

ROUEN NORMANDIE AMENAGEMENT

Parcelle ML19

Ecoquartier Flaubert, Rouen (76)

Investigations complémentaires des sols et gaz du sol et Plan de Gestion

Synthèse investigations réalisées (Document de travail)

OMNIUM GENERAL D'INGENIERIE

BET Environnement, Dépollution,
Aménagement, VRD, Génie-Civil,
Hydraulique, Espaces verts

27 rue Garibaldi

93100 MONTREUIL

Tél. : 01 41 58 55 69

Fax. : 01 41 58 55 89

ogi@ogi2.fr

SIRET 384 000 907 00012 Code APE 7112B

Représentant légal OGI : Julien Deveau, Président

Les prestations d'études, assistance et contrôle (domaine A) et d'ingénierie des travaux de réhabilitation (domaine B) relatives aux activités Sites et Sols Pollués de OGI SAS sont certifiées par le LNE suivant le référentiel de certification de service des prestataires dans le domaine des sites et sols pollués.

OGI dispose aussi de la certification réglementaire (certificat n°36855) permettant la réalisation des attestations de sol garantissant la prise en compte des mesures de gestion de la pollution dans la conception du projet de construction ou d'aménagement (ATTES, domaine D).

Plus d'information sur www.lne.fr.



Certificat OGI : n°30734 Certificat OGI : n°33373



Version	Date	Superviseur	Chef de Projet
C	10/03/2021	F. TRANCART	I.BOUKERCHE

Tableau récapitulatif des indices

Version	Date	Commentaires	Rédacteur	Chef de projet	Superviseur
A	27/01/2021	Document de travail	A.PARIAUD	I. BOUKERCHE	F. TRANCART
B	04/02/2021	Document de travail	A.PARIAUD	I. BOUKERCHE	F. TRANCART
C	10/03/2021	Document de travail	A.PARIAUD	I. BOUKERCHE	F. TRANCART

VB intégration des résultats préliminaires de l'ARR prédictive.

VC demande de compléments de la part du client et mise à jour de la partie BCA

Table des matières

Synthèse de la note	5
1. Investigations des milieux	9
1.1. Planning d'intervention	9
1.2. Programme d'investigations réalisé	9
2. Résultats des investigations sur les sols	10
2.1. Coupes de terrains traversés	10
2.2. Constats organoleptiques	11
2.3. Résultats analytiques	13
2.3.1. Programme analytique	13
2.3.2. Critères de comparaison des résultats analytiques	13
2.3.3. Résultats d'analyses des sols en Laboratoire	13
2.3.4. Synthèse et interprétation des résultats sur les sols	17
3. Résultats des investigations sur les gaz du sol	20
3.1. Réseau de surveillance	20
3.2. Conditions météorologiques	20
3.3. Résultats analytiques	21
3.3.1. Programme analytique	21
3.3.2. Valeurs de référence	21
3.3.3. Résultats d'analyses des gaz du sol en Laboratoire	22
3.3.4. Interprétation des résultats (A270)	24
4. Gestion de la zone de pollution concentrée	25
4.1. Description des impacts	25
4.2. Caractérisation des impacts	25
4.3. Synthèse des pollutions concentrées	26
4.4. Dimensionnement des zones à réhabiliter	26
5. Evaluation de la compatibilité sanitaire des seuils de coupure- ARR prédictive	28
5.1. Définition des zones pour les calculs de risques sanitaires	28
5.2. Composés et concentrations retenues dans les différents milieux	29
5.3. Scénario et budget espace-temps	33
5.4. Caractérisation des relations dose-réponse	34
5.5. Estimation des expositions	37
5.6. Quantification des risques sanitaires	40
5.6.1. Zone 1	40
5.6.2. Zone 2	41
5.6.3. Zone 3	43
5.6.1. Zone 4	44
5.6.2. Zone 5 au droit de la ZPC	46
5.6.3. Zone 5	48
6. Bilan coûts-avantages	51

6.1.	Principe et incertitudes	51
6.2.	Descriptif technique simplifié des technologies présélectionnées	54
6.3.	Scénario 1 – maintien du bâtiment de l'horloge (zone 5)	55
6.3.1.	Zones sans contraintes (zones 1 à 4)	55
6.3.2.	Zone 5 au droit du bâtiment conservé	61
6.4.	Scénario 2 – Destruction de l'ensemble des bâtiments du site	66
6.5.	Conclusion du bilan coût avantages	69

Annexes

Annexe 1: Plan d'implantation

Annexe 2: Cartographie des anomalies en métaux

Annexe 3: Cartographie des pollutions en HAP et HCT

Annexe 4: Cartographie des dépassements des seuils ISDI et ISDI+

Annexe 5: Localisation des zones de pollutions concentrées entre 0 et 1 m

Annexe 6: Localisation des zones de pollutions concentrées entre 1 et 2 m

Annexe 7: Localisation des zones de pollutions concentrées entre 2 et 3 m

Annexe 8: Localisation des ZPC et des zones (par typologie d'usage futur)

Annexe 9: Localisation des bâtiments conservés sur plan d'implantation

Annexe 10: Localisation des zones de pollutions concentrées

Synthèse de la note

Dans le cadre de l'aménagement du Quartier Flaubert, **Rouen Normandie Aménagement** est entré dans un processus de négociation avec le Grand Port Maritime de Rouen (GPMR) pour la cession de la parcelle du ML19, qui s'inscrit dans le projet du triangle Béthencourt.

Le projet non défini à ce stade prévoit, en première approche, la conservation du bâtiment de l'horloge qui sera réhabilité en lieu culturel pouvant accueillir du public sensible (jeune enfant ou personne âgées). Le reste des bâtiments seront démolis et d'autres seront construits. Ces nouveaux ouvrages seront à vocation mixte, aussi bien du tertiaire que des établissements pouvant recevoir du public (ERP) et des logements. A noter que la conservation du bâtiment au centre (ancien atelier de câblerie) est en réflexion.

Des investigations ont été réalisées au droit du site. Elles ont consisté en la réalisation de :

- 27 sondages de sol réalisés entre 2 et 3 m de profondeur
- La pose de 4 piézairs entre 1 et 1,5 m de profondeur.
- Prélèvements des 4 nouveaux piézairs et des 4 anciens piézairs présents sur le site.

Les analyses effectuées ont mis en évidence :

- **Concernant le milieu sol :**
 - Des anomalies diffuses en métaux lourds majoritairement en arsenic, cadmium, cuivre, mercure (potentiellement volatil), plomb et le zinc ;
 - Des teneurs remarquables en HCT (Hydrocarbures totaux) et HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) avec des dépassements des seuils ISDI et ISDI+ ;
 - Des concentrations ponctuelles et à l'état de trace en COHV (composés Organo-Chlorés Volatils) sur 4 échantillons qui présentent des traces en TCE et PCE ;
 - Des concentrations ponctuelles à l'état de traces en PCB (Polychlorobiphényles) sur 8 échantillons ;
 - Des concentrations ponctuelles à l'état de traces en BTEX (hydrocarbures aromatiques monocycliques) sur 15 échantillons.
- **Concernant le milieu air du sol :**
 - Présence de COHV, BTEX et TPH ;
 - L'absence de teneurs supérieures aux limites de quantification du laboratoire pour le mercure, et le MTBE sur l'ensemble des piézairs du réseau de surveillance excepté sur Pza OGI2 avec une teneur de 155 µg/m3 en MTBE.

Au vu des résultats obtenus, des pollutions concentrées ont été mise en évidence, dont les seuils de coupure proposés (et qui seront justifiés dans le cadre du plan de gestion) sont les suivants :

- Hydrocarbures C₁₀-C₄₀ : 700 mg/kg MS ;
- HAP : 100 mg/kg MS ;

Le volume total des terres impactées à gérer de manière spécifique est estimé, en première approche, à 2 652 m³ soit environ 4 724 tonnes.

A noter, que l'ouvrage Pza2 est localisé au droit du bâtiment de l'Horloge et au cœur de la zone de pollution concentrée 5. Le reste des piézairs sont localisés à proximité des zones de pollution concentrée et sont donc représentatifs des zones de dégazages résiduels après traitement.

Evaluation de la compatibilité sanitaire des seuils de coupures – ARR prédictive

L'objectif de l'ARR (Analyse des Risques Sanitaires Résiduels) prédictive est d'évaluer la présence de risques sanitaires à partir des scénarios d'exposition retenus pour les futurs usagers. Pour ce faire, le site a été découpé en différentes zones selon les sources de pollutions concentrées mises en évidence. L'analyse des risques sanitaires a été réalisée pour chaque zone avec les teneurs résiduelles attendues postérieurement aux mesures de gestion et représentant le bruit de fond géochimique du site, excepté pour la zone 5, où l'ouvrage est localisé au droit de la ZPC.

En effet, conformément à la méthodologie en vigueur relative à la gestion des sites et sols pollués, la

priorité consiste d'abord à extraire ces pollutions concentrées, généralement circonscrites à des zones limitées et non pas à engager des études pour justifier de leur maintien en place.

Elle a été réalisée avec les hypothèses suivantes :

- Recouvrement des sols hors bâtiment (terres d'apport saines pour les espaces verts extérieurs) ;
- Purge des points chauds identifiés ;
- Absence de puits captant la nappe souterraine sur le site (et d'usage associé) ;
- Construction de bureaux et ERP possibles ;
- Absence de cultures maraîchères, potagers ou plantation d'arbres fruitiers sur le site.

Dans le cadre de la présente étude, avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués, le site est donc jugé compatible sanitaire avec les usages projetés. Notamment pour la zone 5, où l'ARR a été réalisée au droit de la source de pollution concentrée.

Si l'usage du site venait à être modifié ou si des travaux, nouveaux aménagements étaient prévus, un nouveau diagnostic serait à réaliser ainsi qu'une mise à jour de l'EQRS.

Néanmoins des incertitudes demeurent et doivent être levées :

- Sur l'ensemble du site :
 - La campagne de gaz du sol a été réalisée en temps humide et froid donc peu favorable aux dégazages ;
 - Les calculs de risque liés au dégazage du mercure n'ont pas été présentés, car aucune source de pollution relative au mercure n'a été mise en évidence sur la zone. Néanmoins, les concentrations en mercure dans les sols superficiels justifient de réaliser des calculs de risques en prenant en compte le mercure en incertitude, ce qui pourrait être pénalisant dans les calculs de risques sanitaires ;
- Au droit de la zone 5 :
 - Au vu de l'hétérogénéité des milieux et la superficie du bâtiment de l'horloge (1 500m² environ), le maillage des sondages ne permet pas de s'affranchir des incertitudes liées à la présence de poches de pollution plus significative ;
 - Présence de vide sanitaire et réseaux, créant des chemins préférentiels pour la circulation des gaz du sol (teneur de 80 ppm au droit du vide sanitaire identifié sur la OG21) ;
- Au droit de la zone 4 :
 - La campagne de gaz du sol a été réalisée en temps humide et froid donc peu favorable aux dégazages ;
 - Présence d'eau lors de la campagne de prélèvement de gaz du sol au droit de Pza OG13 (le 4 janvier 2021), les résultats sont donnés à titre indicatifs et ne sont pas représentatifs du dégazage réel.

De ce fait, nous recommandons de :

- Sur la zone 5 de :
 - Réaliser un diagnostic du sous-sol par un géophysicien afin de localiser les structures enterrées (réseaux, vide sanitaire ...) ;
 - Réaliser des investigations sur sols (sondages complémentaires de délimitation des zones de pollution concentrées) et sur les gaz du sol (pose de nouveaux piézais et /ou ouvrages pour des prélèvements sous-dalle), permettant de compléter le réseau existant ;
 - Réaliser un suivi des gaz du sol à minima 2 de fois par an, en engageant une réflexion sur la mesure du dégazage en mercure (augmentation des temps de prélèvement pour abaisser suffisamment la limite de quantification) ;
- Sur l'ensemble du site : Conformément à la méthodologie nationale en vigueur, une seconde campagne de prélèvement de gaz est recommandée par temps plus favorable (**A minima**) ;
- Sur la zone 4 de réaliser des investigations sur les gaz du sol (pose de nouveaux piézais plus courts ou prélever dans des conditions plus favorables).

Bilan cout avantage

Au regard de l'analyse réalisée, il ressort que les solutions de réhabilitation des zones source concentrée apparaissant les plus pertinentes reposent sur 2 scénarios :

- Scénario 1 : maintien du bâtiment de l'horloge (zone 5) et démolition des autres bâtiments présents ;
- Scénario 2 : destruction de l'ensemble des bâtiments du site.

Scénario 1 :

- Concernant la **zone 5**, la zone source de pollution concentrée correspondent à volume de 1 100 m³ environ. Les solutions retenues sont les suivantes :
 - Les solutions de traitement in situ envisagées sur cette zone sont l'oxydation et le traitement thermique. Aucune entreprise ne veut s'engager à ce stade au vu des incertitudes à savoir :
 - Présence d'un éventuel vide sanitaire et réseaux ;
 - Les accès aux bâtiments (hauteur de plafond, structure du bâtiment ...) ;
 - L'hétérogénéité des milieux (remblais limoneux à limono-sableux) ;
 - Les contraintes liées à la profondeur de la nappe (marnage) ;
 - Des teneurs en HCT lourds très élevés.

Des essais pilotes sont nécessaires pour valider ces deux techniques in situ et sont évalués à environ 40 à 50 K€. Le traitement in situ est estimé à environ 400 et 500 K€ HT.

- La solution d'excavation pour traitement sur site. Le coût de l'excavation est plus élevé que le reste du site vu que l'on excave à l'intérieur des bâtiments. Cette technique nécessite des études complémentaires telles que :
 - Des études géotechniques pour la stabilité ;
 - Des études de structure du bâtiment.

A ce stade, le chiffrage de cette technique ne peut être envisagé au vu des incertitudes ci-dessous :

- Présence d'amiante potentielle ;
- Présence d'un éventuel vide sanitaire et réseaux ;
- Les accès aux bâtiments pour un traitement in situ (hauteur de plafond, structure du bâtiment ...).
- Le maintien en place de la pollution : pourrait être envisageable si aucune solution n'est ni techniquement ni financièrement faisable. Pour rappel, l'analyse de risque résiduels a mis en évidence des risques acceptables au droit de cette zone. Néanmoins, des incertitudes demeurent, qui ne nous permettent pas de nous engager plus à ce stade. A savoir :
 - La campagne de gaz du sol a été réalisée en temps humide et froid donc peu favorable aux dégazages ;
 - Au vu de l'hétérogénéité des milieux et la superficie du bâtiment de l'horloge (1 500m² environ), le maillage des sondages ne permet pas de s'affranchir des incertitudes liées à la présence de poches de pollution plus significative ;
 - Présence de vide sanitaire et réseaux, créant des chemins préférentiels pour la circulation des gaz du sol (teneur de 80 ppm au droit du vide sanitaire identifié sur la OG21) ;

Par conséquent les recommandations sont les suivantes :

- Réaliser un diagnostic du sous-sol par un géophysicien afin de localiser les structures enterrées (réseaux, vide sanitaire ...) ;
- Réaliser des investigations sur sols (sondages complémentaires de délimitation des zones de pollution concentrées) et sur les gaz du sol (pose de nouveaux piézais et /ou ouvrages pour des prélèvements sous-dalle), permettant de compléter le réseau existant ;
- Réaliser un suivi des gaz du sol à minima 2 de fois par an, en engageant une réflexion sur la mesure du dégazage en mercure (augmentation des temps de prélèvement pour abaisser suffisamment la limite de quantification).
- Pour le **reste du site (zones 1 à 4)** : les solutions retenues sont les suivantes :
 - Excavation et traitement sur site (traitement thermique) est retenu au vu des teneurs observées au droit de ces zones. Des essais pilotes sont nécessaires pour le

dimensionnement de l'installation. Sur la zone 4, il est difficile d'atteindre les objectifs de dépollution fixés étant donné les teneurs en HAP et HCT élevés et notamment la présence de coupes lourdes sur cette zone.

Le budget est donc évalué entre 500 k €HT et 800 k €HT.

- o Excavation et traitement hors site : nous sommes entrain d'affiner des chiffrages (le centre thermique de Lhotellier est en cours de consultation).
- o Confinement au droit de la ZAC : il faut compter entre 55 et 65€ HT la tonne soit un coût total compris entre 150 k €HT et 180 k €HT.

Scénario 2 : Les solutions de traitement pour 4 700 tonnes environ sont :

- Excavation et traitement thermique sur site : il faut compter un budget compris entre 900 K€ HT et 1 300 K € HT dont des essais de laboratoire d'environ 25 000€ ;
- Le confinement : Le budget est donc évalué entre 259 K€ HT et 305 K€ HT. Il faudra dans ce cas rapidement identifier un secteur susceptible de recevoir les terres en confinement (type secteur Touareg par exemple, sous les futurs espaces verts ?), le confinement entraînant des contraintes sur les futurs usages (constructions à éviter, servitudes à mettre en place, suivi de l'ouvrage de confinement et de son efficacité, modelage du paysage associé, contrôle de la végétalisation, etc...)

Pour rappel, il ne s'agit pas d'un devis et OGI ne pourra être tenu pour responsable en cas de différences avec les coûts réels. De façon usuelle, il est raisonnable de considérer une incertitude sur ces coûts d'environ 20 à 30%. Les volumes des terres polluées correspondant aux zones sources concentrées identifiées ont été déterminés en fonction des résultats des différentes campagnes de sondages réalisées jusqu'ici. Ils participent également à l'incertitude sur les coûts, particulièrement dans un contexte de source de pollution diffuses et multiples.

1. Investigations des milieux

1.1. Planning d'intervention

Le planning mis en œuvre a été le suivant :

- 20 novembre 2020 : Lancement des DICT ;
- Du 8 au 10 décembre 2020 : Investigations des sols à la tarière mécanique et implantation des sondages et piézairs ;
- 8 décembre 2020 : Sécurisation pyrotechnique réalisée par la société EOD-EX ;
- 9 décembre : Pose des piézairs PZa OGI2, PZa OGI4 et PZa OGI5 ;
- 10 décembre 2020 : Pose du piézair PZa OGI3 et envoi des échantillons de sol au laboratoire ;
- 10 et 11 décembre 2020 : Prélèvement des gaz du sol sur l'ensemble des ouvrages présents sur site pour le mercure et CA excepté (PZa3, PZa OGI3 et PZa OGI5) ;
- 12 décembre 2020 : Envoi des échantillons de gaz du sol au laboratoire ;
- 14 décembre 2020 : Relevé des points de sondages par DEBAY Topographie ;
- 30 décembre 2020 : Réception des résultats d'analyse de gaz du sol ;
- 31 décembre 2020 : Réception des résultats d'analyse de sol ;
- 05 janvier 2021 : Prélèvement des gaz du sol sur PZa3, PZa OGI3 et PZa OGI5 pour les CA ;
- 14 janvier 2021 : Réception des résultats d'analyse de gaz du sol pour PZa3, PZa OGI3 et PZa OGI5 pour les CA.

1.2. Programme d'investigations réalisé

Le programme d'investigations réalisé est le suivant :

- 27 sondages de sol réalisés entre 2 et 3 m de profondeur (cf. plan d'implantation) ;
- Pose de 4 piézairs entre 1 et 1,5 m de profondeur ;
- Prélèvement de 1 à 3 échantillons de sol par sondage (soit un total de 53 échantillons) et 6 échantillons de sol lors de la pose des 4 piézairs.

Le plan d'implantation des investigations réalisées est présenté en **Annexe 1**.

2. Résultats des investigations sur les sols

2.1. Coupes de terrains traversés

Les sondages réalisés ont mis en évidence la présence de :

- Une couche d'enrobé ou dalle béton sur environ 5 à 10 cm (excepté sur OG1, OG3, OG4, OG6 et OG7) ;
- Des remblais sableux d'une épaisseur variable entre 0 et 2m ;
- Du sable jaune de 0.5 à 1.5 m selon les sondages ;
- De l'argile sableuse entre 1 et 3m ;
- Des limons sableux entre 0.5 et 2m sur OG8, entre 0.2 et 1.2m sur OG9, OG10, OG12, OG14 et OG15.

Un vide sanitaire a été découvert à environ 20 cm de profondeur sur OG21A et à 50cm de profondeur sur OG20, OG21 et OG21B.

Un refus a été opéré sur OG18A et OG18B.

Des arrivées d'eau ont été observées lors de la foration des sondages réalisés (OG7, OG9, OG10, OG13 à OG15, OG17, OG25, OG26, OG28 et PZa OGI2) entre 1.25 m au droit de PZa OGI2 et 1.9 m sur OG26.

2.2. Constats organoleptiques

Lors de la campagne de sol, des indices organoleptiques ont été relevés sur :

Sondages	Profondeur	Indices de pollution	Mesure de terrain	Analysés
OG1 (0-1)	0-1	Couleur noire	0 ppmV	oui
OG1 (1,2-1,6)	1,2-1,6	RAS	0 ppmV	non
OG1 (1,6-2)	1,6-2	RAS	0 ppmV	non
OG2 (0,1-0,8)	0,1-0,8	Couleur noire, présence de briques	0 ppmV	oui
OG2 (1-2)	1-2	Couleur grise/jaune	0 ppmV	oui
OG3 (0-0,2)	0-0,2	RAS	0 ppmV	non
OG3 (0,2-1)	0,2-1	Couleur noire	0 ppmV	oui
OG3 (1-2)	1-2	Couleur noire/grise	0 ppmV	oui
OG4 (0,1-1,2)	0,1-1,2	Couleur noire	0 ppmV	oui
OG4 (1,2-2)	1,2-2	Couleur grise	0 ppmV	non
OG5 (0,3-1)	0,3-1	RAS	0 ppmV	oui
OG5 (1-2)	1-2	RAS	0 ppmV	non
OG6 (0-1)	0-1	Couleur noire, présence de briques	0 ppmV	oui
OG6 (1-1,6)	1-1,6	RAS	0 ppmV	non
OG6 (1,6-2)	1,6-2	RAS	0 ppmV	non
OG7 (0-0,3)	0-0,3	RAS	0 ppmV	non
OG7 (0,3-1,3)	0,3-1,3	Couleur grise	0 ppmV	oui
OG7 (1,3-2)	1,3-2	RAS	0 ppmV	non
OG8 (0,25-0,5)	0,25-0,5	Couleur noire	0 ppmV	oui
OG8 (0,5-1)	0,5-1	Couleur marron/grise	0 ppmV	oui
OG8 (1-2)	1-2	Couleur grises	0 ppmV	non
OG9 (0,2-1,2)	0,2-1,2	Couleur marron/grise	0 ppmV	oui
OG9 (1,2-2)	1,2-2	Couleur grises	0 ppmV	non
OG10 (0-0,05-0,3)	0,05-0,3	RAS	0 ppmV	non
OG10 (0,3-1,2)	0,3-1,2	Couleur grise	0 ppmV	oui
OG10 (1,2-2)	1,2-2	Couleur grise	0 ppmV	non
OG11 (0,2-0,8)	0,2-0,8	Couleur noire	0,1 ppmV	oui
OG11 (1-1,4)	1-1,4	Couleur grise	0 ppmV	oui
OG11 (1,4-2)	1,4-2	Forte odeur HCT	30,4 ppmV	oui
OG11 (2-3)	2-3	Forte odeur HCT	21,6 ppmV	oui
OG12 (0,2-1)	0,2-1	RAS	0,2 ppmV	oui
OG12 (1-2)	1-2	Couleur grise	0 ppmV	non
OG13 (0,4-1,4)	0,4-1,4	RAS	0 ppmV	oui
OG13 (1,4-2)	1,4-2	RAS	0 ppmV	non
OG14 (0,2-0,4)	0,2-0,4	Couleur noire	0 ppmV	oui
OG14 (0,4-1)	0,4-1	Couleur grise	0 ppmV	oui
OG14 (1-2)	1-2	Couleur grise	0 ppmV	non
OG15 (0,2-0,6)	0,2-0,6	Couleur noire	0 ppmV	oui
OG15 (0,6-1)	0,6-1	Couleur marron/grise	0 ppmV	oui
OG15 (1-2)	1-2	Couleur grise	0 ppmV	non

Sondages	Profondeur	Indices de pollution	Mesure de terrain	Analysés
OG16 (0-0,5)	0-0,5	Couleur noire	0,4 ppmV	oui
OG16 (0,5-1)	0,5-1	RAS	0 ppmV	oui
OG16 (1-2)	1-2	Couleur grise	0 ppmV	non
OG17 (0,05-0,4)	0,05-0,4	Couleur noire, présence de graviers	0 ppmV	oui
OG17 (0,4-0,9)	0,4-0,9	RAS	0 ppmV	oui
OG17 (0,9-2)	0,9-2	Couleur grise	0 ppmV	non
OG19 (0,15-1)	0,15-1	Couleur grise	0 ppmV	oui
OG19 (1-2)	1-2	Couleur grise	0 ppmV	oui
OG21 (0,2-0,5)	0,2-0,5	RAS	80,8 ppmV	oui
OG22 (0,1-0,5)	0,1-0,5	Couleur marron/grise	0 ppmV	oui
OG22 (0,5-1)	0,5-1	RAS	0 ppmV	oui
OG22 (1-2)	1-2	Couleur grise	0 ppmV	oui
OG22 (2-2,3)	2-2,3	Couleur grise	2,2 ppmV	oui
OG22 (2,3-3)	2,3-3	Couleur grise, odeur HCT	10,1 ppmV	oui
OG23 (0,2-0,6)	0,2-0,6	RAS	0 ppmV	oui
OG23 (0,6-1,3)	0,6-1,3	Présence de graviers	0 ppmV	oui
OG23 (1,3-2)	1,3-2	RAS	0 ppmV	non
OG23 (2-3)	2-3	RAS	0 ppmV	non
OG24 (0,05-0,6)	0,05-0,6	Couleur noire	0,4 ppmV	oui
OG24 (0,6-1,5)	0,6-1,5	RAS	0 ppmV	oui
OG24 (1,5-2)	1,5-2	Couleur grise	0 ppmV	non
OG25 (0,05-0,5)	0,05-0,5	Couleur noire, présence de graviers	0,8 ppmV	oui
OG25 (0,5-1,3)	0,5-1,3	RAS	0 ppmV	oui
OG25 (1,3-2)	1,3-2	Couleur grise	0 ppmV	non
OG26 (0,05-0,6)	0,05-0,6	Couleur noire, présence de graviers	0,4 ppmV	oui
OG26 (0,6-1,5)	0,6-1,5	RAS	0 ppmV	oui
OG26 (1,5-2)	1,5-2	Couleur grise	0 ppmV	non
OG27 (0,2-0,5)	0,2-0,5	Couleur noire	0 ppmV	oui
OG27 (0,5-1,5)	0,5-1,5	RAS	0 ppmV	oui
OG27 (1,5-2)	1,5-2	Couleur grise	0 ppmV	non
OG28 (0,2-1,3)	0,2-1,3	RAS	0,2 ppmV	oui
OG28 (1,3-2)	1,3-2	RAS	0,4 ppmV	oui
Pza OGI2 (0,15-0,6)	0,15-0,6	RAS	0 ppmV	oui
Pza OGI2 (0,7-1,2)	0,7-1,2	RAS	0 ppmV	oui
Pza OGI3 (0,5-1)	0,5-1	RAS	0 ppmV	oui
Pza OGI4 (0,2-0,6)	0,2-0,6	RAS	0,4 ppmV	non
Pza OGI4 (0,6-1,1)	0,6-1,1	RAS	0,1 ppmV	oui
Pza OGI5 (0-1)	0-1	Couleur marron/noire	0 ppmV	oui
Pza OGI5 (1-1,5)	1-1,5	RAS	0 ppmV	oui

2.3. Résultats analytiques

2.3.1. Programme analytique

Le programme analytique réalisé est le suivant :

- Les 8 métaux lourds (Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc) ;
- Les hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - HAP (16 composés) ;
- Les BTEX : Benzène, Toluène, Ethylbenzène, et Xylènes ;
- Les composés Organo-Halogénés Volatils - COHV (19 composés) ;
- Les PCB (7 composés) ;
- Les Hydrocarbures HC(C₅-C₁₀) + HC(C₁₀-C₄₀).

