaux ci-dessus. Ainsi, les concentrations seuils déterminées pour la délimitation des ZPC sont :

- 7,8 mg/kg de MS dans les sols (correspondant au 95^{ème} centile de la distribution considérée) ;
- 1 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les gaz du sol (correspondant à plus du 75^{ème} centile de la distribution considérée).

En confrontant les résultats de cette analyse avec les données des différents diagnostics de pollution réalisés au droit du site en 2010 et 2016, il ressort 5 zones de pollution concentrées (ZPC) :

- **ZPC n°1** : cette zone d'une superficie estimée à 2.100 m² est délimitée horizontalement par les sondages MIP 1, MIP 2, MIP4, MIP 5 et 202, et verticalement à 2,4 m de profondeur par le PZ9 ;
- **ZPC n°2** : cette zone d'une superficie estimée à 1 000 m² est délimitée horizontalement par les sondages S52, S66, PZ10 et 206, et verticalement à 2,5 m de profondeur par le S53 ;
- **ZPC n°3** : cette zone d'une superficie estimée à 1 000 m² est délimitée horizontalement par les sondages MIP9, MIP12 et S24, et verticalement à 1,3 m de profondeur par les MIP 10 et 11 ;
- **ZPC n°4** : cette zone d'une superficie estimée à 1 000 m² est délimitée horizontalement par les sondages 102, 103, 104 et 105, et verticalement à 2,5 m de profondeur par le S53 ;

- **ZPC n°5** : cette zone d'une superficie estimée à 500 m² est délimitée horizontalement par le piézair TWair1. Nous n'en connaissons pas la délimitation verticale. A défaut, nous considérons une profondeur de 2,5 m, en cohérence avec les profondeurs maximales constatées pour les autres ZPC.

La localisation de ces zones de pollution concentrée est présentée en **Annexe 12**.

Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau qui suit.

Tableau 9.4 Caractéristiques des ZPC identifiées

Zone de pollution concentrée	Sondages concernés	Polluants principaux Concentrations maximales
ZPC n°1	Pr14/S70, 201, 203, PZ9, 1001	<p>Pour les sols : [COHV] = 34,86 mg/kg MS dont 34,7 mg/kg MS en TCE</p> <p>Pour les gaz du sol : [COHV] = 161 108 µg/m³, dont 158 667 µg/m³ de TCE [benzène] = 11,02 µg/m³ [HC aromatiques C6-C16] = 1017 µg/m³</p>
ZPC n°2	S53, 1002	<p>Pour les gaz du sol : [COHV] = 6.799 µg/m³, dont 4.711 µg/m³ de TCE [benzène] = 3,79 µg/m³ [HC C8-C10] = 116 µg/m³</p>
ZPC n°3	S18, S21, PZ5, 1003, 1004	<p>Pour les sols : [COHV] = 15 mg/kg MS (TCE)</p> <p>Pour les gaz du sol : [COHV] = 24.447 µg/m³, dont 24.354 µg/m³ de TCE [benzène] = 3,88 µg/m³ [HC C8-C10] = 246 µg/m³ [HC C10-C12] = 88 µg/m³</p>
ZPC n°4	1005	<p>Pour les gaz du sol : [COHV] = 2 565 µg/m³, dont 2 542 µg/m³ de TCE</p>
ZPC n°5	TWair2	<p>Pour les gaz du sol : [COHV] = 1 733 µg/m³, dont 1 068 µg/m³ de TCE [benzène] = 2,7 µg/m³ [HC aliphatiques C5-C16] = 1 517 µg/m³ (ZM+ZC) [HC aromatiques C6-C16] = 284 µg/m³</p>

Nota : En complément des ZPC définies ci-dessus, le mémoire de réhabilitation avait identifié la nécessité de procéder au retrait des cuves de fioul enterrées au nord-est du bâtiment JKY (à proximité immédiate du bâtiment P) au droit desquelles des impacts en hydrocarbures ont été constatés au niveau du sol, des eaux souterraines et des gaz du sol.

Dans le cadre de la mise en sécurité du site, les opérations suivantes avaient été définies :

- Vidange, nettoyage et dégazage des cuves, séparateur d'hydrocarbures, chaudières et canalisations puis transport et élimination des déchets vers une filière de traitement adaptée. Les bordereaux de suivi de déchet devront être transmis au Maître d'Ouvrage ;



- Extraction et évacuation des cuves ;
- Suivi du chantier par un Bureau d'Etude expert et indépendant avec analyses bords et fonds de fouilles permettant de confirmer l'absence de pollution des sols.

Le coût de cette mise en sécurité avait été estimé à 20 000 € HT, auquel il faut ajouter un potentiel surcoût de 20% liés aux incertitudes et imprévus de terrain. Ainsi, le coût total de ces opérations avait été estimé à 24 000 € HT.

9.4 Gestion des pollutions concentrées

9.4.1 Préambule

Dans le but de définir la meilleure gestion à mettre en œuvre au droit d'un site, il est recommandé l'élaboration d'un bilan coûts/avantages des mesures de gestion et/ou des techniques de dépollution. Ce bilan coûts/avantages a pour but d'évaluer selon différents critères (technique, juridique, économique, environnemental, ...) les différentes possibilités de gestion à mettre en place, en fonction des contraintes du site et des caractéristiques des milieux contaminés.

La maîtrise des sources de pollution concentrée est un aspect fondamental du plan de gestion car :

- Elle participe à la démarche globale de réduction des émissions de substances responsables de l'exposition chronique des populations ;
- Elle participe à la démarche globale d'amélioration de l'état des milieux.

Le bilan coûts/avantages élaboré dans le cadre du plan de gestion examinera en premier lieu les possibilités de suppression des sources de pollution et de leurs impacts :

- action sur les sources de pollution = suppression ou limitation des émissions ;
- gestion des impacts = maîtrise des risques résiduels une fois qu'il n'est plus possible de limiter les émissions.

Nota : Les ZPC n°2 et n°4 sont situées sous le futur data-center et seront donc gérées lors des travaux de terrassement prévus jusqu'à 4 m de profondeur.



9.4.2 Définition et évaluation des différents modes de gestion

En ce qui concerne les différentes zones de pollution concentrée mises en évidence, l'étude de différentes techniques de dépollution selon un bilan coûts/avantages est envisageable. Les trois grands types de traitement / dépollution des sols sont les suivants :

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

Dans la plupart des cas, il n'existe pas de schéma type de traitement mais diverses techniques éprouvées pourront être associées pour obtenir un résultat quantifiable. Le traitement pourra être adapté en cours de réhabilitation pour optimiser son efficacité. Le choix d'une technique pour traiter et maîtriser les zones de pollution concentrée et les impacts est guidé par :

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

En première approche, le choix de sélection d'une technique de gestion appropriée est issu d'une comparaison des critères généraux relatifs aux trois grands types de traitement / dépollution :

- traitement hors-site : excavation et élimination vers une filière de traitement autorisée,
- traitement in-situ : traitement de la pollution en place (sans excavation dans le milieu où elle se trouve),
- traitement sur-site : traitement ou confinement sur site après avoir extrait le matériau pollué.

Le tableau ci-dessous reprend les critères généraux des trois grands types de gestion, sur base des caractéristiques du site et de la contamination associée.

Tableau 9.5 Critères généraux de sélection du type de traitement ou de dépollution

Critères généraux	Applicabilité du traitement / de la dépollution		Cas du site d'étude
	Hors site + Sur site	En place (in situ)	
Etendue et localisation de la pollution	Etendue verticale et horizontale limitée – Pollution de surface et peu profonde	Etendue verticale et horizontale importante – Pollution profonde	Les zones de pollution concentrée représentent des surfaces relativement étendues.
Caractéristiques de la pollution	Tout type de contamination	Polluants organiques et/ou volatils	Pollutions organiques et volatiles essentiellement
Caractéristiques des sols	Très hétérogènes – Ecoulements préférentiels	Uniformes et assez perméables	Lithologie hétérogène
Structures de surface	Pas d'encombrement sur le site	Présence de structures au droit du site	De nombreux bâtiments occupent le site. Néanmoins, le projet d'aménagement prévoit la démolition de l'ensemble des bâtiments
Proximité de cibles potentielles à ce jour	Pas de cibles sensibles à proximité immédiate	Cibles sensibles à proximité immédiate	Zone d'habitation à proximité immédiate
Proximité de cibles potentielles suite à l'aménagement	Pas de cibles sensibles à proximité immédiate	Cibles sensibles à proximité immédiate	Zone d'habitation à proximité immédiate
Contraintes de dépollution	Dépollution rapide et immédiate	Dépollution rapide non nécessaire	Dépollution rapide souhaitée pour la réalisation de l'aménagement mais projet prévu en plusieurs phases

L'évaluation des différents critères du tableau ci-dessus conclut à privilégier des techniques de traitement en place (in situ) et les techniques de traitement nécessitant de l'excavation.

9.4.3 Comparatif technique des différents modes de gestion

Les paragraphes suivants décrivent dans les grandes lignes les différentes solutions techniques envisageables pour traiter les problématiques du site avec leurs avantages et leurs inconvénients. Ils justifient ainsi les choix des techniques dont le chiffrage est pertinent. Les techniques de traitement sont principalement de trois types :

La comparaison technique des différentes méthodes de traitement / dépollution est basée sur :

- l'annexe 2 du rapport intitulé « Quelles techniques pour quels traitements – Analyse coûts-bénéfices », réalisé par le BRGM, référencé GRGM/RP-58609-FR et daté du Juin 2010 ;
- le site internet « SelecDEPOL » porté par l'ADEME et le BRGM ;



- l'expérience de Tauw France en la matière de dépollution des sites pollués.

Le type de traitement dépend des contaminants et de leur concentration. Ainsi, chaque zone de pollution concentrée pourra potentiellement être gérée par des modes différents.

Le tableau suivant décrit les principes, l'applicabilité et les coûts des différentes techniques pouvant être mises en œuvre pour la gestion des zones de pollution concentrée au droit du site pour la zone non saturée.

Tableau 9.6 Techniques de gestion envisageables pour les différentes ZPC identifiées

Technique	Description	Applicabilité	Coût moyen observé
Oxydation chimique ou Réduction chimique (in situ ou on site)	L'oxydation ou la réduction chimique consiste à injecter un oxydant ou un réducteur dans les sols. Ces produits vont détruire totalement ou partiellement les polluants. Ces procédés permettent donc d'aboutir à la destruction des polluants (aboutissant à la transformation en eau, gaz carbonique et sels. Le type d'oxydant ou de réducteur choisi dépend des caractéristiques environnementales (géologie, hydrogéologie, géochimie) ainsi que des caractéristiques de la zone de pollution et/ou du panache (type de polluants, distribution). Les modalités d'injection influencent fortement les résultats de la dépollution, le résultat sera d'autant meilleur que le contact entre le polluant et l'oxydant est étroit.	Ce procédé est adapté au traitement de la zone non saturée même s'il est de plus en plus utilisé pour le traitement de la zone saturée. Ce traitement est adapté aux composés organiques halogénés.	60 € / T
Venting (in situ)	Les composés volatils présents dans les sols vont s'évaporer jusqu'à saturation des pores. Le venting va, par mise en dépression au niveau de chaque point d'extraction, induire des circulations d'air et provoquer un renouvellement de l'air dans les pores. Ce renouvellement d'air a pour conséquence de modifier les équilibres chimiques entre les différentes phases présentes (air, eau, sol). Ainsi, au cours de son passage à travers la zone contaminée, l'air se "charge" en contaminants. Le déplacement d'équilibre des phases permet de réduire le stock adsorbé et en phase gazeuse de la zone non saturée. Les vapeurs sont récupérées via les points d'extraction puis traitées en surface.	Ce procédé est adapté au traitement de la zone non saturée. Ce traitement est adapté aux composés volatils mais est fortement dépendant de la perméabilité des sols.	30 € / m ³
Venting à chaud (désorption thermique basse température) (in situ)	Il s'agit d'améliorer la désorption du stock de composés halogénés en augmentant la température du milieu par injection d'air chaud à température voisine de 60°C. Cette variante permet d'atteindre des objectifs plus contraignants et de garantir la réception des travaux en « contrecarrant » l'hétérogénéité du milieu.	Ce procédé est très adapté aux composés à faible point d'ébullition.	45 € / m ³
Désorption thermique haute et moyenne température (in situ)	La désorption thermique in situ, issue de l'amélioration de procédé de venting, consiste à appliquer de la chaleur pour extraire du sol par volatilisation les polluants volatils et semi-volatils. Le sol en place est chauffé par des électrodes, ce qui provoque une élévation de la température ayant pour effet de favoriser la désorption des contaminants fortement adsorbés sur la matrice sol, voire de casser thermiquement la molécule. Les composés volatilisés sont par la suite récupérés via un réseau d'extraction s'acheminant vers une unité de traitement des gaz.	Technique applicable pour les composés volatils. Le facteur limitant est le pourcentage d'eau. Au-delà de 30% cela peut être un facteur limitant.	70-155 € / T
Pile ventilée (on site)	Le principe est une excavation des terres et mise en pile, ventilée à l'aide d'une petite unité de venting et de traitement des gaz. La mise en pile permet d'homogénéiser les terres et de garantir en tout point les objectifs de traitement, elle augmente la perméabilité des sols par foisonnement.	Applicable au cas d'étude. Excavation à faible profondeur, peu contraignante si les bâtiments sont démolis. Peu sensible aux variations de volume à traiter car les coûts sont portés par la mobilisation de l'unité de traitement des gaz.	50 € / m ³ *
Traitement hors site	Le principe est une excavation des terres et leur transport dans un centre de traitement autorisé, c'est-à-dire titulaire d'une autorisation préfectorale pour le traitement des terres polluées. Le centre privilégié ici est une ISDND.	Applicable au cas d'étude. Cependant, cette technique impliquerait la remise en cause de l'imperméabilisation du site (prévention des voies d'exposition par contact direct).	60 – 90 € / T *

* coûts hors démolitions, gestion des réseaux enterrés, mise en place éventuelle d'une tente sous dépression et réfection de dalles notamment.

Le tableau suivant présente les avantages et inconvénients de chacune des techniques.

Tableau 9.7 Avantages et inconvénients des techniques de gestion envisageables pour les différentes ZPC identifiées

Technique	Avantages	Inconvénients
Oxydation / réduction (in situ)	<ul style="list-style-type: none"> - Procédé destructif des composés organiques ; - Réactions rapides ; - L'oxydation/réduction peut être complète ; - Réactifs relativement peu onéreux. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol peuvent être altérées ; - L'hétérogénéité des sols rend difficile le contact entre les réactifs et les composés, à l'origine d'une surconsommation de réactifs impactant les coûts ; - Nécessite de traiter également les composés volatils extraits ; - Difficulté de garantir l'atteinte des objectifs en tous points du site en zone non saturée.
Venting (in situ)	<ul style="list-style-type: none"> - Adapté aux solvants chlorés ; - Technique maîtrisée par de nombreux acteurs ; - Pas d'excavation ni de mouvement de terre ; - Technique compétitive en termes de coût et de performance ; - Impact écologique limité. 	<ul style="list-style-type: none"> - Délais (12 à 18 mois en moyenne) ; - Nécessite un maillage dense ; - Nécessite de traiter les composés extraits ; - Maîtrise de l'effet « rebond » en fonction de l'hétérogénéité des sols ; - Technique peu adaptée lorsque la perméabilité est faible, difficulté de garantir l'atteinte des objectifs en tous points du site.
Venting à chaud (désorption thermique basse température) (in situ)	<ul style="list-style-type: none"> - Technique efficace pour des sols hétérogènes ; - Adapté y compris pour les polluants moins volatils ; - Permet de garantir l'atteinte d'objectifs stricts en tous points du site. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite de traiter les composés extraits ; - Consommation énergétique importante.
Désorption thermique haute et moyenne température (in situ)	<ul style="list-style-type: none"> - Technique efficace pour des sols hétérogènes ; - Adapté y compris pour les polluants moins volatils ; - Technique permettant d'atteindre des profondeurs importantes ; - Permet d'atteindre des taux de dépollution plus importants que les techniques classiques et dans des délais plus courts. 	<ul style="list-style-type: none"> - Impact peu maîtrisé sur les sols (propriétés chimiques, physiques...) ; - Impact écologique ; - Nécessite un maillage dense ; - La quantité d'eau contenue dans le sol est un facteur limitant ; - Consommation énergétique importante.
Pile ventilée (on site)	<ul style="list-style-type: none"> - Privilégie un traitement effectif sur site à une solution de stockage hors site ; - Rapidité de mise en œuvre ; - Bilan carbone favorable ; - Pas d'apport de matériaux de remblayage ; - Permet d'homogénéiser les sols et de garantir en tous points l'efficacité du traitement ; - Compétitivité en termes de coût et de performance. 	<ul style="list-style-type: none"> - Démolition des bâtiments impérative ; - Sécurisation des fouilles ouvertes en attendant le remblaiement ; - Contrainte de remblaiement pour assurer la portance des terrains.
Traitement hors site	<ul style="list-style-type: none"> - Retrait des principales sources « sols » et « gaz du sol » ; - En comparaison des autres techniques, le traitement hors site permet de traiter les principales pollutions en éléments métalliques ; - Rapidité de mise en œuvre et délais de réalisation plus courts que pour des traitements in-situ ou on-site. 	<ul style="list-style-type: none"> - Démolition des bâtiments impérative ; - Sécurisation des fouilles ouvertes en attendant le remblaiement ; - Contrainte de remblaiement pour assurer la portance des terrains ; - Apport de matériaux de remblayage de qualité contrôlée ; - Bilan carbone défavorable ; - Encombrement des décharges.



