

RAPPORT

Investigations sur les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol

Ville de Pantin

Pantin (93)

N° de projet : 20151102-1-FPP

Rédacteur	Vérificatrice / Approbatrice
Luigi PALUMBO	Maud GAUDET
<i>11/01/2016 – LUP</i>	<i>20/01/2016 - MGA</i>

SOMMAIRE

PREAMBULE

CONTEXTE	5
LIMITE DE L'ETUDE.....	5
1 DESCRIPTION DES INVESTIGATIONS SUR SITE.....	7
1.1 DESCRIPTION DU SITE	7
1.2 LOCALISATION DES SONDAGES	9
1.3 CONTENU DES ANALYSES (SOLS)	9
2 INVESTIGATIONS SUR LES SOLS	10
2.1 OBSERVATIONS DE TERRAIN	10
2.2 PRESENTATION DES RESULTATS D'ANALYSES	10
2.2.1 Métaux lourds	11
2.2.2 Hydrocarbures totaux.....	12
2.2.3 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	12
2.2.4 BTEX.....	14
2.2.5 COHV et CV.....	14
2.2.6 Test de lixiviation : paramètres étudiés pour l'acceptation des terres en ISDI selon l'arrêté du 12 décembre 2014	15
3 INVESTIGATIONS SUR LES EAUX SOUTERRAINES	17
3.1 OBSERVATION DE TERRAIN ET MESURES IN SITU LORS DE L'ECHANTILLONNAGE	17
3.1.1 Niveau d'eau et mesure du fond du piézomètre	17
3.1.2 Purge des piézomètres	18
3.1.3 Le prélèvement	18
3.1.4 Contenu des analyses	19
3.2 PRESENTATION DES RESULTATS D'ANALYSES	19
3.2.1 Paramètres physico-chimiques.....	20
3.2.2 Métaux	20
3.2.3 Hydrocarbures totaux.....	21
3.2.4 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	22
3.2.5 BTEX.....	23
3.2.6 COHV.....	23
4 DESCRIPTION DES INVESTIGATIONS SUR LES GAZ DU SOLS	24
4.1 LOCALISATION DES PIEZAIRES	24
4.1.1 Contenu des analyses (gaz du sol)	24
4.2 VALEUR DE REFERENCE	25
4.3 OBSERVATIONS DE TERRAIN	25
4.4 PURGE DES PIEZAIRES	26
4.5 PRELEVEMENT ET ECHANTILLONNAGE	26

4.6	PRESENTATION DES RESULTATS D'ANALYSES	26
4.6.1	Hydrocarbures	26
4.6.2	BTEX et éthers.....	27
5	LE SCHEMA CONCEPTUEL DU SITE.....	28
5.1	ZONES IMPACTEES.....	28
5.2	CIBLES POTENTIELLES	29
5.3	MODES DE TRANSFERT DE LA SOURCE VERS LES AUTRES MILIEUX	29
6	SYNTHESE.....	30
7	RECOMMANDATIONS	31

TABLEAUX

Tableau 1 : Résultats d'analyses - Dosage des métaux lourds et assimilés dans les sols (source : AGROLAB). (a) = valeur de l'INRA-ASPITET de 1997.	12
Tableau 2 : Résultats d'analyses - Dosage des HCT dans les sols (Source : AGROLAB)	12
Tableau 3 : Résultats d'analyses – Dosage des HAP dans les sols (Source : AGROLAB)	14
Tableau 4 : Résultats d'analyses - Dosage des BTEX dans les sols (source : AGROLAB).....	14
Tableau 5 : Résultats d'analyses - Dosage des COHV et CV dans les sols (source : AGROLAB).....	15
Tableau 6 : Résultats d'analyses – Test de lixiviation sur brut (Source : AGROLAB)	16
Tableau 7 : Résultats d'analyses – Test de lixiviation sur lixiviat (Source : AGROLAB).....	17
Tableau 8 : niveau d'eau mesuré dans les piézomètres (avant purge)	18
Tableau 9 : mesures in situ avant la purge (par rapport au terrain naturel)	18
Tableau 10 : mesures et observations in situ lors de la purge des piézomètres	18
Tableau 11 : Paramètres physico-chimique mesurés après la purge des piézomètres.	20
Tableau 12 : Résultats d'analyses – Concentration (µg/l) de métaux dans les eaux souterraines (Source : AGROLAB).....	21
Tableau 13 : résultats d'analyses - dosage des HcT (µg/l) sur les eaux souterraines (source : AGROLAB)	21
Tableau 14 : résultats d'analyses - dosage des HAP (µg/l) sur les eaux souterraines (source : AGROLAB)	22
Tableau 15 : résultats d'analyses - dosage des BTEX (µg/l) sur les eaux souterraines (source : AGROLAB)	23
Tableau 16 : résultats d'analyses - dosage des COHV (µg/l) sur les eaux souterraines (source : AGROLAB)	24
Tableau 17 : Valeur limite dans l'air (Source : Directive 2008/50/CE et Décret n°2010-1250).....	25
Tableau 18 : Résultats d'analyses - Dosage des hydrocarbures dans les gaz du sol (Source : AGROLAB)	27
Tableau 19 : Résultats d'analyses - Dosage des BTEX et du MTBE dans les gaz du sol (Source : AGROLAB)	28

FIGURES

Figure 1 : Localisation du site sur la base des zones Corine Land Cover 2006 (source : géoportail.fr) ; en rouge clair le tissu urbain discontinu (cf. légende en haut à droit)	7
Figure 2 : aménagements de la ZAC du Port à Pantin (source : http://www.tourisme93.com/zac-de-pantin)	8
Figure 3 : vue aérienne du site (source www.geoportail.fr)	8

CONTEXTE

La VILLE DE PANTIN doit vérifier la qualité des sols, des eaux souterraines et des gaz du sol d'un site se trouvant entre le canal de l'Ourcq et l'avenue Jean Lolive (ancienne RN3) dans la commune de Pantin dans le département de la Seine-Saint-Denis (93). En effet, dans le cadre de la **construction d'une école**, la VILLE DE PANTIN souhaite vérifier la qualité environnementale de ses sols.