2.3.2. Critères de comparaison des résultats analytiques

Dans le cadre de la méthodologie de gestion des sites et sols pollués formalisée par la circulaire du 8 février 2007 du ministère en charge de l'environnement, mise à jour dans la note du 19 avril 2017, les résultats analytiques sont comparés à des valeurs de référence permettant de définir un état des lieux.

En France, il n'existe pas de valeur limite définissant des seuils de pollution pour effectuer une réhabilitation du site. De ce fait, le diagnostic environnemental ne permet pas de statuer sur la nécessité d'entreprendre des actions de réhabilitation sauf si des pollutions concentrées et circonscrites ont été repérées dans des zones limitées et que l'objectif consiste en la suppression de ces dernières.

Dans le cas présent, l'objectif de la mission est de vérifier si les caractéristiques chimiques des terrains sont compatibles avec le projet d'aménagement d'une part, mais aussi de caractériser les matériaux destinés à être excavés en vue de leur réemploi, valorisation ou élimination en filières spécialisées agréées

Les concentrations sont comparées :

- Pour les **métaux sur brut**, les valeurs guides utilisées proviennent des données issues de la connaissance du fond géochimique national défini par l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique, programme **ASPITET**, 2000) qui fournit des références sur les teneurs totales en éléments traces métalliques mesurées dans divers sols français (gamme des valeurs observées dans les sols ordinaires retenue) ;
- Pour les composés analysés listés dans l'arrêté, aux **valeurs seuils d'acceptation** en installation de stockage de déchets inertes (**ISDI**) lorsqu'elles existent (présentées dans l'arrêté du 12 décembre 2014), et en installation de stockage de déchets inertes dérogatoire (**dites ISDI+** : ISDI disposant d'un Arrêté Préfectoral l'autorisant à des seuils d'acceptation pouvant être jusqu'à 3 fois supérieurs aux seuils de l'Arrêté Ministériel du 12/12/2014 pour certains paramètres sur lixiviats) ;

2.3.3. Résultats d'analyses des sols en Laboratoire

Le tableau ci-dessous présente la synthèse des résultats d'analyses des sols.

NOTA : Les résultats des analyses réalisées sur les échantillons de sols sont exprimés en mg/kg de matière sèche (ppm) pour l'ensemble des éléments et composés analysés. La matière sèche est exprimée en pourcentage par rapport à la matière brute.

Teneur > critère ISDI (et < ISDI+)
Teneur > critère ISDI+
Teneur > critère ASPITET

Tableau 1 : Résultats des analyses chimiques de la première campagne (février 2020) – source : OGI

		Référence échantillon :		OG1 (0-1)	OG2 (0,1-0,8)	OG2 (1-2)	OG3 (0,2-1)	OG3 (1-2)	OG4 (0,1-1,2)	OG5 (0,3-1)	OG6 (0-1)	OG7 (0,3-1,3)	OG8 (0,25-0,5)	OG8 (0,5-1)	OG9 (0,2-1,2)	OG10 (0,3-1,2)	OG11 (0,2-0,8)	OG11 (1-1,4)	OG11 (1,4-2)	OG11 (2-3)	OG12 (0,2-1)	OG13 (0,4-1,4)	OG14 (0,2-0,4)	OG14 (0,4-1)	OG15 (0,2-0,6)	
		Date :		09/12/2020	09/12/2020	09/12/2020	09/12/2020	09/12/2020	09/12/2020	09/12/2020	09/12/2020	09/12/2020	08/12/2020	08/12/2020	09/12/2020	09/12/2020	10/12/2020	10/12/2020	10/12/2020	10/12/2020	10/12/2020	10/12/2020	08/12/2020	08/12/2020	10/12/2020	
		Géologie :		Remblais	Remblais	Argile sableuse	Remblais	Remblais	Remblais	Sable	Remblais	Remblais	Remblais	Limon	Limon	Limon	Remblais	Argile sableux	Argile sableux	Argile sableux	RAS	Sable	Remblais	Limon	Remblais	
		Indices organoleptiques :		Noir	Noir + briques	Gris	Noir	Noir/gris	Noir	RAS	Noir + briques	Gris	Noir	Marron/gris	Marron/gris	Gris	Noir	Gris	Odeur HCT	Odeur HCT	RAS	RAS	Remblais	Limon	Remblais	
Paramètres	Unités	ISDI	ISDI+ ASPITET	LQ																						
Matière sèche	% P.B.			0,1	88,3	90,5	76,2	91,6	88	93,9	83,4	87	90,1	89,4	77,1	81	72,8	82,8	76,9	69,3	65	87,6	74,3	94,4	77,5	92,1
Métaux																										
Antimoine (Sb)	mg/kg M.S.			1	7,22	51,9	1,01	5,22	1,72	4,4	<1,00	2,81	3,5	1,21	<1,00	<1,00	<1,00	1,71	<1,10			2,03	<1,00	6,88	1,47	1,9
Arsenic (As)	mg/kg M.S.	25	1		36,3	33	11	46,5	11,3	58,7	7,36	21,6	16,1	11,8	17,2	16,9	8,59	11,6	7,17	4,98	5,14	11,8	11,1	27,4	14,5	25,4
Baryum (Ba)	mg/kg M.S.		1		298	1300	86,9	215	135	187	183	277	236	226	267	217	116	161	70			83,2	225	170	205	157
Cadmium (Cd)	mg/kg M.S.	0,45	0,4		3,4	10,8	0,58	1,23	<0,40	1,22	0,41	1,39	1,08	2,84	1,04	0,52	0,42	<0,40	<0,44	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	1,23	0,5	0,91
Chrome (Cr)	mg/kg M.S.	90	5		19,1	25,4	10,5	22,6	11,6	9,93	6,83	16,6	12,5	12,5	17,6	12,5	13,3	14,6	7,8	7,24	9,36	15,4	14,5	18,7	19	13
Cuivre (Cu)	mg/kg M.S.	20	5		203	1060	48,2	140	55,4	101	51,2	81,2	81,7	44,3	48,7	40,8	25,8	55,4	20,5	14,8	11,3	57,9	39,3	141	61,2	65,5
Molybdène (Mo)	mg/kg M.S.	1			2,29	2,39		3,37	1,89	2,07	<1,00	1,02	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	1,53	<1,00	1,33
Nickel (Ni)	mg/kg M.S.	60	1		32,6	44,2	13,1	37,1	32,9	29,2	5,32	19,8	17,7	11,9	8,66	7,94	8,15	13,2	5,07	5,43	7,41	7,03	11,8	20,6	12	18
Plomb (Pb)	mg/kg M.S.	50	5		277	2430	107	196	126	148	330	180	170	188	169	146	60,9	145	55,8	20,9	21,2	71,3	238	216	129	246
Sélénium (Se)	mg/kg M.S.	0,7	1		<1,02	<1,00	<1,00	<1,01	<1,00	<1,00	<1,00	<1,02	<1,01	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,10			<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Zinc (Zn)	mg/kg M.S.	100	5		610	15000	266	203	92,2	168	49,6	457	260	1090	374	80,6	56	91,4	43,4	35,6	31,8	86,4	242	209	113	262
Mercuré (Hg)	mg/kg M.S.	0,1	0,1		0,48	0,41	0,48	0,31	0,88	0,26	0,42	0,64	0,36	0,33	0,83	0,46	0,5	0,91	0,35	0,18	0,15	0,77	0,72	0,43	1	0,23
Hydrocarbures C5-10																										
HCT C5-C8 inclus	mg/kg M.S.				<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	3,3	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,1	1,4	<1,00	1,9	3,2	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
HCT >C8-C10 inclus	mg/kg M.S.		1		<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	4,2	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	1,4	2,4	<1,00	<1,00	31,4	33,2	<1,00	<1,00	1,1	<1,00	<1,00
Somme HCT C5-C10	mg/kg M.S.				<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	7,5	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	1,4	2,4	<1,00	33,3	36,4	<1,00	<1,00	<1,00	1,1	<1,00	<1,00
Hydrocarbures																										
HCT (C10-C16)	mg/kg M.S.				21,9	34,5	2,07	32,3	21	34	2,15	22,4	13	25,2	3,47	5,92	2,23	19	2,62	719	154	8,12	7,7	137	5,6	261
HCT (>C16-C22)	mg/kg M.S.				120	108	7,13	497	74,7	308	11,2	75	40,9	146	11,9	3,22	7,77	27,5	13,1	923	322	9,66	8,62	1640	34,7	2540
HCT (>C22-C30)	mg/kg M.S.				221	168	19,2	627	155	406	23,8	143	86,1	288	26,5	5,7	22,2	29,9	19,1	284	122	19,8	16,4	2750	62,4	2860
HCT (>C30-C40)	mg/kg M.S.				145	219	23,1	447	80,5	290	21,5	111	74,2	232	34	17,7	33,9	10	12,2	35,1	39,9	35,3	17,8	1820	37,2	1700
Somme HCT (C10-C40)	mg/kg M.S.	500	500	15	508	529	51,5	1600	331	1040	58,6	351	214	692	75,8	32,5	66,1	86,4	47,1	1960	639	73	50,4	6340	140	7360
HAP																										
Naphtalène	mg/kg M.S.			0,05	0,35	0,63	0,071	0,76	<0,23	1	<0,05	0,44	0,16	1,1	0,053	<0,05	0,065	0,16	0,13	<0,05	<0,05	0,073	0,11	14	0,6	19
Fluorène	mg/kg M.S.			0,05	0,54	0,46	0,051	3,6	0,39	2,5	<0,05	0,38	0,11	1,6	0,054	<0,05	0,05	0,33	0,22	0,5	0,51	0,084	0,11	14	0,51	32
Phénanthrène	mg/kg M.S.			0,05	10	3,9	0,54	64	8	34	0,44	5,1	2,9	17	0,66	0,05	0,5	2,8	1,2	1,8	2,1	0,48	0,56	190	6,5	340
Pyrene	mg/kg M.S.			0,05	15	5,3	0,44	67	9,3	36	1,4	6,1	4,5	18	1	0,097	0,69	2,6	1,6	1,3	1,7	0,54	0,53	170	6,9	290
Benzo(a)-anthracène	mg/kg M.S.			0,05	8,6	3,6	0,26	31	4,8	20	0,82	4,4	2,9	13	0,44	0,06	0,36	1,2	0,8	0,67	0,65	0,35	0,34	150	3,8	230
Chrysène	mg/kg M.S.			0,05	8,5	3,4	0,29	32	4,1	15	0,85	4,2	3,4	13	0,4	0,059	0,42	1,1	0,82	0,54	0,62	0,28	0,29	130	4	220
Indeno(1,2,3-cd) Pyrene	mg/kg M.S.			0,05	8,3	4	0,18	31	4,7	16	0,64	4,7	3,8	8,6	0,39	0,089	0,31	0,79	0,52	0,3	0,43	0,25	0,24	75	2,2	120
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg M.S.			0,05	2	0,96	<0,05	7,9	0,86	3,1	0,15	1	0,64	2,2	0,083	<0,05	0,062	0,18	0,12	0,1	0,11	0,062	0,058	24	0,53	32
Acénaphthylène	mg/kg M.S.			0,05	<0,23	0,25	<0,05	<0,23	<0,23	0,14	<0,24	0,062	0,69	0,09	<0,05	0,12	0,21	0,17	0,17	0,15	0,093	0,079	0,82	0,057	0,96	
Adénaphthène	mg/kg M.S.			0,05	0,92	0,63	<0,05	3,7	0,3	2,7	<0,05	0,28	0,11	1,6	<0,05	<0,05	<0,05	0,21	0,17	0,17	0,15	0,067	0,078	17	0,65	38
Anthracène	mg/kg M.S.			0,05	2,9	1,5	0,18	23	2,2	8,8	0,27	1,2	0,78	5,3	0,24	<0,05	0,21	0,95	0,72	0,7	0,54	0,23	0,22	53	2,3	92
Fluoranthène	mg/kg M.S.			0,05	18	6,3	0,68	85	11	44	1,7	8,1	4,5	23	1,3	0,067	1	3,4	2,3	1,3	2	0,66	0,68	220	8,1	380
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg M.S.																									

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

RNA-006-ML 19, Rouen (76) – Note synthèse investigations réalisées 15/70

Tableau 3 : Résultats des analyses chimiques sur les sols lors du DIAG complémentaire – source : OGI

Référence échantillon :		OG25 (0,05-0,5)		OG25 (0,5-1,3)		OG26 (0,05-0,6)		OG26 (0,6-1,5)		OG27 (0,2-0,5)		OG27 (0,5-1,5)		OG28 (0,2-1,3)		OG28 (1,3-2)		Pza OG12 (0,15-0,6)		Pza OG12 (0,7-1,2)		Pza OG13 (0,5-1)		Pza OG14 (0,6-1,1)		Pza OG15 (0-1)		Pza OG15 (1-1,5)	
		Date :		09/12/2020		09/12/2020		09/12/2020		09/12/2020		08/12/2020		08/12/2020		09/12/2020		09/12/2020		09/12/2020		09/12/2020		09/12/2020		09/12/2020		09/12/2020	
		Géologie :		Remblais		Sable		Remblais		Sable		Remblais		Remblais		Sable		Argile sableux		Remblais		Argile sableux		Sable		Remblais		Remblais	
Indices organoleptiques:		Noir + graviers		RAS		Noir + graviers		RAS		Noir		RAS		RAS		RAS		RAS		RAS		RAS		RAS		RAS		RAS	
Paramètres	Unités	ISDI	ISDI+	ASPI/TET	LQ																								
Matière sèche	% P.B.			0,1	91,7	76,3	92,1	82,4	89,8	78,5	81,9	63,2	81,3	69,5	69,6	80,7	92	77,4											
Métaux																													
Antimoine (Sb)	mg/kg M.S.				1	3,78	1,33	1,91	2,35	2,8	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	1,43											
Arsenic (As)	mg/kg M.S.		25	1	45,5	8,18	8,01	19,4	8,11	5,87	5,06	6,18	13,2	17,5	11,3	7,64	15,2	10,3											
Baryum (Ba)	mg/kg M.S.		1	1	250	86,7	137	118	142	100	80,4	58,4	192				214												
Cadmium (Cd)	mg/kg M.S.	0,45	0,4	2,47	0,47	0,73	1,23	0,99	<0,40	<0,40	<0,40	0,47	0,59	0,51	0,42	0,96	0,5												
Chrome (Cr)	mg/kg M.S.	90	5	27,5	10,7	18,8	11,6	13	9,45	8,05	10,9	20,4	21,1	18,4	9,58	12,7	10,6												
Cuivre (Cu)	mg/kg M.S.	20	5	155	21,7	43,2	353	62,6	24,1	10,2	16,4	76,1	55,6	51	11,8	72	29,5												
Molybdène (Mo)	mg/kg M.S.	1	1	1,76	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	1,15				1,67												
Nickel (Ni)	mg/kg M.S.	60	1	23,3	8,38	13,4	9,07	9,48	7,7	6,49	7,69	16	9,14	8,22	6,42	24,2	6,02												
Plomb (Pb)	mg/kg M.S.	50	5	233	43,1	74,3	102	258	94,8	25,9	30,6	454	84,9	91	42,3	135	72												
Sélénium (Se)	mg/kg M.S.	0,7	1	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00												
Zinc (Zn)	mg/kg M.S.	100	5	644	80,1	157	324	121	52,6	39,7	53,1	181	107	107	97,1	44,4	153	79,8											
Mercur (Hg)	mg/kg M.S.	0,1	0,1	0,64	0,21	0,12	0,31	1,42	0,69	0,15	0,36	0,94	0,91	1,1	0,87	0,7	0,54												
Hydrocarbures C5-10																													
HCT C5-C8 inclus	mg/kg M.S.				<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,4	<1,00	<1,1	<1,2	<1,00	<1,00	<1,00											
HCT >C8-C10 inclus	mg/kg M.S.		1		<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,4	<1,00	<1,1	<1,2	<1,00	1,1	<1,00											
Somme HCT C5-C10	mg/kg M.S.				<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,4	<1,00	<1,1	<1,2	<1,00	1,1	<1,00											
Hydrocarbures																													
HCT (C10-C16)	mg/kg M.S.				24,7	3,01	3,68	3,96	<4,00	2,3	2,17	4,35	13,3	28,1	9,46	3,72	15,4	55											
HCT (>C16-C22)	mg/kg M.S.				53,1	8,5	38,8	14,6	<4,00	1,67	8,62	21,7	17,7	49,1	9	9,84	47,2	51,2											
HCT (>C22-C30)	mg/kg M.S.				189	29,4	283	65,4	<4,00	1,74	15	19	31,2	71,4	13,2	15,7	105	81,7											
HCT (>C30-C40)	mg/kg M.S.				353	50,8	743	80,7	<4,00	14,3	25	7,42	15,1	69,8	5,81	30,1	46,8	46											
Somme HCT (C10-C40)	mg/kg M.S.	500	500	15	620	91,7	1070	165	<15,0	20	50,7	52,5	77,2	218	37,5	59,3	215	234											
HAP																													
Naphtalène	mg/kg M.S.			0,05	<0,22	0,1	0,23	0,26	<0,05	<0,05	0,063	0,08	0,42	0,14	<0,05	<0,05	0,25	0,098											
Fluorène	mg/kg M.S.			0,05	<0,25	<0,05	<0,25	0,1	<0,05	<0,05	0,082	0,1	<0,05	0,16	<0,05	0,079	0,14	<0,05											
Phénanthrène	mg/kg M.S.			0,05	1,8	0,54	0,71	0,92	0,14	0,094	0,75	0,86	0,64	0,64	0,21	1	2,4	0,57											
Pyrène	mg/kg M.S.			0,05	2,2	0,72	0,96	0,94	0,1	0,11	0,86	0,86	1,2	1,2	0,3	1,2	4,3	0,95											
Benzo-(a)-anthracène	mg/kg M.S.			0,05	1,6	0,37	0,66	0,58	<0,05	<0,05	0,6	0,46	0,5	0,65	0,13	0,48	2,7	0,6											
Chrysène	mg/kg M.S.			0,05	2,1	0,39	0,88	0,63	<0,05	<0,05	0,52	0,44	0,5	0,56	0,15	0,38	2,5	0,64											
Indeno (1,2,3-cd) Pyrène	mg/kg M.S.			0,05	1,2	0,22	0,67	0,49	<0,05	<0,05	0,43	0,31	0,53	0,52	0,13	0,37	2,6	0,61											
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg M.S.			0,05	0,34	0,052	<0,28	0,12	<0,05	<0,05	0,13	0,087	0,13	0,11	<0,05	0,088	0,5	0,16											
Acénaphthylène	mg/kg M.S.			0,05	<0,25	<0,05	<0,25	0,067	<0,05	<0,05	<0,05	0,069	0,12	<0,05	<0,05	0,074	0,21	0,077											
Acénaphthène	mg/kg M.S.			0,05	<0,29	<0,05	<0,29	0,051	<0,05	0,055	0,074	0,086	<0,05	0,21	<0,05	<0,05	0,17	0,084											
Anthracène	mg/kg M.S.			0,05	0,54	0,33	0,4	0,52	<0,05	<0,05	0,29	0,23	0,19	0,22	0,079	0,53	0,65	0,14											
Fluoranthène	mg/kg M.S.			0,05	2,7	0,98	0,93	1,3	0,13	0,13	1,2	1	1,4	0,99	0,33	1,7	4,7	1											
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg M.S.			0,05	2,6	0,52	1,2	0,93	0,078	0,067	0,86	0,56	0,75	0,91	0,24	0,63	4,5	0,98											
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg M.S.			0,05	0,9	0,26	0,41	0,3	<0,05	<0,05	0,31	0,22	0,28	0,29	0,078	0,24	1,2	0,35											
Benzo(a)pyrène	mg/kg M.S.			0,05	1,5	0,36	0,71	0,55	0,053	<0,05	0,58	0,39	0,59	0,62	0,16	0,47	2,8	0,74											
Benzo(ghi)Pérylène	mg/kg M.S.			0,05	1,1	0,26	0,65	0,42	<0,05	<0,05	0,35	0,25	0,47	0,44	0,11	0,28	2,2	0,48											
Somme des HAP	mg/kg M.S.	50	50	19	5,1	8,4	8,2	0,5	0,46	7,1	6	7,7	7,7	1,9	7,5	32	7,5												
BTEX																													
Benzène	mg/kg M.S.			0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,28	<0,05											
Toluène	mg/kg M.S.			0,05	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,25	<0,05											
Ethylbenzène	mg/kg M.S.			0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05											

2.3.4. Synthèse et interprétation des résultats sur les sols

Les investigations réalisées au cours de la présente étude ont mis en évidence :

Sur matière brute :

- **Métaux sur matière brute**

La présence d'anomalies en métaux lourds sur les 53 échantillons analysés avec des teneurs en :

Tableau 4 : Résultats en métaux lourds (source : OGI)

Paramètre	Valeur ASPITET (mg/kg MS)	Valeur min supérieure ASPITET (mg/kg MS)	Valeur max supérieure ASPITET (mg/kg MS)	Nombre d'échantillons supérieurs à la valeur ASPITET (mg/kg MS)
Arsenic (As)	25	25.4	58.8	9
Cadmium (Cd)	0,45	0.47	10.8	35
Cuivre (Cu)	20	20.5	1 060	47
Mercure (Hg)	0,1	0,12	6.65	53
Plomb (Pb)	50	55.8	2 430	46
Zinc (Zn)	100	107	15 000	31

La cartographie des concentrations supérieures aux valeurs de référence pour les métaux lourds est présentée en **Annexe 2**.

- **Les Polychlorobiphényles (PCB)**

Sur un total de 44 analyses réalisées, les PCB (7 congénères) ne sont pas détectés sauf à l'état de traces sur l'échantillon 8 échantillons avec une concentration maximale de 0.58 mg/kg inférieure au seuil ISDI (1 mg/kg MS) sur OG26 (0.05-0.6).

- **Les Composés Aromatiques Volatils (BTEX) :**

L'ensemble des teneurs en BTEX est inférieur à la limite de détection du laboratoire sauf pour 15 échantillons avec une concentration maximale de 1.63 mg/kg inférieure au seuil ISDI (6 mg/kg MS) sur OG15 (0.2-0.6).

- **Les Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV)**

Sur un total de 53 échantillons analysés, les teneurs sont quasiment toujours inférieures aux limites de quantification pour les COHV sauf pour 4 échantillons présentant des teneurs traces en :

- Sur l'échantillon OG7 (0.3-1.3) : trichloroéthylène avec 0.32 mg/kg MS et tétrachloroéthylène avec 0.12 mg/kg MS ;
- Sur l'échantillon OG15 (0.6-1) : trichloroéthylène avec 0.07 mg/kg MS ;
- Sur l'échantillon OG19 (0.15-1) : trichloroéthylène avec 0.37 mg/kg MS et tétrachloroéthylène avec 0.98 mg/kg MS ;
- Sur l'échantillon OG19 (1-2) : trichloroéthylène avec 1.1 mg/kg MS, chloroforme avec 0.09 mg/kg MS, du tétrachlorométhane avec 0.02 mg/kg MS, du 1.1.1-Trichloroéthane avec 0.43 mg/kg MS et tétrachloroéthylène avec 4.62 mg/kg MS ;

- **Les Hydrocarbures volatils (coupes C₅-C₁₀) :**

Les teneurs en hydrocarbures volatils HC C₅-C₁₀ sont inférieures aux limites de quantification du laboratoire sur l'ensemble des échantillons sauf pour 9 échantillons avec une concentration maximale de 36.4 mg/kg sur OG11 (2-3).

- **Les hydrocarbures totaux (coupes C₁₀-C₄₀) :**

Les HC C₁₀-C₄₀ sont détectés 52 des 53 échantillons analysés. Les teneurs sont comprises entre 15.7 et 7 380 mg/kg MS (sur OG15 (0.2-0.6)).

Sur ces 52 échantillons détectés, 14 dépassent le seuil ISDI et ISDI+ (500 mg/kg MS) avec un minimum de 508 et un maximum de 7 380 mg/kg MS.

- **Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Les HAP sont détectés sur 52 des 53 échantillons analysés. Les teneurs en HAP sont comprises entre 0.055 et 2 400 mg/kg MS (sur OG15 (0.2-0.6)).

Le naphtalène a été détecté sur 40 échantillons avec des teneurs comprises entre 0,053 et 19 mg/kg MS. La teneur maximale a été identifiée sur l'échantillon sur OG15 (0.2-0.6).

Sur ces 52 échantillons détectés, 11 dépassent le seuil ISDI et ISDI+ (50 mg/kg MS) avec un minimum de 506 mg/kg MS et un maximum de 2 400 mg/kg MS.

- **Cyanures totaux et aisément libérables**

L'ensemble des teneurs en cyanures totaux est inférieur à la limite de détection du laboratoire sauf pour 6 échantillons avec des valeurs comprises entre 0.8 et 2.8 mg/kg MS.

L'ensemble des teneurs en cyanures aisément libérables est inférieur à la limite de détection du laboratoire.

- **Carbone Organique Total (COT) :**

19 échantillons sur 44 analysés (prélevés dans les remblais uniquement) dépassent le seuil ISDI/ ISDI+ de 30 100 mg/kg MS avec un maximum de 235 000 mg/kg MS sur l'échantillon OG4 (0.1-1.2).

Sur éluat :

Sur les 44 échantillons analysés, des dépassements ponctuels des seuils ISDI, voire ISDI+, sont observés pour les paramètres suivants :

- Parmi **les métaux**
 - **Plomb** : 15 échantillons présentent des teneurs supérieures au seuil **ISDI** (0,5 mg/kg MS) et 2 échantillons OG8 (0.5-1) et OG22 (0.1-0.5) présentent des teneurs supérieures au seuil **ISDI+** (1.5 mg/kg MS) ;
 - **Zinc** : 3 échantillons OG1 (0-1), OG8 (0.25-0.5) et OG8 (0.5-1) présentent des teneurs supérieures au seuil **ISDI** (4 mg/kg MS) et 1 échantillon OG2 (0.1-0.8) présente une teneur supérieure au seuil **ISDI+** (12 mg/kg MS) ;
 - **Mercur**e : 1 échantillon OG11 (0.2-0.8) présent une teneur supérieure au seuil **ISDI** (0,01 mg/kg MS) ;
 - **Antimoine** : 1 échantillon OG2 (0.1-0.8) présent une teneur supérieure au seuil **ISDI** (0,06 mg/kg MS) ;
- **Fraction soluble** :
 - 9 échantillons présentent des teneurs de supérieures au seuil **ISDI** (4 000 mg/kg MS) mais inférieure au seuil **ISDI+** (12 000 mg/kg MS) ;
 - 1 échantillon présente une teneur supérieure au seuil **ISDI+** (12 000 mg/kg MS).
- **Sulfates** :
 - 2 échantillons présentent des teneurs de supérieures au seuil **ISDI** (1 000 mg/kg MS) mais inférieure au seuil **ISDI+** (3 000 mg/kg MS).
- **Fluorures** :
 - 2 échantillons présentent des teneurs de supérieures au seuil **ISDI** (800 mg/kg MS) mais inférieure au seuil **ISDI+** (2 400 mg/kg MS).

Les **chlorures**, **indice phénol** et **COT sur éluat**, respectent tous les seuils d'acceptation en ISDI.