9.4.4 Critères de cotation du bilan coûts/avantages (BCA)

Les critères de cotation du bilan coûts/avantages sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9.8 Critères de cotation du BCA

Critères de cotation	Note maximale
Coût des travaux	5
Durée des travaux	5
Applicabilité/fiabilité/atteinte des objectifs	5
Contraintes sur les aménagements futurs	3
Contraintes/mémoires/restriction/servitudes	3
Bilan écologique et nuisances	5

Tableau 9.9 : Présentation des critères de cotation

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

Ainsi, plus la technique de dépollution étudiée est en accord avec les critères précités, plus la note sera élevée.

Le tableau suivant présente l'analyse multicritères pour les différentes options de gestion étudiées.

Tableau 9.10 Synthèse du bilan coûts-avantages

Technique de dépollution	Critère de cotation	Note attribuée	Justification
Oxydation / réduction chimique (in situ)	Coût des travaux	2	Coût difficile à évaluer, fonction des quantités de réactif en jeu et de la matrice
	Durée des travaux	2	Durée de traitement difficile à évaluer (gestion des effets « rebonds »)
	Applicabilité et fiabilité	2	Adaptée aux composés halogénés. Plutôt utilisée en zone saturée. Des essais pilotes doivent être réalisés pour déterminer le réactif le plus adaptés
	Contraintes sur les aménagements futurs	2	Contraintes potentielles si concentrations résiduelles
	Contraintes/mémoires/restrictions /servitudes	2	Zones de travaux bloquées durant la période de traitement. Contraintes potentielles si concentrations résiduelles
	Bilan Ecologique/Nuisances	3	Injection de réactif dans le milieu
Venting (in situ)	Coût des travaux	5	Faible coût, fonction de la consommation de charbon actif et du nombre d'aiguilles
	Durée des travaux	3	Durée de traitement < 2ans
	Applicabilité et fiabilité	3	Adaptée aux composés volatils et bonnes performances. Des essais pilotes doivent être réalisés afin de définir le rayon d'action et le nombre de puits à implanter (fonction de la perméabilité des sols)
	Contraintes sur les aménagements futurs	2	Contraintes potentielles si concentrations résiduelles
	Contraintes/mémoires/restrictions /servitudes	3	Zones accessibles durant la période de traitement. Contraintes potentielles si concentrations résiduelles
	Bilan Ecologique/Nuisances	4	Nécessite relativement peu d'énergie
Venting à chaud (désorption thermique basse température) (in-situ)	Coût des travaux	4	Faible coût, fonction de la consommation de charbon actif et du nombre d'aiguilles
	Durée des travaux	4	Durée de traitement de l'ordre de 6 mois
	Applicabilité et fiabilité	4	Adaptée aux composés volatils et bonnes performances. Des essais pilotes doivent être réalisés afin de définir le rayon d'action et le nombre de puits à implanter (fonction de la perméabilité des sols)
	Contraintes sur les aménagements futurs	3	Peu de risque de concentrations résiduelles
	Contraintes/mémoires/restrictions /servitudes	3	Zones accessibles durant la période de traitement. Contraintes potentielles si concentrations résiduelles
	Bilan Ecologique/Nuisances	3	Nécessite de l'énergie pour chauffer les sols
Désorption thermique haute et moyenne température (in-situ)	Coût des travaux	1	Solution onéreuse
	Durée des travaux	5	Durée de traitement < 3 mois
	Applicabilité et fiabilité	4	Adaptée aux composés volatils. Des essais pilotes doivent être réalisés afin de définir le rayon d'action et le nombre de pointes de chauffe et d'extraction des gaz à implanter (fonction de la perméabilité des sols)
	Contraintes sur les aménagements futurs	1	Contraintes potentielles liées à la déstabilisation des terrains sous la dalle, fracturation de la dalle à la chaleur
	Contraintes/mémoires/restrictions /servitudes	2	Zones de travaux bloquées durant la période de traitement
	Bilan Ecologique/Nuisances	1	Nécessite beaucoup d'énergie, fonction de la teneur en eaux des sols
Pile ventilée (on site)	Coût des travaux	4	Solution peu onéreuse mais qui impose la démolition des bâtiments et des dalles
	Durée des travaux	5	Durée de traitement < 2 mois
	Applicabilité et fiabilité	3	Adaptée aux composés volatils et aux concentrations observées au droit des zones impactées
	Contrainte sur les aménagements futurs	2	Nécessite une sécurisation des fouilles le temps du traitement puis un remblaiement des zones excavées et des essais de portance
	Contraintes/mémoires/restrictions /servitudes	3	Aucune car sources évacuées
	Bilan Ecologique/Nuisances	4	Nécessite peu d'énergie mais génère des nuisances en phase excavation
Traitement hors site (ISDND)	Coût des travaux	2	Coût assez élevé
	Durée des travaux	5	Technique rapide à mettre en œuvre
	Applicabilité et fiabilité	4	Applicable au site mais remettra en cause la pérennité du recouvrement des sols
	Contrainte sur les aménagements futurs	4	Nécessite la démolition des bâtiments et des dalles pour accéder aux zones de pollution concentrée. Nécessite un remblaiement des zones excavées et des essais de portance
	Contraintes/mémoires/restrictions /servitudes	3	Aucune car sources évacuées
	Bilan Ecologique/Nuisances	1	Bilan carbone mauvais et génère des nuisances en phase excavation

Sur base du tableau ci-dessus, la synthèse des notes globales attribuées à chacune des techniques étudiées est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 9.11 Synthèse des notes du BCA

Technique étudiée	Note globale sur base de l'analyse multicritères
Oxydation / réduction chimique	13
Venting	20
Venting à chaud (désorption thermique basse température)	21
Désorption thermique haute et moyenne température	14
Pile ventilée	21
Traitement hors site	19

Ainsi, sur base de l'analyse multicritères et compte tenu de la conservation de la dalle des bâtiments, il ressort que la technique de traitement la plus avantageuse pour gérer les impacts sur les sols et les gaz du sol est le venting, et notamment sa variante de venting à chaud (scénario n°1) ou le traitement en pile ventilée (scénario n°2).

Pour rappel, en complément de ces traitements, les mesures de gestion passives suivantes devront être adoptées :

- Maintenir un recouvrement des sols sur l'ensemble du site (revêtement de surface ou apport d'une épaisseur suffisante de terres saines). Ainsi, ce recouvrement permettra de supprimer les voies d'exposition potentielles par contact direct, contact cutané et inhalation de poussières des sols, notamment pour la présence d'éléments métalliques dans les horizons de surface ;
- Mise en place des canalisations métalliques ou équivalent afin de s'affranchir des éventuels risques de perméation des polluants volatils résiduels au travers des canalisations. Ces canalisations devront être installées dans un matériau sain (sablon) ;
- Surveillance de la qualité des eaux souterraines au droit d'un réseau de suivi piézométrique pertinent à définir, afin de contrôler l'évolution des concentrations en composés chlorés dans le temps et les éventuelles migrations.

9.4.5 Objectifs de traitement

L'objectif des mesures de gestion à mettre en œuvre est de traiter les zones de pollution concentrées au droit du site.

D'après les retours d'expérience sur les techniques proposées, des objectifs de traitement pour les gaz du sol peuvent être fixés à un abattement de 80% pour le trichloroéthylène et de 50% pour le chloroforme (composés présentant les plus fortes concentrations maximales).

Aucun objectif de traitement n'est fixé a priori pour les autres composés. Ainsi, des concentrations résiduelles seront présentes sur site. Il conviendra de s'assurer de la compatibilité entre ces concentrations et l'usage futur par le biais d'une modélisation des risques sanitaires.

Nota : Le terrassement des sols sur 4 m de profondeur au droit du futur Data-center permettra la purge des remblais contaminés au droit de ce bâtiment.

9.4.6 Estimation des coûts de traitement

➤ Scénario n°1 : venting à chaud

Sur base d'un coût de traitement moyen pour le venting à chaud de 45 € / m³, le tableau suivant présente les coûts estimés pour la gestion des contaminations dans les sols et les gaz du sol.

Tableau 9.12 Estimation des coûts de traitement des ZPC par venting à chaud

Zone de pollution concentrée	Surface estimée (m ²)	Volume à traiter (m ³)	Tonnage de terres à traiter (T)	Coût (€ HT)
ZPC n°1	2 100	5 040	9 070	226 800
ZPC n°2	Terres excavées par l'aménagement du sous-sol du Data-center.			
ZPC n°3	1 000	1 300	2 340	58 500
ZPC n°4	Terres excavées par l'aménagement du sous-sol du Data-center.			
ZPC n°5	500	1 250	2 250	56 250
Total	3 600	7 590	13 660	341 550

Le coût de traitement des zones de pollution concentrée est donc estimé à 342 k€ HT.

A ce montant, il faut ajouter :

- La réalisation d'essais pilote pour un montant de l'ordre de 30 k€ HT ;
- **Le coût des terrassements des terres au droit du Data-center sur 4 m de profondeur ;**
- Un coût de l'ordre de 60 k€ HT lié à l'ingénierie et au suivi des travaux par un bureau d'étude expert et indépendant, avec notamment la réalisation d'analyses de suivi de la qualité des gaz du sol et/ou de l'air intérieur ;
- Un coût de l'ordre de 68 k€ HT représentant 20% du montant estimé de la gestion des zones de pollution concentrée et lié aux imprévus lors des travaux.

Au final, le coût total de la gestion des zones de pollution concentrée par venting à chaud est estimé à 500 k€ HT, hors gestion des déblais.

N.B. : Ce coût est évalué hors surveillance de la qualité des eaux. De plus, Tauw France précise que ce montant est une estimation basée sur notre expérience et que nous ne saurions en aucun cas être tenus responsables en cas de dépassement.

➤ **Scénario n°2 : biopile on site**

Sur base d'un coût de traitement moyen par biopile de 50 € / m³, le tableau suivant présente les coûts estimés pour la gestion des contaminations dans les sols et les gaz du sol.

Tableau 9.13 Estimation des coûts de traitement des ZPC par biopile

Zone de pollution concentrée	Surface estimée (m ²)	Volume à traiter (m ³)	Tonnage de terres à traiter (T)	Coût (€ HT)
ZPC n°1	2 100	5 040	9 070	252 000
ZPC n°2	Terres excavées par l'aménagement du sous-sol du Data-center.			
ZPC n°3	1 000	1 300	2 340	65 000
ZPC n°4	Terres excavées par l'aménagement du sous-sol du Data-center.			
ZPC n°5	500	1 250	2 250	62 500
Total	3 600	7 590	13 660	379 500

Le coût de traitement des zones de pollution concentrée est donc estimé à 380 k€ HT.

A ce montant, il faut ajouter :

- La réalisation d'essais pilote pour un montant de l'ordre de 30 k€ HT ;
- **Le coût des terrassements des terres au droit du Data-center sur 4 m de profondeur ;**
- Un coût de l'ordre de 60 k€ HT lié à l'ingénierie et au suivi des travaux par un bureau d'étude expert et indépendant, avec notamment la réalisation d'analyses de suivi de la qualité des gaz du sol et/ou de l'air intérieur ;
- Un coût de l'ordre de 76 k€ HT représentant 20% du montant estimé de la gestion des zones de pollution concentrée et lié aux imprévus lors des travaux.

Au final, le coût total de la gestion des zones de pollution concentrée par biopile est estimé à 550 k€ HT, hors gestion des déblais et mise en place éventuelle d'une tente sous dépression.

N.B. : Ce coût est évalué hors surveillance de la qualité des eaux. De plus, Tauw France précise que ce montant est une estimation basée sur notre expérience et que nous ne saurions en aucun cas être tenus responsables en cas de dépassement.

9.4.7 Processus de traitement retenu pour le traitement des zones de pollution concentrée

➤ Scénario n°1 : venting à chaud

a) Description

Le principe du traitement proposé est présenté sur la figure ci-dessous.

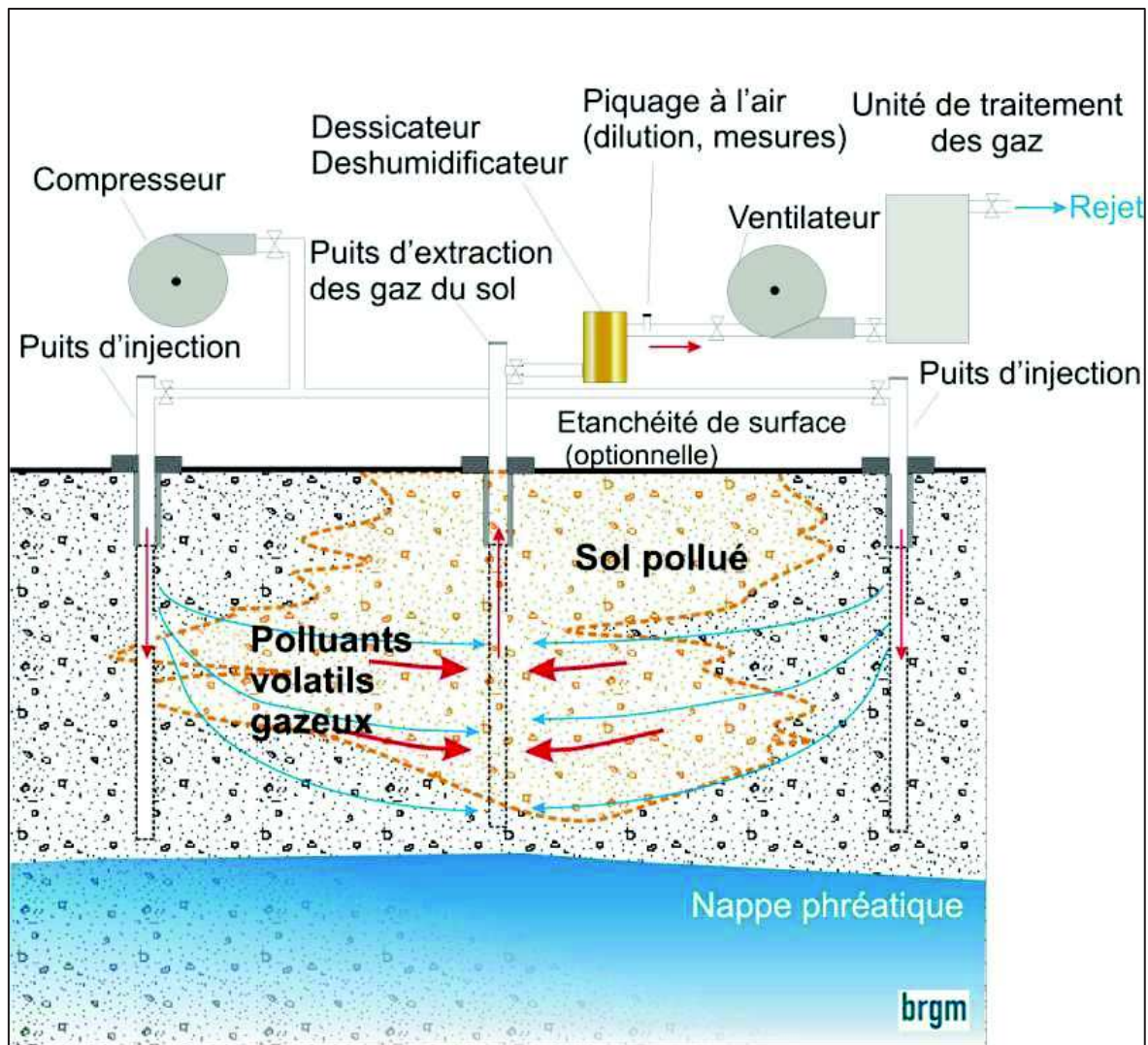


Figure 9.1 : Principe de fonctionnement du venting à chaud (source : BRGM)

Le venting consiste en un renouvellement forcé de l'air des sols pour déplacer l'équilibre. Dans la majorité des cas, des puits de récupération des vapeurs sont installés afin de contrôler la migration des vapeurs et de favoriser la circulation d'air. Pour la variante proposée ici, afin d'augmenter la désorption des composés chlorés et d'atteindre les objectifs de remise en état, il est nécessaire d'injecter de la chaleur dans le milieu pour contrecarrer l'hétérogénéité des terrains.