Compte tenu de l'ancienne activité du site, la VILLE DE PANTIN entend recourir à l'appui d'un conseil spécialisé pour la réalisation d'un diagnostic de pollution, intégrant d'une part la réalisation d'une synthèse des études antérieures et d'autre part le suivi des sondages et l'analyse de la qualité des sols.

Des prélèvements de sols, d'eaux souterraines et de gaz du sol ont été effectués sur site le :

- 25 novembre (sols) ;
- 04 décembre 2015 (sols et eaux souterraines) ;
- 09 décembre (gaz du sol) ;
- 11 décembre 2015 (gaz du sol).

Les échantillons ont été envoyés dans un laboratoire d'analyse dont les résultats sont exposés dans le présent rapport.

Pour répondre aux attentes du client, ce diagnostic de la qualité environnementale des sols a été conduit conformément à la norme NF X31-620 de juin 2011, et aux recommandations du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD) relatives aux modalités de gestion et réaménagement des sites pollués (note ministérielle du 08 février 2007).

La prestation est une Phase II et réunit les missions :

- A200 (Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols) ;
- A210 (Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines) ;
- A230 (Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les gaz du sol).

LIMITE DE L'ETUDE

Les éléments et les résultats présentés dans ce rapport sont issus d'échantillonnages dont l'emplacement a été défini par la société NEODYME.

Dans ces limites, Néodyme a retenu les méthodes et moyens que la société a estimé les plus appropriés pour évaluer l'état du site, en se basant sur les documents disponibles, en conformité avec les standards et réglementations en vigueur en France.

Tous les risques potentiels de pollution mis en évidence sont reportés dans le présent rapport. Cependant, il est impossible d'exclure la possibilité, quelque part sur le site, de situations différentes de ce qui a été indiqué dans le présent rapport, liées par exemple à des activités

mitoyennes, ainsi qu'à la présence de dépôts illicites, de substances dangereuses ou d'engins de guerre enterrés qui ont pu se produire et qui n'ont pu être identifiés lors de l'étude.

Les conclusions présentées dans ce rapport sont des opinions de professionnels, basées seulement sur l'interprétation des informations obtenues, comme indiqué dans le rapport.

Le contenu des services exécutés pendant cette enquête peut ne pas être approprié à d'autres utilisateurs que le maître d'ouvrage de l'étude, et toutes autres utilisations ou réutilisations de ce document, ou des résultats et des conclusions présentées sont de la seule responsabilité dudit utilisateur. Ce rapport est destiné à être utilisé dans son entier. Aucun extrait ne peut être pris pour représenter les résultats de l'évaluation.

1 DESCRIPTION DES INVESTIGATIONS SUR SITE

1.1 Description du site

Situé dans la ville de Pantin dans le département de la Seine-Saint-Denis (93), le site se trouve dans une zone urbanisée (tissu urbain discontinu composé d'espaces structurés par des bâtiments). Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes coexistent avec des surfaces végétalisées et du sol nu, qui occupent de manière discontinue des surfaces non négligeables ; cf. Figure 1.