Les cartographies de localisation des échantillons dépassant les valeurs réglementaires sont présentées en **Annexe 3** et **Annexe 4**Annexe 2.

3. Résultats des investigations sur les gaz du sol

3.1. Réseau de surveillance

Le réseau de surveillance des gaz du sol est composé des 8 piézairs. Les tableaux ci-dessous récapitulent les caractéristiques des piézairs :

Tableau 5 : Caractéristiques des piézairs réalisés en 2009 et 2017 par BURGEAP

Ouvrage	Pza1	Pza2	Pza3	Pza4
Profondeur totale (m/TN)	1.5	1.5	1.5	1.5
Profondeur de la zone crépinée (m/TN)	Entre 1 et 1.5	Entre 1 et 1.5	Entre 1 et 1.5	Entre 1 et 1.5
Hauteur de la zone crépinée(m/TN)	0.5	0.5	0.5	0.5
Diamètre interne de l'ouvrage (mm)	25	25	25	25
Equipement	PVC	PVC	PVC	PVC
Date de réalisation	2009	20/02/2017	16/02/2017	16/02/2017
Bouchon	Capot ras de sol	Capot ras de sol	Capot ras de sol	Capot ras de sol

Tableau 6 : Caractéristiques des piézairs réalisés en 2020 par OGI

Ouvrage	Pza OGI2	Pza OGI3	Pza OGI4	Pza OGI5
Profondeur totale (m/TN)	1.3	1	1.1	1.5
Profondeur de la zone crépinée (m/TN)	Entre 0.8 et 1.3	Entre 0.5 et 1	Entre 0.6 et 1.1	Entre 1 et 1.5
Hauteur de la zone crépinée(m/TN)	0.5	0.5	0.5	0.5
Diamètre interne de l'ouvrage (mm)	27	27	27	27
Equipement	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE
Date de réalisation	09/12/2020	10/12/2020	09/12/2020	09/12/2020
Bouchon	Capot ras de sol	Capot ras de sol	Capot ras de sol	Capot ras de sol

HDPE : Polyéthylène de haute densité

3.2. Conditions météorologiques

Le tableau suivant synthétise les conditions météorologiques observées les jours précédant les prélèvements ainsi que le jour du prélèvement.

Tableau 7 : Caractéristiques des piézairs réalisés le site d'étude (source : OGI)

	Impact sur le dégazage*	10/12/2020	11/12/2020	05/01/2021
Conditions météorologiques des 5 jours précédant les prélèvements des gaz du sol	Précipitation sur des sols non imperméabilisés = défavorable	Mitigé	Mitigé	Mitigé
Conditions météorologiques le jour de l'intervention	Précipitation sur des sols non imperméabilisés = défavorable	Nuageux	Pluvieux	Pluvieux
Température extérieure (°C)	<4°C = défavorable 4-10°C = pas d'impact >10 °C = favorable	6.8 à 8.7	8.6 à 9.6	1.7
Pression atmosphérique (hPa)	>1 013 hPa = défavorable <1 013 hPa = favorable	996 à 994	979 à 982	1 016
Humidité (%)	Non renseigné	78 à 81	81 à 87	81

* Les données de l'impact sur le dégazage sont stipulées dans le « Guide pratique pour la caractérisation des gaz du sol de l'air intérieur en lien avec une pollution des sols/ou des eaux souterraines » de l'INERIS du 25 novembre 2016.

Lors des 5 jours précédant les prélèvements des gaz du sol réalisés le 10 et 12 décembre 2020 ainsi que le 5 janvier 2021, les conditions météorologiques étaient pluvieuses.

Lors de la campagne de prélèvement des gaz du sol, les conditions météorologiques de température, pression atmosphérique et humidité étaient moyennement favorables voir défavorable au dégazage des composés volatils pour la campagne du 05 janvier 2021. Ces conditions climatiques sont par ailleurs représentatives des conditions classiques aux périodes de l'année concernée.

3.3. Résultats analytiques

3.3.1. Programme analytique

Le programme analytique retenu pour les gaz du sol est le suivant :

- BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes) ;
- Naphtalène ;
- Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV) ;
- Mercure ;
- MTBE ;
- Hydrocarbures pétroliers totaux- TPH.

3.3.2. Valeurs de référence

Il n'existe pas, en France, de valeur limite définissant des seuils de pollution sur les gaz du sol pour envisager une réhabilitation du site. Ceux-ci sont calculés au cas par cas sur la base de modélisation et de calculs de risques sanitaires, le cas échéant.

3.3.3. Résultats d'analyses des gaz du sol en Laboratoire

Le tableau ci-dessous présente la synthèse des résultats d'analyses des gaz du sol.

Les résultats des gaz du sol sont présentés avec deux valeurs, la première est la concentration au droit de la zone de mesure (dont les résultats sont reportés dans le tableau ci-dessous) et la seconde est la concentration au droit de la zone de contrôle (cf. bordereau d'analyses laboratoire), c'est-à-dire la zone du support permettant de vérifier l'absence de saturation du support de prélèvement.

Dans notre cas présent, la zone de contrôle présente systématiquement des concentrations inférieures aux limites de quantification excepté sur PZa2 où la concentration en aliphatique C10-C12 en zone de contrôle est supérieure à 5% de la concentration en zone de mesure. Par conséquent, les concentrations sont donc interprétables excepté pour le paramètre stipulé ci-dessus.

De plus, les échantillons « blanc de terrain » et « blanc de transport » ont révélé des concentrations toutes inférieures aux limites de quantification. Il n'y a donc pas de mise en évidence de contamination durant les prélèvements et l'acheminement jusqu'au laboratoire.

A noter également que lors de la campagne de prélèvement de gaz du sol du 4 janvier 2021, de l'eau a été retrouvé au droit de l'ouvrage Pza OGI3. Les résultats sont donnés à titre indicatifs et ne sont pas représentatifs du dégazage réel.

Tableau 8 : Résultats d'analyse chimique des gaz du sol (source : OGI)

Paramètres	PZa1			PZa2			PZa4			Pza OGI2			Pza OGI4			Pza3			Pza OGI3			Pza OGI5		
	11/12/2020			11/12/2020			10/12/2020			11/12/2020			10/12/2020			05/01/2021			05/01/2021			05/01/2021		
	µg/tube	m3 air pompé	µg/m3	µg/tube	m3 air pompé	µg/m3	µg/tube	m3 air pompé	µg/m3	µg/tube	m3 air pompé	µg/m3	µg/tube	m3 air pompé	µg/m3	µg/tube	m3 air pompé	µg/m3	µg/tube	m3 air pompé	µg/m3	µg/tube	m3 air pompé	µg/m3
COHV																								
Dichlorométhane	< 0,100		< 5,495	< 0,100		< 5,000	< 0,100		< 5,263	< 0,100		< 5,000	< 0,100		< 5,263	< 0,100		< 5,354	< 0,100		< 5,408	< 0,100		< 5,354
Chlorure de vinyle	< 0,100		< 5,495	< 0,100		< 5,000	< 0,100		< 5,263	< 0,100		< 5,000	< 0,100		< 5,263	< 0,100		< 5,354	< 0,100		< 5,408	< 0,100		< 5,354
1,1-Dichloroéthylène	< 0,050		< 2,747	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,677	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
trans 1,2-Dichloroéthène	< 0,050		< 2,747	0,136		6,800	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,677	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
cis 1,2-Dichloroéthène	< 0,050		< 2,747	0,673		33,650	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,677	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
Chloroforme (Trichlorométhane)	< 0,050		< 2,747	0,0926		4,630	< 0,050		< 2,632	0,191		9,550	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,677	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
Tétrachlorométhane	< 0,05		< 2,747	< 0,05		< 2,500	< 0,05		< 2,632	0,95		47,50	< 0,05		< 2,632	< 0,05		< 2,677	< 0,05		< 2,704	< 0,05		< 2,677
1,1-Dichloroéthane	< 0,050		< 2,747	0,227		11,350	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,677	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
1,2-Dichloroéthane	< 0,050		< 2,747	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,677	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
1,1,1-Trichloroéthane	< 0,050		< 2,747	6,42		321,00	0,848		44,632	1,12		56,00	< 0,050		< 2,632	0,0591		3,1645	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
1,1,2-Trichloroéthane	< 0,050	0,018	< 2,747	< 0,050	0,020	< 2,500	< 0,050	0,019	< 2,632	< 0,050	0,020	< 2,500	< 0,050	0,019	< 2,632	< 0,050	0,019	< 2,677	< 0,050	0,018	< 2,704	< 0,050	0,019	< 2,677
Trichloroéthylène	< 0,050		< 2,747	3,96		198,00	< 0,050		< 2,632	0,96		48,00	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,677	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
Tétrachloroéthylène	< 0,050		< 2,747	22,8		1140,0	0,1		5,3	0,68		34,00	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,677	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
Bromochlorométhane	< 0,050		< 2,747	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,677	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
Dibromométhane	< 0,050		< 2,747	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,677	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
1,2-Dibromométhane	< 0,050		< 2,75	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,677	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
Tribromométhane (Bromoforme)	< 0,050		< 2,747	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,677	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
Bromodichlorométhane	< 0,050		< 2,747	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,677	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
Dibromochlorométhane	< 0,050		< 2,747	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,500	< 0,050		< 2,632	< 0,050		< 2,677	< 0,050		< 2,704	< 0,050		< 2,677
Somme COHV																								
BTEX																								
Naphtalène	< 0,10		< 5,49	< 0,10		< 5,00	< 0,10		< 2,58	< 0,10		< 5,00	< 0,10		< 5,26	< 0,10		< 5,35	< 0,10		< 5,41	< 0,10		< 5,35
Benzène	< 0,05		< 2,75	< 0,05		< 2,50	< 0,05		< 1,28	0,61		30,50	1,76		92,63	< 0,05		< 2,68	< 0,05		< 2,70	< 0,05		< 2,68
Toluène	9,49	0,018	521,43	9,37	0,020	468,50	6,87	0,039	176,15	30,3	0,020	1515,00	89,7	0,019	4721,05	< 0,05	0,019	< 2,68	0,63	0,018	34,07	0,8	0,019	42,84
Ethylbenzène	1,89		103,85	1,92		96,00	1,14		29,23	2,51		125,50	8,37		440,53	< 0,05		< 2,68	0,14		7,57	0,12		6,43
m-p-Xylène	7,24		397,80	7,33		366,50	3,91		100,26	7,46		373,00	19,1		1005,26	< 0,05		< 2,68	0,28		15,14	0,24		12,85
o-Xylène	2,18		119,78	2,29		114,50	1,23		31,54	2,42		121,00	6,01		316,32	< 0,05		< 2,68	0,09		4,87	0,1		5,35
Somme BTEX																								
TPH																								
Aliphatiques >MeC5 - C6	< 2,50		< 137,36	< 2,50		< 125,00	< 2,50		< 131,58	3,79		189,50	5,62		295,79	< 2,50		< 133,86	< 2,50		< 135,19	< 2,50		< 133,86
Aliphatiques >C6 - C8	4,41		242,31	4,12		206,00	3,17		166,94	18,6		930,00	33,7		1773,68	< 2,50		< 133,86	< 2,50		< 135,19	< 2,50		< 133,86
Aliphatiques >C8 - C10	17,3		950,55	19,1		955,00	10,1		531,58	13,6		680,00	17,6		926,32	< 2,50		< 133,86	< 2,50		< 135,19	< 2,50		< 133,86
Aliphatiques >C10 - C12	11,9		653,85	13,6		680,00	7,25		381,58	7,78		389,00	15,1		794,74	2,92		156,35	2,72		147,09	2,91		155,81
Aliphatiques >C12 - C16	< 2,50		< 137,36	< 2,50		< 125,00	< 2,50		< 131,58	< 2,50		< 125,00	< 2,50		< 131,58	< 2,50		< 133,86	< 2,50		< 135,19	< 2,50		< 133,86
Total Aliphatiques	33,6	0,018	1846,15	36,8	0,020	1840,00	20,5	0,019	1078,95	43,8	0,020	2190,00	72	0,019	3789,47	2,92	0,019	156,35	2,72	0,018	147,09	2,91	0,019	155,81
Aromatiques C6 - C7 (Benzène)	< 0,05		< 2,75	< 0,05		< 2,50	< 0,05		< 2,63	0,61		30,50	1,76		92,63	< 2,50		< 133,86	< 2,50		< 135,19	< 2,50		< 133,86
Aromatiques >C7 - C8 (Toluène)	9,49		521,43	9,37		468,50	6,87		361,58	30,3		1515,00	89,7		4721,05	< 2,50		< 133,86	0,63		34,07	0,8		42,84
Aromatiques >C8 - C10	19,4		1065,93	21,4		1070,00	12,7		668,42	22,5		1125,00	69,5		3657,89	< 2,50		< 133,86	< 2,50		< 135,19	< 2,50		< 133,86
Aromatiques >C10 - C12	2,81		154,40	3,42		171,00	< 2,50		131,58	< 2,50		< 125,00	6,36		334,74	< 2,50		< 133,86	< 2,50		< 135,19	< 2,50		< 133,86
Aromatiques >C12 - C16	< 2,50		< 137,36	< 2,50		< 125,00	< 2,50		< 131,58	< 2,50		< 125,00	< 2,50		< 131,58	< 2,50		< 133,86	< 2,50		< 135,19	< 2,50		< 133,86
Total Aromatiques	31,7		1741,76	34,2		1710,00	19,6		1051,58	53,4		2670,00	167		8789,47	< 2,50		< 133,86	0,63		34,07	0,8		42,84
Autres																								
Mercurie	< 0,005	0,023	< 0,220	< 0,005	0,025	< 0,200	< 0,005	0,024	< 0,211	< 0,005	0,025	< 0,200	< 0,005	0,024	< 0,211	< 0,005	0,022	< 0,226	< 0,005	0,022	< 0,224	< 0,005	0,023	< 0,214
MTBE	< 2,50	0,018	< 137,36	< 2,50	0,020	< 125,00	< 2,50	0,019	< 131,58	3,1	0,020	155,00	< 2,50	0,019	131,58	< 2,50	0,187	< 13,39	< 2,50	0,018	< 135,19	< 2,50	0,019	< 133,86

3.3.4. Interprétation des résultats (A270)

Les résultats d'analyses ont mis en évidence :

- La présence de **Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV)** :
 - Trans 1,2-Dichloroéthène : sur l'ouvrage Pza2 avec une teneur de 6.80 µg/m³ ;
 - Cis 1,2-Dichloroéthène : sur l'ouvrage Pza2 avec une teneur de 33.65 µg/m³ ;
 - Chloroforme (Trichlorométhane) : sur les ouvrages Pza2 et Pza OGI2 avec des teneurs respectives de 4.63 et 9.55 µg/m³ ;
 - Tétrachlorométhane : s sur l'ouvrage Pza OGI2 avec une teneur de 47.5 µg/m³ ;
 - 1,1-Dichloroéthane : sur l'ouvrage Pza2 avec une teneur de 11.35 µg/m³ ;
 - 1,1,1-Trichloroéthane : sur les ouvrages Pza2, Pza4, Pza OGI2 et Pza3 avec des teneurs respectives de 321 ; 44.632 ; 56 et 3.164 µg/m³ ;
 - Trichloroéthylène : sur les ouvrages Pza2 et Pza OGI2 avec des teneurs respectives de 198 et 48 µg/m³ ;
 - Tétrachloroéthylène : sur les ouvrages Pza2, Pza4, et Pza OGI2 avec des teneurs respectives de 1 140 ; 5.3 et 34 µg/m³ ;
- La présence de **Composés Aromatiques Volatils (BTEX)** :
 - Ethylbenzène : sur l'ensemble des ouvrages exceptés Pza3 avec des teneurs variant de 6.43 µg/m³ sur Pza OGI5 à 440.53 µg/m³ sur Pza OGI4 ;
 - m+p-Xylène : sur l'ensemble des ouvrages exceptés Pza3 avec des teneurs variant de 12.85 µg/m³ sur Pza OGI5 à 1 005.26 µg/m³ sur Pza OGI4 ;
 - o-Xylène : sur l'ensemble des ouvrages exceptés Pza3 avec des teneurs variant de 4.87 µg/m³ sur Pza OGI3 à 316.32 µg/m³ sur Pza OGI4 ;
 - Toluène : sur l'ensemble des ouvrages exceptés Pza3 avec des teneurs variant de 34.07 µg/m³ sur Pza OGI3 à 4 721.05 µg/m³ sur Pza OGI4 ;
 - Benzène : sur Pza OGI2 et Pza OGI4 avec des teneurs respectives de 30.50 et 92.63 µg/m³ ;
- La présence de **Hydrocarbures Pétroliers totaux (TPH)** sur l'ensemble des ouvrages :
 - Aliphatiques >C6 – C8 : sur l'ensemble des ouvrages exceptés Pza3, Pza OGI3 et Pza OGI5 avec des teneurs variant de 166.84 µg/m³ sur Pza4 à 1 773.68 µg/m³ sur Pza OGI4 ;
 - Aliphatiques >C8 – C10 : sur l'ensemble des ouvrages exceptés Pza3, Pza OGI3 et Pza OGI5 avec des teneurs variant de 531.58 µg/m³ sur Pza4 à 955 µg/m³ sur Pza2 ;
 - Aliphatiques >C10 – C12 : sur l'ensemble des ouvrages avec des teneurs variant de 147.09 µg/m³ sur Pza OGI3 à 794.74 µg/m³ sur Pza OGI4 ;
 - Aromatiques >C6 – C7 : sur l'ensemble Pza OGI2 et Pza OGI4 avec des teneurs respectives de 30.50 µg/m³ et 92.63 µg/m³ ;
 - Aromatiques >C7 – C8 : sur l'ensemble des ouvrages exceptés Pza3 avec des teneurs variant de 34.07 µg/m³ sur Pza OGI3 à 4 721.05 µg/m³ sur Pza OGI4 ;
 - Aromatiques >C8 – C10 : sur l'ensemble des ouvrages exceptés Pza3, Pza OGI3 et Pza OGI5 avec des teneurs variant de 668.42 µg/m³ sur Pza4 à 3 657.89 µg/m³ sur Pza OGI4 ;
 - Aromatiques >C10 – C12 : sur l'ensemble des ouvrages exceptés Pza3, Pza OGI3 et Pza OGI5 avec des teneurs variant de 131.58 µg/m³ sur Pza4 à 334.74 µg/m³ sur Pza OGI4 ;
- L'Absence de teneurs supérieures aux limites de quantification du laboratoire pour le **mercure**, et le **MTBE** sur l'ensemble des piézomètres du réseau de surveillance excepté sur Pza OGI2 avec une teneur de 155 µg/m³ en MTBE.

4. Gestion de la zone de pollution concentrée

4.1. Description des impacts

Pour rappel, suivant les observations et résultats obtenus à l'issue des investigations réalisées de 2017 à 2020 et compte tenu des anciennes activités du site, les composés les plus largement détectés sont les hydrocarbures HC C₁₀-C₄₀ et HAP. Ils ont donc été choisis comme indicateurs dans la suite de l'étude.

Pour mener à bien la suite de l'étude (estimation des volumes de terres à traiter notamment), il est nécessaire de se focaliser sur un « indicateur », un composé ou une famille de composés dont les concentrations mesurées seraient représentatives de la qualité globale de l'échantillon analysé et pour lequel un traitement permettrait de solutionner la problématique de pollution concentrée des différents composés.

Les différents outils de définition des pollutions concentrées et de seuils de coupure se sont donc focalisés dans la suite de l'étude sur :

- Les hydrocarbures C₁₀-C₄₀ ;
- Les HAP.

4.2. Caractérisation des impacts

La méthode suivie par **OGI** pour définir les zones sources est issue du guide de l'UPDS « Groupe de travail : définition des pollutions concentrées » en date de décembre 2014, mis à jour en avril 2016¹.

Les outils méthodologiques proposés dans le guide ce guide sont les suivants :

- **Méthode n°1** : Interprétation des constats de terrain
- **Méthode n°2** : Analyse statistique
- **Méthode n°3** : Détermination de la présence d'une phase organique
- **Méthode n°4** : Cartographie fondée sur des méthodes déterministes
- **Méthode n°5** : Bilan massique fondé sur des méthodes déterministes
- **Méthodes n°6** : Approche intégrée géostatistique

La définition de la pollution concentrée, sa délimitation, et donc son existence, résultent de la convergence des résultats d'au moins deux méthodes présentées ci-dessus.

Pour caractériser les zones sources dans les sols, **OGI** propose de définir des seuils de coupure pour chaque famille de composés présentant des impacts. Ce seuil est la concentration dans les sols à partir de laquelle et au-dessus de laquelle les sols concernés sont considérés comme devant être traités ou évacués.

Ce seuil est théorique et constitue un seuil de dépollution qui peut être utilisé comme base des estimations technico-économiques. Il peut être révisé si besoin en fonction des enjeux sanitaires notamment. Il est défini indépendamment :

- de la mobilité des polluants ;
- des objectifs de qualité des milieux ;

¹ Pollution concentrée : définition, outils de caractérisation et intégration dans la méthodologie de gestion des Sites et Sols Pollués, UPDS, avril 2016.

- des techniques de dépollution disponibles ;
- des usages du site ;
- des aménagements actuels ou futurs ;
- des aspects financiers.

Au regard des données disponibles, des impacts constatés et de la nature des polluants rencontrés, les méthodes utilisées dans le cadre de la présente étude seront l'analyse statistique simple (**méthode 2**) et le bilan massique fondé sur des méthodes déterministes (**méthode 5**).

4.3. Synthèse des pollutions concentrées

Sur la base de ces analyses statistique et le diagramme de Pareto conduisent, les valeurs limites de définition d'une pollution concentrée pour les 2 paramètres étudiés sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9 : Seuils de coupures proposés (source : OGI)

Paramètres	Seuil de coupure (en mg/kg MS)
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	
Somme des HAP (16)	100
Hydrocarbure totaux	
HCT C ₁₀ -C ₄₀	700

Si les teneurs dans les sols relatent au moins un dépassement de ces seuils, les sols correspondants seront assimilés à une pollution concentrée.

Conformément à la méthodologie en vigueur relative à la gestion des sites et sols pollués, la priorité consiste d'abord à extraire ces pollutions concentrées, généralement circonscrites à des zones limitées et non pas à engager des études pour justifier de leur maintien en place.

4.4. Dimensionnement des zones à réhabiliter

Sur la base des seuils de réhabilitation préalablement calculés, une délimitation des zones à traiter dans les sols a été effectuée.

La délimitation de ces zones a été établie sur la base des hypothèses suivantes :

- Dépassement d'un des seuils de coupure pour au moins un des deux paramètres retenu (HCT et/ou HAP) ;
- Les extensions horizontales ont été délimitées par la méthode d'interpolation du plus proche voisin. Cela signifie que la zone d'influence de chaque sondage est égale à celle du sondage voisin. La limite d'influence entre 2 sondages se situe donc entre ces deux sondages.
- Les extensions verticales des contaminations ont été définies sur la base des résultats d'analyses et des indices macroscopiques observés lors des investigations ;
- Concernant les volumes de terres, il a été considéré des m³ de terres en place (terres non foisonnées) ;
- La masse volumique retenue pour les terres est de 1,8 t/m³ ;
- Aucune contrainte technique de terrassement telle que des talutages ou des rampes d'accès n'est prise en compte.

Sur la base de ces seuils de réhabilitation, le tableau en page suivante présente les impacts devant faire l'objet d'une gestion.

Tableau 10 : Zone de pollution concentrée identifiée au droit du site d'étude (sources OGI)

Sondage	Analyses	HCT (mg/kg)	HAP (mg/kg)	Lithologie	Indices organoleptiques	Mesure PID	Profondeur (m)	Surface (m²)	Volume (m³)	Tonnage (T)
S1_0,2-1	Extrapolation	3800	2,79	RSL	Noir	2,2	0,8	184,20	147,36	265,24
S2_0,2-1	O	3800	2,79	R	Noir, forte odeur HC, COHV	287	0,8	235,41	188,33	338,99
S2_1-2	Extrapolation	140	6,17	R	RAS	124	1	235,41	235,41	423,74
S5_1-2	O	2700	-	A	Gris, odeur Hc, matière orga	20,2	1	56,16	56,16	101,09
S17_0,05- 0,5	O	880	7,53	R	Mâchefer	0,1	0,45	284,65	128,09	230,57
S20_0,2-1	O	15000	4840	RS	Noir, mâchefer	0,1	0,8	41,18	32,95	59,30
S26_0,3-0,8	O	1200	308	RS	Noir, mâchefer	0,5	0,5	76,88	38,44	69,19
S27_0-1	Extrapolation	508	120	R graveleux	noir	0,2	1	171,99	171,99	309,57
S35(0,05-1)	O	4300	1570	R graveleux	Odeur HAP	3,5	0,95	57,88	54,99	98,97
S35-b(0,05- 1)	O	1400	80,5	R graveleux	Noir, odeur hydrocarbure	0	0,95	82,03	77,93	140,27
S35-c(0,05- 1)	O	2500	1240	R graveleux	Noir, briques	0	0,95	47,64	45,26	81,46
S35-c(1-2)	O	1200	519	LSA	RAS	2,1	1	47,64	47,64	85,75
S35-c(2-3)	Extrapolation	1200	519	LSA	RAS	0	1	47,64	47,64	85,75
S35-d(0,05- 1)	O	800	96,4	R graveleux	noir, brique	0	0,95	113,13	107,47	193,45
OG1 (0-1)	O	508	120	RS	Couleur noire	0	1	52,86	52,86	95,15
OG3 (0,2-1)	O	1600	480	RS	Couleur noire	0	0,8	201,23	160,98	289,77
OG4 (0,1- 1,2)	O	1040	250	RS	Couleur noire	0	1,1	129,66	142,63	256,73
OG8 (0,25- 0,5)	O	692	150	RS	Couleur noire	0	0,25	95,29	23,82	42,88
OG11 (1,4- 2)	O	1960	9,7	AS	Forte odeur HCT	30,4	0,6	319,40	191,64	344,95
OG14 (0,2- 0,4)	O	6340	1500	RS	Couleur noire	0	0,2	134,28	26,86	48,34
OG15 (0,2- 0,6)	O	7360	2400	RS	Couleur noire	0	0,2	141,05	28,21	50,78
OG19 (1-2)	O	2810	78	RS	Couleur grise	0	1	370,28	370,28	666,50
OG22 (2,3- 3)	O	733	3,6	AS	Couleur grise, odeur HCT	10,1	0,7	118,12	82,68	148,83
OG26 (0,05- 0,6)	O	1070	8,4	RS	Couleur noire, présence de graviers	0,4	0,55	299,86	164,92	296,86
Total									2625	4724

Le volume total des terres impactées à gérer de manière spécifique est estimé, en première approche, à 2 652 m³, soit environ 4 724 tonnes.

La localisation de la zone de pollution concentrée à traiter est présentée en **Annexe 5, Annexe 6 et Annexe 7**

5. Evaluation de la compatibilité sanitaire des seuils de coupure- ARR prédictive

Après traitement des zones de pollutions concentrées, des concentrations résiduelles correspondant au bruit de fond sont attendues dans les sols. Il convient donc de vérifier que les concentrations en polluants correspondant au bruit de fond sont compatibles avec l'usage projeté.

Le cas échéant, des objectifs de réhabilitations (Concentrations Maximales Admissibles) seront calculés, accompagnés, au besoin, de mesures constructives, afin de rendre le site compatible d'un point de vue sanitaire avec les usages envisagés et de sécuriser le projet.