Ce traitement nécessitera donc la mise en place :

- de points d'injection verticaux pour l'air chaud (aiguilles d'injection) ;
- d'un réseau d'injection permettant la mise en relation d'un compresseur et des points d'injection ;
- de points d'extraction verticaux (dénommés aiguilles d'extraction) ;
- d'un réseau d'extraction permettant la mise en relation des points d'extraction et de l'extracteur ;
- d'un séparateur de condensats ou dévésiculeur ;
- d'une filière de traitement des gaz par adsorption (généralement sur charbon actif) ;
- d'un stockage des déchets solides et liquides issus du traitement.

Nota : Nous précisons que le dimensionnement et l'efficacité du traitement devront être établis par la réalisation d'un essai pilote préalable à un déploiement à pleine échelle.

b) Paramètres de suivi

Les paramètres à suivre lors d'une opération de venting à chaud sont les suivants :

- les débits et pressions au niveau des puits d'injection et d'extraction ;
- les concentrations en polluants et sous-produits de dégradation éventuels dans les gaz des sols ;
- les paramètres relatifs au traitement des gaz (débits, dépression, perte de charge, saturation du charbon actif....) ;
- les concentrations en polluants dans les rejets atmosphériques (respect des normes de rejets) ;
- la caractérisation des effets « rebonds » : afin d'évaluer si le traitement touche à sa fin, le système est arrêté et la concentration en contaminant est suivie dans les ouvrages de contrôle. Peu à peu, les concentrations vont de nouveau augmenter. Si les concentrations obtenues, à l'équilibre, c'est-à-dire après un laps de temps suffisant, sont conformes aux seuils de dépollution envisagés, l'opération peut être arrêtée.

➤ **Scénario n°2 : biopile**

a) **Description**

Le principe du traitement proposé est présenté sur la figure ci-dessous.

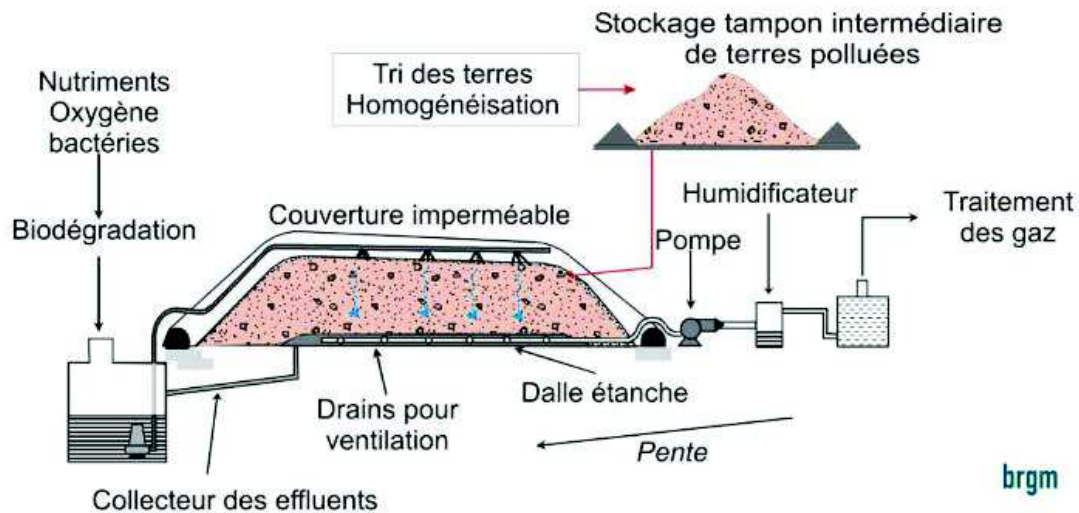


Figure 9.2 : Principe de fonctionnement d'un traitement par biopile (source : BRGM)

Le principe de ce traitement consiste en l'excavation et la mise en tas sur site avec apport d'amendement. La dégradation des polluants est alors réalisée par voie biologique, stimulée par une injection d'air, d'eau et de nutriments.

Ce traitement nécessitera donc la mise en place :

- d'une plateforme de prétraitement pour préparation des matériaux (homogénéisation, apport d'amendement...);
- d'une plateforme de traitement;
- de matériel relatif à la préparation et l'ajout de nutriments : cuve de stockage, système de mélange avec l'eau, réseau de récupération et de recirculation des lixiviats;
- de matériel relatif à l'ajustement de l'humidité (drain, sprinkler, pompes...);
- de matériel nécessaire à l'aération (drain, pompes...);
- d'une filière de traitement des gaz;
- de matériels de contrôle de conditions du milieu;
- d'un stockage des déchets solides et liquides issus du traitement.

Eventuellement, les travaux de terrassement pourront nécessiter la mise en place d'une tente sous dépression, non budgétisée dans l'estimation financière de ce scénario.

Nota : Nous précisons que le dimensionnement et l'efficacité du traitement devront être établis par la réalisation d'un essai pilote préalable à un déploiement à pleine échelle.



b) Paramètres de suivi

Les paramètres à suivre lors d'une opération de traitement par biopile sont les suivants :

- les paramètres relatifs au bon développement des bactéries : pH, température, conductivité, potentiel redox, humidité, ratio C/N/P/K ;
- dénombrement bactérien dans les sols et dans l'eau (optionnel) ;
- les concentrations en polluants dans les sols et les gaz des sols (suivi de la production de CO₂ notamment),
- les concentrations en polluants dans les rejets atmosphériques et paramètres relatifs au traitement des gaz (débits, dépression, perte de charge, saturation du matériau de filtration...) ;
- les concentrations en polluants dans les rejets liquides et paramètres relatifs au traitement des eaux (débits, saturation des filtres....).



9.5 Gestion des déblais

9.5.1 Principe

En application de l'Ordonnance n° 2010-1579 du 17 décembre 2010, les terres excavées, qu'elles soient naturelles ou non, qui sortent du site dont elles sont extraites ont un statut de déchet. En effet, au titre de l'article L. 541-1-1, est défini comme un déchet toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire. Lorsqu'elles restent sur le site, elles n'endossent pas ce statut de déchets. Ce n'est donc pas la présence ou l'absence de pollution dans les terres qui en fait un déchet.

De façon générale, il ressort de ce qui précède que, si les terres du site sont réutilisées sur le site même, elles ne sont pas considérées comme des déchets puisqu'elles ne sont pas évacuées du site de leur excavation. *A contrario*, une terre excavée même non polluée dont on veut se défaire répond aux critères réglementaires définissant un déchet et doit être gérée comme tel.

La démarche de gestion des déblais conforme aux exigences de la réglementation française implique donc une recherche systématique de toutes les voies de réemploi des terres, sur site et hors site, et de ne se défaire que des fractions non réutilisables.

A ce jour, trois modes de gestion des terres excavées peuvent être retenus :

- Réutilisation ou valorisation sur site,
- Réutilisation ou valorisation hors site,
- Elimination en filière adaptée spécifique et autorisée, conformément à la législation applicable aux déchets (traçabilité, responsabilité notamment en terme de suivi jusqu'à valorisation ou élimination).

Les techniques de construction devront privilégier les méthodes générant le moins de déblais possibles de façon à limiter les surcoûts liés à la gestion de déblais.

9.5.2 Potentiel de réutilisation sur site des déblais

Compte-tenu des cotes projet et de la topographie locale, aucune réutilisation de terres n'est envisagée sur site.

Néanmoins, en cas de choix de gestion des ZPC par biopile, il pourra être envisagé de réemployer des déblais au droit des fouilles d'excavation. Préalablement à leur mise en œuvre, ces matériaux devront être caractérisés sur tas afin de valider leur compatibilité sanitaire avec l'usage projeté.

9.5.3 Potentiel de réutilisation hors-site des terres excavées non-inertes

La réutilisation hors-site des terres excavées non-inertes est envisageable :

- En technique routière : remblais sous ouvrage routier ou parking, assises de chaussées (fondation et base) et en couche de forme, remblai technique recouvert de type protection phonique ou tranchées, remblais non recouverts et remblais de pré-chargement ;
- Dans des projets d'aménagement nécessitant la délivrance d'un permis de construire, d'un permis d'aménager ou d'une étude d'impact (procédure itérative selon les phases du projet) ; les usages envisagés étant les suivants : aménagements paysagers (jardins non privés), aménagements d'espaces verts en couche d'assise, élévation des terrains, remblaiements de



fondation à des fins géotechniques (sauf dans le cas de projets résidentiels pour lesquels cet usage est interdit). Les scénarii envisagés sont les suivants :

- Réutilisation sous bâtiment (bureaux, locaux commerciaux et industriels),
- Réutilisation sous couverture de 30 cm après compactage de terres non polluées pour les aménagements paysagers non privatifs dans le cadre de projets urbains (résidentiels, industriels ou commerciaux),
- Réutilisation sous des revêtements de type parkings ou chaussées dans le cadre de projets urbains (résidentiels, industriels ou commerciaux).

La réutilisation hors-site de terres excavées doit répondre aux exigences du « *Guide de caractérisation des terres excavées dans le cadre de leur réutilisation hors site en technique routière et dans des projets d'aménagement* » (rapport final du BRGM n°BRGM/RP-62856-FR de décembre 2013).

La traçabilité des mouvements de terres pour une élimination hors site doit être réalisée sur la base de Bordereaux de Suivi des Terres Réutilisables (BSTR) selon les exigences du guide BRGM. La base de données TERRASS doit également être renseignée.

9.5.4 Excavation et élimination hors-site

■■■ Conditions d'élimination hors-site

Toute terre excavée présentant des constats organoleptiques anormaux (odeur, couleur, traces d'huiles, etc.) devra faire l'objet d'une gestion particulière en vue d'un contrôle de la qualité des terres avant leur gestion hors-site.

Les terres devront être excavées et triées (remblais, terres ou matériaux contaminés, terrain naturel / matériaux homogènes, de nature lithologique homogène et de qualité chimique homogène) selon des qualités similaires de manière à éviter toute dilution de la pollution et à optimiser les filières d'élimination des terres excavées. De ce fait, l'élimination hors-site pourra prendre deux formes :

- Excavation – chargement – élimination ;
- Excavation – stockage temporaire – chargement – élimination.

Le stockage temporaire se fera sur une surface étanche (dalle béton, bâche au sol) pour supprimer les voies de transfert par lixiviation, et être recouvert en chaque fin de poste journalier pour supprimer les infiltrations et le ruissellement d'eau dans les terres polluées.

La traçabilité des matériaux éliminés hors site (tonnage, destination, ...) sera vérifiée par l'intermédiaire de la production de Bordereaux de Suivi des Déchets (BSD).

Pour rappel, tout producteur de déchets est responsable de la gestion de ces déchets jusqu'à leur élimination ou valorisation finale, conformément à l'article L541-2 du Code de l'Environnement.

■■■ Filières d'élimination envisageables

Le tableau ci-après reprend, sur la base de la classification des Installations de Stockage de Déchets, les filières d'élimination envisageables pour les matériaux présents au droit du site. Cette



classification a été réalisée sur base des différentes campagnes de prélèvements sol et au regard du retour d'expérience de Tauw France. Elle devra être validée par une consultation des différentes filières d'élimination envisagées par l'entreprise de travaux.

Nota : Ne sont repris dans ce tableau que les échantillons ayant fait l'objet d'une caractérisation complète de type ISDI ou présentant un dépassement des critères d'acceptation ISDI sur produit brut.

Légende :

⁽¹⁾ Selon l'arrêté du 12 décembre 2014, une « valeur limite plus élevée peut être admise pour le COT sur brut à condition que la valeur limite de 500 mg/kg de matière sèche soit respectée pour le COT sur éluat »

⁽²⁾ Selon l'arrêté du 12 décembre 2014, « si le déchet ne respecte pas au moins une des valeurs fixées pour le chlorure, le sulfate ou la fraction soluble, le déchet peut être encore jugé conforme aux critères d'admission s'il respecte soit les valeurs associées au chlorure et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble »

Rb : Remblais / TN : Terrain naturel

Echantillon respectant les critères d'admission en :

- **IXI** : ISDI (Installation de Stockage de Déchets Inertes, ancienne classe 3),
- **IX+** : ISDI + (Installation de Stockage de Déchets Inertes +, ancienne classe 3+),
- **IXI** : ISDND (Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux, ancienne classe 2) ou équivalent (traitement physico-chimique)

Tableau 9.14 Interprétation des données analytiques disponibles sur les échantillons de sol analysés par rapport aux critères seuils d'admission ISDI

Bureau d'études / année	Sondage	Echantillon (profondeur)	Nature des terrains	Paramètres déclassants
HPC / 2010	S2	S2 (0,3-0,4 m)	Rb	HCT : 1 700 mg/kg
	S3	S3 (0-1 m)	Rb	Fraction soluble : 21 900 mg/kg Sulfates : 14 000 mg/kg
	S4	S4 (0,2-1 m)	Rb	Fraction soluble : 21 600 mg/kg Sulfates : 14 000 mg/kg
	S10	S10 (0,05-0,6 m)	Rb	HCT : 790 mg/kg
	S13	S13 (0,3-1,5 m)	Rb	Fraction soluble : 8 000 mg/kg Sulfates : 5 000 mg/kg
	S36	S36 (0,4-1 m)	Rb	HCT : 1 900 mg/kg
		S36 (1-2,9 m)	Rb	HCT : 1 100 mg/kg
	S57	S57 (1-1,9 m)	TN	Fraction soluble : 11 300 mg/kg Sulfates : 7 600 mg/kg
	S58/2	S58/2 (2-3,5 m)	TN	HCT : 2 700 mg/kg
	S59	S59 (3-4,2 m)	TN	HCT : 1 700 mg/kg
	S63	S63 (3,1-3,3 m)	Rb	HCT : 55 000 mg/kg
		S63 (3,3-4 m)	TN	HCT : 13 000 mg/kg
		S63 (4-5 m)	TN	HCT : 4 100 mg/kg
S66	S66 (0,2-1 m)	Rb	HCT : 930 mg/kg	
GEOSAN / 2016	102	102 (0,4-0,7 m)	TN	Fraction soluble : 24 700 mg/kg Sulfates : 15 200 mg/kg
	103	103 (0,4-0,9 m)	TN	Fraction soluble : 22 400 mg/kg Sulfates : 14 900 mg/kg
	104	104 (0,2-0,7 m)	TN	Fraction soluble : 24 000 mg/kg Sulfates : 15 500 mg/kg
	105	105 (0,3-0,8 m)	Rb	Fraction soluble : 22 600 mg/kg Sulfates : 15 000 mg/kg
	109	109 (4-4,5 m)	TN	HCT : 2 250 mg/kg
		109 (6,5-7 m)	TN	HCT : 555 mg/kg
	P110	P110 (1-1,5 m)	Rb	HCT : 533 mg/kg
		P110 (2,5-3 m)	Rb	HCT : 3 180 mg/kg
	202	202 (0,3-0,8 m)	Rb	HCT : 512 mg/kg
	203	203 (0,3-0,8 m)	Rb	HCT : 702 mg/kg
PZ8	PZ8 (0,3-0,8 m)	Rb	Fraction soluble : 22 200 mg/kg Sulfates : 14 500 mg/kg	
Tauw / 2018	TW5	TW 5-1 (0,2-1,2 m)	Rb	HCT : 525 mg/kg HAP : 350 mg/kg
	TW14	TW 14-1 (0,05-1,4 m)	Rb	PCB : 8,93 mg/kg COT (sur brut) : 31 700 mg/kg (non déclassant car valeur conforme COT sur éluat ⁽¹⁾)
		TW 14-2 (2-3 m)	TN	-
	TW15	TW 15-1 (0,4-1,4 m)	Rb	Antimoine : 0,1 mg/kg Fraction soluble : 5 020 mg/kg Sulfates : 1 810 mg/kg
		TW 15-3 (3-4 m)	TN	-
	TW16	TW 16-1 (0,05-1,4 m)	Rb	HAP : 230 mg/kg
		TW16-3 (3-4 m)	TN	Antimoine : 0,095 mg/kg
	TW17	TW 17-1 (0,2-1 m)	TN	COT (sur brut) : 59 100 mg/kg (non déclassant car valeur conforme COT sur éluat ⁽¹⁾) Fraction soluble : 23 800 mg/kg Sulfates : 13 500 mg/kg
		TW 17-3 (2-3 m)	TN	Fraction soluble : 4 280 mg/kg (non déclassant car valeur conforme en chlorures et sulfates ⁽²⁾)
		TW18	TW 18-1 (0-1 m)	Rb
	TW 18-2 (1-2 m)		TN	-
	TW19	TW 19-1 (0,2-1 m)	Rb	COT (sur brut) : 47 300 mg/kg (non déclassant car valeur conforme COT sur éluat ⁽¹⁾) Zinc : 1,22 mg/kg Chlorures : 2 040 mg/kg Fraction soluble : 29 000 mg/kg Sulfates : 13 400 mg/kg
		TW 19-3 (2-3 m)	TN	-



9.5.5 Estimation des volumes et des tonnages de déblais

L'estimation du volume de déblais est présentée dans le tableau ci-après. Le volume de matériaux est susceptible d'évoluer en fonction du projet final et de la densité réelle des matériaux présents sur place. Les hypothèses suivantes ont été retenues pour les calculs :

- Profondeur de terrassement de 4 m au droit du futur data-center ;
- Surface du data-center de 32 000 m² ;
- Densité pour les sols : 1,8 (d'après bibliographie).