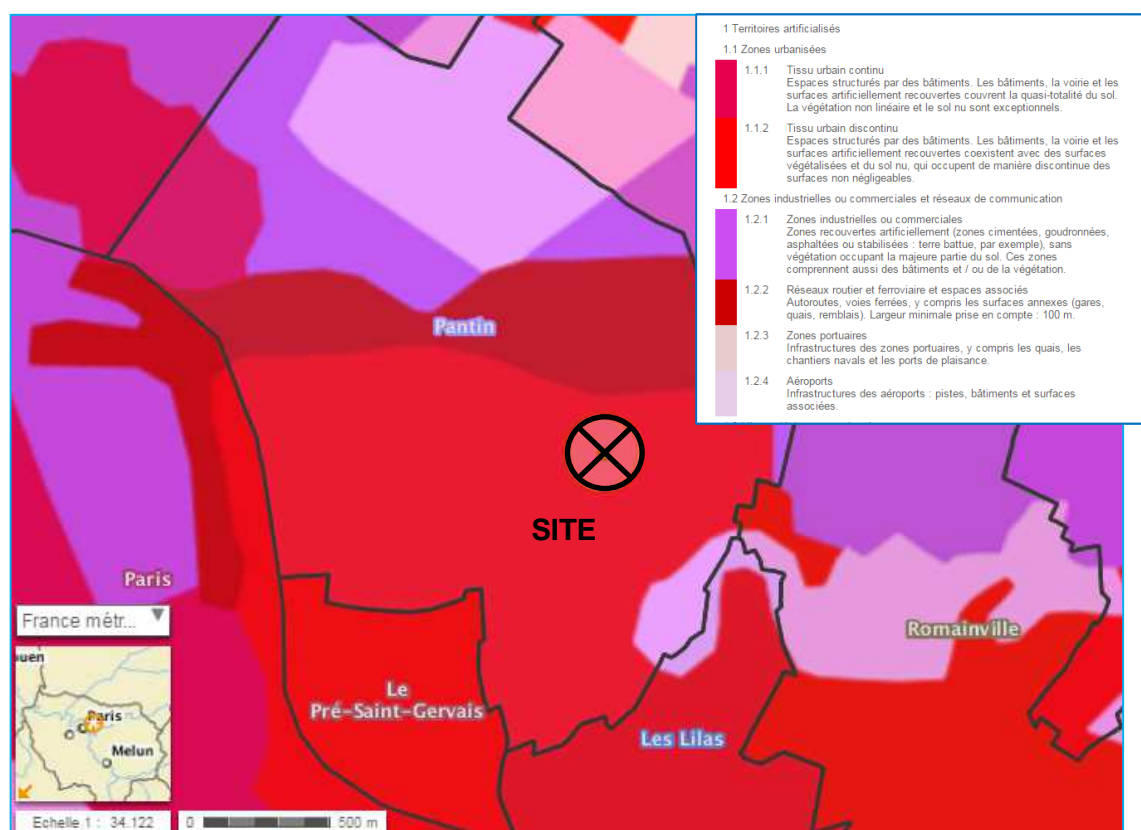


Figure 1 : Localisation du site sur la base des zones Corine Land Cover 2006 (source : géoportail.fr) ; en rouge clair le tissu urbain discontinu (cf. légende en haut à droit)

Notamment, le site est localisé dans la ZAC du Port. Cette zone, longtemps caractérisée par des activités industrielles, est en train d'être métamorphosée avec un projet mêlant lieux de vie, bureaux, lieux culturels et avec la réhabilitation/reconversion des Magasins Généraux (cf. Figure 2). Pour cela, un chantier de grande ampleur se situe entre le canal de l'Ourcq et l'avenue Jean Lolive.

Le site se localise dans le secteur méridional de ce grand chantier ; actuellement (lors des missions d'échantillonnage réalisées en novembre-décembre 2015) l'ensemble du site n'est pas accessible par un chemin unique, mais par le biais de 2 entrées distinctes.

L'accès à la partie ouest du site est commun à l'accès au chantier des Magasins Généraux (cf. Figure 3), clôturé par des grillages et des murs. L'accès au chantier est donc possible par un portail/tourniquet surveillé par un gardien.

Cette partie du site est composée d'une friche/zone asphaltée sans édifices, occupée actuellement par des structures préfabriquées et containers dédiés aux travaux BTP du chantier.

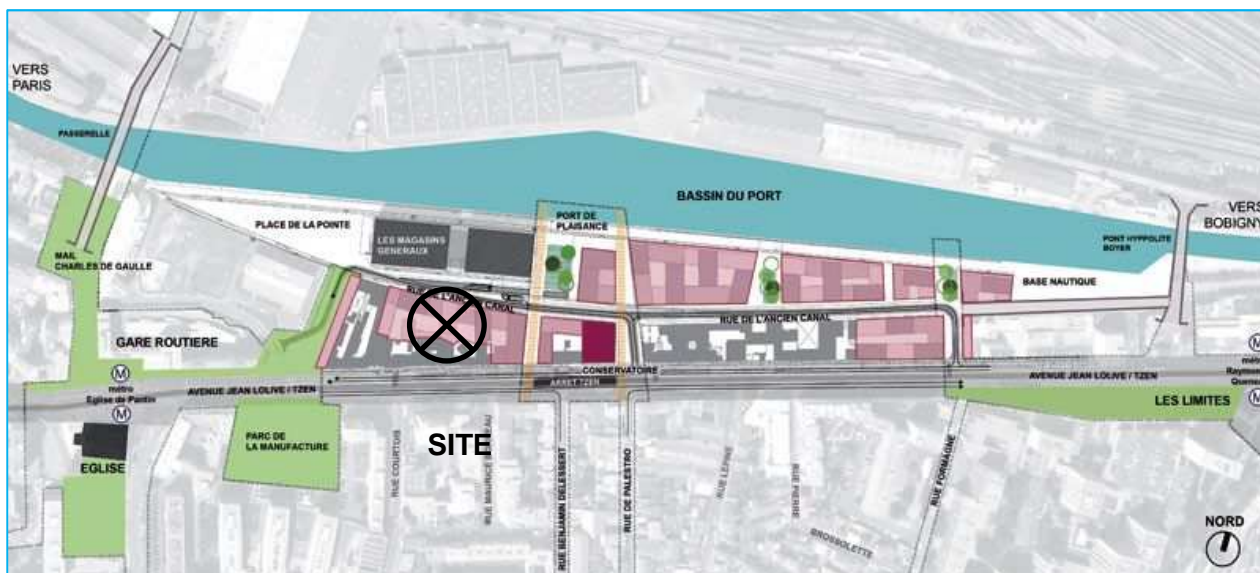


Figure 2 : aménagements de la ZAC du Port à Pantin (source : <http://www.tourisme93.com/zac-de-pantin>)