L'ARR qui repose sur le schéma conceptuel final peut être réalisée :

- A priori (avant la réalisation des travaux de réhabilitation ou « ARR prédictive »). Les calculs de risque sont menés sur des concentrations résiduelles estimées en tenant compte des performances connues des techniques de dépollution. Dans ce cas, lors du récolement à l'issue des travaux, les concentrations résiduelles mesurées et les caractéristiques des aménagements prévus seront comparées aux données d'entrée de la présente ARR afin de statuer sur la bonne mise en œuvre du plan de gestion. Une ARR prédictive apporte une certaine garantie sur l'acceptabilité sanitaire mais ne remplace pas celle réalisée à l'issue des travaux de réhabilitation ;
- A posteriori (à réception des travaux de réhabilitation ou « ARR fin de travaux »). Dans ce cas, à l'issue des travaux, les concentrations résiduelles mesurées lors du récolement et les caractéristiques des aménagements prévus sont intégrées à l'ARR afin de statuer sur la compatibilité entre les pollutions résiduelles et les usages.

L'ARR est ici réalisée a priori, avant les travaux de réhabilitation, en considérant les teneurs mesurées dans les terrains qui resteront en place au droit du site. En effet, conformément à la méthodologie en vigueur relative à la gestion des sites et sols pollués, **la priorité consiste d'abord à extraire les pollutions concentrées, généralement circonscrites à des zones limitées et non pas à engager des études pour justifier de leur maintien en place.**

Néanmoins, pour la zone Z5, l'ARR a également été réalisée en prenant en compte les données de dégazage sur la zone de pollution concentrée, au vu des contraintes liées au site (bâtiment à conserver, limite technique de traitement in situ).

Conformément aux recommandations des guides méthodologiques, OGI utilise le logiciel **MODUL'ERS** (version 2016) développé dans le cadre des programmes d'appui de l'INERIS au Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE). C'est un outil logiciel pour la réalisation des évaluations de risque sanitaire prospectives effectuées dans le cadre de l'analyse des effets sur la santé des Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE) et pour la réalisation des Analyses de Risques Résiduels (ARR) des sites et sols pollués. Il permet d'estimer les niveaux d'exposition et les niveaux de risque en fonction du temps. MODUL'ERS est composé d'une plateforme de modélisation et simulation et d'une bibliothèque de modules, basée sur le manuel « Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle » (disponible sur le site internet de l'INERIS, sous la référence DRC-08—94882-16675B).

5.1. Définition des zones pour les calculs de risques sanitaires

Nous avons découpé le site selon les sources de pollutions concentrées définies dans le paragraphe 4 du présent rapport. **Des calculs de risque sanitaire ont été réalisés pour chaque zone en prenant en compte les teneurs résiduelles attendues postérieurement aux mesures de gestion et représentant le bruit de fond géochimique du site, excepté pour la zone 5, où l'ouvrage est localisé au droit de la ZPC au vu des contraintes liées au site.** Le découpage en 5 zones du site est schématisé en **Annexe 8**, et correspond aux usages pressentis envisagés à ce stade.

5.2. Composés et concentrations retenues dans les différents milieux

Les substances à retenir, parmi celles mesurées sur le site étudié, sont choisies suivant trois critères de sélection :

- La présence de la substance dans les différents milieux d'exposition et son niveau de présence,
- Le potentiel de Danger (toxicité) de la substance ou la relation dose - effet,
- Le potentiel de Transfert de la substance.

Les tableaux ci-dessous présentent les concentrations des substances retenues selon les 5 zones définies précédemment. Nous avons retenu :

- D'une part, les substances détectées dans les gaz du sol, considérés comme milieu intégrateur des sources de pollution des sols et des eaux souterraines,
- D'autre part, concernant les substances non détectées dans les gaz du sol : au vu des impacts en HAP identifiés dans les sols, nous avons pris la LQ la plus haute sur les gaz du sol pour les calculs pour le naphthalène qui est le composé le plus toxique ou cancérigène.

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

- Les principales propriétés physico-chimiques des composés : volatilité et solubilité,
- La toxicité et la cancérogénicité des produits (phrases de risques, classement par l'Union Européenne, le CIRC ou l'US-EPA et éventuellement les valeurs toxicologiques de référence).

Selon le ministère, il est recommandé de prendre en compte pour les calculs de risques, si le site est homogène, la moyenne arithmétique des concentrations de chacun des composés identifiés.

Afin d'avoir une démarche sécuritaire et d'obtenir une image représentative des concentrations auxquelles peuvent être exposées les individus cibles pendant la période d'exposition, **OGI a considéré dans les calculs de risque pour chaque composé sa concentration maximale mesurée sur site (toute campagne confondue)** pour les différentes voies d'exposition et également selon les différentes zones.

A noter que concernant le m+p xylène et o-xylène nous avons sommé les concentrations mesurées puisqu'il n'existe une VTR uniquement pour le Xylène total.

De plus, nous n'avons pas pris les teneurs en aromatique C6-C7 et aromatique C7-C8 dans les gaz du sol puisqu'ils correspondent respectivement au Benzène et Toluène détectés dans les gaz du sol et déjà pris en compte dans les calculs de risques.

Le MTBE n'a pas été pris dans les calculs de risque sanitaire bien que ce dernier soit détecté sur 2 ouvrages. En effet, des propriétés physico-chimiques de cette substance ne sont à ce jour pas disponibles, ne permettant pas de modéliser via Johnson Ettinger.

Enfin, les calculs de risque liés au dégazage du mercure n'ont pas été présentés, car aucune source de pollution relative au mercure n'a été mise en évidence sur la zone. Néanmoins, les concentrations en mercure dans les sols superficiels justifient de réaliser des calculs de risques en prenant en compte le mercure en incertitude, ce qui pourrait être pénalisant dans les calculs de risques sanitaires.

Tableau 11 : Concentrations retenues pour les calculs de risques de la zone 1

Paramètres	Milieu	Unités	Concentration maximale	Echantillon concerné
BTEX				
Benzène	Gaz du sol	µg/m3	2,80	Pza6
Toluène	Gaz du sol	µg/m3	76,90	Pza6
Ethylbenzène	Gaz du sol	µg/m3	53,80	Pza6
m+p-Xylène	Gaz du sol	µg/m3	69,20	Pza6
o-Xylène	Gaz du sol	µg/m3	17,90	Pza6

Xylènes	Gaz du sol	µg/m3	87,10	Pza6
TPH				
Aliphatiques >C6 - C8	Gaz du sol	µg/m3	110,30	Pza6
Aliphatiques >C8 - C10	Gaz du sol	µg/m3	53,80	Pza6
Aromatiques >C8 - C10	Gaz du sol	µg/m3	194,90	Pza6
HAP				
Naphtalène	Gaz du sol	µg/m3	2,560	Pza6

Tableau 12 : Concentrations retenues pour les calculs de risques de la zone 2

Paramètres	Milieu	Unités	Concentration maximale	Echantillon concerné
COHV				
1,1,1-Trichloroéthane	Gaz du sol	µg/m3	3,16	Pza3
Tetrachloroéthylène	Gaz du sol	µg/m3	21,00	Pza3
BTEX				
Benzène	Gaz du sol	µg/m3	92,63	Pza OGI4
Toluène	Gaz du sol	µg/m3	4721,05	Pza OGI4
Ethylbenzène	Gaz du sol	µg/m3	440,53	Pza OGI4
m+p-Xylène	Gaz du sol	µg/m3	1005,26	Pza OGI4
o-Xylène	Gaz du sol	µg/m3	316,32	Pza OGI4
Xylènes	Gaz du sol	µg/m3	1321,58	Pza OGI4
TPH				
Aliphatiques >MeC5 - C6	Gaz du sol	µg/m3	295,79	Pza OGI4
Aliphatiques >C6 - C8	Gaz du sol	µg/m3	1773,68	Pza OGI4
Aliphatiques >C8 - C10	Gaz du sol	µg/m3	3198,00	Pza3
Aliphatiques >C10 - C12	Gaz du sol	µg/m3	1110,00	Pza3
Aromatiques >C8 - C10	Gaz du sol	µg/m3	3657,89	Pza OGI4
Aromatiques >C10 - C12	Gaz du sol	µg/m3	334,74	Pza OGI4
HAP				
Naphtalène	Gaz du sol	µg/m3	5,354	Pza OGI4

Tableau 13 : Concentrations retenues pour les calculs de risques de la zone 3

Paramètres	Milieu	Unités	Concentration maximale	Echantillon concerné
BTEX				
Toluène	Gaz du sol	µg/m3	42,84	Pza OGI5
Ethylbenzène	Gaz du sol	µg/m3	6,43	Pza OGI5
m+p-Xylène	Gaz du sol	µg/m3	21	Pza4
o-Xylène	Gaz du sol	µg/m3	5,35	Pza OGI5
Xylènes	Gaz du sol	µg/m3	26,35	Pza OGI5+Pza4
TPH				
Aliphatiques >C10 - C12	Gaz du sol	µg/m3	155,81	Pza OGI5
HAP				

Naphtalène	Gaz du sol	µg/m3	7	Pza4
------------	------------	-------	---	------

Tableau 14 : Concentrations retenues pour les calculs de risques de la zone 4

Paramètres	Milieu	Unités	Concentration maximale	Echantillon concerné
COHV				
Trichloroéthylène	Gaz du sol	µg/m3	2,70	Pza OGI3
BTEX				
Benzène	Gaz du sol	µg/m3	2,70	Pza OGI3
Toluène	Gaz du sol	µg/m3	34,07	Pza OGI3
Ethylbenzène	Gaz du sol	µg/m3	7,57	Pza OGI3
m+p-Xylène	Gaz du sol	µg/m3	15,14	Pza OGI3
o-Xylène	Gaz du sol	µg/m3	4,87	Pza OGI3
Xylènes	Gaz du sol	µg/m3	20,01	Pza OGI3
TPH				
Aliphatiques >C10 - C12	Gaz du sol	µg/m3	147,09	Pza OGI3
HAP				
Naphtalène	Gaz du sol	µg/m3	5,408	Pza OGI3

Tableau 15 : Concentrations retenues pour les calculs de risques de la ZPC de la zone 5

Paramètres	Milieu	Unités	Concentration maximale	Echantillon concerné
COHV				
trans 1,2-Dichloroéthène	Gaz du sol	µg/m3	6,80	PZa2
cis 1,2-Dichloroéthène	Gaz du sol	µg/m3	41,00	PZa2
Chloroforme (Trichlorométhane)	Gaz du sol	µg/m3	4,63	PZa2
1,1-Dichloroéthane	Gaz du sol	µg/m3	11,35	PZa2
1,1,1-Trichloroéthane	Gaz du sol	µg/m3	321,00	PZa2
Trichloroéthylène	Gaz du sol	µg/m3	198,00	PZa2
Tetrachloroéthylène	Gaz du sol	µg/m3	1140,00	PZa2
BTEX				
Toluène	Gaz du sol	µg/m3	468,50	PZa2
Ethylbenzène	Gaz du sol	µg/m3	96,00	PZa2
m+p-Xylène	Gaz du sol	µg/m3	366,50	PZa2
o-Xylène	Gaz du sol	µg/m3	114,50	PZa2
Xylènes	Gaz du sol	µg/m3	481,00	PZa2
TPH				
Aliphatiques >C6 - C8	Gaz du sol	µg/m3	1261,00	PZa2
Aliphatiques >C8 - C10	Gaz du sol	µg/m3	10197,00	PZa2
Aliphatiques >C10 - C12	Gaz du sol	µg/m3	1724,00	PZa2
Aromatiques >C8 - C10	Gaz du sol	µg/m3	1070,00	PZa2
Aromatiques >C10 - C12	Gaz du sol	µg/m3	171,00	PZa2
HAP				
Naphtalène	Gaz du sol	µg/m3	7,00	PZa2

Tableau 16 : Concentrations retenues pour les calculs de risques de la zone 5

Paramètres	Milieu	Unités	Concentration maximale	Echantillon concerné
COHV				
Chloroforme (Trichlorométhane)	Gaz du sol	µg/m3	9,55	Pza OGI2
Tétrachlorométhane	Gaz du sol	µg/m3	47,50	Pza OGI2
1,1,1-Trichloroéthane	Gaz du sol	µg/m3	56,00	Pza OGI2
Trichloroéthylène	Gaz du sol	µg/m3	48,00	Pza OGI2
Tetrachloroéthylène	Gaz du sol	µg/m3	34,00	Pza OGI2
BTEX				
Benzène	Gaz du sol	µg/m3	30,50	Pza OGI2
Toluène	Gaz du sol	µg/m3	1515,00	Pza OGI2
Ethylbenzène	Gaz du sol	µg/m3	125,50	Pza OGI2
m+p-Xylène	Gaz du sol	µg/m3	397,80	PZa1
o-Xylène	Gaz du sol	µg/m3	121,00	Pza OGI2
Xylènes	Gaz du sol	µg/m3	518,80	Pza1+Pza OGI2
TPH				

Aliphatiques >MeC5 - C6	Gaz du sol	µg/m3	189,50	Pza OGI2
Aliphatiques >C6 - C8	Gaz du sol	µg/m3	930,00	Pza OGI2
Aliphatiques >C8 - C10	Gaz du sol	µg/m3	950,55	PZa1
Aliphatiques >C10 - C12	Gaz du sol	µg/m3	653,85	PZa1
Aromatiques >C8 - C10	Gaz du sol	µg/m3	1125,00	Pza OGI2
Aromatiques >C10 - C12	Gaz du sol	µg/m3	154,40	PZa1
HAP				
Naphtalène	Gaz du sol	µg/m3	5,495	PZa1

5.3. Scénario et budget espace-temps

Selon le programme de construction fournis les usages possibles sont les suivants :

- Des bureaux et des ERP possibles, y compris enseignement et/ou accueil de jeunes enfants ;
- Le bâtiment de l'horloge existant est prévu d'être réhabilité, pour des activités culturelles pour enfants.

Compte tenu des usages futurs du site décrits par RNA ce jour, dans le cadre de l'évaluation sanitaire, les scénarios suivants seront retenus :

- **Scénario 1 : bureau sans sous-sol**
 - **« Adultes travailleurs »** : adultes travailleurs sur le site avec une durée d'exposition de 43 ans, 8h par jour et 220 jours par an.
- **Scénario 2 : logement sans sous-sol**
 - **« Adultes »** : adultes résident sur le site avec une durée d'exposition de 30 ans, 20h par jour et 365 jours par an ;
 - **« Enfant »** : enfants résident sur le site avec une durée d'exposition de 6 ans, 20h par jour et 365 jours par an.
- **Scénario 3 : Crèche sans sous-sol**
 - **« Adultes »** : adultes travailleurs sur le site avec une durée d'exposition de 43 ans, 8h par jour et 220 jours par an ;
 - **« Enfant »** : enfants fréquent la crèche avec une durée d'exposition de 3 ans, 10h par jour et 330 jours par an.

En première approche, nous allons prendre les scénarios les plus pénalisants.

A noter que selon l'application de la circulaire sur les établissements sensibles du 8 février 2007, les ERP doivent être implantés hors zone de pollution concentrée.

Les paramètres d'exposition considérés pour les différents scénarios sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 17 : Budget espace-temps des cibles considérées pour le scénario 1

	Fréquence (Nombre d'heures par jour)	Fréquence (Nombre de jours sur une année)	T (ans)
Adultes - Travailleurs	8	220	43

Tableau 18 : Budget espace-temps des cibles considérées pour le scénario 2

	Fréquence (Nombre d'heures par jour)	Fréquence (Nombre de jours sur une année)	T (ans)
Adultes - Travailleurs	8	220	43
Enfant	20	365	6

Tableau 19 : Budget espace-temps des cibles considérées pour le scénario 3

	Fréquence (Nombre d'heures par jour)	Fréquence (Nombre de jours sur une année)	T (ans)
Adultes	8	220	43
Enfant	10	330	3

Nous considérerons, dans la présente étude, des **expositions chroniques**, conformément à la méthodologie en vigueur.

En effet, l'annexe 2 de la Politique nationale des sites et sols pollués stipule que « La problématique des sites et sols pollués relève pour la population générale, du domaine des risques chroniques et non des risques accidentels dont les effets potentiels sont, par contre, très rapidement observables ».

Les périodes de temps sur lesquelles l'exposition est moyennée (T_m) sont prises égales à :

- 70 ans (correspondant à la durée de vie considérée par l'ensemble des organismes nationaux et internationaux pour l'établissement de valeurs toxicologiques et l'évaluation des risques) pour les effets cancérogènes quelle que soit la cible considérée ;
- T (correspondant à durée d'exposition) pour les effets toxiques non cancérogènes quelle que soit la cible considérée.

5.4. Caractérisation des relations dose-réponse

La sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence est réalisée en appliquant la réglementation en vigueur. En effet, la circulaire ministérielle du 8 février 2007 stipule que « les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) seront choisies conformément à la note de la Direction Générale de la Santé (DGS). De plus, la note de la Direction Générale de la Prévention des Risques, référencée « DGS/EA1/DGPR/2014/307 », en date du 31 octobre 2014 stipule en effet que les VTR doivent être recherchées dans l'une des bases de données suivantes selon cet ordre de priorité :

1. ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire, de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail),
2. Expertise collective nationale,
3. US EPA (United States Environmental Protection Agency), ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), OMS / IPCS (Organisation Mondiale de la Santé / International Program on Chemical Safety),
4. Health Canada, RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu : Institut national de la santé publique et de l'environnement des Pays-Bas), OEHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment : antenne californienne de l'US EPA).

Si, pour un même organisme, plusieurs valeurs sont disponibles, on regardera, dans l'ordre de préférence suivant : la date de mise à jour, la transparence de la démarche de construction, l'existence de données relatives aux hommes, la valeur la plus conservatrice.

Les VTR s'appliquent à des expositions régulières, chroniques à sub-chroniques et ne peuvent pas être extrapolées pour des expositions plus brèves ou aiguës.

Les VTR prises pour les calculs se trouvent dans le tableau ci-dessous.

Document de travail

Tableau 20 : Valeurs toxicologiques de référence retenues

			Valeurs toxicologiques de référence							
	Substances	N° CAS	ERU Inhalation		Effet critique retenu	Effets toxiques (A seuil)		Effet critique retenu	SF	
			(mg/m ³) ⁻¹	Source		VTR Inhalation				
						mg/m ³	Source			
TPH	Aliph C5 - C6					7,0E-1	USEPA, 2005	Système nerveux	300	
	Aliph C6 - C8					7,0E-1	USEPA, 2005	Système nerveux	300	
	Aliph C8 - C10					1,0E+0	TPHCWG, 1997	Système hépatique	100	
	Aliph C10 - C12					1,0E+0	TPHCWG, 1997			
	Aro C8 - C10					2,0E-1	TPHCWG, 1997	Poids	100	
	Aro C10 - C12					2,0E-1	TPHCWG, 1997	Poids	100	
BTEX	Benzène	71-43-2	2,6E-02	ANSES, 2014	Leucémies	1,0E-2	ANSES, 2008	Diminution des lymphocytes B		
	Toluène	108-88-3				1,9E+01	ANSES, 2017	Effet neurologique (trouble de la vision)	5	
	Ethylbenzène	100-41-4	2,5E-03	OEHHA, 2007	Renal	1,5E+00	ANSES, 2016	Effet ototoxique (pertes de cellules ciliées externes dans l'organe de Corti)	75	
	Xylènes	1330-20-7				2,0E-01	ATSDR, 2007	Effets subjectifs neurologiques et respiratoires (chez l'homme)	300	
COHV	Cis-1,2-dichloroéthène					6,0E-02	RIVM, 2009			
	Trans-1,2-dichloroéthène	540-59-0				6,0E-02	RIVM, 2009			
	Tétrachloroéthylène	127-18-4	2,60E-04	ANSES, 2018	Adénomes et carcinomes hépatocellulaires	4,0E-01	ANSES, 2018	Diminution de la vision des couleurs	300	
	1,1-Dichloroéthane	75-34-3	1,60E-03	OEHHA, 1999						
	1,1,1-Trichloroéthane	71-55-6				1,0E+00	OEHHA, 2018		300	
	Chloroforme	67-66-3	2,30E-02	US EPA, 2001		6,3E-02	ANSES, 2009	Prolifération cellulaire dans les tubes rénaux proximaux	100	
	Tétrachlorure de carbone	56-23-5	6,00E-03	US EPA, 2010	Phéochromocytome	1,1E-01	ANSES, 2017	Adénomes et carcinomes hépatocellulaires	250	
	Trichloroéthylène	79-01-6	1,00E-03	ANSES, 2018	Carcinome	3,2E+00	ANSES, 2018	Effet rénal observé chez les rats mâles	75	
HAP	Naphtalène	91-20-3	5,60E-03	ANSES, 2013	Adénomes de l'épithélium respiratoire	3,7E-02	ANSES, 2013	Lésions de l'épithélium respiratoire et olfactif	250	
Métaux	Mercure	7439-97-6				3,0E-05	OEHHA, 2008	Effets neurologiques: troubles de la mémoire, manques d'autonomie ainsi que tremblements de la main	300	

5.5. Estimation des expositions

Hypothèses retenues – paramètres liés au sol et aux aménagements

Dans le cadre de la modélisation des transferts de substances volatiles issues des gaz du sol par les équations mathématiques de **JOHNSON & ETTINGER**, le choix des paramètres est un élément essentiel au calage définitif du modèle, étape importante avant la réalisation de toute évaluation des risques sanitaires.

Les tableaux suivants présentent les principaux paramètres utilisés dans le modèle ainsi que les valeurs retenues pour chacun d'entre eux.

Dans la mesure du possible, les données spécifiques au site ont été considérées ou évaluées. Lorsque les paramètres étaient inconnus, les valeurs conseillées ou proposées par défaut par l'US-EPA, correspondant généralement à des configurations sécuritaires, ont été utilisées.

Les résultats granulométriques au droit des piézaires posés par OGI, indique un sol limoneux fin.

Par conséquent, le milieu « Sols » a été caractérisé comme de type « Silt ». Les caractéristiques intrinsèques du sol sont relatives aux données bibliographiques disponibles pour cette typologie de sol.

Tableau 21 : Paramètres liés aux propriétés physico-chimiques du sol

Paramètre	Extérieur	Source
Caractéristiques des sols (zone non saturée)		
Teneur en eau ws	0,167	Valeur bibliographique pour les limoneux (USEPA)
Porosité totale	0,489	Valeur bibliographique pour les limoneux (USEPA)
Distance de la source sol au dallage (m)	0.01	Valeur du site (les gaz du sol pouvant s'accumuler directement sous le dallage)
Perméabilité à l'air du sol « kv » sous dallage (m ²)	5.60.10 ⁻¹³	Valeur bibliographique pour les limoneux (USEPA)
Perméabilité air relative	0,83	Valeur bibliographique pour les limoneux (USEPA)

Tableau 22 : Paramètres retenus pour la modélisation du scénario 1

Paramètre	Bureau	Source
Caractéristiques du bâtiment		
Taux de renouvellement de l'air ambiant ER (s-1)	2.78E-4	Le Code du travail fixe un taux de ventilation pour un bureau à 25m ³ /h/occupant soit 2.78E-4 pour 10m ² .
Surface du bureau (m ²)	10	Hypothèse classique de bureau
Longueur(m)	4	Hypothèse classique de bureau
Largeur(m)	2,5	Hypothèse classique de bureau
Hauteur des pièces (m)	2.5	Hypothèse standard de hauteur sous plafond
Epaisseur des fondations (m)	0.15	Epaisseur de dalle (Modul'ERS)
Rayon fissure (m)	7,69E-04	Calcul automatique

Tableau 23 : Paramètres retenus pour la modélisation pour le scénario 2

Paramètre	Logement	Source
Caractéristiques du bâtiment		
Taux de renouvellement de l'air ambiant ER (s-1)	1,39E-04	Le guide INRS, fixe un taux de ventilation pour un logement de 9 m ² de 1.39E-4 (scénario pénalisant).*
Surface du chambre(m ²)	9	Hypothèse classique d'une chambre
Longueur (m)	3	Hypothèse classique d'une chambre
Largeur (m)	3	Hypothèse classique d'une chambre
Hauteur des pièces (m)	2.5	Hypothèse standard de hauteur sous plafond
Epaisseur des fondations (m)	0.15	Epaisseur de dalle (Modul'ERS)
Rayon fissure (m)	7,50E-04	Calcul automatique

*Nous avons choisi le scénario le plus pénalisant (1.39E-4 s⁻¹ pour un logement de 9m²) car on ne maîtrise pas à terme le taux de renouvellement dans le bâtiment.

Tableau 24: Paramètres retenus pour la modélisation pour le scénario 3

Paramètre	Crèche	Source
Caractéristiques du bâtiment		
Taux de renouvellement de l'air ambiant ER (s-1)	1,39E-04	Le guide INRS, fixe un taux de ventilation pour un logement de 10 m ² de 1.39E-4 (scénario pénalisant).*
Surface du chambre (m ²)	10	Hypothèse de la plus petite pièce
Longueur (m)	4	Hypothèse classique d'une chambre
Largeur(m)	2,5	Hypothèse classique d'une chambre
Hauteur des pièces (m)	2.5	Hypothèse standard de hauteur sous plafond
Epaisseur des fondations (m)	0.15	Epaisseur de dalle (Modul'ERS)
Rayon fissure (m)	7,69E-04	Calcul automatique

*Nous avons choisi le scénario le plus pénalisant (1.39E-4 s⁻¹ pour un logement de 10m²) car on ne maîtrise pas à terme le taux de renouvellement dans le bâtiment.

Concernant la zone 5 :

- En l'absence d'information sur l'emprise du vide sanitaire et sur la dalle existante, nous avons pris l'hypothèse d'une dalle d'épaisseur 15 cm (hypothèse MODUL'ERS) et de l'absence de vide sanitaire pour les calculs de risque ;
- N'ayant pas d'information sur la hauteur sous plafond prévu dans le cadre des aménagements, nous avons pris l'hypothèse la plus pénalisante (2.5m de hauteur).

Pour le reste des zones (1 à 4), nous n'avons pas à ce jour les plans du futur projet. Par conséquent, nous sommes partis sur des hypothèses pénalisantes.

5.6. Quantification des risques sanitaires

5.6.1. Zone 1

Les concentrations retenues sont celles au droit de PZa6 (teneurs les plus élevées) comme indiqué au paragraphe 5.2.

Les risques sanitaires QD et ERI sont reportés dans les tableaux suivants selon le scénario 1 et 2 :

Tableau 25 : Risques sanitaires calculés pour le scénario 1

Substances	Adultes travailleurs	
	QD	ERI
BTEX		
Benzène	1,11E-05	1,77E-09
Toluène	1,60E-07	
Ethylbenzène	1,41E-06	3,25E-09
Xylènes	1,71E-05	
TPH		
Aliphatiques >C6 - C8	6,22E-06	
Aliphatiques >C8 - C10	2,13E-06	
Aromatiques >C8 - C10	3,86E-05	
Naphtalène	2,72E-06	3,46E-10
Somme	7,94E-05	5,37E-09

Tableau 26 : Risques sanitaires calculés pour le scénario 2

Substances	Enfants	Adultes	Total
	QD	QD	ERI
BTEX			
Benzène	9,38E-05	9,38E-05	1,05E-08
Toluène	1,35E-06	1,35E-06	
Ethylbenzène	1,19E-05	1,19E-05	1,92E-08
Xylènes	1,45E-04	1,45E-04	
TPH			
Aliphatiques >C6 - C8	5,27E-05	5,27E-05	
Aliphatiques >C8 - C10	1,80E-05	1,80E-05	
Aromatiques >C8 - C10	3,27E-04	3,27E-04	
Naphtalène	2,30E-05	2,30E-05	2,04E-09
Somme	6,73E-04	6,73E-04	3,17E-08

Conclusion / Incertitudes :

L'Excès de risque est inférieur à l'excès de risque considéré comme acceptable ($ERI=10^{-5}$) pour les deux scénarios. Le risque calculé est porté par la présence du Benzène et Ethylbenzène identifiés dans les gaz du sol.