Nota : En l'absence de données sur la création du square et de l'école de la seconde chance, aucun terrassement n'a été considéré.

Ainsi, le volume global de terrassement pour la création du data-center est de l'ordre de 128 000 m³, soit 230 000 t.

9.5.6 Estimation du coût associé à la gestion des déblais

Tauw France a considéré les coûts d'acceptation en installation de stockage suivants :

- ISDI : environ 15 € la tonne,
- ISDI+ : environ 40 € la tonne,
- ISDND ou traitement physico-chimique : environ 70 € la tonne.

A ces montants, il faut ajouter des coûts de l'ordre de 6 €/t de chargement et 20 €/t de transport.

Le tableau suivant présente une estimation grossière des coûts de gestion des matériaux par filière, et en distinguant les différents horizons par épaisseurs de 2 m. Les figures qui suivent représentent la distribution par filière.

Tableau 9.15 Synthèse de la gestion des déblais amenés à être générés dans le cadre des travaux de terrassement du site

Horizon	ISDI			ISDI+			ISDND			Total		
	Pourcentage	Tonnage	Coût	Pourcentage	Tonnage	Coût	Pourcentage	Tonnage	Coût	Pourcentage	Tonnage	Coût
0-2 m	25%	28 750 t	1 178 750 €	25%	28 750 t	1 897 500 €	50%	57 500 t	5 520 000 €	100%	115 000 t	8 596 250 €
2-4 m	75%	86 250 t	3 536 250 €	25%	28 750 t	1 897 500 €	-	-	-	100%	115 000 t	5 433 750 €
Coût d'acceptation en filière (y.c. chargement et transport)			41 €/t			66 €/t			96 €/t			-
Montant total pour la gestion spécifique des déblais (1)			4 715 000 €			3 795 000 €			5 520 000 €			14 030 000 €
Montant pour la gestion en ISDI de l'intégralité des déblais (2)												9 430 000 €
Surcoût lié à la gestion de la pollution (1)-(2)												4 600 000 €

- : matériaux ne faisant pas l'objet des terrassements

Ainsi, le coût total de gestion des déblais est estimé à 14 M€, dont 4,6 M€ de surcoût lié à la pollution.

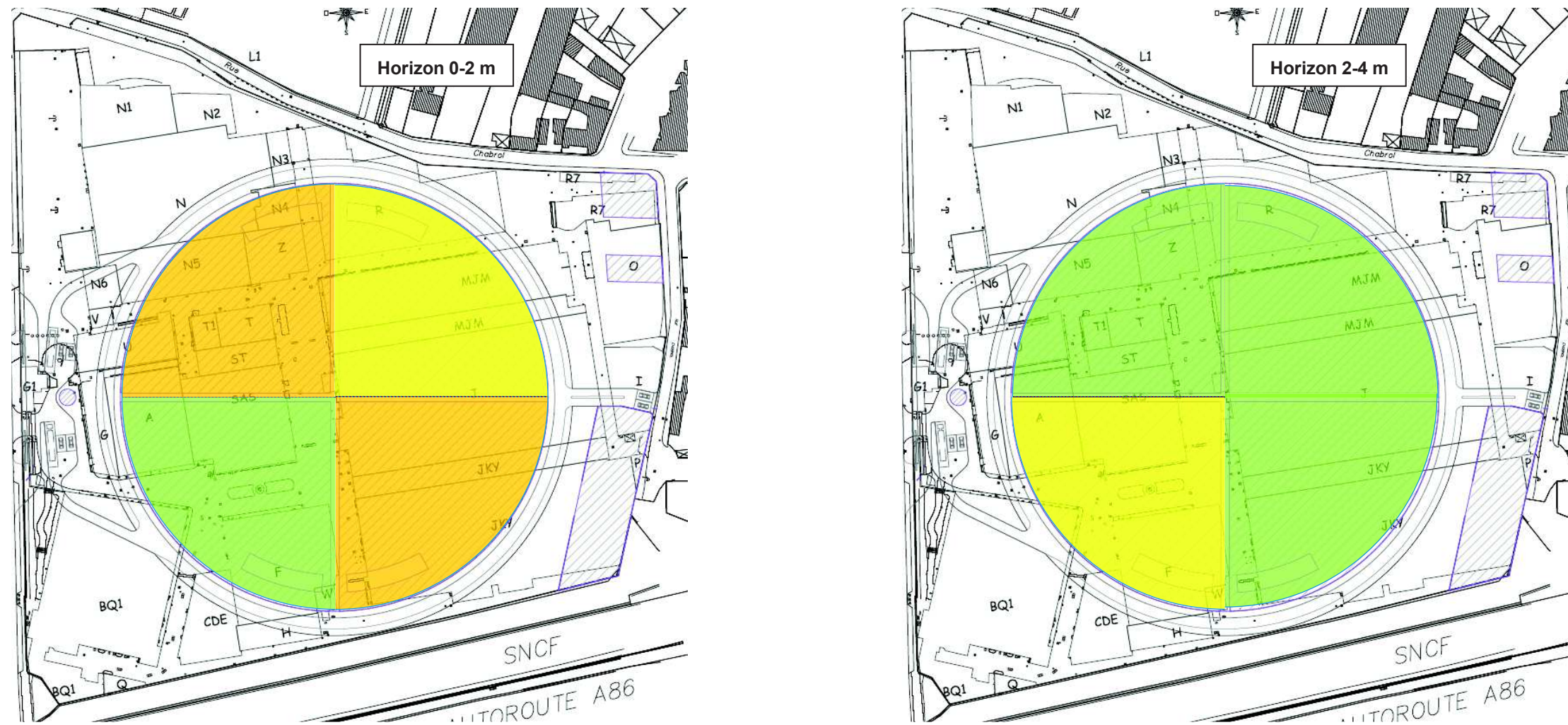


Figure 9.3 : Représentations schématiques de répartition des déblais du data-center par filière



Compte-tenu des volumes à gérer et des coûts associés très importants, Tauw France préconise de réaliser une caractérisation sur tas afin de réaliser une répartition plus fine par filière.

Ceci implique la création d'une zone de stockage "tampon" en attente de retour d'analyse mais doit permettre de réaliser des économies substantielles.

Nota : Conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, en cas de découverte d'odeurs ou d'indices visuels caractéristiques de la présence d'un polluant lors des travaux de terrassement, la zone concernée devra faire l'objet d'un traitement adapté. Le coût éventuel de gestion d'une telle découverte ne peut être chiffré dans le cadre du présent rapport.

L'entreprise en charge des travaux de terrassement devra impérativement assurer une traçabilité des opérations (mouvements de terres, quantité, destination, ...) au travers de Bordereaux de Suivi des Déchets (BSD). Il est en effet interdit de mélanger, pendant ou après l'excavation, des lots distincts de terres excavées de qualité différente dans le but de diluer les éventuelles pollutions afin de déclasser les terres, ou de porter atteinte à l'objectif de traçabilité des terres excavées.

Il est également recommandé, dans l'optique de limiter les coûts liés à l'évacuation de terres non inertes, de faire réaliser un suivi du tri des terres par un prestataire indépendant de l'entreprise en charge des travaux.

9.6 Mise en œuvre de la méthode de gestion retenue

9.6.1 Contrôle des travaux

➤ Scénario n°1 : venting à chaud

Un suivi régulier des paramètres de fonctionnement devra être réalisé par l'entreprise de travaux afin d'optimiser son installation. Elle veillera en outre à assurer un suivi régulier de la qualité de l'air rejeté en sortie du traitement sur charbon actif afin de prévenir les phénomènes de saturation et anticiper les échanges de colonnes d'adsorbant.

Un suivi régulier de l'évolution de la qualité des gaz du sol et/ou de l'air ambiant devra également être réalisé par un bureau indépendant afin de tracer les rendements de dépollution.

Ce suivi devra être poursuivi à l'issue de la période de traitement afin d'appréhender un éventuel effet « rebond », tel qu'indiqué dans le paragraphe traitant des paramètres de suivi du traitement.

➤ Scénario n°2 : biopile

De même que pour le scénario n°1, l'entreprise de travaux devra être vigilante au suivi de la qualité de l'air rejeté et de la saturation des supports de filtration.

Ce suivi permettra également de constater l'avancée de la dépollution.

9.6.2 Protection des travailleurs

Les diagnostics engagés sur le site ont montré la présence de métaux et de composés volatils dans les sols. Ces substances sont susceptibles de présenter des risques pour la santé des travailleurs en cas d'exposition par ingestion ou inhalation de poussières, principalement durant la période de mise en place des puits de traitement. Des mesures de protection collective ou des équipements de protection individuels devront être adoptés afin de prévenir les voies de transfert suivantes :



- contact direct avec les sols ;
- inhalation et ingestion de poussières de sols ;
- inhalation de composés volatils.

Le respect des bonnes pratiques de gestion de l'hygiène et de la sécurité sur le chantier doivent suffire à gérer la majorité de ces problématiques :

- balisage des zones de traitement ;
- limitation de la présence de personnel en contact avec les matériaux pollués ;
- port d'équipements de protection individuels adéquats : gants, vêtements de travail, éventuellement masques à poussières ;
- les équipements individuels seront mis à disposition des différents intervenants. Leurs modalités d'utilisation feront l'objet d'une séance d'information spécifique donnée à chaque intervenant sur site ;
- respect des règles d'hygiène élémentaires comme l'interdiction de prendre des repas, de boire et de fumer dans la zone de chantier (lavage des mains et changement de vêtements à la fin de chaque poste).

Nota : Les temps d'exposition des travailleurs restent malgré tout limités.

9.6.3 Obligations du Maître d'Ouvrage

Dans la parution de tout CCTP travaux, les contraintes hygiène, sécurité et environnement (HSE) seront clairement explicitées.

Le maître d'ouvrage ou le coordinateur en matière de sécurité et de protection de la santé (CSPS) devra déterminer les mesures de prévention applicables lors des différentes phases du chantier, dans l'optique de la prévention de la sécurité et de la santé des travailleurs, incluant notamment :

- Les règles de circulation et d'accès au chantier ;
- Les mesures de protection collective (contrôle des émissions de poussières...) ;
- Le port des équipements de protection individuels.

Préalablement à la réalisation des travaux, une réunion de sensibilisation sera organisée par le maître d'ouvrage ou le CSPS à l'attention de l'ensemble des intervenants.

9.6.4 Obligations de l'entreprise de travaux

Chaque entreprise amenée à intervenir sur le site, procédera à une évaluation des risques qui précisera les dispositions opérationnelles à mettre en œuvre pour garantir la sécurité des travailleurs : modes opératoires à respecter, personnel concerné par le contact de la santé du personnel...

Si cette analyse des risques prend la forme d'un PPSPS, elle devra être validée par le CSPS et mise à disposition de la CARSAT.

Durant l'ensemble des phases, des locaux spécifiques pour les intervenants seront prévus.



9.6.5 Gestion des matériaux excavés

Les matériaux extraits lors des opérations de dépollution feront l'objet d'un suivi spécifique permettant de les trier selon leurs caractéristiques physico-chimiques et de contrôler leur gestion vers les filières adaptées. Ce suivi fera l'objet d'une mission confiée à un prestataire externe qualifié qui réalisera des prélèvements sur ces matériaux et analysera leur qualité afin de confirmer la filière de gestion.

Le choix de la filière de stockage ou de traitement sera adapté à la qualité des terres. L'évacuation hors site sera précédée de la fourniture d'un certificat d'acceptabilité préalable des déblais délivré par le centre de stockage ou de traitement.

Toute évacuation de matériaux non inertes fera l'objet de l'émission de Bordereaux de Suivi de Déchets (BSD).

9.6.6 Contrôle de l'application des mesures de gestion préconisées

Ce suivi comprendra notamment :

- Le suivi de la gestion des matériaux extraits ;
- Des campagnes de mesure régulière de la qualité des gaz du sol permettant d'évaluer la progression de l'abattement des concentrations ;
- Une campagne de mesure de la qualité des gaz du sol et/ou air ambiant permettant d'attester l'atteinte des objectifs de dépollution et de démobiliser les unités de traitement (cf. suivi des effets « rebonds ») ;
- Un rapport de récolement décrivant les mesures de gestion mises en œuvre (bilan massique, quantités de réactifs consommés, quantités d'adsorbant utilisées...).

En outre, conformément à la méthodologie nationale relative aux sites et sols pollués, un suivi de la bonne application des mesures préconisées sera à mettre en place sous la forme d'une analyse des risques résiduels post travaux de dépollution.

9.6.7 Découverte d'anomalies non connues à ce jour

En dépit des investigations réalisées, la découverte d'anomalies non connues à ce jour est toujours envisageable. Cet aléa devra être pris en considération dans le Dossier de Consultation des Entreprises pour le choix de l'entreprise de travaux et d'aménagement de la zone. Les zones présentant des pollutions concentrées devront faire l'objet d'un traitement adapté, conformément à la politique nationale de gestion des sites et sols pollués. En cas de découverte, les mesures à mettre en œuvre en urgence sont les suivantes :

- Avertir la maîtrise d'ouvrage ;
- Faire appel au prestataire externe qualifié qui se prononcera sur les mesures de gestion spécifiques à engager ;
- Clôturer et baliser la zone concernée en attente de mesures de gestion adaptées.



9.7 Mesures de gestion complémentaires à mettre en œuvre

9.7.1 Maîtrise du risque par contact direct

Au regard de la présence de remblais sur la majeure partie du site et de leur qualité hétérogène, il convient d'assurer le maintien du confinement de l'ensemble des remblais devant rester en place sur le site afin de garantir l'absence de contact direct entre les remblais et les futurs usagers du site.

Au droit du futur bâtiment, ce confinement sera assuré par la dalle béton ou tout autre revêtement de sol sélectionné par la maîtrise d'ouvrage.

Au droit des futurs espaces verts, il est recommandé de :

- Mettre en place de la terre végétale saine sur une épaisseur d'au moins 30 cm compactés et/ou non foisonnés. Un grillage avertisseur ou équivalent sera mis en place entre les terres en place et les terres d'apport. Le projet d'aménagement ne prévoit pas de jardins potagers,
- En cas de plantations d'arbres, des mesures spécifiques devront être mises en place (plantation dans une fosse adéquate remplie de terre végétale saine),
- Absence de plantations d'arbres fruitiers.

Les terres d'apport devront respecter les prescriptions suivantes :

- Concentrations en métaux conformes aux valeurs observées dans les sols ordinaires (ASPITET-INRA), à savoir :
 - Arsenic < 25 mg/kg,
 - Cadmium < 0,45 mg/kg,
 - Chrome < 90 mg/kg,
 - Cuivre < 20 mg/kg,
 - Mercure < 0,10 mg/kg,
 - Nickel < 60 mg/kg,
 - Plomb < 50 mg/kg,
 - Zinc < 100 mg/kg,
- Concentrations en polluants organiques inférieures aux limites de quantification du laboratoire, ou validation par des calculs de risques sanitaires.

A défaut du respect de ces valeurs, une étude spécifique devra être menée afin de garantir la maîtrise des risques sanitaires.

Afin de valider la qualité des terres d'apport d'origine hors-site, des analyses chimiques devront être réalisées par lot homogène de terres d'apport. Il est à noter que les matériaux provenant de sites susceptibles d'être à l'origine d'une pollution des sols ou les matériaux comprenant des engins pyrotechniques seront proscrits.

9.7.2 Maîtrise du risque par inhalation de polluants volatils

A l'issue des travaux de terrassement, une pollution résiduelle et une pollution diffuse persisteront au droit du site. En particulier, des composés volatils suivants ont été détectés dans les remblais à des concentrations plus ou moins importantes.

Une Analyse des Risques Résiduels (ARR) prédictive est présentée au chapitre suivant permettant d'apprécier le risque sanitaire lié aux concentrations en composés volatils des matériaux laissés en place.