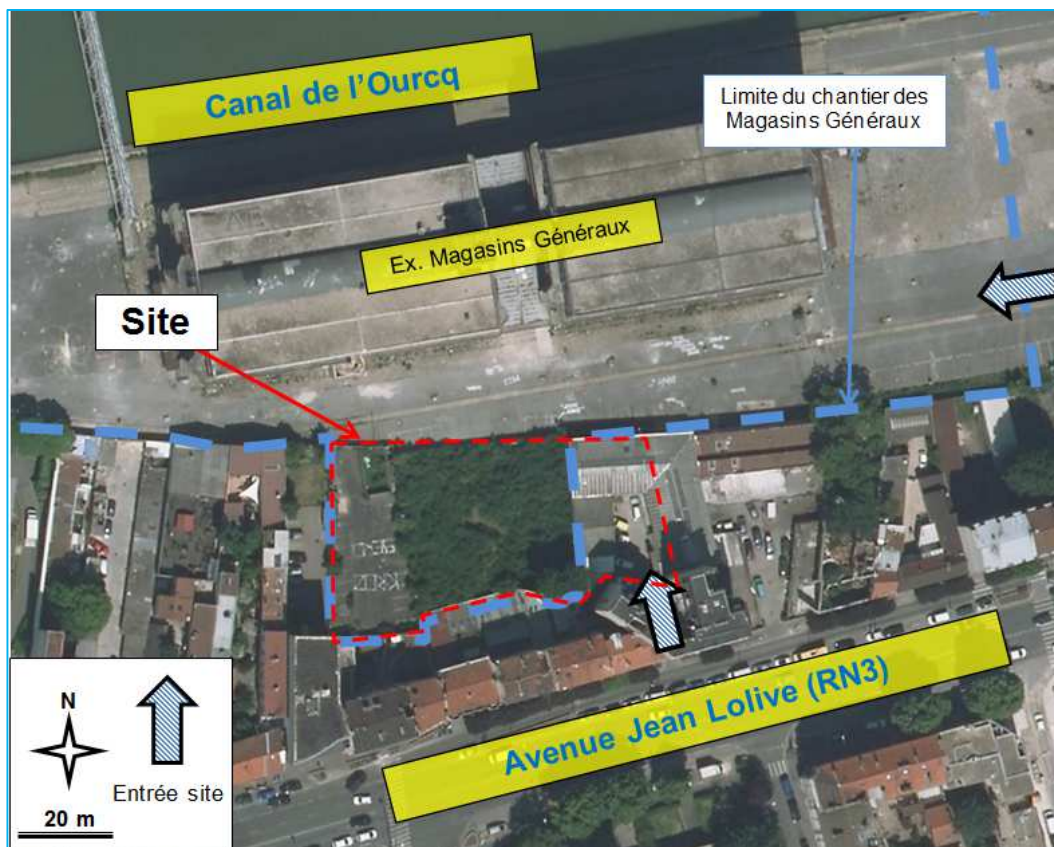


Figure 3 : vue aérienne du site (source www.geoportail.fr)

En revanche, la partie est du site est constituée d'une cour (dont l'accès est sis 181 avenue Jean Lolive) et d'immeubles (cf. Figure 3). L'accès à ces derniers est obstrué par la pose de tôles en acier ; cette condamnation a été réalisée par la ville de Pantin afin d'empêcher l'occupation illicite de ces bâtiments désormais inhabitées. Ces bâtiments incluent aussi un sous-sol (profondeur de 3 mètres) probablement occupés par une industrie textile avant d'être squattés.

1.2 Localisation des sondages

La localisation des sondages s'est basée sur la présence :

- 1) des réseaux/canalisationes,
- 2) de structures/objets tels que les préfabriqués et les stockages liés au chantier,
- 3) de la surface recouverte d'une dalle béton trop épaisse pour passer un carottier.

Toutefois, l'ensemble des échantillons a été prélevé de façon uniforme par rapport à la surface du site.

9 sondages ont été réalisés à l'aide d'une foreuse (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8 et S9) et 2 à l'aide d'un carottier portatif (S10 et S11).

Pour les sondages S1-S9, on a atteint une profondeur maximale de 4/5 m, exception faite pour S1 (2m), S6 (3m) et S8 (3m) : en effet dans S1, S6 et S8 ont été posé des piézair (nommés respectivement PZair1, PZair6 et PZair8) pour la détection (et les analyses) des gaz du sol.

Pour les sondages S10 et S11, seuls les profondeurs de 60 et 130 cm ont pu être atteintes en raison des refus de la machine.

L'ensemble des sondages a été réalisé à l'intérieur du site, au niveau du Lot 08a (cf. annexe 1).

1.3 Contenu des analyses (sols)

Nous avons collecté 16 échantillons :

Dans tous les sondages un échantillon représentatif de la couche superficielle (remblai) a été collecté ; dans les sondages S2, S6, S7, S8 et S9 on a prélevé des échantillons de sol en profondeur (entre 2 et 5 mètres) représentatifs de la couche probablement endogène. Cette distinction nous permet – par le biais des analyses – une estimation sur la probable migration verticale des polluants.

Les éléments recherchés dans **10 échantillons** (S1E1, S2E1, S3E1, S5E1, S6E1, S6E2, S7E1, S8E1, S8E2 et S10E1) de sols bruts, lors des analyses, sont les suivants :

- ✓ Métaux (Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Nickel, Plomb, Zinc, Mercure),
- ✓ HAP (Hydrocarbures aromatiques polycycliques),
- ✓ HCT (Hydrocarbures totaux C10-C40),
- ✓ COHV (Composés organiques halogénés volatils),
- ✓ BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, xylène),
- ✓ Teneur en eau.

Les éléments recherchés dans **2 échantillons** (S4E1 et S11E1) sont conformes à la liste des analyses demandées pour l'acceptation des terres en installation de stockage de déchets

inertes, selon le décret du 12 décembre 2014. Ce test permettra d'anticiper la destination des terres lors des terrassements des futurs aménagements.

2 INVESTIGATIONS SUR LES SOLS

Les investigations sur les sols ont été effectuées le 25 novembre et le 4 décembre 2015 :

- les sondages à la foreuse (25 novembre) ont été réalisés par un employé de la société FONDASOL qui disposait des compétences requises,
- les sondages au carottier portatif (4 décembre) ont été réalisés par un employé de la société ASTARUSCLE ENVIRONNEMENT qui disposait des compétences requises,
- les prélèvements des échantillons de sols ont été réalisés par un technicien de Néodyme.