Quant au le quotient de Danger, il est inférieur au Quotient de Danger considéré comme acceptable ($QD=1$) pour les deux scénarios.

En pratiquant l'additivité des risques, il apparaît que les quotients de danger totaux sont encore inférieurs au seuil d'acceptabilité de 1 quel que soit la voie d'exposition. Le niveau de risque est donc inférieur au seuil défini par le Ministère de l'Environnement et usuellement retenus au niveau mondial par les organismes en charge de la protection de la santé (1 pour les effets à seuil).

Selon les sources de contamination, les modes et scénario d'exposition considérés, les hypothèses retenues sur les VTR, les effets cancérogènes ou non et les concentrations pépites, les résultats indiquent :

- **Des quotients de danger acceptables** par inhalation pour une cible adulte travailleur ainsi que des enfants et adultes résidents ;
- **Des excès de risques individuel acceptables** par inhalation pour une cible adulte travailleur ainsi que des enfants et adultes résidents.

Incertitudes liées aux résultats :

- La campagne de gaz du sol a été réalisée en temps humide et froid donc peu favorable aux dégazages.

Recommandation :

- Conformément à la méthodologie nationale en vigueur, une seconde campagne de prélèvement de gaz est recommandée par temps plus favorable (**A minima**).

5.6.2. Zone 2

Les concentrations retenues sont celles au droit de PZa3 et Pza OGI4 (teneurs les plus élevées) comme indiqué au paragraphe &5. 2..

Les risques sanitaires QD et ERI sont reportés dans les tableaux suivants selon le scénario 1 et 2 :

Tableau 27 : Risques sanitaires calculés pour le scénario 1

Substances	Adultes travailleurs	
	QD	ERI
COHV		
1,1,1-Trichloroéthane	1,35E-07	
Tetrachloroéthylène	2,07E-06	1,32E-10
BTEX		
Benzène	3,66E-04	5,85E-08
Toluène	9,79E-06	
Ethylbenzène	1,16E-05	2,66E-08
Xylènes	2,59E-04	
TPH		
Aliphatiques >MeC5 - C6	1,67E-05	
Aliphatiques >C6 - C8	1,00E-04	
Aliphatiques >C8 - C10	1,27E-04	
Aliphatiques >C10 - C12	4,39E-05	
Aromatiques >C8 - C10	7,24E-04	
Aromatiques >C10 - C12	6,63E-05	
Naphtalène	5,68E-06	7,23E-10
Somme	1,73E-03	8,60E-08

Tableau 28 : Risques sanitaires calculés pour le scénario 2

	Enfants	Adultes	Total
Substances	QD	QD	ERI
COHV			
1,1,1-Trichloroéthane	1,14E-06	1,14E-06	
Tetrachloroéthylène	1,75E-05	1,75E-05	7,80E-10
BTEX			
Benzène	3,10E-03	3,10E-03	3,47E-07
Toluène	8,30E-05	8,30E-05	
Ethylbenzène	9,79E-05	9,79E-05	1,57E-07
Xylènes	2,19E-03	2,19E-03	
TPH			
Aliphatiques >MeC5 - C6	1,42E-04	1,42E-04	
Aliphatiques >C6 - C8	8,48E-04	8,48E-04	
Aliphatiques >C8 - C10	1,07E-03	1,07E-03	
Aliphatiques >C10 - C12	3,72E-04	3,72E-04	
Aromatiques >C8 - C10	6,14E-03	6,14E-03	
Aromatiques >C10 - C12	5,62E-04	5,62E-04	
Naphtalène	4,81E-05	4,81E-05	4,27E-09
Somme	1,47E-02	1,47E-02	5,09E-07

Conclusion / Incertitudes :

L'Excès de risque est inférieur à l'excès de risque considéré comme acceptable ($ERI=10^{-5}$) pour les deux scénarios. Le risque calculé est porté par la présence du Benzène et Ethylbenzène identifiés dans les gaz du sol.

Quant au le quotient de Danger, il est inférieur au Quotient de Danger considéré comme acceptable ($QD=1$) pour les deux scénarios.

En pratiquant l'additivité des risques, il apparaît que les quotients de danger totaux sont encore inférieurs au seuil d'acceptabilité de 1 quel que soit la voie d'exposition. Le niveau de risque est donc inférieur au seuil défini par le Ministère de l'Environnement et usuellement retenus au niveau mondial par les organismes en charge de la protection de la santé (1 pour les effets à seuil).

Selon les sources de contamination, les modes et scénario d'exposition considérés, les hypothèses retenues sur les VTR, les effets cancérigènes ou non et les concentrations pépites, les résultats indiquent :

- **Des quotients de danger acceptables** par inhalation pour une cible adulte travailleur ainsi que des enfants et adultes résidents ;
- **Des excès de risques individuel acceptables** par inhalation pour une cible adulte travailleur ainsi que des enfants et adultes résidents.

Incertitudes liées aux résultats :

- La campagne de gaz du sol a été réalisée en temps humide et froid donc peu favorable aux dégazages.

Recommandation :

- Conformément à la méthodologie nationale en vigueur, une seconde campagne de prélèvement de gaz est recommandée par temps plus favorable (**A minima**).

5.6.3. Zone 3

Les concentrations retenues sont celles au droit de PZa OGI5 et PZa4 (teneurs les plus élevées) comme indiqué au paragraphe 5.2.

Les risques sanitaires QD et ERI sont reportés dans les tableaux suivants selon le scénario 1 et 2 :

Tableau 29 : Risques sanitaires calculés pour le scénario 1

Substances	Adultes travailleurs	
	QD	ERI
BTEX		
Benzène	1,04E-05	1,66E-09
Toluène	8,88E-08	
Ethylbenzène	1,68E-07	3,88E-10
Xylènes	5,17E-06	
TPH		
Aliphatiques >C10 - C12	6,18E-06	
HAP		
Naphtalène	2,21E-05	7,23E-10
Somme	1,90E-05	2,77E-09

Tableau 30 : Risques sanitaires calculés pour le scénario 2

Substances	Enfants	Adultes	Total
	QD	QD	ERI
BTEX			
Benzène	9,89E-05	9,89E-05	1,00E-08
Toluène	7,52E-07	7,52E-07	
Ethylbenzène	1,43E-06	1,43E-06	2,29E-09
Xylènes	4,38E-05	4,38E-05	
TPH			
Aliphatiques >C10 - C12	5,23E-05	5,23E-05	
HAP			
Naphtalène	4,81E-05	4,81E-05	4,27E-09
Somme	1,05E-04	1,05E-04	1,66E-08

Conclusion / Incertitudes :

L'Excès de risque est inférieur à l'excès de risque considéré comme acceptable ($ERI=10^{-5}$) pour les deux scénarios.

Quant au le quotient de Danger, il est inférieur au Quotient de Danger considéré comme acceptable ($QD=1$) pour les deux scénarios.

En pratiquant l'additivité des risques, il apparaît que les quotients de danger totaux sont encore inférieurs au seuil d'acceptabilité de 1 quel que soit la voie d'exposition. Le niveau de risque est donc inférieur au seuil défini par le Ministère de l'Environnement et usuellement retenus au niveau mondial par les organismes en charge de la protection de la santé (1 pour les effets à seuil).

Selon les sources de contamination, les modes et scénario d'exposition considérés, les hypothèses retenues sur les VTR, les effets cancérigènes ou non et les concentrations pépites, les résultats indiquent :

- **Des quotients de danger acceptables** par inhalation pour une cible adulte travailleur ainsi que des enfants et adultes résidents ;
- **Des excès de risques individuel acceptables** par inhalation pour une cible adulte travailleur ainsi que des enfants et adultes résidents.

Incertitudes liées aux résultats :

- La campagne de gaz du sol a été réalisée en temps humide et froid donc peu favorable aux dégazages.

Recommandation :

- Conformément à la méthodologie nationale en vigueur, une seconde campagne de prélèvement de gaz est recommandée par temps plus favorable (**A minima**).

5.6.1. Zone 4

Les concentrations retenues sont celles au droit de PZa OGI3 (teneurs les plus élevées) comme indiqué au paragraphe &5. 2.

Les risques sanitaires QD et ERI sont reportés dans les tableaux suivants selon le scénario 1 et 2 :

Tableau 31 : Risques sanitaires calculés pour le scénario 1

Substances	QD	ERI
COHV		
Trichloroéthylène	3,33E-08	6,55E-11
BTEX		
Benzène	1,07E-05	1,71E-09
Toluène	7,08E-08	
Ethylbenzène	8,94E-07	2,06E-09
Xylènes	3,92E-06	
TPH		
Aliphatiques >C10 - C12	5,82E-06	
HAP		
Naphtalène	5,74E-06	7,31E-10
Somme	2,72E-05	4,57E-09

Tableau 32 : Risques sanitaires calculés pour le scénario 2

	Enfants	Adultes	Total
Substances	QD	QD	ERI
COHV			
Trichloroéthylène	2,82E-07	2,82E-07	3,87E-10
BTEX			
Benzène	9,05E-05	9,05E-05	1,01E-08
Toluène	5,99E-07	5,99E-07	
Ethylbenzène	1,28E-06	1,28E-06	2,05E-09
Xylènes	3,32E-05	3,32E-05	
TPH			
Aliphatiques >C10 - C12	5,84E-05	5,84E-05	
HAP			
Naphtalène	4,86E-05	4,86E-05	4,32E-09
Somme	2,33E-04	2,33E-04	1,65E-08

Conclusion / Incertitudes :

L'Excès de risque est inférieur à l'excès de risque considéré comme acceptable ($ERI=10^{-5}$) pour les deux scénarios. Le risque calculé est porté par la présence du Benzène et Ethylbenzène identifiés dans les gaz du sol.

Quant au le quotient de Danger, il est inférieur au Quotient de Danger considéré comme acceptable (QD=1) pour les deux scénarios.

En pratiquant l'additivité des risques, il apparaît que les quotients de danger totaux sont encore inférieurs au seuil d'acceptabilité de 1 quel que soit la voie d'exposition. Le niveau de risque est donc inférieur au seuil défini par le Ministère de l'Environnement et usuellement retenus au niveau mondial par les organismes en charge de la protection de la santé (1 pour les effets à seuil).

Selon les sources de contamination, les modes et scénario d'exposition considérés, les hypothèses retenues sur les VTR, les effets cancérigènes ou non et les concentrations pépites, les résultats indiquent :

- **Des quotients de danger acceptables** par inhalation pour une cible adulte travailleur ainsi que des enfants et adultes résidents ;
- **Des excès de risques individuel acceptables** par inhalation pour une cible adulte travailleur ainsi que des enfants et adultes résidents.

Incertitudes liées aux résultats :

- La campagne de gaz du sol a été réalisée en temps humide et froid donc peu favorable aux dégazages ;
- Présence d'eau lors de la campagne de prélèvement de gaz du sol au droit de Pza OGI3 (le 4 janvier 2021), les résultats sont donnés à titre indicatif et ne sont pas représentatifs du dégazage réel.

Recommandations

- Réaliser des investigations sur les gaz du sol (pose de nouveaux piézaires plus courts ou prélever dans des conditions plus favorables) ;
- Conformément à la méthodologie nationale en vigueur, une seconde campagne de prélèvement de gaz est recommandée par temps plus favorable **(A minima)**.

5.6.2. Zone 5 au droit de la ZPC

Les concentrations retenues sont celles au droit de PZa2 (teneurs les plus élevées) comme indiqué au paragraphe 5.2.

Les risques sanitaires QD et ERI sont reportés dans les tableaux suivants selon le scénario 1 et 2 :

Tableau 33 : Risques sanitaires calculés pour le scénario 1

Substances	Adultes travailleurs	
	QD	ERI
COHV		
trans 1,2-Dichloroéthène	4,45E-06	
cis 1,2-Dichloroéthène	2,68E-05	
Chloroforme (Trichlorométhane)	2,91E-06	2,59E-09
1,1-Dichloroéthane		4,74E-10
1,1,1-Trichloroéthane	1,38E-05	
Trichloroéthylène	2,44E-06	4,80E-09
Tetrachloroéthylène	1,12E-04	7,16E-09
BTEX		
Toluène	9,73E-07	
Ethylbenzène	2,52E-06	5,79E-09
Xylènes	9,43E-05	
TPH		
Aliphatiques >C6 - C8	7,13E-05	
Aliphatiques >C8 - C10	4,04E-04	
Aliphatiques >C10 - C12	6,82E-05	
Aromatiques >C8 - C10	2,12E-04	
Aromatiques >C10 - C12	3,38E-05	
HAP		
Naphtalène	5,31E-06	6,76E-10
Somme	1,05E-03	1,89E-08

Tableau 34 : Risques sanitaires calculés pour le scénario 2

	Enfants	Adultes	Total
Substances	QD	QD	ERI
COHV			
trans 1,2-Dichloroéthène	3,77E-05	3,77E-05	
cis 1,2-Dichloroéthène	2,27E-04	2,27E-04	
Chloroforme (Trichlorométhane)	2,47E-05	2,47E-05	1,53E-08
1,1-Dichloroéthane			2,79E-09
1,1,1-Trichloroéthane	1,16E-04	1,16E-04	
Trichloroéthylène	2,07E-05	2,07E-05	2,84E-08
Tetrachloroéthylène	9,50E-04	9,50E-04	4,23E-08
BTEX			
Toluène	8,24E-06	8,24E-06	
Ethylbenzène	8,15E-05	8,15E-05	1,31E-07
Xylènes	7,99E-04	7,99E-04	
TPH			
Aliphatiques >C6 - C8	6,04E-04	6,04E-04	
Aliphatiques >C8 - C10	3,42E-03	3,42E-03	
Aliphatiques >C10 - C12	5,78E-04	5,78E-04	
Aromatiques >C8 - C10	1,79E-03	1,79E-03	
Aromatiques >C10 - C12	2,87E-04	2,87E-04	
HAP			
Naphtalène	4,50E-05	4,50E-05	3,99E-09
Somme	8,99E-03	8,99E-03	1,77E-07

Conclusion :

L'Excès de risque est inférieur à l'excès de risque considéré comme acceptable ($ERI=10^{-5}$) pour les deux scénarios. Le risque calculé est porté par la présence de l'Ethylbenzène identifiés dans les gaz du sol.

Quant au le quotient de Danger, il est inférieur au Quotient de Danger considéré comme acceptable ($QD=1$) pour les deux scénarios.

En pratiquant l'additivité des risques, il apparaît que les quotients de danger totaux sont encore inférieurs au seuil d'acceptabilité de 1 quel que soit la voie d'exposition. Le niveau de risque est donc inférieur au seuil défini par le Ministère de l'Environnement et usuellement retenus au niveau mondial par les organismes en charge de la protection de la santé (1 pour les effets à seuil).

Selon les sources de contamination, les modes et scénario d'exposition considérés, les hypothèses retenues sur les VTR, les effets cancérigènes ou non et les concentrations pépites, les résultats indiquent :

- **Des quotients de danger acceptables** par inhalation pour une cible adulte travailleur ainsi que des enfants et adultes résidents ;
- **Des excès de risques individuel acceptables** par inhalation pour une cible adulte travailleur ainsi que des enfants et adultes résidents.

Incertitudes liées aux résultats :

- La campagne de gaz du sol a été réalisée en temps humide et froid donc peu favorable aux dégazages ;
- Au vu de l'hétérogénéité des milieux et la superficie du bâtiment de l'horloge (1 500m² environ), le maillage des sondages ne permet pas de s'affranchir des incertitudes liées à la présence de poches de pollution plus significative ;
- Présence de vide sanitaire et réseaux, créant des chemins préférentiels pour la circulation des gaz du sol (teneur de 80 ppm au droit du vide sanitaire identifié sur la OG21) ;

Recommandations

- Réaliser un diagnostic du sous-sol par un géophysicien afin de localiser les structures enterrées (réseaux, vide sanitaire ...) ;
- Réaliser des investigations sur sols (sondages complémentaires de délimitation des zones de pollution concentrées) et sur les gaz du sol (pose de nouveaux piézais et /ou ouvrages pour des prélèvements sous-dalle), permettant de compléter le réseau existant ;
- Réaliser un suivi des gaz du sol à minima 2 de fois par an, en engageant une réflexion sur la mesure du dégazage en mercure (augmentation des temps de prélèvement pour abaisser suffisamment la limite de quantification).

5.6.3. Zone 5

Les concentrations retenues sont celles au droit de PZa1 et PZa OGI2 (teneurs les plus élevées) comme indiqué au paragraphe &5. 2.

Les risques sanitaires QD et ERI sont reportés dans les tableaux suivants selon le scénario 1 et 2 :

Tableau 35 : Risques sanitaires calculés pour le scénario 1

Substances	Adultes travailleurs	
	QD	ERI
COHV		
Chloroforme (Trichlorométhane)	6,01E-06	5,35E-09
Tétrachlorométhane	1,70E-05	6,89E-09
1,1,1-Trichloroéthane	2,40E-06	
Trichloroéthylène	5,92E-07	1,16E-09
Tetrachloroéthylène	3,34E-06	2,14E-10
BTEX		
Benzène	1,21E-04	1,93E-08
Toluène	3,15E-06	
Ethylbenzène	3,30E-06	7,61E-09
Xylènes	1,02E-04	
TPH		
Aliphatiques >MeC5 - C6	1,07E-05	
Aliphatiques >C6 - C8	5,26E-05	
Aliphatiques >C8 - C10	3,76E-05	
Aliphatiques >C10 - C12	2,59E-05	
Aromatiques >C8 - C10	2,24E-04	
Aromatiques >C10 - C12	3,05E-05	
HAP		
Naphtalène	5,83E-06	7,42E-10
Somme	6,46E-04	2,90E-08

Tableau 36 : Risques sanitaires calculés pour le scénario 2

	Enfants	Adultes	Total
Substances	QD	QD	ERI
COHV			
Chloroforme (Trichlorométhane)	5,09E-05	5,09E-05	3,16E-08
Tétrachlorométhane	1,44E-04	1,44E-04	4,07E-08
1,1,1-Trichloroéthane	2,03E-05	2,03E-05	
Trichloroéthylène	5,01E-06	5,01E-06	6,88E-09
Tétrachloroéthylène	2,83E-05	2,83E-05	1,26E-09
BTEX			
Benzène	1,02E-03	1,02E-03	1,17E-07
Toluène	2,67E-05	2,67E-05	
Ethylbenzène	2,80E-05	2,80E-05	4,49E-08
Xylènes	8,62E-04	8,62E-04	
TPH			
Aliphatiques >MeC5 - C6	9,10E-05	9,10E-05	
Aliphatiques >C6 - C8	4,46E-04	4,46E-04	
Aliphatiques >C8 - C10	3,19E-04	3,19E-04	
Aliphatiques >C10 - C12	2,19E-04	2,19E-04	
Aromatiques >C8 - C10	1,89E-03	1,89E-03	
Aromatiques >C10 - C12	5,28E-04	5,28E-04	
HAP			
Naphtalène	4,94E-05	4,94E-05	4,38E-09
Somme	5,73E-03	5,73E-03	1,68E-07

Conclusion / Incertitudes :

L'Excès de risque est inférieur à l'excès de risque considéré comme acceptable ($ERI=10^{-5}$) pour les deux scénarios. Le risque calculé est porté par la présence de l'Ethylbenzène identifiés dans les gaz du sol.

Quant au le quotient de Danger, il est inférieur au Quotient de Danger considéré comme acceptable ($QD=1$) pour les deux scénarios.

En pratiquant l'additivité des risques, il apparaît que les quotients de danger totaux sont encore inférieurs au seuil d'acceptabilité de 1 quel que soit la voie d'exposition. Le niveau de risque est donc inférieur au seuil défini par le Ministère de l'Environnement et usuellement retenus au niveau mondial par les organismes en charge de la protection de la santé (1 pour les effets à seuil).

Selon les sources de contamination, les modes et scénario d'exposition considérés, les hypothèses retenues sur les VTR, les effets cancérigènes ou non et les concentrations pépites, les résultats indiquent :

- **Des quotients de danger acceptables** par inhalation pour une cible adulte travailleur ainsi que des enfants et adultes résidents ;
- **Des excès de risques individuel acceptables** par inhalation pour une cible adulte travailleur ainsi que des enfants et adultes résidents.

Incertitudes liées aux résultats :

- La campagne de gaz du sol a été réalisée en temps humide et froid donc peu favorable aux dégazages ;
- Au vu de l'hétérogénéité des milieux et la superficie du bâtiment de l'horloge (1 500m² environ), le maillage des sondages ne permet pas de s'affranchir des incertitudes liées à la présence de poches de pollution plus significative ;
- Présence de vide sanitaire et réseaux, créant des chemins préférentiels pour la circulation des gaz su sol (teneur de 80 ppm au droit du vide sanitaire identifié sur la OG21) ;

Recommandations

- Réaliser un diagnostic du sous-sol par un géophysicien afin de localiser les structures enterrées (réseaux, vide sanitaire ...) ;
- Réaliser des investigations sur sols (sondages complémentaires de délimitation des zones de pollution concentrées) et sur les gaz du sol (pose de nouveaux piézairs et /ou ouvrages pour des prélèvements sous-dalle), permettant de compléter le réseau existant ;
- Réaliser un suivi des gaz du sol à minima 2 de fois par an, en engageant une réflexion sur la mesure du dégazage en mercure (augmentation des temps de prélèvement pour abaisser suffisamment la limite de quantification).

6. Bilan coûts-avantages

Les sources de pollutions concentrées mises en évidence au stade des diagnostics et présentés aux paragraphes précédents doivent être prises en compte dans le cadre d'une gestion environnementale des pollutions.

6.1. Principe et incertitudes

Le bilan coûts-avantages (**BCA**), exercice qui constitue une partie centrale du plan de gestion (PG), vise à définir les meilleures stratégies possibles pour parvenir à l'objectif du plan de gestion, à savoir la maîtrise des sources, de leurs impacts sanitaires et environnementaux, pour les usages actuels et/ou futurs.

Le choix des technologies retenues doit être déduit de l'analyse critique des différentes technologies disponibles en fonction, d'une part, des avantages et inconvénients que présentent ces technologies et, d'autre part, des coûts de leur application.

Dans une **première étape**, il s'agit de dresser la liste de toutes les technologies disponibles pouvant être appliquées au média donné (**sol**) et pour un ou plusieurs polluants donnés. Cette liste est complétée par l'étude des avantages et inconvénients de chacune des technologies. A l'issue de cette étape, plusieurs technologies sont retenues, sur la base notamment de critères liés à la technique, au délai, au développement durable ou aux paramètres sociétaux.

La **seconde étape** correspond à l'étude technico-économique des solutions techniques qui ont été retenues au cours de la première étape. A l'issue de cette seconde étape est proposée, pour les différentes zones ou les différents scénarios retenus et pour chaque milieu étudié (sol dans le cas présent), la technologie jugée la meilleure dans le cadre du bilan coûts/avantages.

Les coûts estimés dans le présent bilan coûts/avantages, établi pour les mesures de gestion proposées, ont été calculés sur la base de coûts :

- Soit régulièrement observés sur des opérations similaires auxquelles **OGI** a participé ;
- Soit d'après la base de données SelectDépol (<http://www.selecdepol.fr>), développée par l'ADEME.

Néanmoins, il ne s'agit pas d'un devis et **OGI** ne pourra être tenu pour responsable en cas de différences avec les coûts réels. De façon usuelle, il est raisonnable de considérer une incertitude sur ces coûts d'environ **20 à 30%**.

Les volumes des terres polluées correspondant aux zones sources concentrées identifiées ont été déterminés **en fonction des résultats des différentes campagnes de sondages réalisées jusqu'ici**. Ils participent également à l'incertitude sur les coûts, particulièrement dans un contexte de source de pollution diffuses et multiples.

Le logigramme en page suivante présente le cheminement d'établissement d'un BCA.

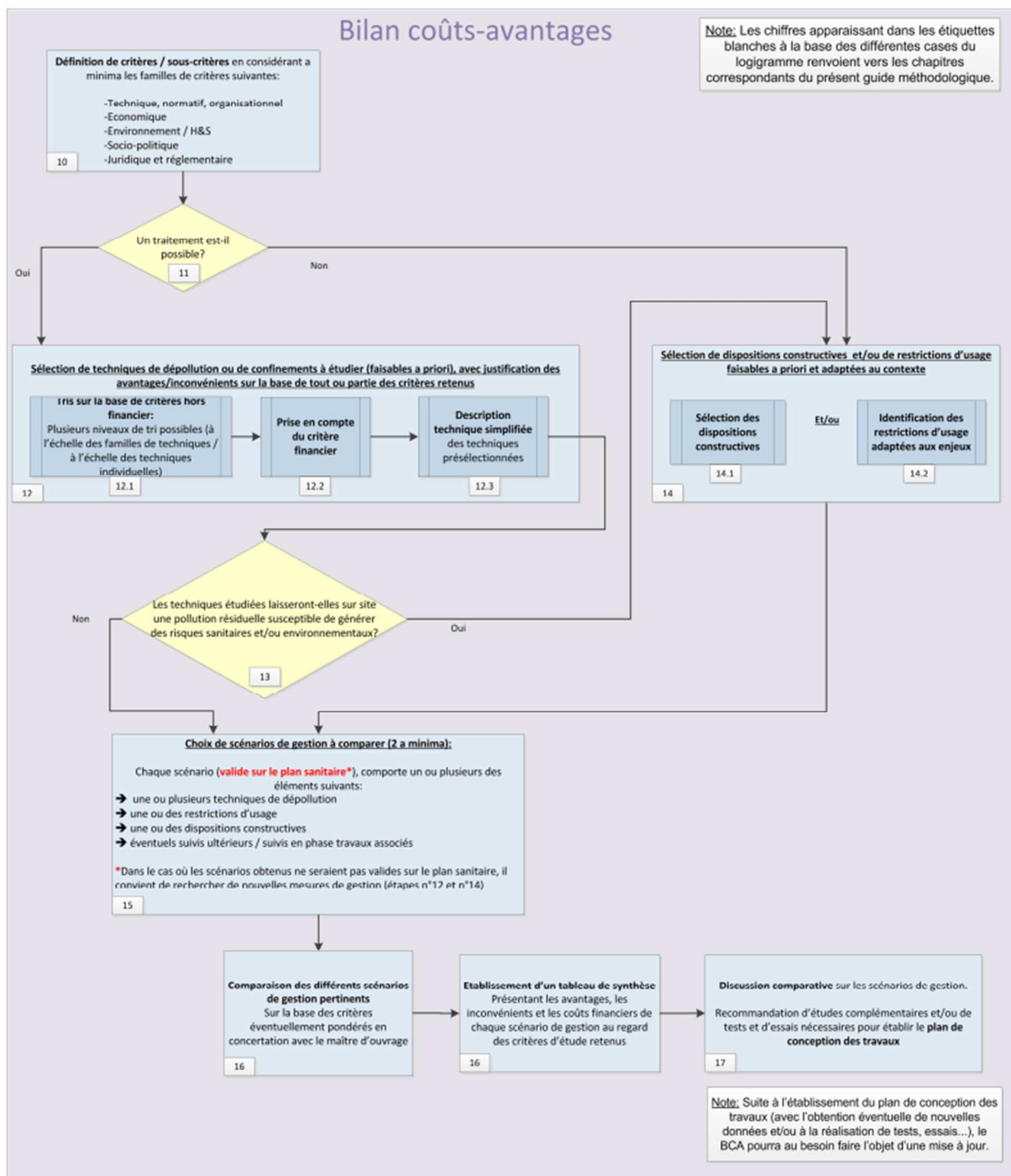


Figure 1 : Logigramme d'établissement d'un BCA (source : Guide Bilan-coûts-avantages – ADEME-UPDS- Mars 2017)

A ce stade, le projet d'aménagement prévoit de conserver uniquement le bâtiment de l'horloge (bâtiment patrimonial) (B).