Tauw France recommande de mettre en place une série de piézaires (une fois les côtes de terrassement atteintes) au niveau des futurs bâtiments et de réaliser une campagne de prélèvement des gaz de sol, avec comme objectif l'acquisition des données analytiques d'entrée à l'analyse des risques résiduels post-travaux.

9.7.3 Canalisations d'eau potable

Au droit de sites pollués, les canalisations d'eau potable peuvent être sujettes à la perméation (phénomène qui consiste en un transfert des polluants volatils contenus dans les sols, les eaux souterraines ou les gaz de sol vers l'intérieur des canalisations).

En France, aucune valeur limite dans les sols et les eaux souterraines n'est définie pour l'installation d'une canalisation d'eau potable. Cependant, ces valeurs existent aux Pays-Bas et au Royaume-Uni, elles sont présentées dans les tableaux ci-après².

Tableau 9.16 Valeurs limites dans les sols - Pays-Bas

Paramètre	Tuyau en polyéthylène (PE)	Tuyaux en PolyVinylChloride (PVC)
Benzène	0,1	2 000
Toluène	0,25	2 000
Ethylbenzène	0,5	2 000
Xylènes	0,1	3 000
1,3,5-Triméthylbenzène	0,1	3 000

Tableau 9.17 Valeurs limites dans les sols - Royaume-Uni

Paramètre	Valeur limite (mg/kg Ms)
Benzène	0,5
Toluène	50
Xylènes	2,5
1,3,5-Triméthylbenzène	25
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	50
Hydrocarbures totaux (HCT)	50

² Recommandation issue du guide BRGM/RP-63675-FR d'août 2014, « Guide relatif aux mesures constructives utilisables dans le domaine des SSP »



Les résultats d'analyses réalisés sur les sols au droit du site mettent en évidence des dépassements ponctuels de ces valeurs limites.

Ainsi, il conviendra, lors de l'installation des canalisations d'eau potable, de mettre en place des conduites métalliques (canalisations en acier associées à des conduits et joints métalliques ou joints en caoutchouc à base de styrène-butadiène ou d'acrylonitrile butadiène) ou des conduites multicouches (canalisations composées de trois couches : une couche interne, une couche externe en PE et une barrière en aluminium entre les deux). D'après le guide BRGM⁹, le coût d'une canalisation multicouche est d'environ 5 à 60 € HT le mètre (hors installation) selon le diamètre de la canalisation. En cas d'utilisation de conduites en PE, il conviendra de privilégier un matériau à haute densité afin de réduire le risque de perméation des gaz.

Une autre solution peut également être la mise en place d'une barrière de bentonite (argile) autour des canalisations au moyen d'une membrane mixte, à base de polypropylène (géotextile) et de bentonite sodique. Le coût de cette solution est compris entre 15 et 20 € le m².

En complément et quel que soit la solution retenue, les canalisations devront être mises en place dans des matériaux sains (pose de sablon propre sur une épaisseur d'au moins 30 cm autour des canalisations) afin d'éviter tout contact des canalisations d'eau potable et des sols pollués.

9.7.4 Suivi de la qualité des eaux souterraines

L'usage de la nappe sera interdit au droit du site en raison de l'impact des eaux en solvants chlorés. Un suivi de la qualité des eaux souterraines devra être réalisé au droit d'un réseau piézométrique pertinent. Dans l'état actuel du site, Tauw France propose de réaliser cette surveillance au droit des ouvrages suivants :

- PZ15 (amont hydraulique) ;
- PZ4 et PZ14 (latéral hydraulique) ;
- PZ5, PZ9 et PZ10 (au droit des sources sol) ;
- PZ1 et PZ2 (aval hydraulique)
- 2 à 3 ouvrages complémentaires en bordure de site, en aval hydraulique (positions à définir).

Tout ouvrage endommagé devra être réfectionné.

La surveillance devra être réalisée selon un rythme semestriel (1 campagne en période de hautes eaux et 1 campagne en période de basses eaux) pendant une durée de 4 ans. Dans le cadre de la surveillance de la qualité des eaux souterraines à mettre en place au droit du site, nous proposons de procéder à l'analyse des paramètres suivants :

- 8 métaux lourds ;
- HAP ;
- BTEX ;
- COHV.

Après 4 ans de surveillance, un bilan quadriennal de la surveillance environnemental sera réalisé. Ce bilan pourra proposer, en fonction des résultats des campagnes, des adaptations des conditions de surveillance (modification des paramètres à contrôler, fréquence des contrôles...). Au vu du bilan



quadriennal, une adaptation ou une suppression de la surveillance pourra être proposée dès lors qu'il aura été démontré que les concentrations en polluant ne sont plus susceptibles d'augmenter.

9.8 Conservation de la mémoire

L'état de pollution des sols, des eaux souterraines et des gaz du sol devra clairement être indiqué dans tout document d'urbanisme et tout acte de vente du terrain. Il sera également stipulé dans les documents d'urbanisme et les actes de vente que le site devra faire l'objet de nouvelles études de pollution et de l'élaboration d'un nouveau plan de gestion en cas de changement d'usage. En effet, Tauw France rappelle que les principes de gestion présentés dans la présente étude ne s'appliquent que pour les usages retenus.

9.9 Restrictions d'usage à mettre en œuvre

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

Les restrictions d'usage à mettre en œuvre concerneront :

➤ Pour les sols :

- Maintien de la pérennité d'un recouvrement au droit de l'intégralité du site (revêtement de surface ou apport de terres végétales saines). En cas de travaux ponctuels nécessitant des terrassements (poses/retraits de conduites, extractions de cuves...), le recouvrement devra être renouvelé conformément à l'état d'origine à l'issue des travaux ;

➤ Pour le sous-sol :

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

➤ Pour les eaux souterraines :

- Interdiction de tout usage de l'eau souterraine au droit du site, à l'exception des prélèvements pour surveillance des eaux souterraines (avant, pendant et après les travaux de dépollution).



10 Schéma conceptuel final

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

10.1 Sources de pollution

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

- une contamination diffuse des remblais restant en place par les métaux, HAP, HCT et COHV ;
- une contamination des eaux souterraines en COHV ;
- une contamination des gaz du sol en BTEX et COHV.

10.2 Usage projeté

Le projet d'aménagement consiste essentiellement en la construction d'un bâtiment de data-center avec un niveau de sous-sol (environ 4 m de profondeur) pour accueillir un parking.

Un square sera également aménagé à l'angle nord-ouest ainsi qu'une école de la seconde chance à l'angle nord-est.

10.3 Cibles

Dans le cadre du futur usage, les cibles à considérer sont les futurs travailleurs ainsi que les personnes fréquentant le square et l'école (adultes et enfants).

10.4 Voies de transfert et voies d'exposition retenues

Les voies d'exposition se distinguent selon trois grands modes d'exposition : l'ingestion (ou consommation), le contact cutané et l'inhalation.

Dans le cas présent, les voies d'exposition à considérer pour le schéma conceptuel sont définies comme suit :

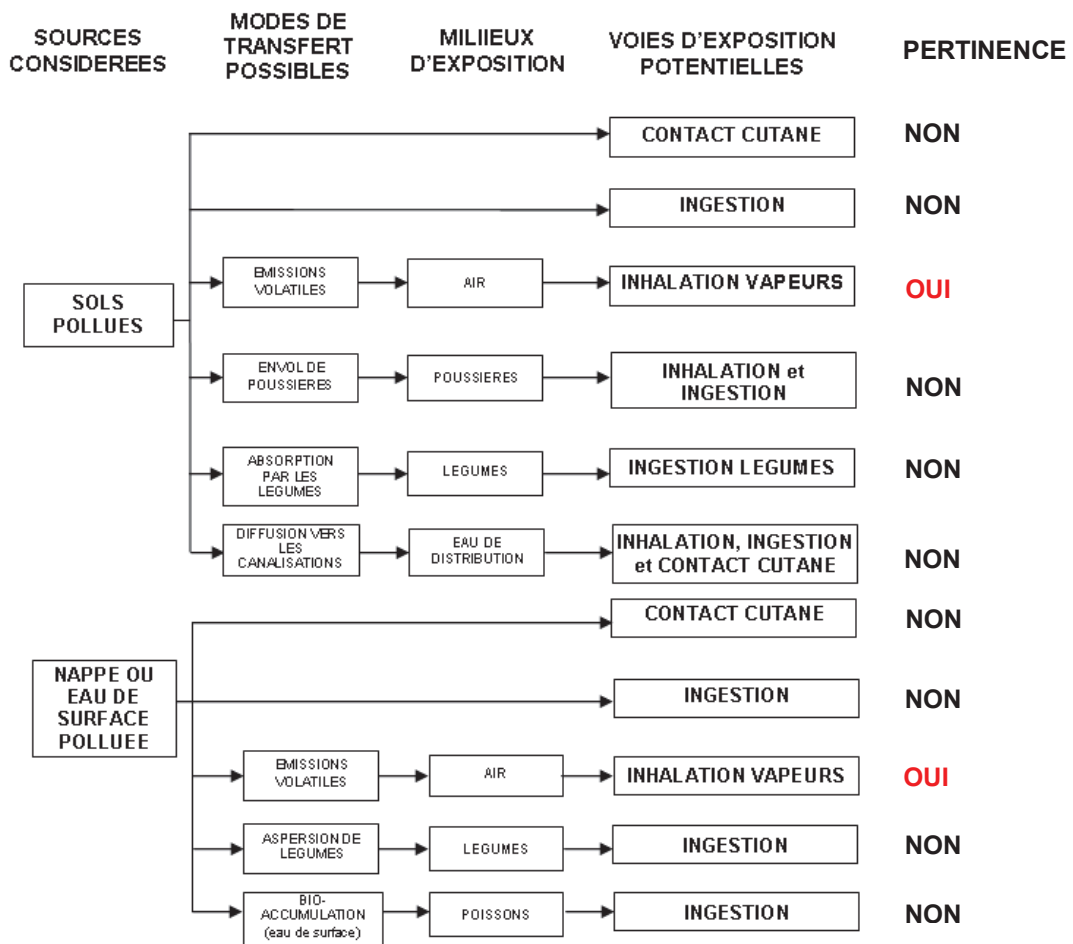
- Les voies d'exposition par inhalation d'air intérieur et extérieur aux composés volatils sont considérées du fait de la présence résiduelle de composés volatils ;
- Les voies d'exposition par ingestion d'eau potable et contact dermique via les douches sont écartées du fait de la mise en place de canalisations anti-perméation ;
- Les voies d'exposition par ingestion de sol, inhalation de particules de sol, contact dermique avec les particules de sol, ingestion de matières en suspension et contact dermique avec les matières en suspension sont écartées du fait du recouvrement du site (terre saine d'apport ou revêtement de surface) ;
- Les voies d'exposition par ingestion de viande et de lait sont écartées du fait de l'absence d'élevage sur site ;

- La voie d'exposition par ingestion de végétaux autoproduits est écartée du fait de l'absence de jardin potager dans le futur projet d'aménagement ;
- La voie d'exposition par ingestion d'eau de surface est écartée du fait de l'absence d'eau de surface au droit du site.

10.5 Conclusion du schéma conceptuel

Le schéma conceptuel initial est synthétisé sur la figure suivante.

Figure 10.1 : Représentation du schéma conceptuel final





11 Analyse des Risques Résiduels (ARR) prédictive

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

11.1 Principe de la modélisation des risques sanitaires

11.1.1 Généralités

Dans le but d'estimer les niveaux de risque³ (et non de danger⁴) pour la santé humaine, l'ARR est la méthode adaptée permettant d'évaluer les risques sanitaires encourus par une population soumise à une contamination pour une exposition donnée.

La démarche d'ARR se décline conventionnellement en cinq grandes étapes :

1. **Identification du potentiel dangereux ou identification des dangers** : Identification des effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer ;
2. **Evaluation du rapport dose (concentration) - réponse (effets)** : Estimation de la relation entre la dose, ou le niveau d'exposition à une substance, et l'incidence de la gravité de l'effet ;
3. **Evaluation de l'exposition** : Détermination du devenir du polluant (transfert et dégradation) afin d'évaluer les concentrations/doses auxquelles les populations humaines sont exposées ou susceptibles de l'être à travers les scénarii d'exposition qui auront été retenus ;
4. **Caractérisation des risques** : Estimation de l'incidence et de la gravité des effets indésirables susceptibles de se produire dans une population humaine en raison de l'exposition réelle ou prévisible, à une ou plusieurs substances ; la caractérisation peut comprendre « l'estimation du risque », c'est à dire la quantification de cette probabilité ;
5. **Etude des incertitudes** liées aux paramètres environnementaux, aux caractéristiques toxicologiques retenues pour les substances sélectionnées.

Les niveaux de risques seront calculés en pratiquant l'additivité des risques.

11.1.2 Définitions

³ Risque : Probabilité qu'un effet indésirable se réalise dans des conditions d'exposition données, via une exposition à un danger

⁴ Danger : Situation ou possibilité pour une substance, du fait de ses caractéristiques ou propriétés intrinsèques, de provoquer des dommages aux personnes, aux biens et à l'environnement



■ Risques sanitaires

Les risques sanitaires sont déterminés par l'exposition d'une population à des substances potentiellement dangereuses, à des doses (concentrations) définies et pour une exposition donnée. En fonction de l'exposition et de la dose de la (des) substance(s) incriminée(s), deux grandes notions de risque sont distinguées :

- Risque accidentel : dose forte et unique, sur une courte durée (exposition aiguë) ;
- Risque chronique : dose faible et répétée, sur une longue durée (exposition sub-chronique ou chronique).

Pour évaluer ces niveaux de risque, différentes valeurs seuils ont été définies pour chaque substance :

- Risque accidentel : Valeurs seuils accidentelles, éditées par l'INERIS (en France) ;
- Risque chronique :
 - Pour des salariés : Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle (VLEP), éditées par l'INRS (en France),
 - Pour la population générale : Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR), éditées par des organismes mondiaux spécialisés (et par l'INERIS en France, pour quelques substances).

■ Exposition

L'exposition d'une population à une contamination est définie par une durée d'exposition donnée, selon un temps et une fréquence adaptés aux scénarii d'exposition. Trois grands types d'exposition peuvent se différencier selon la durée prise en compte :

- L'exposition aiguë (quelques secondes à quelques jours) ;
- L'exposition sub-chronique (quelques jours à quelques années) ;
- L'exposition chronique (quelques années à la vie entière).

Remarque : Dans le cadre de la présente étude, seules les expositions chroniques seront étudiées.

Le phénomène d'absorption par l'homme de substances pouvant provoquer un risque se présente sous forme de trois principales voies d'exposition :

- La voie orale (ou par ingestion) ;
- La voie respiratoire (ou par inhalation) ;
- La voie cutanée (ou par contact cutané).

Dans le cas de la présente étude, seule la voie d'exposition par inhalation de composés volatils sera considérée, les autres voies étant désactivées par la mise en œuvre des mesures de gestion.

■ Population

Une population est définie pour un type d'individu, un sexe, un âge et des caractéristiques biomorphologiques données (poids, taille, débit respiratoire, surface dermique ...).

Dans le cas de la présente étude, les enfants et les adultes seront considérés pour l'usage d'habitat (usage le plus pénalisant d'un point de vue de l'évaluation des risques sanitaires).



■ Substance

Les substances prises en considération dans la modélisation des risques sanitaires sont des composés chimiques (un ou plusieurs éléments) ayant des caractéristiques physico-chimiques et des propriétés toxiques pour l'homme.

Seuls seront pris en compte les composés volatils dont la concentration dans les gaz du sol est supérieure à la valeur de référence ou supérieure à la limite de quantification en cas d'absence de valeur de référence.

Ainsi, dans le cas de la présente étude, les substances considérées sont les suivantes (après mise en œuvre des mesures de gestion) :

- 1,1-dichloroéthane ;
- Chloroforme ;
- 1,1,1-trichloroéthane ;
- Cis-1,2-dichloroéthane
- Trans-1,2-dichloroéthane ;
- Tétrachloroéthylène ;
- Trichloroéthylène ;
- Benzène ;
- Toluène ;
- Ethylbenzène ;
- Xylènes.

Nota : Pour les HAP, seul le naphthalène a été évalué, les autres composés étant considérés comme non volatils.

11.1.3 Identification des dangers

L'identification des dangers a pour but de connaître la toxicité des substances prises en compte dans la présente étude. La toxicité des substances est évaluée selon les différents types d'effets provoqués sur le matériel génétique, le développement, la reproduction, les organes ...

Les deux grands types d'effet d'une substance sur l'homme sont :

- Les effets locaux (substance irritante ou corrosive) ;
- Les effets systémiques (substance génotoxique⁵ : mutagène⁶ ou cancérogène⁷).