2.1 Observations de terrain

La nappe n'a pas été détectée lors de nos investigations (sondage max à – 5 mètres) ; des poches d'eau ont été détectées entre 1 et 2 mètres de profondeur dans les sondages S3 et S5 (partie sud-ouest du site). En effet les mesures piézométriques en SPZ1 et SPZ2 indiquent respectivement les profondeurs de -11,7 et -6,60 mètres). Ces piézomètres ont été installés lors de la campagne géotechnique.

Au droit des sondages, l'épaisseur des couches n'est pas uniforme (cf. annexe 2) ; néanmoins on observe, du haut vers le bas :

- une dalle en béton (environ 20 cm) ;
- une couche de remblai sablo-limoneux brun, noirâtre et aussi beige (environ 100 cm) ;
- des argiles grises et des marnes sableuses jaunâtres.

Les prélèvements d'échantillons ont été réalisés à l'aide de gants en latex à usage unique. Les échantillons ont été prélevés dans les règles de l'art, dans des bocaux en verre transparent à usage unique fournis par le laboratoire.

Les échantillons prélevés ont été conservés dans une glacière réfrigérée sur le terrain puis dans un réfrigérateur dans les locaux de Néodyme, avant d'être acheminés par transporteur au laboratoire le 26 novembre (S1-S8) et le 8 décembre (S10-S11) 2015, par glacière réfrigérée.

2.2 Présentation des résultats d'analyses

- En milieu naturel, les sols contiennent naturellement des éléments pouvant être considérés comme des polluants. Ces concentrations en éléments naturels sont appelées « Fond Géochimique ».

Les résultats d'analyses ont été comparés aux valeurs de référence issues de la note CIRE Ile-de-France du 03 juillet 2006 « proposition d'un référentiel pour le choix des Éléments Traces Métalliques présents dans les sols franciliens », exception faite pour l'arsenic pour lequel « la gamme de valeurs couramment observées dans les sols "ordinaires" de toutes granulométries » de l'INRA-ASPITET de 1997 a été retenue, et aux valeurs limites pour l'admission de déchets en Installation de Stockage de Déchets Inertes (ISDI). Ceci permet d'effectuer une première estimation afin d'évaluer s'il existe un risque sanitaire potentiel vis-à-vis des futurs usagers du site.

Une synthèse des résultats d'analyses est présentée en annexe 3. Les bordereaux d'analyses sur les échantillons de sol sont reportés en annexe 4.

Légende des tableaux :

	Valeur de concentration supérieure à la valeur de référence issue de la note de l'INRA-ASPITET de 1997
	Valeur de concentration supérieure aux valeurs limites pour l'admission des déchets en installation de stockage de déchets inertes (ISDI)
< 10	concentration inférieure au seuil de détection de l'appareil de mesure

2.2.1 Métaux lourds

Méthode d'analyse :

Éléments minéraux exprimés sur sec : conforme EN-ISO 11885, Mercure: ISO 16772 (COFRAC)

Unité: mg/kg de matières sèches

Le tableau ci-dessous compare les valeurs de concentrations en métaux lourds dans les échantillons de sol aux valeurs de référence de la note CIRE IdF du 03 juillet 2006 et de l'INRA-ASPITET de 1997 (pour l'arsenic).

Les analyses des échantillons de sol prélevés sur le site montrent des concentrations non négligeables en métaux lourds ; toutes les concentrations sont supérieures aux seuils de détection analytique hormis celles en cadmium (échantillons S5E1, S6E2, S7E1, S8E2 et S10E1) et mercure (échantillon S10E1).

Les concentrations en Arsenic de tous les échantillons sont inférieures à la valeur de référence de l'INRA-ASPITET.

Les concentrations en métaux mesurées dans tous les échantillons prélevés sont inférieures aux valeurs de référence CIRE IdF, exception faite pour :

- **le cuivre** dans les échantillons **S2E1, S6E1, S6E2 et S7E1** ;
- **le mercure** dans les échantillons **S3E1, S6E1 et S6E2** ;
- **le plomb** dans les échantillons **S3E1, S6E1, S6E2 et S7E1** ;
- **le zinc** dans les échantillons **S2E1, S3E1, S6E1 et S7E1**.

Echantillon	S1E1	S2E1	S3E1	S5E1	S6E1	S6E2	S7E1	S8E1	S8E2	S10E1	CIRE IdF
Profondeur en m	0,8 - 1,2	0,5 - 0,9	0,5 - 0,8	0,4 - 0,9	0,3 - 0,7	1,9 - 2,2	0,4 - 0,8	0,4 - 0,8	2,1 - 2,5	0,3 - 0,6	
Arsenic (As)	3,5	6,3	6,4	2,7	8,3	13	8,6	14	11	2,9	25 ^(a)
Cadmium (Cd)	0,2	0,2	0,3	<0,1	0,2	<0,1	0,1	0,2	<0,1	<0,1	0,51
Chrome (Cr)	17	16	13	4,0	15	19	36	10	12	12	65,2
Cuivre (Cu)	7,4	28	26	9,1	120	51	30	13	16	8,5	28
Mercure (Hg)	0,13	0,15	1,59	0,09	1,46	1,21	0,22	0,20	0,19	<0,05	0,32
Nickel (Ni)	5,2	21	7,8	4,9	10	15	14	11	13	6,9	31,2
Plomb (Pb)	25	53	140	14	230	76	110	42	17	6,7	53,7

Zinc (Zn)	12	100	240	23	210	54	220	55	24	15	88
-----------	----	-----	-----	----	-----	----	-----	----	----	----	----

Tableau 1 : Résultats d'analyses - Dosage des métaux lourds et assimilés dans les sols (source : AGROLAB). (a) = valeur de l'INRA-ASPITET de 1997.