L'**Annexe 9** présente la localisation de ce bâtiment.

Au vu de ces éléments, nous avons défini différentes zones (cf **Annexe 10**).

Les volumes correspondant à chaque zone sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 37 : Zone de pollution concentrée identifiée par zone au droit du site d'étude (sources OGI)

Sondage	Analyses	HCT (mg/kg)	HAP (mg/kg)	Lithologie	Indices organoleptiques	Mesure PID	Profondeur	Surface	Volume	Tonnage
							(m)	(m²)	(m³)	(T)
S1_0,2-1	Extrapolation	3800	2,79	RSL	Noir	2,2	0,8	184,2	147,36	265,24
S2_0,2-1	O	3800	2,79	R	Noir, forte odeur HC, COHV	287	0,8	235,41	188,33	338,99
S2_1-2	Extrapolation	140	6,17	R	RAS	124	1	235,41	235,41	423,74
S5_1-2	O	2700	-	A	Gris, odeur Hc, matière orga	20,2	1	56,16	56,16	101,09
OG19 (1-2)	O	2810	78	RS	Couleur grise	0	1	370,28	370,28	666,5
OG22 (2,3-3)	O	733	3,6	AS	Couleur grise, odeur HCT	10,1	0,7	118,12	82,68	148,83
Zone 5								1199,58	1080,22	1944,39
S17_0,05-0,5	O	880	7,53	R	Mâchefer	0,1	0,45	284,65	128,09	230,57
OG26 (0,05-0,6)	O	1070	8,4	RS	Couleur noire, présence de graviers	0,4	0,55	299,86	164,92	296,86
Zone 2								584,51	293,01	527,43
S20_0,2-1	O	15000	4840	RS	Noir, mâchefer	0,1	0,8	41,18	32,95	59,3
OG14 (0,2-0,4)	O	6340	1500	RS	Couleur noire	0	0,2	134,28	26,86	48,34
OG15 (0,2-0,6)	O	7360	2400	RS	Couleur noire	0	0,2	141,05	28,21	50,78
OG11 (1,4-2)	O	1960	9,7	AS	Forte odeur HCT	30,4	0,6	319,4	191,64	344,95
Zone 4								635,91	279,66	503,368
S27_0-1	Extrapolation	508	120	R graveleux	noir	0,2	1	171,99	171,99	309,57
S26_0,3-0,8	O	1200	308	RS	Noir, mâchefer	0,5	0,5	76,88	38,44	69,19
OG1 (0-1)	O	508	120	RS	Couleur noire	0	1	52,86	52,86	95,15
OG3 (0,2-1)	O	1600	480	RS	Couleur noire	0	0,8	201,23	160,98	289,77
OG4 (0,1-1,2)	O	1040	250	RS	Couleur noire	0	1,1	129,66	142,63	256,73
OG8 (0,25-0,5)	O	692	150	RS	Couleur noire	0	0,25	95,29	23,82	42,88
Zone 3								727,91	590,72	1063,29
S35(0,05-1)	O	4300	1570	R graveleux	Odeur HAP	3,5	0,95	57,88	54,99	98,97
S35-b(0,05-1)	O	1400	80,5	R graveleux	Noir, odeur hydrocarbure	0	0,95	82,03	77,93	140,27
S35-c(0,05-1)	O	2500	1240	R graveleux	Noir, briques	0	0,95	47,64	45,26	81,46
S35-c(1-2)	O	1200	519	LSA	RAS	2,1	1	47,64	47,64	85,75
S35-c(2-3)	Extrapolation	1200	519	LSA	RAS	0	1	47,64	47,64	85,75
S35-d(0,05-1)	O	800	96,4	R graveleux	noir, brique	0	0,95	113,13	107,47	193,45
Zone 1								395,96	380,93	685,65
Total									2624,54	4724,13

6.2. Descriptif technique simplifié des technologies présélectionnées

Au regard de l'analyse réalisée, il ressort que les solutions de réhabilitation de la zone source concentrée apparaissant les plus pertinentes reposent sur 2 scénarios :

Scénario 1 : maintien du bâtiment de l'horloge (zone 5) et démolition des autres bâtiments présents.

- Zones sans contraintes (zones 1 à 4) :
 - L'excavation et le traitement hors site (hypothèse n°1) ; (chiffrage sur la base de Burgeap PG, 2019) ;
 - Le traitement thermique sur site (hypothèse n°2) (chiffrage sur la base de Burgeap PG, 2019)
 - Traitement biologique sur site (hypothèse n°3 (en cours d'étude non chiffrée)) : le traitement biologique pourrait être moins onéreux que le traitement thermique mais compte-tenu des pollutions mises en évidence, il doit faire l'objet d'une évaluation sur son efficacité (Plan de conception des travaux avec essais laboratoire). Sans ces essais complémentaires, il n'est pas possible de s'engager sur l'atteinte d'objectifs de concentrations en adéquation avec les seuils du plan de gestion ;
 - Confinement au droit de la ZAC (hypothèse n°4) ;
- Zone 5 au droit des bâtiments conservés :
 - Oxydation chimique in situ (hypothèse n°5) ;
 - Désorption thermique (hypothèse n°6) ;
 - Excavation pour traitement sur site (hypothèse n°7 (en cours d'étude non chiffrée)) ;
 - Maintien en place de la pollution (hypothèse n°8 (en cours d'étude non chiffrée)).

Scénario 2 : destruction de l'ensemble des bâtiments du site.

- L'excavation et le traitement hors site (hypothèse n°9) ; (chiffrage sur la base de Burgeap PG, 2019) ;
- Confinement au droit de la ZAC (hypothèse n°10)

6.3. Scénario 1 – maintien du bâtiment de l'horloge (zone 5)

6.3.1. Zones sans contraintes (zones 1 à 4)

6.3.1.1. Présentation de l'hypothèse 1 (gestion hors site)

Le principe de gestion est le suivant, pour la gestion par excavation et évacuation hors site :

- Terrassement des terres impactées situées en zone non saturée ;
- Stockage provisoire des terres ou évacuation en flux tendu. Dans le premier cas, le stockage provisoire nécessitera la réalisation d'aires de stockage distinctes selon la filière d'évacuation des terres (mise en place d'une géomembrane sur une aire plane et dégagée, couverture ou abri contre les intempéries) et d'un suivi de la traçabilité des mouvements de terres ;
- Reprise (en cas de stockage provisoire) et chargement des terres, évacuation par transport routier déclaré vers un centre autorisé ayant accepté au préalable de recevoir les terres. Il est recommandé de réaliser un suivi des opérations afin de garantir une traçabilité du devenir des terres ;
- Mise en place des terres non impactées/des terres d'apport saines après analyses de validation en bords et fonds de fouilles. Les matériaux utilisés pour le remblaiement seront séparés des terrains en place par un grillage avertisseur ou un géosynthétique en fond de fouille ;
- Compactage des matériaux utilisés pour le remblaiement à la plaque vibrante par passe de 30 cm.

Une demande préalable d'acceptation des terres doit être faite auprès des centres de stockage avant évacuation. En cas d'acceptation, le centre émet un certificat d'acceptation préalable (CAP). L'entreprise de travaux sera responsable de l'obtention des certificats d'acceptation préalable (CAP) et de la conformité des déchets livrés avec les seuils d'acceptation des filières retenues. Elle devra réaliser des vérifications préalablement au chantier ou pendant la durée du chantier de la qualité des déblais pour valider l'adéquation entre le centre choisi et les concentrations réelles.

Filières d'évacuation identifiées

D'après les résultats d'analyses disponibles, les terres au droit des zones de pollution concentrée pourront être orientées vers les filières présentées dans le ci-dessous.

Tableau 38: Filière d'évacuation des zones de pollution concentrée (source OGI)

Sondage	Analyses	HCT	HAP	Volume (m3)	Tonnage (T)	Traitement hors site	
						Biocentre ou ISDND	Traitement Physico - chimique ou ISDD
S17_0,05-0,5	O	880	7,53	128,09	230,57	230,57	
S20_0,2-1	O	15000	4840	32,95	59,30		59,30
S26_0,3-0,8	O	1200	308	38,44	69,19	69,19	
S27_0-1	Extrapolation	508	120	171,99	309,57	309,57	
S35(0,05-1)	O	4300	1570	54,99	98,97		98,97
S35-b(0,05-1)	O	1400	80,5	77,93	140,27	140,27	
S35-c(0,05-1)	O	2500	1240	45,26	81,46		81,46
S35-c(1-2)	O	1200	519	47,64	85,75	85,75	
S35-c(2-3)	Extrapolation	1200	519	47,64	85,75	85,75	
S35-d(0,05-1)	O	800	96,4	107,47	193,45	193,45	
OG1 (0-1)	O	508	120	52,86	95,15	95,15	
OG3 (0,2-1)	O	1600	480	160,98	289,77	289,77	
OG4 (0,1-1,2)	O	1040	250	142,63	256,73	256,73	
OG8 (0,25-0,5)	O	692	150	23,82	42,88	42,88	
OG11 (1,4-2)	O	1960	9,7	191,64	344,95	344,95	
OG14 (0,2-0,4)	O	6340	1500	26,86	48,34		48,34
OG15 (0,2-0,6)	O	7360	2400	28,21	50,78		50,78
OG26 (0,05-0,6)	O	1070	8,4	164,92	296,86	296,86	
Total						2441	339

Estimation financière

Les surfaces, les volumes et les coûts associés sont présentés dans le tableau en page suivante.

Ce chiffrage ne prend pas en considération, notamment, les éléments suivants :

- La démolition éventuelle des superstructures et infrastructures présentes sur le site ;
- L'évacuation de matériaux de démolition tels blocs de béton, ferrailles, plastiques ou autres, notamment l'éventuel refus de ces matériaux en ISDI ;
- Le rabattement de la nappe et un éventuel traitement de cette dernière ;
- Le démantèlement et l'enlèvement de cuves, tuyauteries et l'évacuation de ces structures en filières adaptées ;
- La gestion des déblais hors pollution concentrées.

Tableau 39: Cout estimatif de l'excavation – gestion hors site (source OGI- sur la base chiffrage Burgeap)

n° prix	Désignation	Unité	Quantité	Estimation basse		Estimation haute	
				Prix unitaire (€ HT)	Total (€ HT)	Prix unitaire (€ HT)	Total (€ HT)
1	Etude préparatoire						
1,1	Constat d'huissier, relevé géomètre	forfait	1	2 500 €	2 500 €	2 500 €	2 500 €
1,2	Etablissement du PPSPS, PAQ	forfait	1	2 500 €	2 500 €	2 500 €	2 500 €
1,3	Dossier de récolement	forfait	1	2 500 €	2 500 €	2 500 €	2 500 €
2	Travaux préparatoires						
2,1	Amené/Repli et maintenance des installations et locaux de chantier, y compris panneau de chantier	forfait	1	3 500 €	3 500 €	3 500 €	3 500 €
2,2	Balisage, fermeture des aires d'intervention par des barrières anti-intrusion	forfait	1	2 500 €	2 500 €	2 500 €	2 500 €
3	Excavation des terres impactées						
3,1	Terrassement et tri des terres impactées	m ³	1544	10 €	15 443 €	10 €	15 443 €
4	Evacuation et traitement des terres hors site avec transport						
4,1	Evacuation et traitement des terres en ISDD ou désorption thermique hors site	tonne	339	140 €	47 439 €	180 €	60 993 €
4,2	Evacuation et traitement des terres en ISDND ou biocentre (sous réserve d'acceptation)	tonne	2441	60 €	146 453 €	70 €	170 862 €
5	Remblaiement						
5,1	Remblaiement avec terres saines d'apport et compactage	m ³	1544		- €	20 €	30 886 €
5,2	Remblaiement avec les déblais du chantier	m ³	1544	5 €	7 721 €		- €
6	Assistance à maîtrise d'ouvrage						
6,1	Suivi de chantier, réception de fouille	forfait	1	25 000 €	25 000 €	25 000 €	25 000 €
Aléa (15 % du montant des travaux)					38 334 €		47 503 €
TOTAL					293 890 €		364 187 €

Le budget est donc évalué entre 294 k €HT et 364 k €HT.

Le chiffrage est en cours d'affinage (le centre thermique de Lhotellier est en cours de consultation).

6.3.1.2. Présentation de l'hypothèse 2 (Désorption thermique sur site)

Le principe de gestion est le suivant, pour la gestion par excavation et traitement sur site :

- Terrassement des zones sources situées en zone non saturée ou en zone de battement de nappe ;
- Validation en bords et fonds de fouilles et maintien des fouilles ouvertes sécurisées par barriérage le temps du traitement des sols ;
- Traitement des terres par désorption thermique sur site : dépôt des terres polluées sur une aire aménagée sur et sous une membrane étanche. Des aiguilles chauffantes sont placées dans l'andain pour augmenter la température des terres et favoriser la désorption des polluants. Les lixiviats sont traités sur site avant d'être rejetés. Les gaz sont extraits et traités avant rejet ;
- Lorsque les seuils de dépollution sont atteints : reprise des terres et pour remblaiement des fouilles ou maintien des terres sur site.

Remarque : si le maintien de fouille ouverte n'est pas envisageable, les fouilles pourront être remblayées avec des matériaux d'apport sains. Les sols traités pourraient être soit envoyés en filière adaptée après traitement, soit maintenues sur site en andain paysager par exemple. Le surcout engendré par ces opérations supplémentaires n'est pas présenté puisque dépendant du projet.

Pour la solution de désorption thermique, des essais préalables sont nécessaires en laboratoire afin :

- D'évaluer la température de désorption idéale en fonction de l'atmosphère de traitement (avec ou sans oxygène) ;
- D'évaluer semi quantitativement les gaz émis pour adapter le traitement des gaz à mettre en œuvre. Ces essais se font en four à moufle (essai statique), et en four tubulaire avec quantification des gaz émis en ligne et en laboratoire selon el paramètre à analyser.

Le budget de ces essais en laboratoire est de l'ordre de 15 k€.

Estimation financière

Les volumes et les coûts associés sont présentés dans le tableau suivant.

Ce chiffrage ne prend pas en considération, notamment, les éléments suivants :

- La démolition éventuelle des superstructures et infrastructures présentes sur le site ;
- L'évacuation de matériaux de démolition tels blocs de béton, ferrailles, plastiques ou autres, notamment l'éventuel refus de ces matériaux en ISDI ;
- Le rabattement de la nappe et un éventuel traitement de cette dernière ;
- Le démantèlement et l'enlèvement de cuves, tuyauteries et l'évacuation de ces structures en filières adaptées ;
- La mise à disposition d'énergie électrique et les frais de consommation électrique.
- La gestion des déblais hors pollution concentrées.

Tableau 40 : Cout estimatif de l'excavation – traitement sur site (thermique)

n° prix	Désignation	Unité	Quantité	Estimation basse		Estimation haute	
				Prix unitaire (€ HT)	Total (€ HT)	Prix unitaire (€ HT)	Total (€ HT)
1	Etude préparatoire						
1,1	Essais de traitabilité	forfait	1	15 000 €	15 000 €	15 000 €	15 000 €
1,2	Constat d'huissier, relevé géomètre	forfait	1	1 500 €	1 500 €	1 500 €	1 500 €
1,3	Etablissement du PPSPS, PAQ	forfait	1	1 000 €	1 000 €	1 000 €	1 000 €
1,4	Dossier de récolement	forfait	1	1 500 €	1 500 €	1 500 €	1 500 €
2	Travaux préparatoires						
2,1	Amené/Repli et maintenance des installations et locaux de chantier, y compris panneau de chantier	forfait	1	3 500 €	3 500 €	3 500 €	3 500 €
2,2	Balisage, fermeture des aires d'intervention par des barrières anti-intrusion	forfait	1	2 500 €	2 500 €	2 500 €	2 500 €
3	Excavation des terres						
3,1	Terrassement des terres impactées et dépôt sur l'aire de traitement	m³	1544	10 €	15 443 €	10 €	154 430 €
4	Traitement des terres en thermopile						
4,2	Mise en terre des terres et installation des équipements	m³	1544	25 €	38 607 €	25 €	38 607 €
4,2	Cimentation des parois du tertre	m³	1544	6 €	9 266 €	6 €	9 266 €
4,2	Traitement des terres foisonnées en thermopile	m³	2008	150 €	301 138 €	180 €	361 366 €
4,2	Démantèlement des installations après traitement, évacuation des déchets	m³	1544	15 €	23 164 €	15 €	23 164 €
4,2	Analyses de suivi et réception du traitement	forfait	1	6 000 €	6 000 €	6 000 €	6 000 €
5	Remblaiement du site						
5,1	Remblaiement avec les terres traitées	m³	1544	8 €	12 354 €	8 €	12 354 €
6	Maitrise d'œuvre						
6,1	Suivi de chantier, réception de fouille	forfait	1	25 000 €	45 000 €	25 000 €	45 000 €
Aléa (15 % du montant du traitement)					71 396 €		101 278 €
TOTAL					547 369 €		776 465 €

Le budget est donc évalué entre 547 k €HT et 776 k €HT.

Sur la zone 4, il est difficile d'atteindre les objectifs de dépollution fixés étant donné les teneurs en HAP et HCT élevés et notamment la présence de coupes lourdes sur cette zone.

6.3.1.1. Présentation de l'hypothèse 4 (Confinement)

Le confinement sur site consiste à isoler, après excavation des sols, les matériaux polluants de leur environnement immédiat. Après excavation sélective des matériaux impactés, ceux-ci sont placés dans une alvéole, constituée en dessus et au-dessous, de membranes PEHD soudées entre elles et reposant éventuellement sur des géotextiles. Des événements sont parfois posés en cas de présence de composés volatils.

Des ouvrages piézométriques sont en général mis en œuvre autour de la structure ainsi constituée, de façon à valider l'absence d'impact.

Principe de gestion

Le principe de gestion est le suivant :

- Terrassement des zones sources situées en zone non saturée ou en zone de battement de nappe (sous sécurisation pyrotechnique) ;
- Validation en bords et fonds de fouilles ;
- Stockage provisoire des terres sur la plateforme de stockage au sein de la ZAC (suivant les modalités conformes au plan de gestion réalisés à l'échelle de la ZAC notamment) ;
- Le cas échéant : Remblaiement des fouilles par des terres non impactées/des terres d'apport saines. Les matériaux utilisés pour le remblaiement seront séparés des terrains en place par un grillage avertisseur ou un géosynthétique en fond de fouille au droit des zones non construites ou sans revêtement minéral ;
- Le cas échéant : Compactage des matériaux utilisés pour le remblaiement à la plaque vibrante par passe de 30 cm. Sinon, sécurisation des zones de fouilles, en l'attente des travaux d'aménagement ;
- Encapsulage des terres (traitement à l'échelle de la ZAC et en son sein) ;
- Conservation de la mémoire et suivi de l'ouvrage.

Estimation financière

Il faut compter entre 55 et 65€ HT la tonne soit un coût total compris entre 153 k €HT et 181 k €HT.

Il faudra dans ce cas rapidement identifier un secteur susceptible de recevoir les terres en confinement (type secteur Touareg par exemple, sous les futurs espaces verts ?), le confinement entraînant des contraintes sur les futurs usages (constructions à éviter, servitudes à mettre en place, suivi de l'ouvrage de confinement et de son efficacité, modelage du paysage associé, contrôle de la végétalisation, etc...).

6.3.2. Zone 5 au droit du bâtiment conservé

6.3.2.1. Présentation de l'hypothèse 5 (Oxydation chimique in situ)

L'Oxydation chimique in situ consiste à injecter un oxydant dans les sols (zones saturée et non saturée) sans excavation. Cet oxydant va détruire totalement ou partiellement les polluants. Ce procédé permet donc d'aboutir à la destruction des polluants (aboutissant à la transformation en eau, gaz carbonique et sels) ou à la formation de sous-produits de dégradation généralement plus biodégradables.

S'agissant d'une technique in situ avec injection, l'opération nécessite au préalable l'acceptation par les administrations compétentes (Police de l'eau, DRIRE, etc.).

Pour la solution de l'oxydation in situ, les essais sont nécessaires en laboratoire afin d'acquérir les données suivantes :

- Demande naturelle en oxydant ;
- Réduction de la concentration du polluant ;
- Produits intermédiaires et leur toxicité (sous-produits de dégradation) ;
- Potentiel de volatilisation ;
- Impacts biogéochimiques ;
- Impacts des modifications des conditions (pH et Eh) sur la mobilité des métaux.

Estimation financière

Les volumes et les coûts associés sont présentés dans le tableau suivant.

Ce chiffrage ne prend pas en considération, notamment, les éléments suivants :

- Le suivi analytique nécessaire (eaux souterraines) pour confirmer l'absence d'impact de l'oxydation chimique ;
- La mise à disposition d'énergie électrique et les frais de consommation électrique.
- La gestion des déblais hors pollution concentrées.

Tableau 41 : Cout estimatif de l'oxydation chimique in situ

				Estimation basse		Estimation haute	
n° prix	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (€ HT)	Total (€ HT)	Prix unitaire (€ HT)	Total (€ HT)
1	Etude préparatoire						
1,1	Essais de traitabilité	forfait	1	15 000 €	15 000 €	15 000 €	15 000 €
1,2	Constat d'huissier, relevé géomètre	forfait	1	1 500 €	1 500 €	1 500 €	1 500 €
1,3	Etablissement du PPSPS, PAQ	forfait	1	1 000 €	1 000 €	1 000 €	1 000 €
1,4	Dossier de récolement	forfait	1	1 500 €	1 500 €	1 500 €	1 500 €
2	Travaux préparatoires						
2,1	Amené/Repli et maintenance des installations et locaux de chantier, y compris panneau de chantier	forfait	1	3 500 €	3 500 €	3 500 €	3 500 €
2,2	Balisage, fermeture des aires d'intervention par des barrières anti-intrusion	forfait	1	2 500 €	2 500 €	2 500 €	2 500 €
3	Traitement Par Oxydation chimique in situ						
3.1	Installation de l'unité et du réseau de puits d'injection	Forfait	1	1,0	30 000 €	1,0	30 000 €
3,2	Traitement Par Oxydation chimique in situ	T	1 944	60,0	116 663 €	90,0	174 995 €
3,3	Analyses de suivi et réception du traitement	forfait	1	20000,0	20 000 €	1,0	20 000 €
4	Maitrise d'œuvre						
4.1	Suivi de chantier, réception de fouille	forfait	1	45 000 €	45 000 €	45 000 €	45 000 €
Aléa (15 % du montant du traitement)					35 500 €		44 249 €
TOTAL					272 163 €		339 244 €

Le budget est donc évalué entre 3272 k €HT et 339 k €HT.

Aucune entreprise ne veut s'engager à ce stade au vu des incertitudes à savoir :

- Présence d'un éventuel vide sanitaire et réseaux ;
- Les accès aux bâtiments (hauteur de plafond, structure du bâtiment ...) ;
- L'hétérogénéité des milieux (remblais limoneux à limono-sableux) ;
- Les contraintes liées à la profondeur de la nappe (marnage) ;
- Des teneurs en HCT lourds très élevés.

6.3.2.2. Présentation de l'hypothèse 6 (Désorption thermique in situ)

La Désorption thermique in situ, issue de l'amélioration de procédé de Venting, consiste à apporter une source de chaleur dans le sol pour volatiliser puis en extraire certains polluants (dits volatils et semi-volatils).

Pour la solution de la désorption thermique in situ, les essais pilotes sont nécessaires en laboratoire afin d'acquérir les données suivantes :

- D'une part, le découplage de la température de traitement, du temps de séjour appliqué aux particules subissant le traitement thermique
- D'autre part, d'appliquer un temps de séjour identique à toutes les particules (réacteur piston), indépendamment de leur granulométrie et de leur densité et ce, en atmosphère réductrice.

Des ouvrages piézométriques sont en général mis en œuvre autour de la structure ainsi constituée, de façon à valider l'absence d'impact.

Estimation financière

Les volumes et les coûts associés sont présentés dans le tableau suivant.

Ce chiffrage ne prend pas en considération, notamment, les éléments suivants :

- Le suivi analytique nécessaire (eaux souterraines) pour confirmer l'absence d'impact de l'oxydation chimique ;
- La mise à disposition d'énergie électrique et les frais de consommation électrique.
- La gestion des déblais hors pollution concentrées.

Tableau 42 : Cout estimatif de la désorption chimique in situ

				Estimation basse		Estimation haute	
n° prix	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (€ HT)	Total (€ HT)	Prix unitaire (€ HT)	Total (€ HT)
1	Etude préparatoire						
1,1	Essais de traitabilité	forfait	1	35 000 €	35 000 €	35 000 €	35 000 €
1,2	Constat d'huissier, relevé géomètre	forfait	1	1 500 €	1 500 €	1 500 €	1 500 €
1,3	Etablissement du PPSPS, PAQ	forfait	1	1 000 €	1 000 €	1 000 €	1 000 €
1,4	Dossier de récolement	forfait	1	1 500 €	1 500 €	1 500 €	1 500 €
2	Travaux préparatoires						
2,1	Amené/Repli et maintenance des installations et locaux de chantier, y compris panneau de chantier	forfait	1	3 500 €	3 500 €	3 500 €	3 500 €
2,2	Balisage, fermeture des aires d'intervention par des barrières anti-intrusion	forfait	1	2 500 €	2 500 €	2 500 €	2 500 €
3	Traitement Par désorption thermique						
3.1	Mise place des aiguilles de désorption (pointes chauffantes) et du réseau d'extraction d'air pour traiter les gaz	Forfait	1	30000,0	30 000 €	1,0	30 000 €
3,2	Traitement Par désorption thermique	T	1 944	120,0	233 327 €	150,0	291 658 €
3,3	Analyses de suivi et réception du traitement	forfait	1	20000,0	20 000 €	1,0	20 000 €
4	Maitrise d'œuvre						
4,1	Suivi de chantier, réception de fouille	forfait	1	45 000 €	45 000 €	45 000 €	45 000 €
Aléa (15 % du montant du traitement)					55 999 €		64 749 €
TOTAL					429 326 €		496 407 €

Le budget est donc évalué entre 439 k €HT et 496 k €HT.

Aucune entreprise ne veut s'engager à ce stade au vu des incertitudes à savoir :

- Présence d'un éventuel vide sanitaire et réseaux ;
- Les accès aux bâtiments (hauteur de plafond, structure du bâtiment ...) ;
- L'hétérogénéité des milieux (remblais limoneux à limono-sableux) ;
- Les contraintes liées à la profondeur de la nappe (marnage) ;
- Des teneurs en HCT lourds très élevés.

6.3.2.1. Présentation de l'hypothèse 7 (Excavation pour traitement sur site)

Le coût de l'excavation est plus élevé que le reste du site vu que l'on excave à l'intérieur des bâtiments. Cette technique nécessite des études complémentaires telles que :

- Des études géotechniques pour la stabilité ;
- Des études de structure du bâtiment.

A ce stade, le chiffrage de cette technique ne peut être envisagé au vu des incertitudes ci-dessous :

- Présence d'amiante potentielle ;
- Présence d'un éventuel vide sanitaire et réseaux ;
- Les accès aux bâtiments pour un traitement in situ (hauteur de plafond, structure du bâtiment ...).