Un classement de la cancérogénicité des substances a été établi par divers organismes, dont les trois principaux sont les suivants :

- Union Européenne : Directive 93/21/CEE de la Commission du 27 avril 1993 (JOCE L110A) ;

⁵Génotoxicité : Une substance génotoxique provoque des effets potentiellement défavorables sur le matériel génétique (ADN), mais pas forcément associés à des mutations.

⁶Mutagénicité : Une substance mutagène provoque une modification permanente du nombre ou de la structure du matériel génétique (ADN), aboutissant à une mutation apparente au niveau de l'organisme.

⁷Cancérogénicité : Une substance cancérogène provoque, aggrave ou sensibilise l'apparition d'un cancer.



- Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) ou *International Agency for Research on Cancer* (IARC) ;
- United States Environmental Protection Agency (US EPA) : Banque de données IRIS.

Union Européenne

- Première catégorie (ou catégorie 1) : Substance que l'on sait être cancérigène pour l'homme ;
- Deuxième catégorie (ou catégorie 2) : Substance devant être assimilée à une substance cancérigène pour l'homme ;
- Troisième catégorie (ou catégorie 3) : Substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possibles, mais pour lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation satisfaisante.

Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC)

- Groupe 1 : Agent (ou mélange) cancérigène pour l'homme ;
- Groupe 2A : Agent (ou mélange) probablement cancérigène pour l'homme ;
- Groupe 2B : Agent (ou mélange) pouvant être cancérigène pour l'homme ;
- Groupe 3 : Agent inclassable quant à sa cancérigénicité pour l'homme ;
- Groupe 4 : Agent (ou mélange) n'étant probablement pas cancérigène pour l'homme.

United States Environmental Protection Agency (US EPA)

- Classe A : Substance cancérigène pour l'homme ;
- Classe B1 : Substance probablement cancérigène pour l'homme (données disponibles chez l'homme limitées) ;
- Classe B2 : Substance probablement cancérigène pour l'homme (données suffisantes chez l'animal, mais pas ou peu de preuves chez l'homme) ;
- Classe C : Substance cancérigène possible pour l'homme ;
- Classe D : Substance non classifiable quant à sa cancérigénicité pour l'homme ;
- Classe E : Substance pour laquelle il existe des preuves de non cancérigénicité pour l'homme.

Ces substances génotoxiques, considérées comme Cancérigènes, Mutagènes et/ou toxiques pour la Reproduction (Reprotoxiques), sont aussi appelées CMR.

L'annexe 3 de la Directive 67/548/CEE relative à « *Nature of special risks attributed to dangerous substances and preparations* » précise les différentes phrases de risque associées à chaque substance dangereuse. Cette liste a été complétée et publiée de nouveau dans la Directive 2001/59/CE.

Certaines substances dangereuses peuvent présenter une combinaison de plusieurs phrases de risque. Ces informations se retrouvent sur les Fiches de Données de Sécurité (FDS) éditées par l'INRS en France et sur les étiquetages des produits conditionnés.

Le tableau suivant présente les caractères de danger des substances étudiées dans la présente étude, tels que l'explosivité, la nocivité, la toxicité, l'irritation⁸, la corrosion⁹ ...

Tableau 11.1 Classement cancérigène et phrases de risque des substances observées

Substance	n° CAS	Classement cancérigène		
		CE	CIRC/IARC	US EPA (IRIS)
Benzène	71-43-2	1 ^{ère} cat.	1	A
Toluène	108-88-3	2 ^{ème} cat.	3	-
Ethylbenzène	100-41-4	-	2B	-
Xylènes	1330-20-7	-	3	-
Trichloroéthylène	79-01-6	2 ^{ème} cat.	2A	B2 / C
Tétrachloroéthylène	127-18-4	3 ^{ème} cat.	2A	B / C
1,1,1-Trichloroéthane	71-55-6	-	3	-
Chloroforme	67-66-3	3 ^{ème} cat.	2B	B2
1,1-dichloroéthane	75-34-3	3 ^{ème} cat.	3	C
Cis-1,2-dichloroéthylène	156-59-2	-	-	Classe D
Trans-1,2-dichloroéthylène	156-60-5	-	-	Classe D

11.1.4 Définition des relations dose-effet

La relation dose-effet d'une substance est équivalente à une valeur seuil de risque, appelée « Valeur Toxicologique de Référence (VTR) ». La VTR d'une substance correspond à la relation quantitative existante entre la dose (concentration) d'exposition et l'apparition probable d'un effet sanitaire lié à une exposition aiguë ou répétée (continue), allant de plusieurs jours à plusieurs années.

Les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) sont définies pour une durée d'exposition donnée, une voie d'exposition donnée, un effet donné et une population donnée (individu donné).

Les VTR sont liées à un facteur d'incertitude (établi par chaque organisme et pour chaque substance), pris en compte pour réduire l'incertitude qui peut exister sur les données disponibles.

Selon les mécanismes d'action toxique de la substance, deux types de VTR peuvent être distingués :

- VTR à seuil d'effet : elle correspond à la quantité d'un produit, ou à sa concentration dans l'air, à laquelle un individu peut être exposé (par ingestion ou inhalation) sans constat d'effet néfaste sur une durée déterminée ;
- VTR sans seuil d'effet, aussi nommée Excès de Risque Unitaire (ERU) : la relation quantitative entre la dose d'exposition et la probabilité de survenue de l'effet est évaluée. La probabilité de survenue de l'effet (apparition de cancer) croît avec la dose, mais pas l'intensité.

Ces VTR sont établies par six organismes et agences spécialisées, de notoriété internationale :

- ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) ;

⁸ Irritation : Une substance irritante est non corrosive, pouvant causer une réaction inflammatoire à la suite d'un contact immédiat avec un tissu donné. Le phénomène est réversible.

⁹ Corrosion : Une substance corrosive est capable de détruire les tissus vivants avec lesquels elle entre en contact direct. Le phénomène est irréversible.

- OMS (Organisation Mondiale de la Santé) ;
- US EPA (United States Environmental Protection Agency) ;
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) ;
- Health Canada ;
- OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment) ;
- RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu) ;
- EFSA (European Food Safety Authority).

Les VTR des différents organismes et agences spécialisées sont accessibles, pour la plupart, sur deux banques de données : celle de l'US EPA et celle de l'INERIS.

Ces banques de données rassemblent certaines VTR disponibles, selon la durée d'exposition (aigüe, sub-chronique et chronique) et les voies d'exposition (ingestion, inhalation et contact cutané).

L'existence de VTR pour la voie cutanée est très restreinte (seulement pour quelques substances). Selon la Direction Générale de la Santé (DGS), « en l'absence de procédures établies pour la construction de VTR pour la voie cutanée, aucune transposition à cette voie de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire ne doit être envisagée » (DGS, point n°2, § paragraphe 5).

Nota : Dans la présente étude, les VTR prises en compte sont uniquement liées à une exposition continue (chronique) et non accidentelle, et seulement pour la voie respiratoire.

Le choix de sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence prises en compte lors de la modélisation des risques sanitaires est effectué selon la méthodologie proposée par la Circulaire DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.

Lors de la recherche d'une VTR pour une substance donnée, trois cas peuvent se présenter : aucune VTR n'existe, une seule VTR existe ou plusieurs VTR existent.

Le tableau suivant reprend la méthodologie de sélection des VTR en fonction des trois cas de figure.

Tableau 11.2 Méthodologie de sélection des VTR

Disponibilité	Méthodologie selon la Circulaire DGS
Aucune VTR	Pas de quantification des risques (si une exposition et un potentiel de danger sont identifiés, des mesures de gestion doivent être envisagées)
Une seule VTR	Utilisée après vérification de la pertinence scientifique (si cette VTR est validée par un organisme spécialisé et est appropriée à la situation (voie d'exposition, population, concentration ...))
Plusieurs VTR	Sélection dans l'ordre suivant : <ul style="list-style-type: none"> • En premier lieu : ANSES • En deuxième lieu : US EPA, ATSDR, OMS • En troisième lieu : Health Canada, RIVM, OEHHA, EFSA

Le tableau ci-dessous reprend les VTR retenues dans le cadre de la présente étude.

Tableau 11.3 VTR à seuil et sans seuil retenues

Composés	VTR inhalation	
	à seuil (mg/m ³)	sans seuil (mg/m ³) ⁻¹
Benzène	1,00E-2 (ANSES, 2008)	2,60E-2 (ANSES, 2014)
Toluène	1,90E+1 (ANSES, 2017)	-
Ethylbenzène	1,50E+0 (ANSES, 2016)	2,50E-3 (OEHHA, 2007)
Xylènes	2,00E-1 (ATSDR, 2007)	-
Trichloroéthylène	3,20E+0 (ANSES, 2018)	1,00E-3 (ANSES, 2018)
Tétrachloroéthylène	4,00E-1 (ANSES, 2018)	2,60E-4 (ANSES, 2018)
1,1,1-Trichloroéthane	1,00E+0 (OEHHA, 2008)	-
Chloroforme	6,30E-2 (ANSES, 2008)	2,30E-2 (US EPA, 2010)
1,1-dichloroéthane	-	1,60E-3 (OEHHA, 2013)
Cis-1,2-dichloroéthylène	6,00E-2 (RIVM, 2009)	-
Trans-1,2-dichloroéthylène	6,00E-2 (RIVM, 2009)	-

11.1.5 Evaluation des expositions

Lorsque que la caractérisation des milieux, des substances et des cibles ont été réalisées, les niveaux d'exposition peuvent être évalués selon deux critères :

- la Dose Journalière d'Exposition (DJE) : quantité de substances reçues par une cible, pour un milieu donné et une voie d'exposition donnée (ingestion et contact dermique) ;
- la Concentration moyenne Inhalée (CI) : quantité de substances par unité d'air inhalé reçues par une cible, pour un milieu donné et une voie d'exposition donnée (inhalation).

Etant donné que la voie d'exposition par contact dermique ne sera pas modélisée dans cette présente étude (conformément à la Circulaire DGS en l'absence de VTR), seuls les calculs généraux de CI pour la voie d'exposition par inhalation seront présentés. Cet indice se calcule de la manière suivante :

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

CI : Concentration moyenne Inhalée (en µg/m³/jour)

C_i : Concentration d'exposition relative au milieu i (en µg/m³)

t_i : Fraction du temps d'exposition à la concentration C_i pendant une journée (en h/jour)

F : Fréquence d'exposition d'un individu donné (en jour/an)

T : Durée d'exposition d'un individu donné (en année)

T_m : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (en année)

Remarque : D'autres paramètres peuvent être intégrés dans l'équation précédente, tels que le débit respiratoire d'un individu donné, le taux d'absorption par l'organisme, la fraction des poussières contaminées dans les particules en suspension ...



Dans l'équation précédente, les termes T et Tm s'annulent entre eux lors du calcul de risque sanitaire (QD ou IR) pour les substances à seuil.

11.1.6 Caractérisation des risques sanitaires

Cette démarche propose une estimation du risque sanitaire en fonction des paramètres utilisés et des facteurs d'incertitudes associés.

Deux types de risque sanitaire sont calculés suivant les caractéristiques intrinsèques des substances (effet non cancérogène et/ou effet cancérogène) :

- Quotient de Danger (QD), ou Indice de Risque (IR), pour les substances dites « non cancérogènes ou à seuil » ;
- Excès de Risque Individuel (ERI), pour les substances dites « cancérogènes ou sans seuil ».

Définitions :

Le Quotient de Danger (QD) est le rapport entre la dose ou la concentration estimée du polluant auquel la population est exposée et la VTR, qui correspond à l'exposition en dessous de laquelle on ne s'attend pas à la survenue d'une quelconque pathologie dans la population. Il s'agit donc d'un ratio traduisant une exposition de la population supérieure ou inférieure à la VTR. Un résultat de QD supérieur à la valeur repère de 1 interroge sur la possibilité et la plausibilité que survienne l'évènement délétère chez certains sujets dans la population. Le QD (sans unité) n'est pas une probabilité et concerne uniquement les effets à seuil.

L'Excès de Risque Individuel (ERI) est en revanche, une probabilité de survenue d'une pathologie, résultat de la multiplication de la dose ou concentration d'exposition du polluant considéré par l'Excès de Risque Unitaire qui exprime la probabilité de survenue de la pathologie concernée si la population était soumise à 1 unité de polluant tout au long de sa vie, conventionnellement 70 ans. Les effets toxiques à seuil (déterministes) correspondent aux effets aigus et aux effets chroniques non cancérogènes, non génotoxiques et non mutagènes, dont la gravité est proportionnelle à la dose.

Les effets toxiques sans seuil (stochastiques) correspondent, pour l'essentiel, à des effets cancérogènes génotoxiques (et des mutations génétiques), pour lesquels la fréquence, mais pas la gravité, est proportionnelle à la dose.

Les équations générales de calcul de ces deux types de risque sanitaire sont les suivantes :

$$QD = \sum (CI / VTR) \quad \text{et} \quad ERI = \sum (CI \times VTR)$$

Contrairement à l'Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM), l'ARR permet de réaliser l'additivité des risques de l'ensemble des substances étudiées.

Pour les substances dites « à seuil », seule l'addition des Quotients de Danger (QD) des substances ayant le même organe cible, le même effet et le même mécanisme d'action, toutes voies d'exposition, est réaliste.



Remarque : Dans la pratique, l'addition des risques tous effets confondus sera prise en considération dans une première approche sécuritaire. Cette hypothèse est sécuritaire, mais permet de considérer un éventuel cumul des effets. Dans le cas où le QD total présenterait un risque sanitaire, une discussion des résultats sera engagée.

Pour les substances dites « sans seuil », l'additivité des risques de l'ensemble des substances pour toutes les voies d'exposition est recommandée.

Remarque : Conformément à la méthodologie en vigueur, la somme des excès de risque individuels sera prise en considération. Cette hypothèse est sécuritaire, mais permet de considérer un éventuel cumul des effets.

Le Quotient de Danger (QD) est comparé à la valeur de 1 :

- Si le QD est inférieur à 1, la possibilité d'apparition d'un effet toxique est considérée comme peu probable, même pour les populations sensibles (risque acceptable) ;
- Si le QD est supérieur à 1, la possibilité d'apparition d'un effet toxique doit être prise en considération (risque inacceptable). La probabilité d'apparition d'effets toxiques est d'autant plus grande que le QD est grand.

L'Excès de Risque Individuel (ERI) est comparé à la valeur de 10^{-5} :

- Si l'ERI est inférieur à 10^{-5} , la possibilité de développement d'un cancer est considérée comme peu probable, même pour les populations sensibles (risque acceptable) ;
- Si l'ERI est supérieur à 10^{-5} , la possibilité de développement d'un cancer doit être prise en considération (risque inacceptable). La probabilité d'apparition de cancer est d'autant plus grande que l'ERI est grand.



11.2 Modélisation

La modélisation des risques sanitaires en air intérieur liés aux contaminations des différents milieux a été réalisée à l'aide du logiciel MODUL'ERS, édité par l'INERIS.

La modélisation des risques sanitaires en air extérieur liés aux contaminations des différents milieux a été réalisée à l'aide de l'outil de calcul interne Tauw France.

11.2.1 Présentation de MODUL'ERS

En vue d'améliorer les pratiques et la transparence des estimations réalisées dans ces études, l'INERIS, dans le cadre de ses missions d'appui pour le ministère chargé de l'environnement, met à disposition et diffuse des outils de modélisation. Une plateforme de modélisation et de simulation nommée MODUL'ERS a été créée. Cet outil permet de faire le lien entre l'étape de définition du schéma conceptuel et celle de l'évaluation prospective des expositions et des risques, en donnant aux utilisateurs la possibilité de construire un modèle d'exposition adapté au schéma conceptuel défini pour le site étudié, à partir d'une bibliothèque de modules prédéfinis.

MODUL'ERS permet d'estimer les concentrations dans les milieux, les niveaux d'exposition et les niveaux de risque en fonction du temps à partir des équations décrites dans le manuel intitulé « Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle » et référencé INERIS DRC-08-94882-16675B. Ce document, relu par plusieurs experts nationaux et internationaux, présente les équations utilisées par l'INERIS pour modéliser les concentrations dans les milieux, les doses d'exposition et les niveaux de risques attendus, en s'appliquant à tracer l'origine de ces équations, les hypothèses sur lesquelles elles reposent et leurs limites d'utilisation. MODUL'ERS a été développé avec un double objectif de flexibilité et de transparence. Il permet à l'utilisateur de choisir les phénomènes de transfert qu'il souhaite prendre en compte, offre pour différents mécanismes de transfert le choix entre plusieurs modèles conceptuels et permet à tous les niveaux d'utiliser des résultats de mesure à la place de ceux de la modélisation. L'ensemble des équations, des données d'entrée et des résultats intermédiaires sont facilement accessibles et les modifications apportées par l'utilisateur aux valeurs prédéfinies pour les données d'entrée sont mises en évidence.