2.2.2 Hydrocarbures totaux

Méthode d'analyse :

Hydrocarbures totaux exprimés sur sec : méthode interne

Unité : mg/kg de matières sèches

Les concentrations mesurées en hydrocarbures totaux :

- sont inférieures à la limite de quantification de 20 mg/kg MS pour les échantillons S1E1, S5E1, S6E2 et S8E2 ;
- sont supérieures à la limite de quantification de 20 mg/kg MS pour les échantillons S2E1, S3E1, S6E1, S7E1, S8E1 et S10E1. Néanmoins, ces échantillons possèdent des concentrations en HcT inférieures au seuil de mise en installation de stockage de déchets inertes (ISDI), à savoir 500 mg/kg MS.

Échantillon	S1E1	S2E1	S3E1	S5E1	S6E1	S6E2	S7E1	S8E1	S8E2	S10E1
Profondeur en m	0,8 - 1,2	0,5 - 0,9	0,5 - 0,8	0,4 - 0,9	0,3 - 0,7	1,9 - 2,2	0,4 - 0,8	0,4 - 0,8	2,1 - 2,5	0,3 - 0,6
Fraction C10-C12	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0
Fraction C12-C16	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	5,3	<4,0	<4,0
Fraction C16-C20	<2,0	5,1	6,6	<2,0	23,5	<2,0	8,0	31,0	4,3	3,6
Fraction C20-C24	<2,0	8,8	10,7	<2,0	46,0	<2,0	10,0	31,6	4,2	5,3
Fraction C24-C28	<2,0	9,6	13,4	<2,0	72,2	3,1	8,4	27,0	4,2	9,6
Fraction C28-C32	<2,0	7,2	9,8	<2,0	70	4,1	6,4	17	3,0	11
Fraction C32-C36	<2,0	4,2	5,5	<2,0	40,0	<2,0	3,4	7,6	<2,0	8,5
Fraction C36-C40	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	17,8	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	3,5
Hydrocarbures totaux C10-C40	<20,0	38,3	50,4	<20,0	280	<20,0	39,2	120	<20,0	43,4

Tableau 2 : Résultats d'analyses - Dosage des HCT dans les sols (Source : AGROLAB)

2.2.3 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Méthode d'analyse :

HAP exprimés sur sec : méthode interne

Unité : mg/kg de matières sèches

Pour l'ensemble des échantillons analysés, les concentrations mesurées en HAP sont inférieures au seuil de détection analytique, exception faite pour le :

- Naphtalène en S3E1, S6E1, S7E1 et S8E1 ;
- Acénaphthylène en S6E1 ;
- Acénaphthène en S3E1, S6E1, S7E1, S8E1 et S8E2 ;
- Fluorène en S3E1, S6E1, S7E1, S8E1 et S8E2 ;
- Phénanthrène en S1E1, S2E1, S3E1, S6E1, S6E2, S7E1, S8E1, S8E2 ;
- Anthracène en S3E1, S6E1, S7E1, S8E1 et S8E2 ;
- Fluoranthène en S1E1, S2E1, S3E1, S5E1, S6E1, S6E2, S7E1, S8E1 et S8E2 ;
- Pyrène en S1E1, S2E1, S3E1, S5E1, S6E1, S6E2, S7E1, S8E1 et S8E2 ;
- Benzo(a)anthracène en S1E1, S2E1, S3E1, S6E1, S7E1, S8E1 et S8E2 ;
- Chrysène en S1E1, S2E1, S3E1, S6E1, S6E2, S7E1, S8E1 et S8E2 ;
- Benzo(b)fluoranthène en S1E1, S2E1, S3E1, S6E1, S6E2, S7E1, S8E1 et S8E2 ;
- Benzo(k)fluoranthène en S2E1, S3E1, S6E1, S7E1, S8E1 et S8E2 ;
- Benzo(a)pyrène en S1E1, S2E1, S3E1, S6E1, S6E2, S7E1, S8E1 et S8E2 ;
- Dibenzo(a,h)anthracène en S3E1, S6E1, et S8E1 ;
- Benzo(g,h,i)pérylène en S2E1, S3E1, S6E1, S7E1, S8E1 et S8E2 ;
- Indéno(1,2,3-cd)pyrène en S2E1, S3E1, S6E1, S7E1, S8E1 et S8E2.

La somme des concentrations mesurées en HAP sont toutes inférieures au seuil de mise en installation de stockage de déchets inertes (ISDI), à savoir 50 mg/kg MS à l'exception de **S8E1 légèrement supérieur au seuil**.

Échantillon	S1E1	S2E1	S3E1	S5E1	S6E1	S6E2	S7E1	S8E1	S8E2	S10E1
Profondeur en m	0,8 – 1,2	0,5 - 0,9	0,5 - 0,8	0,4 - 0,9	0,3 - 0,7	1,9 - 2,2	0,4 - 0,8	0,4 - 0,8	2,1 - 2,5	0,3 - 0,6
Naphtalène	<0,05	<0,05	0,072	<0,05	0,94	<0,05	0,081	0,51	<0,05	<0,05
Acénaphthylène	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,16	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Acénaphthène	<0,05	<0,05	0,12	<0,05	0,13	<0,05	0,16	0,62	0,13	<0,05
Fluorène	<0,05	<0,05	0,087	<0,05	0,36	<0,05	0,10	0,62	0,082	<0,05
Phénanthrène	0,088	0,23	0,84	<0,05	3,7	0,087	1,7	7,4	1,0	<0,05
Anthracène	<0,05	<0,05	0,17	<0,05	0,37	<0,05	0,28	1,6	0,18	<0,05
Fluoranthène	0,14	0,50	1,1	0,093	4,1	0,14	2,6	11,3	1,3	<0,05
Pyrène	0,11	0,41	1,1	0,076	3,0	0,11	1,7	8,2	1,0	<0,05
Benzo(a)anthracène	0,058	0,23	0,78	<0,05	1,4	<0,05	1,0	4,2	0,54	<0,05
Chrysène	0,066	0,24	0,76	<0,05	1,4	0,068	0,96	3,7	0,51	<0,05