6.3.2.2. Présentation de l'hypothèse 8 (Maintien en place de la pollution)

La solution de maintien en place de la pollution pourrait être envisageable si aucune solution n'est ni techniquement ni financièrement faisable. Pour rappel, l'analyse de risque résiduels a mis en évidence des risques acceptables au droit de cette zone. Néanmoins, des incertitudes demeurent, qui ne nous permettent pas de nous engager plus à ce stade. A savoir :

- La campagne de gaz du sol a été réalisée en temps humide et froid donc peu favorable aux dégazages ;
- Au vu de l'hétérogénéité des milieux et la superficie du bâtiment de l'horloge (1 500m² environ), le maillage des sondages ne permet pas de s'affranchir des incertitudes liées à la présence de poches de pollution plus significatives ;
- Présence de vide sanitaire et réseaux, créant des chemins préférentiels pour la circulation des gaz du sol (teneur de 80 ppm au droit du vide sanitaire identifié sur la OG21) ;

Par conséquent les recommandations sont les suivantes :

- Réaliser un diagnostic du sous-sol par un géophysicien afin de localiser les structures enterrées (réseaux, vide sanitaire ...) ;
- Réaliser des investigations sur sols (sondages complémentaires de délimitation des zones de pollution concentrées) et sur les gaz du sol (pose de nouveaux piézajrs et /ou ouvrages pour des prélèvements sous-dalle), permettant de compléter le réseau existant ;
- Réaliser un suivi des gaz du sol à minima 2 de fois par an, en engageant une réflexion sur la mesure du dégazage en mercure (augmentation des temps de prélèvement pour abaisser suffisamment la limite de quantification).

6.4. Scénario 2 – Destruction de l'ensemble des bâtiments du site

6.4.1.1. Présentation de l'hypothèse 9 (Désorption thermique sur site)

Le principe de gestion est le suivant, pour la gestion par excavation et traitement sur site :

- Terrassement des zones sources situées en zone non saturée ou en zone de battement de nappe ;
- Validation en bords et fonds de fouilles et maintien des fouilles ouvertes sécurisées par barriérage le temps du traitement des sols ;
- Traitement des terres par désorption thermique sur site : dépôt des terres polluées sur une aire aménagée sur et sous une membrane étanche. Des aiguilles chauffantes sont placées dans l'andain pour augmenter la température des terres et favoriser la désorption des polluants. Les lixiviats sont traités sur site avant d'être rejetés. Les gaz sont extraits et traités avant rejet ;
- Lorsque les seuils de dépollution sont atteints : reprise des terres et pour remblaiement des fouilles ou maintien des terres sur site.

Remarque : si le maintien de fouille ouverte n'est pas envisageable, les fouilles pourront être remblayées avec des matériaux d'apport sains. Les sols traités pourraient être soit envoyés en filière adaptée après traitement, soit maintenues sur site en andain paysager par exemple. Le surcout engendré par ces opérations supplémentaires n'est pas présenté puisque dépendant du projet

Pour la solution de désorption thermique des essais préalables sont nécessaires en laboratoire afin :

- D'évaluer la température de désorption idéale en fonction de l'atmosphère de traitement (avec ou sans oxygène) ;
- D'évaluer semi quantitativement les gaz émis pour adapter le traitement des gaz à mettre en œuvre. Ces essais se font en four à moufle (essai statique), et en four tubulaire avec quantification des gaz émis en ligne et en laboratoire selon el paramètre à analyser.

Le budget de ces essais en laboratoire est de l'ordre de 15 k€.

Estimation financière

Les volumes et les coûts associés sont présentés dans le tableau suivant.

Ce chiffrage ne prend pas en considération, notamment, les éléments suivants :

- La démolition éventuelle des superstructures et infrastructures présentes sur le site ;
- L'évacuation de matériaux de démolition tels blocs de béton, ferrailles, plastiques ou autres, notamment l'éventuel refus de ces matériaux en ISDI ;
- Le rabattement de la nappe et un éventuel traitement de cette dernière ;
- Le démantèlement et l'enlèvement de cuves, tuyauteries et l'évacuation de ces structures en filières adaptées ;
- La mise à disposition d'énergie électrique et les frais de consommation électrique.
- La gestion des déblais hors pollution concentrées.

Tableau 43 : Cout estimatif de l'excavation – traitement sur site (Désorption thermique)

n° prix	Désignation	Unité	Quantité	Estimation basse		Estimation haute	
				Prix unitaire (€ HT)	Total (€ HT)	Prix unitaire (€ HT)	Total (€ HT)
1	Etude préparatoire						
1,1	Essais de traitabilité	forfait	1	15 000 €	15 000 €	15 000 €	15 000 €
1,2	Constat d'huissier, relevé géomètre	forfait	1	1 500 €	1 500 €	1 500 €	1 500 €
1,3	Etablissement du PPSPS, PAQ	forfait	1	1 000 €	1 000 €	1 000 €	1 000 €
1,4	Dossier de récolement	forfait	1	1 500 €	1 500 €	1 500 €	1 500 €
2	Travaux préparatoires						
2,1	Amené/Repli et maintenance des installations et locaux de chantier, y compris panneau de chantier	forfait	1	3 500 €	3 500 €	3 500 €	3 500 €
2,2	Balilage, fermeture des aires d'intervention par des barrières anti-intrusion	forfait	1	2 500 €	2 500 €	2 500 €	2 500 €
3	Excavation des terres						
3,1	Terrassement des terres impactées et dépôt sur l'aire de traitement	m ³	2625	10 €	26 245 €	10 €	262 451 €
4	Traitement des terres en thermopile						
4,2	Mise en tertre des terres et installation des équipements	m ³	2625	25 €	65 613 €	25 €	65 613 €
4,2	Cimentation des parois du tertre	m ³	2625	6 €	15 747 €	6 €	15 747 €
4,2	Traitement des terres foisonnées en thermopile	m ³	3412	150 €	511 780 €	180 €	614 136 €
4,2	Démantèlement des installations après traitement, évacuation des déchets	m ³	2625	15 €	39 368 €	15 €	39 368 €
4,2	Analyses de suivi et réception du traitement	forfait	1	6 000 €	6 000 €	6 000 €	6 000 €
5	Remblaiement du site						
5,1	Remblaiement avec les terres traitées	m ³	2625	8 €	20 996 €	8 €	20 996 €
6	Maitrise d'œuvre						
6,1	Suivi de chantier, réception de fouille	forfait	1	25 000 €	45 000 €	25 000 €	45 000 €
Aléa (15 % du montant du traitement)					113 362 €		164 147 €
TOTAL					869 111 €		1 258 458 €

Le budget est donc évalué entre 869 k €HT et 1 258 k €HT.

6.4.1.2. Présentation de l'hypothèse 10 (Confinement)

Le confinement sur site consiste à isoler, après excavation des sols, les matériaux polluants de leur environnement immédiat. Après excavation sélective des matériaux impactés, ceux-ci sont placés dans une alvéole, constituée en dessus et au-dessous, de membranes PEHD soudées entre elles et reposant éventuellement sur des géotextiles. Des événements sont parfois posés en cas de présence de composés volatils.

Des ouvrages piézométriques sont en général mis en œuvre autour de la structure ainsi constituée, de façon à valider l'absence d'impact.

Principe de gestion

Le principe de gestion est le suivant :

- Terrassement des zones sources situées en zone non saturée ou en zone de battement de nappe (sous sécurisation pyrotechnique) ;
- Validation en bords et fonds de fouilles ;
- Stockage provisoire des terres sur la plateforme de stockage au sein de la ZAC (suivant les modalités conformes au plan de gestion réalisés à l'échelle de la ZAC notamment) ;
- Le cas échéant : Remblaiement des fouilles par des terres non impactées/des terres d'apport saines. Les matériaux utilisés pour le remblaiement seront séparés des terrains en place par un grillage avertisseur ou un géosynthétique en fond de fouille au droit des zones non construites ou sans revêtement minéral ;
- Le cas échéant : Compactage des matériaux utilisés pour le remblaiement à la plaque vibrante par passe de 30 cm. Sinon, sécurisation des zones de fouilles, en l'attente des travaux d'aménagement ;
- Encapsulage des terres (traitement à l'échelle de la ZAC et en son sein) ;
- Conservation de la mémoire et suivi de l'ouvrage.

Estimation financière

Il faut compter entre 55 et 65€ HT la tonne soit un coût total compris entre 259 k €HT et 307 k €HT.

Il faudra dans ce cas rapidement identifier un secteur susceptible de recevoir les terres en confinement (type secteur Touareg par exemple, sous les futurs espaces verts ?), le confinement entraînant des contraintes sur les futurs usages (constructions à éviter, servitudes à mettre en place, suivi de l'ouvrage de confinement et de son efficacité, modelage du paysage associé, contrôle de la végétalisation, etc...).

6.5. Conclusion du bilan coût avantages

Le chiffrage estimatif est le suivant :

Scénario 1 :

- Concernant la **zone 5**, la zone source de pollution concentrée correspondent à volume de 1 100 m³ environ. Les solutions retenues sont les suivantes :
 - Les solutions de traitement in situ envisagées sur cette zone sont l'oxydation et le traitement thermique. Aucune entreprise ne veut s'engager à ce stade au vu des incertitudes à savoir :
 - Présence d'un éventuel vide sanitaire et réseaux ;
 - Les accès aux bâtiments (hauteur de plafond, structure du bâtiment ...)
 - L'hétérogénéité des milieux (remblais limoneux à limono-sableux) ;
 - Les contraintes liées à la profondeur de la nappe (marnage) ;
 - Des teneurs en HCT lourds très élevés.

Des essais pilotes sont nécessaires pour valider ces deux techniques in situ et sont évalués à environ 40 à 50 K€. Le traitement in situ est estimé à environ 400 et 500 K€ HT.

- La solution d'excavation pour traitement sur site. Le coût de l'excavation est plus élevé que le reste du site vu que l'on excave à l'intérieur des bâtiments. Cette technique nécessite des études complémentaires telles que :
 - Des études géotechniques pour la stabilité ;
 - Des études de structure du bâtiment.

A ce stade, le chiffrage de cette technique ne peut être envisagé au vu des incertitudes ci-dessous :

- Présence d'amiante potentielle ;
- Présence d'un éventuel vide sanitaire et réseaux ;
- Les accès aux bâtiments pour un traitement in situ (hauteur de plafond, structure du bâtiment ...).
- Le maintien en place de la pollution : pourrait être envisageable si aucune solution n'est ni techniquement ni financièrement faisable. Pour rappel, l'analyse de risque résiduels a mis en évidence des risques acceptables au droit de cette zone. Néanmoins, des incertitudes demeurent, qui ne nous permettent pas de nous engager plus à ce stade. A savoir :
 - La campagne de gaz du sol a été réalisée en temps humide et froid donc peu favorable aux dégazages ;
 - Au vu de l'hétérogénéité des milieux et la superficie du bâtiment de l'horloge (1 500m² environ), le maillage des sondages ne permet pas de s'affranchir des incertitudes liées à la présence de poches de pollution plus significative ;
 - Présence de vide sanitaire et réseaux, créant des chemins préférentiels pour la circulation des gaz du sol (teneur de 80 ppm au droit du vide sanitaire identifié sur la OG21) ;

Par conséquent les recommandations sont les suivantes :

- Réaliser un diagnostic du sous-sol par un géophysicien afin de localiser les structures enterrées (réseaux, vide sanitaire ...) ;
- Réaliser des investigations sur sols (sondages complémentaires de délimitation des zones de pollution concentrées) et sur les gaz du sol (pose de nouveaux piézais et /ou ouvrages pour des prélèvements sous-dalle), permettant de compléter le réseau existant ;
- Réaliser un suivi des gaz du sol à minima 2 de fois par an, en engageant une réflexion sur la mesure du dégazage en mercure (augmentation des temps de prélèvement pour abaisser suffisamment la limite de quantification).
- Pour le **reste du site (zones 1 à 4)** : les solutions retenues sont les suivantes :
 - Excavation et traitement sur site (traitement thermique) est retenu au vu des teneurs observées au droit de ces zones. Des essais pilotes sont nécessaires pour le dimensionnement de l'installation. Sur la zone 4, il est difficile d'atteindre les objectifs de dépollution fixés étant donné les teneurs en HAP et HCT élevés et notamment la présence de coupes lourdes sur cette zone.

Le budget est donc évalué entre 500 k €HT et 800 k €HT.

- o Excavation et traitement hors site : nous sommes entrain d'affiner des chiffrages (le centre thermique de Lhotellier est en cours de consultation).
- o Confinement au droit de la ZAC : il faut compter entre 55 et 65€ HT la tonne soit un coût total compris entre 150 k €HT et 181 k €HT.

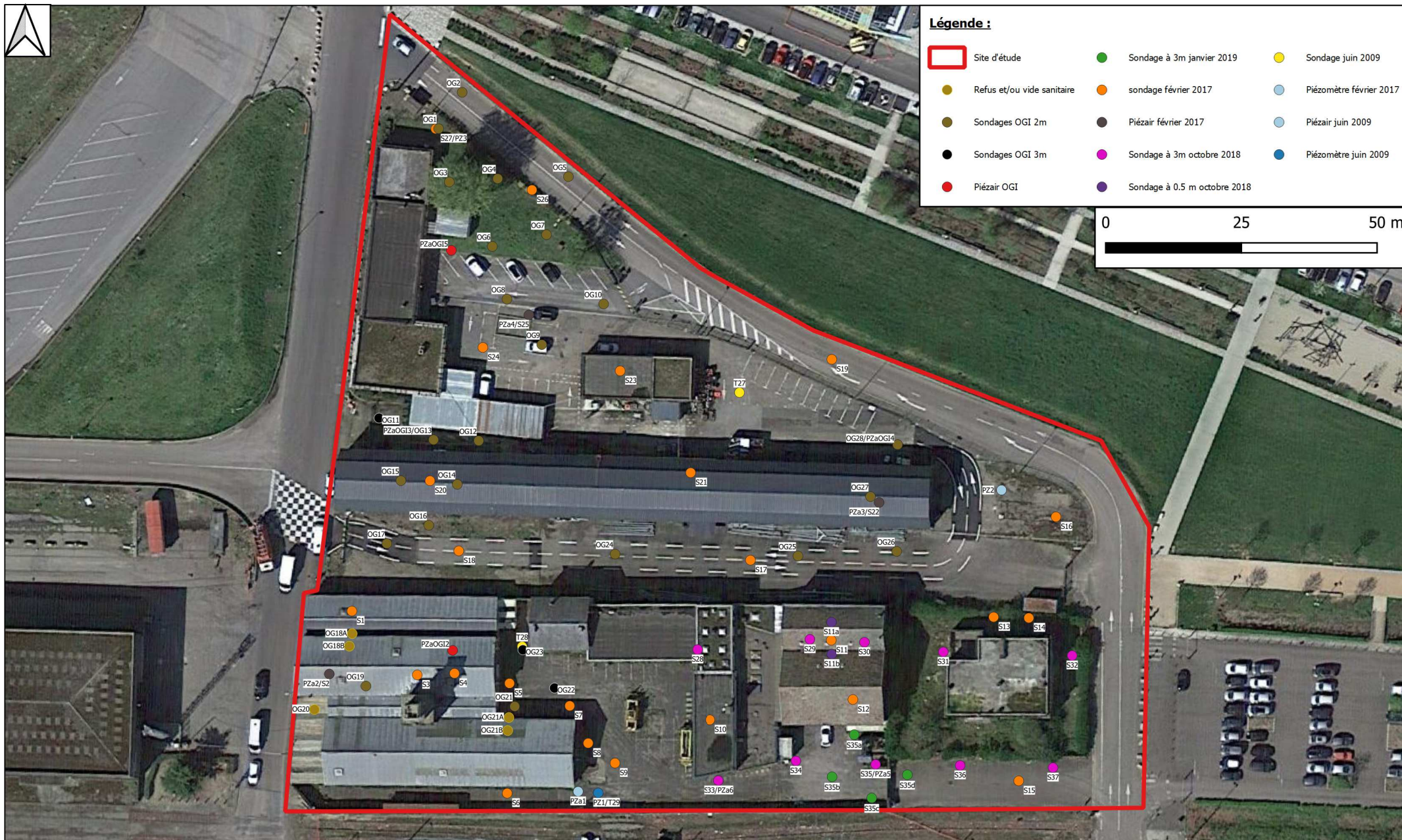
Scénario 2 : Les solutions de traitement pour 4 700 tonnes environ sont :

- Excavation et traitement thermique sur site : il faut compter un budget compris entre 900 K€ HT et 1 300 K € HT dont des essais de laboratoire d'environ 25 000€ ;
- Le confinement : Le budget est donc évalué entre 259 K€ HT et 307 K€ HT. Il faudra dans ce cas rapidement identifier un secteur susceptible de recevoir les terres en confinement (type secteur Touareg par exemple, sous les futurs espaces verts ?), le confinement entraînant des contraintes sur les futurs usages (constructions à éviter, servitudes à mettre en place, suivi de l'ouvrage de confinement et de son efficacité, modelage du paysage associé, contrôle de la végétalisation, etc...)

Pour rappel, il ne s'agit pas d'un devis et OGI ne pourra être tenu pour responsable en cas de différences avec les coûts réels. De façon usuelle, il est raisonnable de considérer une incertitude sur ces coûts d'environ 20 à 30%. Les volumes des terres polluées correspondant aux zones sources concentrées identifiées ont été déterminés en fonction des résultats des différentes campagnes de sondages réalisées jusqu'ici. Ils participent également à l'incertitude sur les coûts, particulièrement dans un contexte de source de pollution diffuses et multiples.

Annexes

Annexe 1: Plan d'implantation



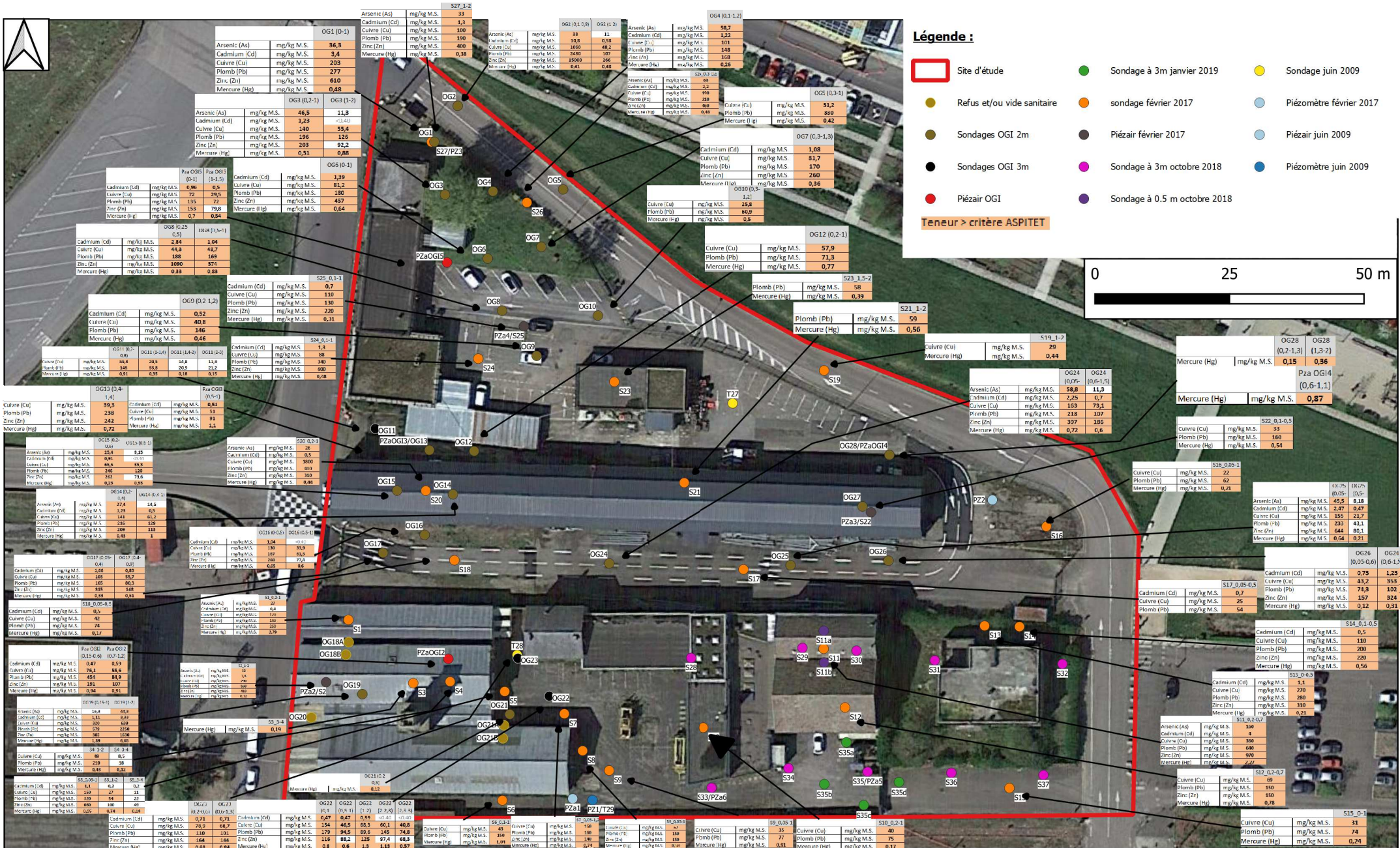
Légende :

- Site d'étude
- Sondage à 3m janvier 2019
- Sondage juin 2009
- Refus et/ou vide sanitaire
- sondage février 2017
- Piézomètre février 2017
- Sondages OGI 2m
- Piézair février 2017
- Piézair juin 2009
- Sondages OGI 3m
- Sondage à 3m octobre 2018
- Piézomètre juin 2009
- Piézair OGI
- Sondage à 0.5 m octobre 2018



Projet	ML19 Quartier Flaubert Rouen (76)	Plan d'implantation Mission PG (Synthèse investigations réalisées -document de travail)	 	Annexe 1
Date	Janvier 2021			
Version	A		Client : RNA	Echelle graphique
Chef de projet	I.BOUKERCHE		N°affaire : OG20-068-RNA-006	

Annexe 2: Cartographie des anomalies en métaux

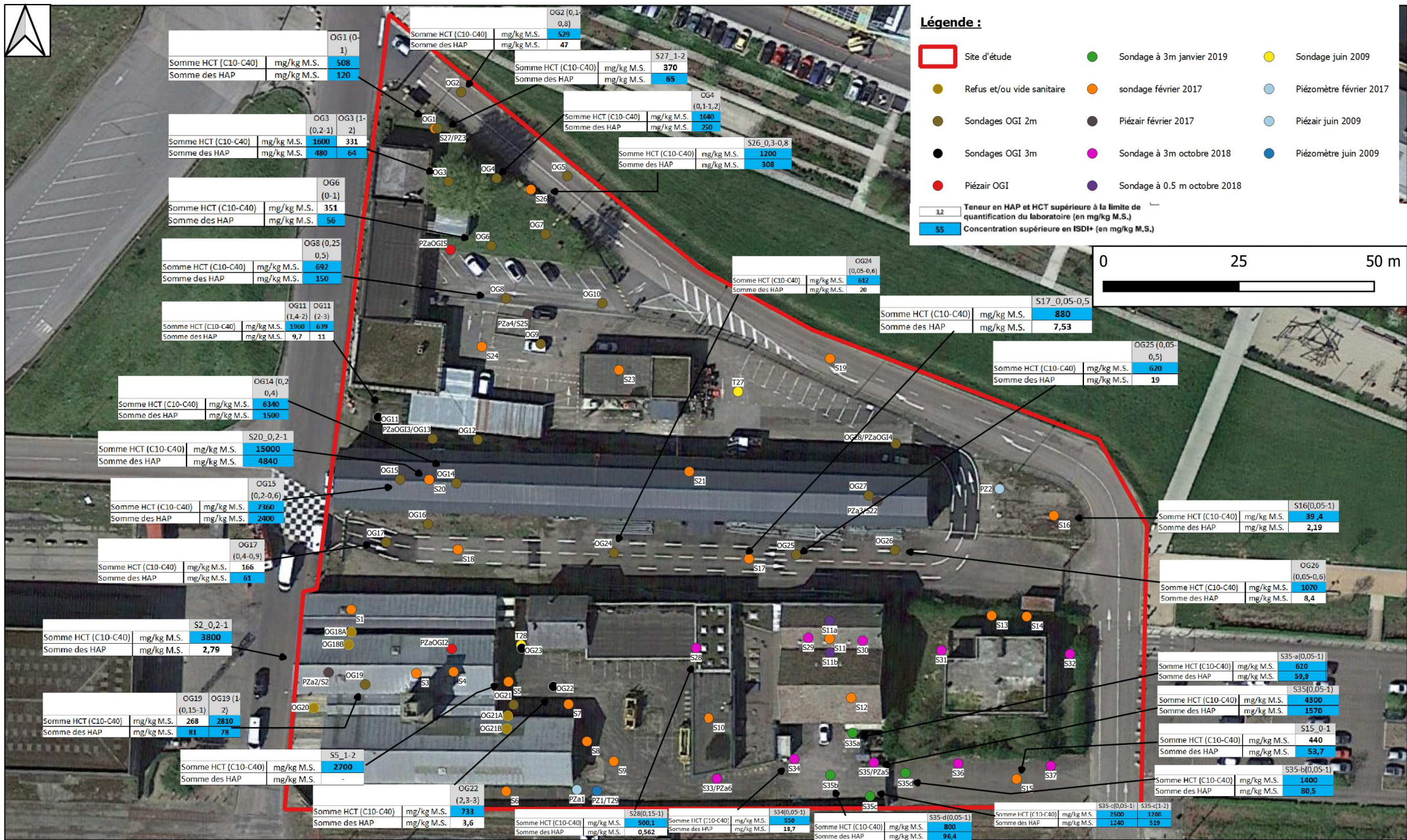


Projet	ML19 Quartier Flaubert Rouen (76)
Date	Janvier 2021
Version	A
Chef de projet	I.BOUKERCHE

Cartographie des anomalies en métaux
Mission PG (Synthèse des investigations réalisées - document de travail)

 	Annexe 2
Client : RNA	Echelle graphique
N°affaire : OG20-068-RNA-006	

Annexe 3: Cartographie des pollutions en HAP et HCT



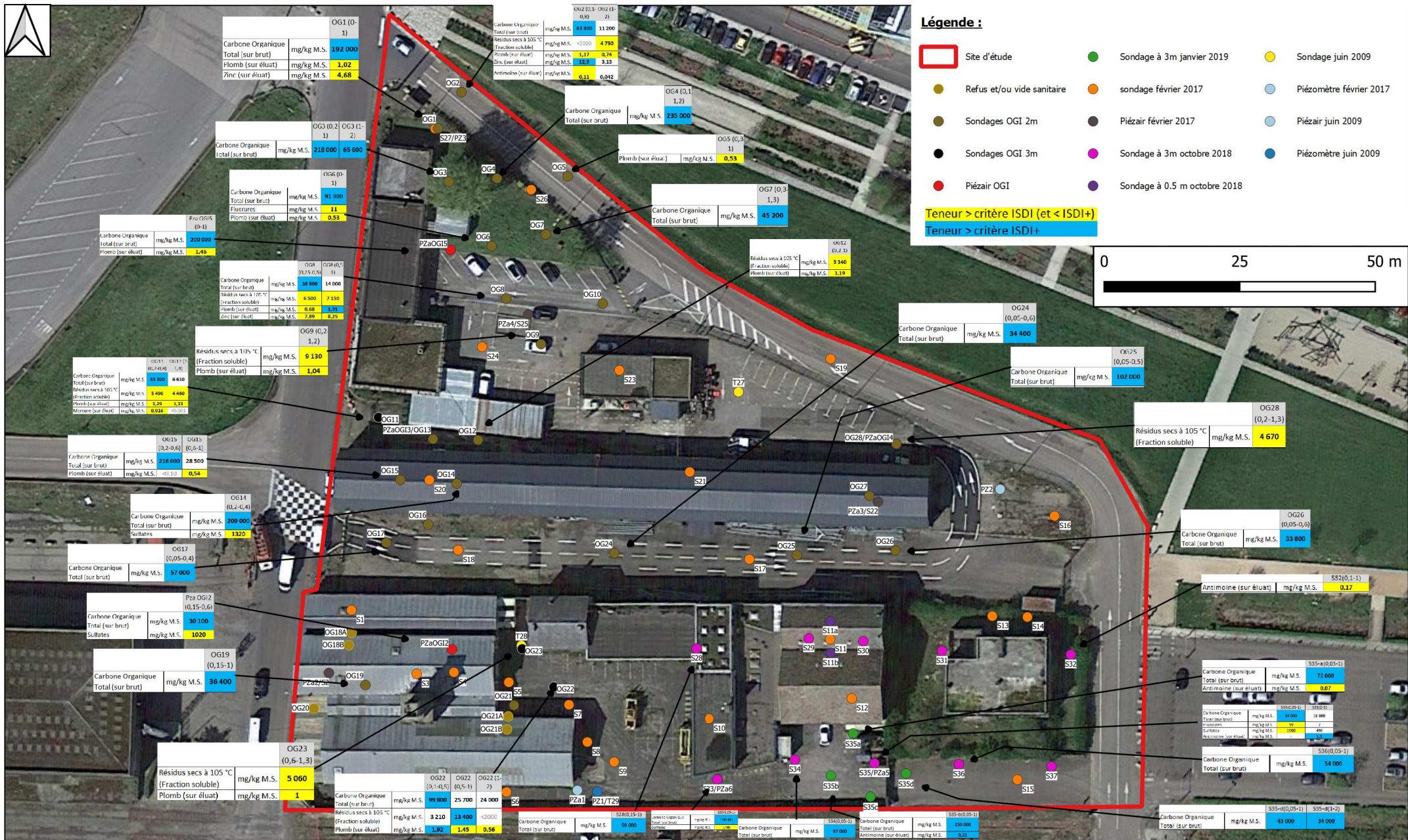
Projet	ML19 Quartier Flaubert Rouen (76)
Date	Janvier 2021
Version	A
Chef de projet	I.BOUKERCHE