11.2.2 Description des scénarios étudiés

Les scénarios étudiés seront adaptés aux différents usages envisagés sur site :

- Scénario 1 = Un travailleur (adulte) effectuant l'ensemble de sa carrière dans le data-center ;
- Scénario 2 = Un visiteur (enfant puis adulte) fréquentant le square toute sa vie ;
- Scénario 3 = Un jeune adulte fréquentant l'école de la seconde chance durant une année scolaire.

11.2.3 Voies d'exposition

Comme indiqué au stade du schéma conceptuel, la seule voie d'exposition conservée est l'inhalation d'air du fait de la possibilité de migration des contaminants volatils contenus dans les différents milieux.

11.2.4 Concentrations retenues

Pour rappel, seuls seront pris en compte les composés volatils dont la concentration dans les gaz du sol est supérieure à la valeur de référence ou supérieure à la limite de quantification en cas d'absence de valeur de référence.

Le tableau suivant récapitule les concentrations prises en compte pour la voie d'exposition par inhalation d'air intérieur.

Ces concentrations ont été distinguées selon le scénario envisagé, en considérant, dans une démarche sécuritaire, les concentrations maximales.

Pour les cas présentant des concentrations quantifiées dans la zone de contrôle, la somme des concentrations de la zone de mesure et de la zone de contrôle a été considérée.

L'origine de chaque donnée est indiquée entre parenthèses.

Tableau 11.4 Concentrations retenues dans la modélisation des risques sanitaires

Substance	Scénario 1 Conc. en µg/m ³	Scénario 2 Conc. en µg/m ³	Scénario 3 Conc. en µg/m ³
Benzène	-	11 (1001)	2,7 (TWair2)
Toluène	-	10,7 (1001)	53,5 (TWair2)
Ethylbenzène	10,6 (TWair5)	1,5 (Pr14)	13,3 (TWair2)
Xylènes	-	7 (Pr14)	84,3 (TWair2)
Trichloroéthylène	439,3 (TWair6)	31799* (1001)	214* (TWair2)
Tétrachloroéthylène	66,1 (TWair6)	74,7 (1001)	355 (TWair2)
1,1,1-Trichloroéthane	64 (TWair6)	589,3 (1001)	20,7 (TWair2)
Chloroforme	-	232** (1001)	141** (TWair2)
1,1-dichloroéthane	40,2 (TWair6)	33,2 (1001)	-
Cis-1,2-dichloroéthylène	18,6 (TWair6)	1182,7 (1001)	4,4 (TWair2)
Trans-1,2-dichloroéthylène	3,9 (TWair6)	97,5 (1001)	-

* abattement de 80% considéré sur la valeur maximale en trichloroéthylène

** abattement de 50% considéré sur la valeur maximale en chloroforme

Remarque importante : Sur base du principe de l'additivité des risques, le risque sanitaire global sera calculé par l'addition des résultats de l'ensemble des différentes substances.

11.2.5 Données d'entrée et paramètres du modèle

Lors de la modélisation de risques sanitaires, il est préférable de privilégier la mesure de terrain (sous réserve de représentativité) à une valeur standard théorique, afin d'intégrer la complexité de la réalité (réalisme et spécificité de la situation) et de minimiser les facteurs d'incertitude.

Pour certains paramètres, Tauw France n'ayant pas les données spécifiques, les valeurs théoriques issues de la littérature / de la bibliographie scientifique ou des données standard du logiciel de modélisation seront prises en compte.

Une discussion, liée aux incertitudes prises en compte dans cette étude, sera présentée à la suite de la présentation et de l'interprétation des résultats obtenus quant aux risques sanitaires potentiels.

Ce paragraphe a pour but d'expliciter le plus clairement possible les paramètres intégrés dans la modélisation des risques sanitaires.

Caractéristiques des milieux

Les paramètres, liés aux caractéristiques des milieux, utilisés dans les calculs des risques sanitaires sont présentés dans le tableau suivant.

Les valeurs bibliographiques sont issues de l'étude intitulée « *Méthode de calcul des Valeurs de Constat d'Impact dans les sols* », réalisée par l'INERIS et datée de novembre 2001.

Tableau 11.5 Caractéristiques des milieux

Paramètres	Unité	Valeurs retenues dans la modélisation	Justification
Constante de Junge	Atm.cm	1,7E-04	Valeur Modul'ERS
Dépression entre l'intérieur du bâtiment et le sol	Kg/m.s ²	4	Valeur conservatoire définie par Johnson et Ettinger
Perméabilité intrinsèque des sols	m ²	1,0E-13	Sol limoneux
Perméabilité à l'air relative	-	0,45	Sol limoneux
Porosité du sol	-	0,45	Sol limoneux
Température de l'air intérieure	K	293	Source biblio
Température du sol	K	285,5	Température moyenne annuelle en France
Teneur en eau du sol	-	0,3	Sol limoneux
Densité des sols	-	1,8	Expérience Tauw France
Fraction surfacique des ouvertures dans la dalle	-	5,0E-04	Source biblio
Viscosité dynamique de l'air	g/cm.s	1,8E-04	Source biblio
Matière organique	%	3	Source biblio
Hauteur de la frange capillaire	m	0,5	Valeur par défaut
Profondeur des contaminants par rapport au niveau du sol	m	0,3	Valeur sous dalle ou sous recouvrement
Fraction volumique en eau dans les sols	-	0,1	Source biblio
Fraction volumique en air dans les sols	-	0,15	Source biblio
pH des sols	-	7	Valeur par défaut



Caractéristiques d'aménagement

Les paramètres, liés aux caractéristiques d'aménagement, utilisés dans les calculs des risques sanitaires sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 11.6 Caractéristiques d'aménagement – Scénario 1 (travailleurs adultes)

Paramètres	Unité	Valeurs retenues	Justification
Longueur des fondations	m	10	Hypothèse
Largeur des fondations	m	10	Hypothèse
Hauteur des pièces	m	2,5	Hypothèse
Épaisseur de la dalle	m	0,3	Hypothèse
Profondeur des contaminants sous la dalle	m	4,5	Sous la dalle
Taux de renouvellement d'air du rez-de-chaussée	vol./h	1	Valeur par défaut

Tableau 11.7 Caractéristiques d'aménagement – Scénario 3 (jeune adulte à l'école de la seconde chance)

Paramètres	Unité	Valeurs retenues	Justification
Longueur des fondations	m	10	Hypothèse
Largeur des fondations	m	10	Hypothèse
Hauteur des pièces	m	2,5	Hypothèse
Épaisseur de la dalle	m	0,2	Hypothèse
Profondeur des contaminants sous la dalle	m	0,2	Sous la dalle
Taux de renouvellement d'air du rez-de-chaussée	vol./h	1	Valeur par défaut

Caractéristiques des cibles

Les paramètres, liés aux caractéristiques des cibles, utilisés dans les calculs des risques sanitaires sont présentés dans le tableau suivant. Concernant les données morphologiques, le budget espace-temps et le comportement alimentaire des individus, ces paramètres sont issus de la base de données CIBLEX, éditée par l'INRS et l'ADEME (version 0, juin 2003). Les valeurs prises en compte dans le tableau suivant sont les valeurs moyennes pondérées de l'ensemble des données, en fonction de chaque individu.

Tableau 11.8 Caractéristiques des cibles

Paramètres	Unité	Valeurs retenues
Volume respiratoire : adulte	m ³ /h	1,1
Volume respiratoire : enfant	m ³ /h	0,42
Hauteur respiratoire : adulte	m	1,5
Hauteur respiratoire : enfant	m	1,0
Poids corporel : adulte	kg	70
Poids corporel : enfant	kg	15

Tableau 11.9 Budget espace-temps - Scénario 1 (travailleurs adultes)

Paramètres	Unité	Valeurs retenues	Justification
Fraction journalière de temps passé à l'intérieur	-	0,33	8 heures par jour (temps de travail)
Fraction journalière de temps passé à l'extérieur	-	0,04	1 heure par jour (stationnement, pauses...)
Temps d'exposition annuel	j	220	Jours travaillés pour 35 heures hebdomadaires
Durée d'exposition	an	42 (temps de carrière)	Données issues du rapport INERIS « Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS » du 23/06/2017
Durée sur laquelle l'exposition est moyennée	an	80	

Tableau 11.10 Budget espace-temps - Scénario 2 (visiteur du square)

Paramètres	Unité	Valeurs retenues	Justification
Fraction annuelle de temps passé à l'extérieur	-	0,042	Scénario jugé très sécuritaire d'un individu qui séjourne 1h par jour dans le square durant toute sa vie
Durée d'exposition	an	80	Données issues du rapport INERIS « Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS » du 23/06/2017
Temps d'exposition annuel	j	365	Nombre de jours dans une année

Tableau 11.11 Budget espace-temps - Scénario 3 (jeune adulte à l'école de la seconde chance)

Paramètres	Unité	Valeurs retenues	Justification
Fraction journalière de temps passé à l'intérieur	-	0,33	8 heures par jour (temps scolaire)
Fraction journalière de temps passé à l'extérieur	-	0,04	1 heure par jour (stationnement, pauses...)
Temps d'exposition annuel	j	160	Année scolaire
Durée d'exposition	an	1	Scénario sécuritaire, la durée moyenne de fréquentation de ce type d'école étant plutôt de 6 mois
Durée sur laquelle l'exposition est moyennée	an	80	Données issues du rapport INERIS « Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS » du 23/06/2017

11.2.6 Calcul des concentrations dans l'air intérieur

Le tableau suivant présente les concentrations calculées dans l'air intérieur à partir des concentrations considérées dans les gaz du sol.

Tableau 11.12 Résultats des calculs de concentration dans l'air intérieur (en mg/m³)

Substance	Valeur Guide pour l'Air Intérieur (VGAi long terme ANSES) (mg/m ³)	Scénario 1 - Concentration calculée dans l'air intérieur (mg/m ³)	Scénario 3 - Concentration calculée dans l'air intérieur (mg/m ³)
Benzène	1,00E-02	-	7,88E-09
Toluène	2,00E+01	-	1,56E-07
Ethylbenzène	1,50E+00	1,78E-08	3,87E-08
Xylènes	-	-	2,45E-07
Trichloroéthylène	2,30E-02	7,85E-08	6,24E-07
Tétrachloroéthylène	2,50E-01	1,03E-07	1,03E-06
1,1,1-Trichloroéthane	-	1,09E-07	6,02E-08
Chloroforme	-	-	4,12E-07
1,1-dichloroéthane	-	6,63E-08	-
Cis-1,2-dichloroéthylène	-	3,13E-08	1,28E-08
Trans-1,2-dichloroéthylène	-	6,57E-09	-

Quel que soit le scénario considéré, les teneurs modélisées dans l'air intérieur des bâtiments sont inférieures aux valeurs guides établies par l'ANSES.

11.2.7 Résultats de la modélisation des risques sanitaires

Les tableaux suivants reprennent les résultats de calcul de risque.

Tableau 11.13 Résultats du calcul de risque – Scénario 1 (travailleurs adultes)

Substance	Air intérieur		Air extérieur	
	QD	ERI	QD	ERI
Benzène	-	-	-	-
Toluène	-	-	-	-
Ethylbenzène	2,38E-09	5,35E-12	2,30E-09	4,60E-12
Xylènes	-	-	-	-
Trichloroéthylène	4,90E-09	9,42E-12	5,30E-08	8,90E-11
Tétrachloroéthylène	5,15E-08	3,22E-12	4,60E-08	2,50E-12
1,1,1-Trichloroéthane	2,18E-08	-	2,20E-08	-
Chloroforme	-	-	-	-
1,1-dichloroéthane	-	1,27E-11	-	1,00E-11
Cis-1,2-dichloroéthylène	1,04E-07	-	1,00E-07	-
Trans-1,2-dichloroéthylène	2,19E-08	-	2,10E-08	-
TOTAL	2,07E-07	3,07E-11	2,44E-07	1,06E-10

Tableau 11.14 Résultats du calcul de risque – Scénario 2 (visiteur du square)

Substance	Air extérieur (enfant)		Air extérieur (adulte)	
	QD	ERI	QD	ERI
Benzène	1,00E-06	2,00E-11	7,40E-07	1,80E-10
Toluène	4,90E-10	-	3,60E-10	-
Ethylbenzène	7,40E-10	2,10E-13	5,50E-10	1,90E-12
Xylènes	2,60E-08	-	1,90E-08	-
Trichloroéthylène	8,70E-06	2,10E-09	6,40E-06	1,90E-08
Tétrachloroéthylène	1,20E-07	9,10E-13	8,60E-08	8,20E-12
1,1,1-Trichloroéthane	4,60E-07	-	3,30E-07	-
Chloroforme	3,80E-06	4,10E-10	2,80E-06	3,70E-09
1,1-dichloroéthane	-	2,80E-12	-	2,50E-11
Cis-1,2-dichloroéthylène	1,40E-05	-	1,10E-05	-
Trans-1,2-dichloroéthylène	1,20E-06	-	8,70E-07	-
TOTAL	2,93E-05	2,53E-09	2,22E-05	2,29E-08

Tableau 11.15 Résultats du calcul de risque – Scénario 3 (jeune adulte à l'école de la seconde chance)

Substance	Air intérieur		Air extérieur	
	QD	ERI	QD	ERI
Benzène	1,58E-07	5,85E-13	1,20E-07	3,90E-13
Toluène	1,64E-09	-	1,20E-09	-
Ethylbenzène	5,16E-09	2,76E-13	3,20E-09	1,50E-13
Xylènes	2,45E-07	-	1,50E-07	-
Trichloroéthylène	3,90E-08	1,78E-12	2,80E-08	1,10E-12
Tétrachloroéthylène	5,15E-07	7,65E-13	2,70E-07	3,50E-13
1,1,1-Trichloroéthane	1,20E-08	-	7,70E-09	-
Chloroforme	1,31E-06	2,71E-11	1,10E-06	2,00E-11
1,1-dichloroéthane	-	-	-	-
Cis-1,2-dichloroéthylène	4,27E-08	-	2,60E-08	-
Trans-1,2-dichloroéthylène	-	-	-	-
TOTAL	2,33E-06	3,05E-11	1,71E-06	2,20E-11

Les résultats de cette modélisation montrent :

- Pour le scénario 1 (travailleurs adultes) :
 - Un QD total de 4,51E-07, très inférieur à la valeur seuil fixée à 1,
 - Un ERI total de 1,37E-10, très inférieur à la valeur seuil fixée à 1E-05,
- Pour le scénario 2 (visiteur du square) :
 - Un QD total de 5,15E-05, très inférieur à la valeur seuil fixée à 1,
 - Un ERI total de 2,54E-08, inférieur à la valeur seuil fixée à 1E-05,
- Pour le scénario 3 (jeune adulte à l'école de la seconde chance) :
 - Un QD total de 4,04E-06, très inférieur à la valeur seuil fixée à 1,
 - Un ERI total de 5,25E-11, inférieur à la valeur seuil fixée à 1E-05,

Cette modélisation ne montre donc aucune valeur de risque inacceptable.

Les rapports extraits du logiciel MODUL'ERS sont présentés en **Annexe 13**.

Les feuilles de calcul Tauw France sont présentées en **Annexe 14**.



11.3 Identification des incertitudes

La validité d'une évaluation des risques sanitaires est liée à la réalité et à l'exactitude de tous les paramètres introduits dans la modélisation, tant au niveau des données sur le(s) milieu(x) étudié(s), la caractérisation de la (des) source(s) de contamination et les propriétés des substances prises en compte, qu'au niveau des données sur les cibles, les scénarii d'exposition et les calculs de risques sanitaires.

11.3.1 Incertitudes sur la zone d'étude et le projet

Cas général :

Certains facteurs peuvent influencer la validité d'une évaluation des risques sanitaires, tels que :

- La surface de la zone d'étude (plus cette surface est grande, plus des hypothèses de travail doivent être prises en compte étant donnée l'hétérogénéité des données acquises),
- La durée de l'étude (plusieurs campagnes d'acquisition de données sont souvent nécessaires, mais sont réalisées au fur et à mesure du temps et parfois sur de longues périodes).

Cas particulier du site :

Dans le cadre de cette présente étude, la zone étudiée correspond à un site dont les activités sont connues. Les données de terrain acquises au cours des différentes campagnes d'investigations permettent d'évaluer la qualité des différents milieux.

Néanmoins, Tauw France s'est basé sur les concentrations maximales mesurées dans les gaz du sol après terrassements liés à la réalisation du projet et au traitement des zones de pollution concentrée, ce qui permet d'être dans une démarche sécuritaire vis-à-vis de l'évaluation des risques sanitaires.