Benzo(b)fluoranthène	0,063	0,26	0,96	<0,05	1,7	0,079	1,0	4,7	0,49	<0,05
Benzo(k)fluoranthène	<0,05	0,11	0,52	<0,05	0,77	<0,05	0,53	2,1	0,28	<0,05
Benzo(a)pyrène	0,071	0,23	1,2	<0,05	1,7	0,075	1,2	4,9	0,61	<0,05
Dibenzo(a,h)anthracène	<0,05	<0,05	0,072	<0,05	0,13	<0,05	<0,05	0,37	<0,05	<0,05
Benzo(g,h,i)pérylène	<0,05	0,12	0,76	<0,05	1,1	<0,05	0,76	3,0	0,34	<0,05
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	<0,05	0,15	0,92	<0,05	1,3	<0,05	0,87	3,9	0,42	<0,05
HAP (6 Borneff) - somme	0,274	1,37	5,46	0,093	10,7	0,294	6,96	29,9	3,44	n.d.
Somme HAP (VROM)	0,423	1,81	7,12	0,093	16,8	0,370	9,98	42,6	5,18	n.d.
HAP (EPA) - somme	0,596	2,48	9,46	0,169	22,3	0,559	12,9	57,1	6,88	n.d.

Tableau 3 : Résultats d'analyses – Dosage des HAP dans les sols (Source : AGROLAB)

2.2.4 BTEX

Méthode d'analyse :

BTEX exprimés sur sec : ISO 22155 (COFRAC)

Unité : mg/kg de matières sèches

Pour l'ensemble des échantillons analysés, les concentrations mesurées en BTEX sont inférieures au seuil de détection analytique, **exception faite pour le Benzène et le Toluène dans les échantillons S6E2 et S7E1.**

Toutefois la somme des concentrations mesurées en BTEX sont toutes inférieures au seuil de mise en installation de stockage de déchets inertes (ISDI), à savoir 6 mg/kg MS.

Échantillon	S1E1	S2E1	S3E1	S5E1	S6E1	S6E2	S7E1	S8E1	S8E2	S10E1
Profondeur en m	0,8 – 1,2	0,5 - 0,9	0,5 - 0,8	0,4 - 0,9	0,3 - 0,7	1,9 - 2,2	0,4 - 0,8	0,4 - 0,8	2,1 - 2,5	0,3 - 0,6
Benzène	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,15	0,20	<0,05	<0,05	<0,05
Toluène	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	0,10	<0,05	<0,05	<0,05
Ethylbenzène	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
m,p-Xylène	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
o-Xylène	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
somme des BTEX	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Tableau 4 : Résultats d'analyses - Dosage des BTEX dans les sols (source : AGROLAB)

2.2.5 COHV et CV

Méthode d'analyse :

COHV et CV exprimés sur sec : ISO 22155 (COFRAC)

Unité : mg/kg de matières sèches

Pour l'ensemble des échantillons analysés, les concentrations mesurées en COHV et Chlorure de Vinyle sont inférieures au seuil de détection analytique, **exception faite pour le trichloréthylène en S2E1**.

Les Sommes cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes sont toutes inférieures au seuil de mise en installation de stockage de déchets inertes (ISDI), à savoir 1 mg/kg MS.

Échantillon	S1E1	S2E1	S3E1	S5E1	S6E1	S6E2	S7E1	S8E1	S8E2	S10E1
Profondeur en m	0,8 – 1,2	0,5 - 0,9	0,5 - 0,8	0,4 - 0,9	0,3 - 0,7	1,9 - 2,2	0,4 - 0,8	0,4 - 0,8	2,1 - 2,5	0,3 - 0,6
Chlorure de Vinyle	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Dichlorométhane	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Trichlorométhane	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tétrachlorométhane	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Trichloroéthylène	<0,05	0,12	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tétrachloroéthylène	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1,1-Trichloroéthane	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1,2-Trichloroéthane	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1-Dichloroéthane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
1,2-Dichloroéthane	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
cis-1,2-Dichloroéthène	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
1,1-Dichloroéthylène	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Trans-1,2-Dichloroéthylène	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Tableau 5 : Résultats d'analyses - Dosage des COHV et CV dans les sols (source : AGROLAB)

2.2.6 Test de lixiviation : paramètres étudiés pour l'acceptation des terres en ISDI selon l'arrêté du 12 décembre 2014

Un test de lixiviation selon les normes de l'arrêté du 12 décembre 2014 a été mené sur 2 échantillons : (S4E1 et S11E1).

Les paramètres analysés pour l'échantillon **S4E1** indiquent une quantité de :

- **Sulfates cumulés** de 16000 mg/kg MS. Cette valeur dépasse largement le seuil de l'arrêté du 12 décembre 2014, à savoir 1000 mg/Kg Ms.
- Une **fraction soluble cumulée** de 24000 mg/kg MS. Cette valeur dépasse largement le seuil de l'arrêté du 12 décembre 2014, à savoir 4000 mg/Kg Ms.