Cartographie des pollutions en HAP et HCT			
Mission PG (Synthèse des investigations réalisées - document de travail)			

	
	Client : RNA
N°affaire : OG20-068-RNA-006	

Annexe 3
Echelle graphique

Annexe 4: Cartographie des dépassements des seuils ISDI et ISDI+

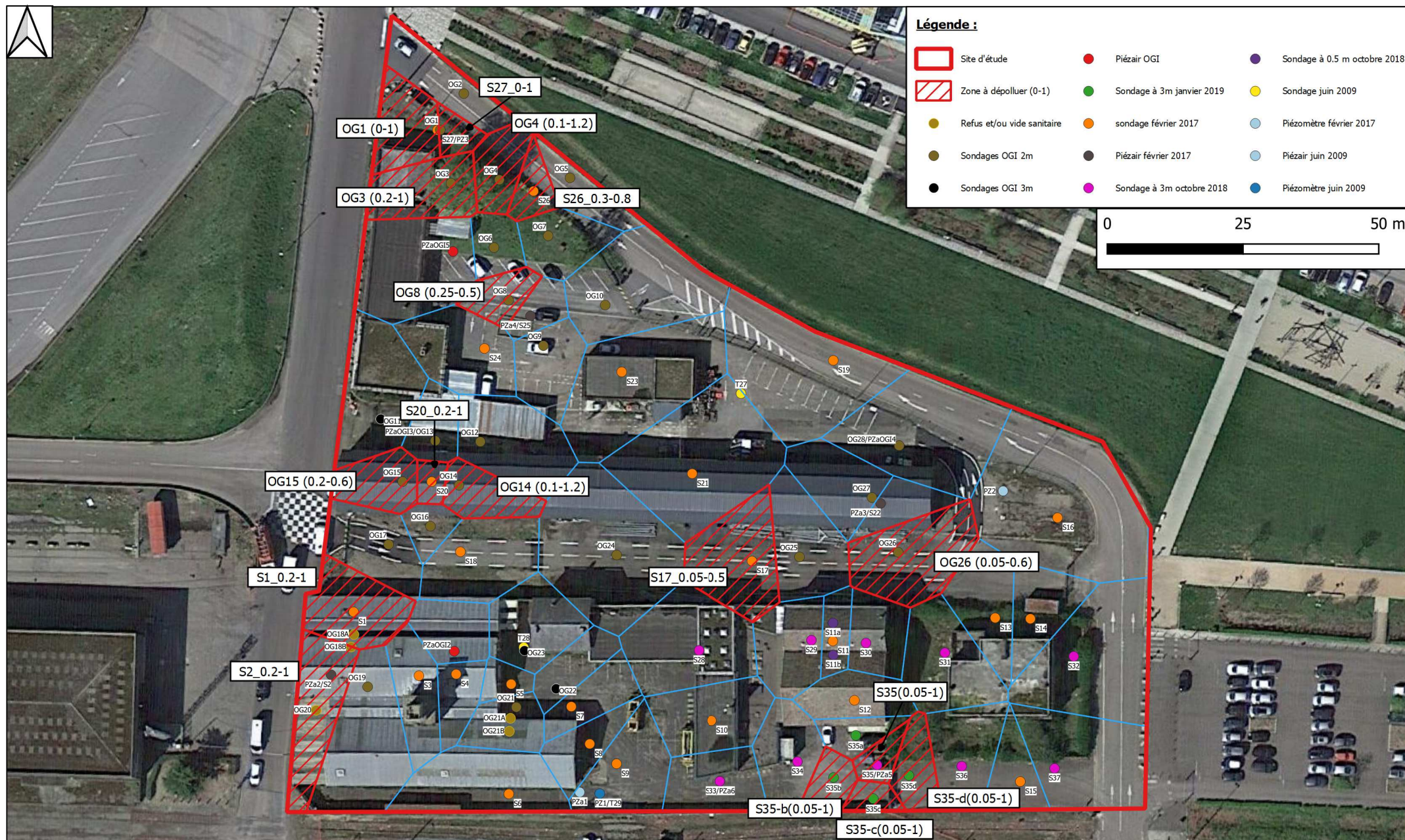


Projet	ML19 Quartier Flaubert Rouen (76)
Date	Janvier 2021
Version	A
Chef de projet	I.BOUKERCHE

Cartographie des dépassements des seuils ISDI et ISDI+		
Mission PG (Synthèse des investigations réalisées - document de travail)		

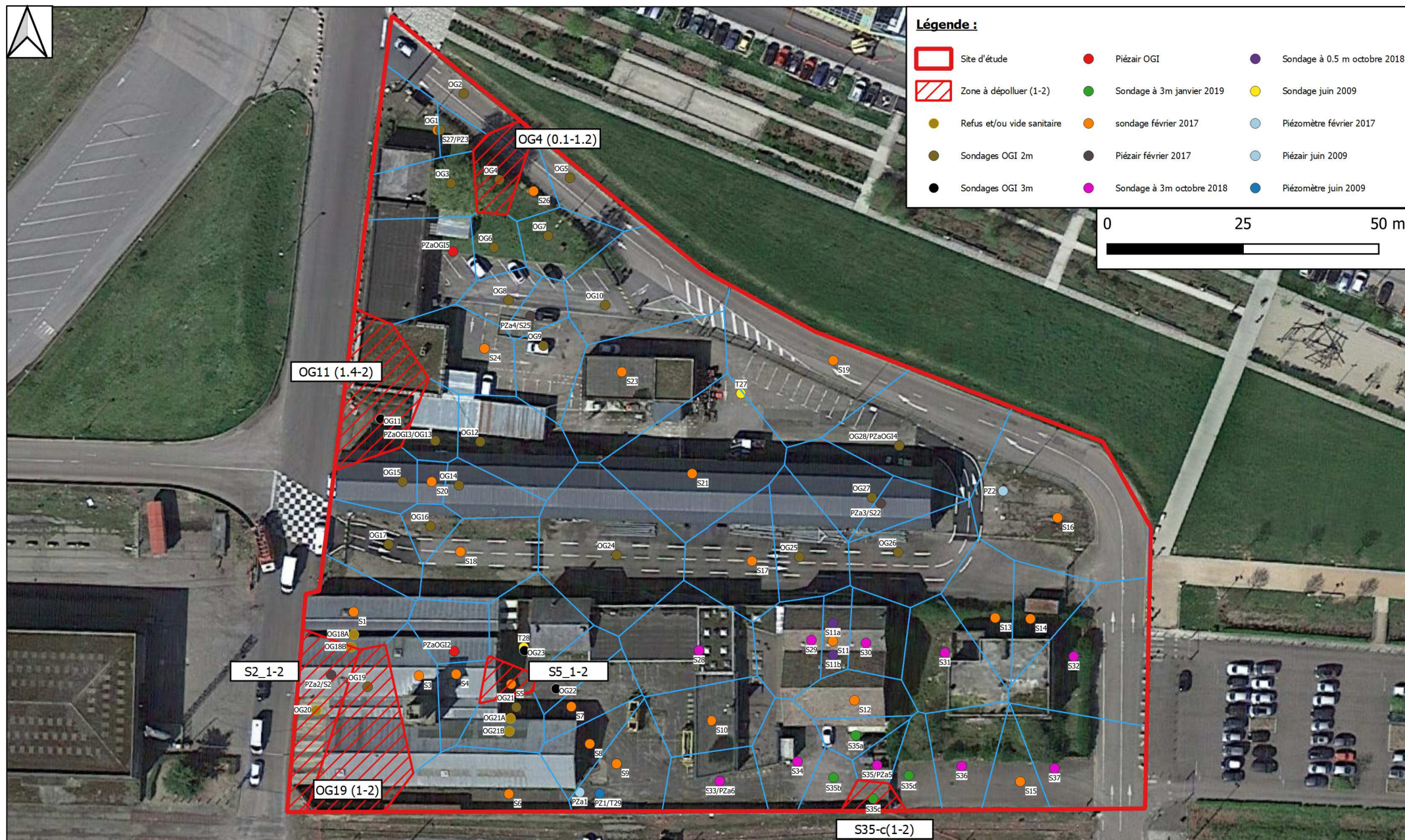
 	Annexe 4
Client : RNA	Echelle graphique
N°affaire : OG20-068-RNA-006	

Annexe 5: Localisation des zones de pollutions concentrées entre 0 et 1 m



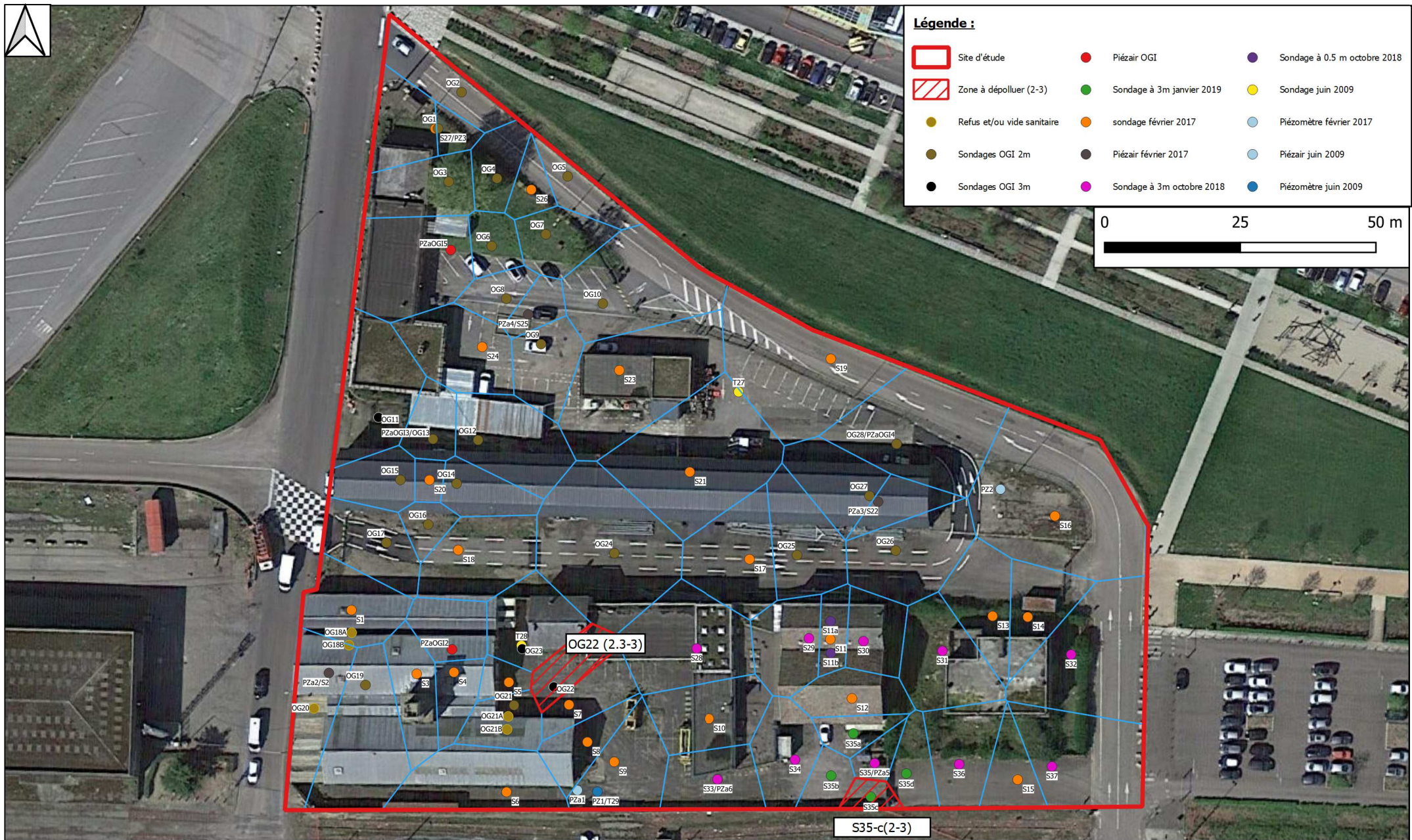
Projet	ML19 Quartier Flaubert Rouen (76)	Localisation des zones de pollutions concentrées entre 0 et 1m <
--------	---	---

Annexe 6: Localisation des zones de pollutions concentrées entre 1 et 2 m



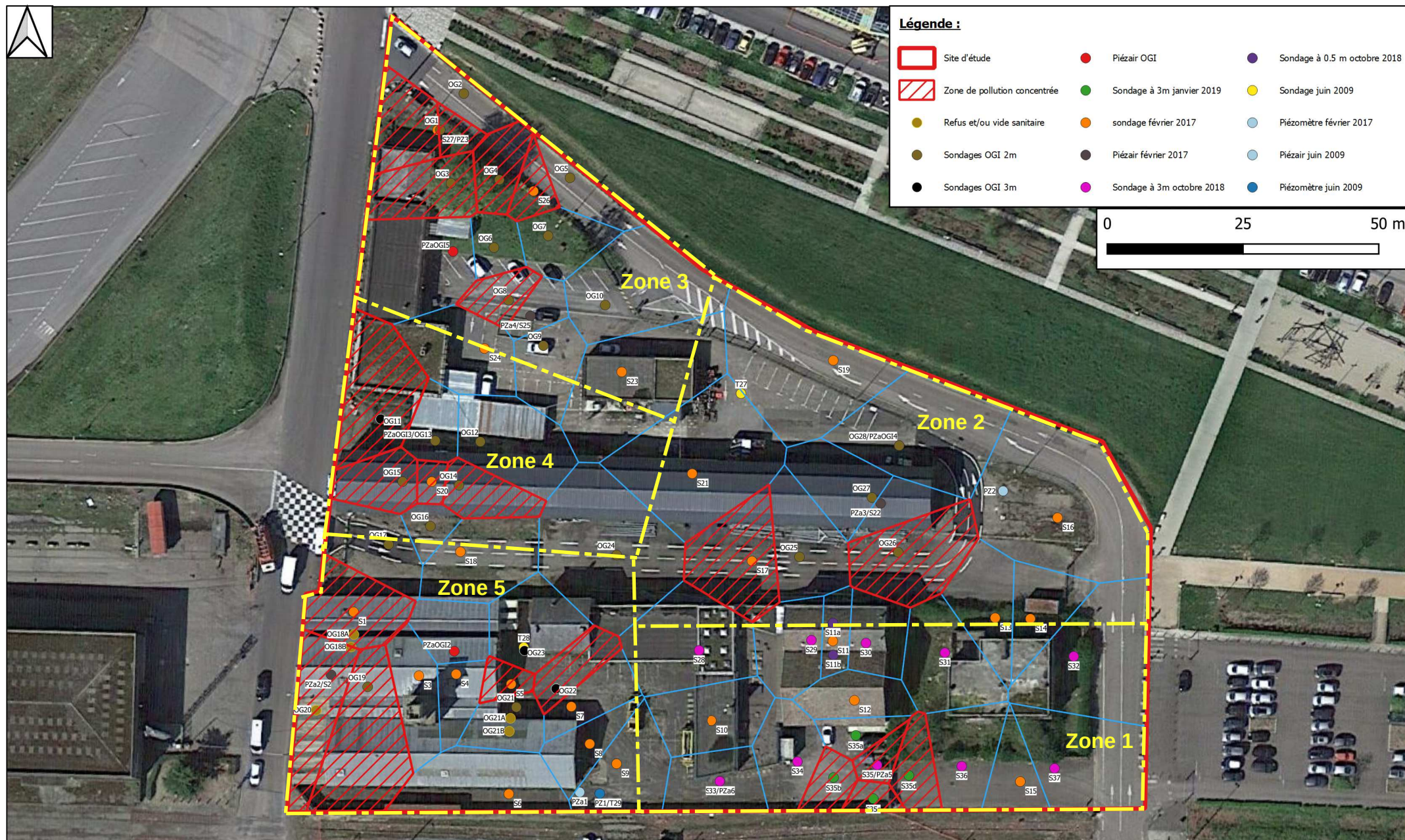
Projet	ML19 Quartier Flaubert Rouen (76)	Plan de localisation des zones de pollutions concentrées entre 1 et 2 m Mission PG (Synthèse des investigations réalisées - document de travail)	 	Annexe 6
Date	Janvier 2021			Echelle graphique
Version	A		Client : RNA	
Chef de projet	I.BOUKERCHE		N°affaire : OG20-068-RNA-006	

Annexe 7: Localisation des zones de pollutions concentrées entre 2 et 3 m



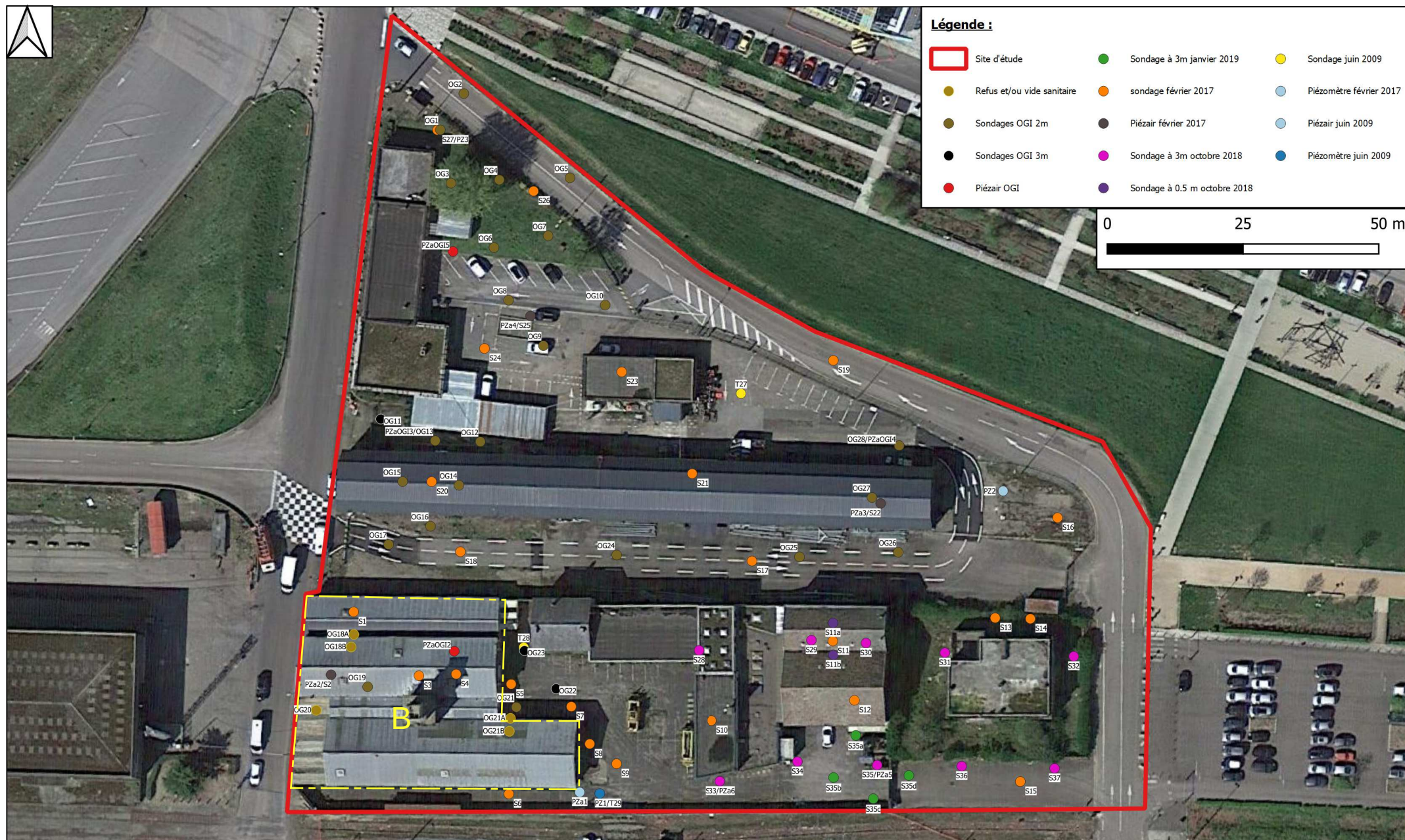
Projet	ML19 Quartier Flaubert Rouen (76)	Localisation des zones de pollutions concentrées entre 2 et 3 m Mission PG (Synthèse des investigations réalisées - document de travail)		Annexe 7
Date	Janvier 2021			
Version	A		Client : RNA	Echelle graphique
Chef de projet	I.BOUKERCHE		N°affaire : OG20-068-RNA-006	

Annexe 8: Localisation des ZPC et des zones (par typologie d'usage futur)



Projet	ML19 Quartier Flaubert Rouen (76)	Localisation des ZPC et des zones (par typologie des usages futurs) Mission PG (Synthèse des investigations réalisées - document de travail)	 	Annexe 8
Date	Janvier 2021			Echelle graphique
Version	A		Client : RNA	
Chef de projet	I.BOUKERCHE		N°affaire : OG20-068-RNA-006	

Annexe 9: Localisation des bâtiments conservés sur plan d'implantation



Légende :



Site d'étude



Sondage à 3m janvier 2019



Sondage juin 2009



Refus et/ou vide sanitaire



sondage février 2017



Piézomètre février 2017



Sondages OGI 2m



Piézair février 2017



Piézair juin 2009



Sondages OGI 3m



Sondage à 3m octobre 2018



Piézomètre juin 2009



Piézair OGI



Sondage à 0.5 m octobre 2018

0

25

50 m

Projet

ML19
Quartier Flaubert
Rouen (76)

Date

Janvier 2021

Version

A

Chef de projet

I.BOUKERCHE

Localisation des bâtiments conservés sur
plan d'implantation

Mission PG (Synthèse des investigations
réalisées - document de travail)



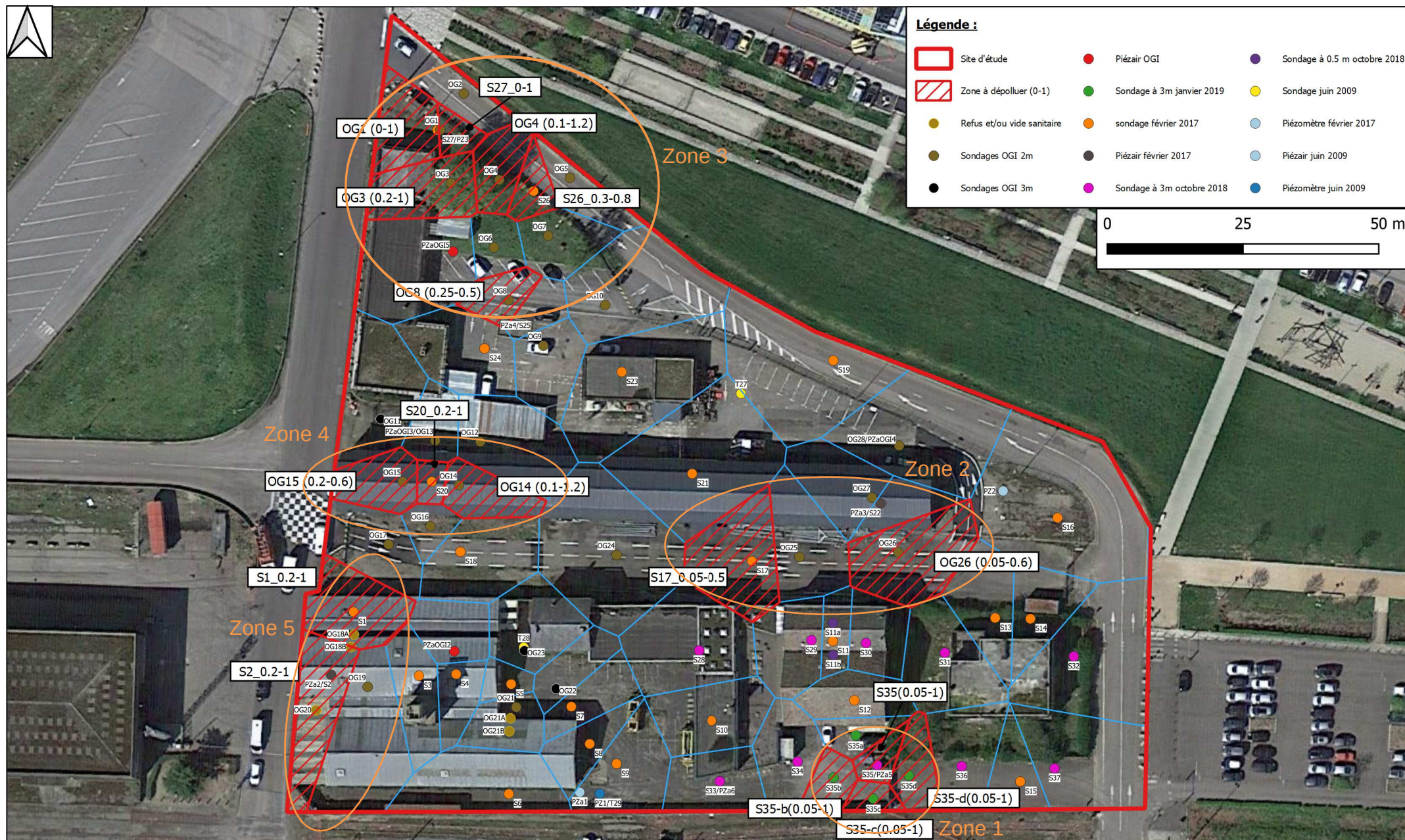
Annexe 9

Client : RNA

N°affaire : OG20-068-RNA-006

Echelle graphique

Annexe 10: Localisation des zones de pollutions concentrées



Projet	ML19 Quartier Flaubert Rouen (76)	Localisation des zones de pollutions concentrées Mission PG (Synthèse des investigations réalisées - document de travail	 	Annexe 10
Date	Janvier 2021			Echelle graphique
Version	A		Client : RNA	
Chef de projet	I.BOUKERCHE		N°affaire : OG20-068-RNA-006	