11.3.2 Sélection des composés

Le choix des composés retenus a été effectué, pour la voie de transfert par volatilisation, en considérant les teneurs supérieures aux valeurs de comparaison ou aux limites de détection analytiques en l'absence de valeurs de comparaison.

11.3.3 Incertitudes sur les milieux

Cas général :

La représentativité des milieux étudiés est directement liée :

- Au nombre de prestataires ayant réalisés les investigations de terrain,
- Aux moyens mis en œuvre et aux techniques de forage,
- Au matériel utilisé, aux durées et aux méthodologies d'échantillonnage,
- Au nombre de données acquises et à la qualité des mesures obtenues,
- A la taille des mailles échantillonnées,
- Au laboratoire d'analyse (en fonction des protocoles et incertitudes analytiques),
- A la superposition de différents horizons au niveau des sols (plusieurs niveaux lithologiques différents, possédant chacun des caractéristiques intrinsèques comme la perméabilité, la porosité, le pourcentage d'argile ...),



- Aux conditions météorologiques et climatiques au moment des investigations (en lien avec la température, le pH, le taux d'humidité, la pluviométrie, l'étude des vents, la fluctuation piézométrique des nappes d'eaux souterraines ...).

Cas particulier du site :

Dans le cas présent, les milieux étudiés sont les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol. Tauw France n'a réalisé qu'1 des 3 campagnes de prélèvements. Ceci induit de potentielles incertitudes relatives aux matériels utilisés, aux méthodologies d'échantillonnage et aux laboratoires d'analyses. Cependant, les résultats considérés dans la présente étude sont essentiellement issus des campagnes de prélèvements Tauw France, présentant les concentrations dans les gaz du sol les plus importantes.

11.3.4 Incertitudes sur les zones de pollution concentrée et les substances

Cas général :

Les trois critères principaux caractérisant les zones de pollution concentrée sont :

- Les paramètres physiques et la caractérisation chimique des sources (relatifs aux caractéristiques des milieux)
- Le choix des substances recherchées et de leurs concentrations représentatives
- L'évolution temporelle et spatiale des zones de pollution concentrée.

Chaque substance possède des caractéristiques différentes, telles que la nature (organique ou inorganique) et les propriétés intrinsèques de solubilité à l'eau, de volatilité à l'air, de lixiviation, de spéciation (par exemple, la différenciation entre le chrome total, le chrome III ou le chrome VI ou encore Arsenic III et Arsenic V) et de répartition (par exemple, la différenciation entre les fractions aromatiques et aliphatiques des hydrocarbures totaux).

Hormis les caractéristiques physiques et chimiques des milieux, une zone de pollution concentrée est définie par une surface / un volume (source ponctuelle ou diffuse) et une alimentation / un relargage de contaminants (source active ou passive).

Cas particulier du site :

Cette présente étude traite essentiellement de contaminations aux composés volatils dans les gaz du sol. Des incertitudes peuvent encore être observées au niveau des propriétés physico-chimiques des substances considérées (coefficients de diffusion dans l'eau et dans l'air, coefficient de partition octanol-solution, coefficient de partage sol-solution, ...).

11.3.5 Incertitudes sur les transferts de vapeurs vers l'air intérieur

Différence de pression entre air du sol et air intérieur

La différence de pression retenue entre l'air du sol et l'air des sous-sols de 4 Pa joue un rôle dans le transfert convectif de la pollution vers l'air des sous-sols. La littérature montre que cette différence de pression peut varier entre 0 et 20 Pa mais l'US EPA, le RIVM et l'article de Johnson & Ettinger sur lequel repose l'estimation des flux considèrent qu'une différence de pression de 4 Pa est conservatoire. La prise en compte d'un ΔP de 1 Pa induit une diminution du flux de polluant vers le



bâtiment. Cette diminution est toutefois faible et n'entraîne pas de variation significative des ERI et QD calculés. Ainsi, l'incertitude sur la différence de pression n'est pas de nature à modifier les conclusions formulées.

Choix du logiciel en source de type fini ou infini

Compte tenu du projet étudié, la modélisation des transferts de vapeurs dans l'air intérieur est conduite sur la base des équations de Johnson & Ettinger (1991) utilisées avec une source de pollution infinie (pas de diminution au cours du temps). Les équations du logiciel sont répertoriées dans la norme ASTM E 1739-95. Le transfert de vapeur est conditionné par un mouvement diffusif (équations de Millington and Quirk et équation de Fick) et un mouvement convectif induit par la mise en dépression du bâtiment (effet de la ventilation). Les contaminations sont donc considérées comme infinies, c'est-à-dire que le logiciel ne prend pas en compte une atténuation des teneurs en fonction du temps de par la volatilisation des composés vers l'intérieur des bâtiments. Ce choix est fortement conservatoire pour les composés les plus volatils.

11.3.6 Incertitudes sur les cibles et les paramètres d'exposition

Cas général :

Les trois principaux critères relatifs aux cibles et aux paramètres d'exposition sont :

- Les caractéristiques morphologiques et biologiques des cibles (âge, poids, volume respiratoire, hauteur de respiration, surface corporelle ...),
- La durée d'exposition prise en compte pour chaque type d'individu (enfant et adulte) et pour chaque scénario considéré. Elle se décompose en temps d'exposition (nombre de jours par an), en fréquence d'exposition (nombre de jours par semaine) et en fraction journalière d'exposition (nombre d'heures par jour), selon une exposition en intérieur et en extérieur,
- Les données de consommation pour chaque individu (quantité de sol, d'eau potable, de viande, de lait, de végétaux ... selon un facteur d'autoproduction au droit de la zone d'étude).

La plupart des modèles multimédias possèdent une base interne incluant des valeurs par défaut sur ces paramètres d'exposition. Afin de limiter les sources d'incertitudes sur ces paramètres, Tauw France s'est attaché à consulter plusieurs bases de données issues d'organismes tels que l'USEPA, l'INERIS...

Ainsi, pour les adultes, la tranche d'âge considérée est de 6 à 70 ans. Sachant que chaque individu est unique et se développe différemment, les paramètres d'exposition et les données sur les cibles sont issus d'informations générales de la bibliographie et sont basés sur des hypothèses « moyennes » de travail. Ainsi, de manière générale, les paramètres retenus pour les calculs de risque ont tendance à surestimer les risques sanitaires ; ce qui est cohérent avec le principe de prudence appliqué en évaluation des risques sanitaires.

Cas particulier du site :

Dans le cas de la présente modélisation, le choix des paramètres a été ajusté à la configuration future du site, aux différents usages projetés et donc aux durées d'exposition déterminées pour les futurs usagers (travailleurs sur le site, visiteurs du square et jeunes adultes fréquentant l'école de



la seconde chance). Tauw France a déterminé les temps d'exposition selon des hypothèses sécuritaires (par exemple pour les visiteurs du square : temps d'exposition quotidien de 1 heure, 365 jours par an, durant 80 ans).

11.3.7 Incertitudes sur la modélisation des risques sanitaires

Cas général :

La modélisation des risques sanitaires doit s'appuyer principalement sur des données mesurées et obtenues sur le terrain. Or, certaines informations restent inconnues. Des hypothèses de travail sont donc appliquées et doivent être justifiées. Parfois, de nombreuses données sont disponibles (par exemple des concentrations au droit des milieux), mais il est difficile de connaître la représentativité réelle des données lors de fortes variabilités et hétérogénéités des informations acquises.

Les modèles de calcul des risques sanitaires, ainsi que les logiciels existants, sont basés sur des hypothèses simplificatrices (mode de transfert par exemple) et des valeurs prédéfinies, impliquant des facteurs d'incertitude et/ou de sécurité difficilement connus.

Les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) établies à ce jour par les différents organismes reconnus possèdent des facteurs d'incertitude liés à la qualité des études épidémiologiques ou des expérimentations réalisées et des paramètres utilisés par chaque organisme. L'incertitude demeure également dans le fait que les données toxicologiques sont basées sur l'état actuel des connaissances et est donc susceptible d'évoluer à la suite de nouvelles études toxicologiques.

Dans le cas de l'Analyse des Risques Résiduels (ARR), le principe d'additivité des risques s'applique pour l'ensemble des substances considérées et des voies d'exposition retenues (particulièrement pour les effets sans seuil dits « cancérogènes » et selon les organes cibles ou effets de chaque substance pour les effets à seuil). Par contre, ce principe n'est pas valable pour les calculs de risques sanitaires lors d'une Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM).

Cas particulier du site :

Afin d'appréhender au mieux les caractéristiques inhérentes à la zone d'étude, les données de terrain disponibles ont été considérées en priorité. Toutefois, certains paramètres ont été choisis sur base de la littérature par manque d'information.

Les VTR prises en compte dans la présente étude ont été sélectionnées selon les recommandations de la Circulaire 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 de la gestion des sites et sols pollués ».

Il convient également de rappeler la limite méthodologique des évaluations de risques sanitaires lorsque plusieurs substances peuvent avoir entre elles des effets synergiques ou antagonistes. A l'heure actuelle, les éléments qui permettraient de déterminer si les effets se cumulent ou non ne sont pas disponibles et il n'y a pas de consensus sur une méthode pour prendre en compte les effets de mélanges.



- *Cumul des ERI*

Les ERI ont été sommes quels que soient les organes cibles, les types de cancer et les voies d'exposition. La sommation est justifiée pour les ERI (composés sans seuil d'effet) parce qu'on parle de cancer en général, quelle que soit la cause ou le mécanisme. Cette approche suit le consensus des organismes internationaux.

- *Cumul des QD*

Pour les composés à seuil d'effet, la sommation de l'ensemble des QD est discutable, néanmoins l'approche retenue (par organe cible si la somme brute des QD était supérieure à 1), paraît la plus proche des consensus national et international. Dans le cas de la présente étude, étant donné que la somme brute des QD est inférieure à 1, la sommation des QD par organe cible n'est pas réalisée.

11.3.8 Discussions quant aux incertitudes identifiées

On constate que plusieurs facteurs engendrent des incertitudes sur les risques évalués. Pour la majorité d'entre eux, les connaissances actuelles ne permettent pas de réduire ces incertitudes. Les hypothèses réalisées sont généralement sécuritaires (choix des concentrations maximales, durées d'exposition, source infinie), ce qui renforce les conclusions de cette modélisation en termes d'acceptabilité des risques.



12 Conclusions et recommandations

La société INTERXION porte un projet d'installation de data-center sur un terrain d'une superficie d'environ 63 000 m², localisé du 2 au 20 avenue Marcel Cachin à La Courneuve (93).

Le projet prévoit également la réalisation d'un square ouvert au public et d'une école de la seconde chance.

Le site a été historiquement occupée par des activités liées à l'aéronautique jusqu'en 2017.

Le dernier exploitant avait missionné GEOSAN (devenu Tauw France au 01/01/2017) pour un accompagnement dans la procédure de cessation d'activités. Néanmoins, à ce jour, nous n'avons pas d'information sur le fait que la procédure de cessation d'activités ait été menée à son terme.

Le site d'étude a déjà fait l'objet de diagnostics environnementaux : un diagnostic de pollution réalisé en 2010 par HPC Envirotec et un diagnostic complémentaire réalisé par GEOSAN dans le cadre de l'établissement du mémoire de réhabilitation en 2016.

Ces 2 études ont investigué les milieux sols, gaz du sol et eau souterraine.

Les diagnostics ont principalement amenés à conclure à la présence de composés volatils (solvants chlorés majoritairement) dans les différents milieux et 3 zones de pollution concentrée (ZPC) ont pu être déterminées.

Dans le cadre de la présente étude, des investigations complémentaires ont été menées dans les différents milieux afin de :

- caractériser le milieu sol au regard des activités passées exercées sur le site ;
- caractériser la qualité des déblais amenés à être générés lors de l'aménagement du site ;
- caractériser la qualité des sols au droit des zones de pollution concentrée (ZPC) identifiées après terrassement ;
- définir les filières d'élimination envisageables pour les futurs déblais ;
- estimer les implications financières de gestion spécifique de déblais en filière adaptée pour le projet.

Pour le milieu sol, les investigations complémentaires ont principalement montré :

- l'absence de pollution significative au droit des ZPC après réalisation des excavations nécessaires au projet (terrassement de l'ordre de 4 m sous le data-center) ;
- la présence d'un impact ponctuel en HAP et HCT dans une moindre mesure (échantillon TW5-1) hors ZPC ;
- le fait que certains échantillons caractéristiques des futurs déblais montrent des dépassements des seuils d'admissibilité en Installation de Stockage de Déchets Inertes (ISDI).

Pour le milieu eau souterraine, la campagne de prélèvements prévus n'a pas pu être réalisée dans son intégralité, de nombreux ouvrages ayant été dégradés depuis la dernière campagne de 2016. Ainsi, seuls 4 ouvrages sur les 10 initialement prévus ont pu être échantillonnés.



Les résultats des analyses confirment la pollution des eaux souterraines en COHV, même si les concentrations mesurées sont inférieures d'environ un facteur 10 par rapport à la campagne de prélèvements précédente.

Pour le milieu gaz du sol, les résultats d'analyses confirment les concentrations importantes en COHV (trichloroéthylène majoritairement) au droit du futur square. En revanche, les ouvrages réalisés à la profondeur du futur data-center montrent des concentrations beaucoup plus faibles et confirment le fait que les polluants sont principalement issus de sources sol.

Au final, Tauw France a pu délimiter 5 zones de pollution concentrée, dont 2 seront gérées avec les terrassements nécessaires à la création du data-center.

Pour les autres ZPC, le bilan coûts-avantages développé sur la base des différents critères sélectionnés en accord avec le Maître d'Ouvrage a permis de retenir deux scénarios :

- traitement in-situ par venting à chaud ;
- traitement on site par biopile.

D'après les retours d'expérience sur ces techniques, des objectifs de traitement pour les gaz du sol peuvent être fixés à un abattement de 80% pour le trichloroéthylène et de 50% pour le chloroforme (composés présentant les plus fortes concentrations maximales).

Les estimations financières ont permis d'établir un **coût entre 500 et 550 k€ pour la gestion des ZPC** (hors gestion des déblais et mise en place éventuelle d'une tente sous dépression).

En ce qui concerne la gestion des déblais, le coût est estimé à 14 M€, dont 4,6 M€ liés à la pollution.

Néanmoins, compte-tenu des volumes à gérer et des coûts associés très importants, Tauw France préconise de réaliser une caractérisation sur tas afin de réaliser une répartition plus fine par filière. Ceci implique la création d'une zone de stockage "tampon" en attente de retour d'analyse mais doit permettre de réaliser des économies substantielles.

Ainsi, les mesures de gestion suivantes seront à mettre en place dans le cadre du projet de reconversion du site :

- Gestion des zones de pollution concentrée : le choix du scénario devra être validé par la réalisation d'un essai-pilote ;
- Recouvrement des sols présents sur l'ensemble du site par :
 - La mise en place d'une dalle béton au droit des futurs bâtiments,
 - La mise en place d'un enrobé au droit des futurs parkings,
 - La mise en place d'au moins 30 cm de terre saine au droit des futurs espaces verts (avec pose d'un géotextile),
- Gestion des déblais générés par le projet :
 - Evacuation hors site vers une filière de stockage ou de traitement adaptée à la qualité des déblais,
 - Et/ou stockage sur site en respectant les différentes mesures de gestion
- Mise en place de canalisations d'eau potable anti-perméation ;



- Tri sélectif des terres à terrasser et une traçabilité des opérations (mouvements de terres, quantité, destination, etc.) ;
- Suivi de la qualité des eaux souterraines et interdiction de tout usage au droit du site.

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

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

Les mesures mises en œuvre devront être validées dans un dossier de récolement des travaux.

Malgré les mesures de gestion préconisées, des voies d'exposition résiduelles persisteront (inhalation en air intérieur et extérieur). Une Analyse des Risques Résiduels (ARR) prédictive a donc été menée sur la base d'hypothèses jugées sécuritaires mais réalistes.

Cette ARR a montré l'absence de risque inacceptable, quel que soit l'usage considéré (travailleur adulte du data-center, visiteur régulier du square ou jeune adulte fréquentant l'école de la seconde chance).

Ces résultats devront être confirmés par la réalisation d'une ARR post-travaux, sur la base d'une nouvelle campagne de mesures de la qualité des gaz du sol et/ou de l'air ambiant.

La mémoire des opérations menées sur le site devra être tracée au niveau des différents actes de vente et d'urbanisme.

En outre, la pérennité des mesures de gestion mises en œuvre pourra être formalisée au moyen d'un dossier de Servitudes d'Utilité Publique.



13 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. Les investigations sont réalisées de façon ponctuelle et ne sont qu'une représentation partielle des milieux investigués.

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.