Les paramètres analysés pour l'échantillon **S11E1** indiquent une quantité de :

- **Fluorures cumulés** de 10 mg/kg MS. Cette valeur égale le seuil de l'arrêté du 12 décembre 2014, à savoir 10 mg/Kg Ms.
- **Molybdène cumulés** de 0,52 mg/kg MS. Cette valeur dépasse légèrement le seuil de l'arrêté du 12 décembre 2014, à savoir 0,50 mg/Kg Ms.
- **Sulfates cumulés** de 14000 mg/kg MS. Cette valeur dépasse largement le seuil de l'arrêté du 12 décembre 2014, à savoir 1000 mg/Kg Ms.
- Une **fraction soluble cumulée** de 24000 mg/kg MS. Cette valeur dépasse largement le seuil de l'arrêté du 12 décembre 2014, à savoir 4000 mg/Kg Ms.

Pour les 2 échantillons, ces dépassements ne sont pas jugés conformes aux critères d'admission :

Étant donné les valeurs observées, les terres au droit des prélèvements ne seront pas admissibles en ISDI.

Code de l'échantillon		S4E1	S11E1	Seuil
Nom Laboratoire		AGROLAB	AGROLAB	Arrêté du 12/12/14 relatif aux installations de stockage de déchets inertes
HAP (EPA) - somme 16 HAP	mg/kg Ms	n.d.	n.d.	50
Somme BTEX	mg/kg Ms	n.d.	n.d.	6
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg Ms	<20	<20	500
Somme PCB (STI) (ASE)	mg/kg Ms	n.d.	n.d.	1
COT	mg/kg MS	3400	6000	30 000

Tableau 6 : Résultats d'analyses – Test de lixiviation sur brut (Source : AGROLAB)

Code de l'Échantillon		S4E1	S11E1	Seuil
Nom Laboratoire		AGROLAB	AGROLAB	Arrêté du 12/12/14 relatif aux installations de stockage de déchets inertes
Antimoine cumulé	mg/kg Ms	0 - 0,05	0 - 0,05	0,06
Arsenic cumulé	mg/kg Ms	0 - 0,05	0 - 0,05	0,5
Baryum cumulé	mg/kg Ms	0,41	0,45	20.00
Cadmium cumulé	mg/kg Ms	0,002	0 - 0,001	0,04
Chlorures cumulé	mg/kg Ms	28	110	800
Chrome cumulé	mg/kg Ms	0 - 0,02	0,03	0,5

COT cumulé	mg/kg Ms	12	20	500
Cuivre cumulé	mg/kg Ms	0,04	0 - 0,02	2
Fluorures cumulé	mg/kg Ms	8,0	10	10
Indice phénol cumulé	mg/kg Ms	0 - 0,1	0 - 0,1	1
Mercure cumulé	mg/kg Ms	0 - 0,0003	0 - 0,0003	0,01
Molybdène cumulé	mg/kg Ms	0,11	0,52	0,5
Nickel cumulé	mg/kg Ms	0 - 0,05	0 - 0,05	0,4
Plomb cumulé	mg/kg Ms	0 - 0,05	0 - 0,05	0,5
Sélénium cumulé	mg/kg Ms	0 - 0,05	0 - 0,05	0,1
Sulfates cumulé	mg/kg Ms	16000	14000	1000
Zinc cumulé	mg/kg Ms	0,21	0 - 0,02	4
Fraction soluble cumulée	mg/kg Ms	24000	24000	4000

Tableau 7 : Résultats d'analyses – Test de lixiviation sur lixiviat (Source : AGROLAB)

3 INVESTIGATIONS SUR LES EAUX SOUTERRAINES

Les investigations sur les eaux souterraines ont été effectuées le 4 décembre 2015 par un technicien de Néodyme.

Les mesures du niveau piézométrique, l'échantillonnage des eaux ainsi que les mesures in situ (cf. annexe 5) ont été réalisés par le biais de 2 piézomètres préalablement installés sur le site ; SPZ1, localisé près des sondages S8 et S9 (partie sud-est du site), et SPZ2, localisé près du sondage S3 (partie sud-ouest du site ; cf. annexe 1).

Les deux piézomètres ont la même altitude (51 m NGF). Ils sont à considérer en amont du site par rapport au sens d'écoulement des eaux souterraines : en effet, soit les données régionales, soit la position du site par rapport à la Seine/et au canal de l'Ourcq, indiquent vraisemblablement le nord comme sens d'écoulement des eaux souterraines.

La direction plus précise du flux d'eaux souterraines est concevable avec la réalisation d'au moins un autre piézomètre dans le secteur nord (triangulation de la surface de la nappe) ; toutefois, la réalisation d'autres piézomètres est impossible en raison du chantier en cours.

3.1 Observation de terrain et mesures in situ lors de l'échantillonnage

3.1.1 Niveau d'eau et mesure du fond du piézomètre

Piézomètre	Niveau statique	Niveau NGF
SPZ1	-11,70 m	39,3 m
SPZ2	-6,60 m	44,4 m

Tableau 8 : niveau d'eau mesuré dans les piézomètres (avant purge)

Piézomètre	Fond du piézomètre
SPZ1	> 30 m
SPZ2	8 m

Tableau 9 : mesures in situ avant la purge (par rapport au terrain naturel)

Le niveau de la nappe est compris entre 11,7 m et 6,6 m de profondeur en moyenne, par rapport au terrain naturel au droit du site.

Entre SPZ2 et SPZ1 il y a un dénivelé de 5,1 mètres (NGF) ; compte tenu de la distance d'environ 50 mètres entre ces deux points, la pente calculée est d'environ 0,1% vers l'est. D'ailleurs cette direction n'est pas en désaccord avec les considérations générales faites sur le sens d'écoulement au début du chapitre 3 : considérant l'absence d'autres piézomètres qui pourraient mieux préciser cette direction, compte tenu que la présence de couches argileuses à épaisseurs variables au droit du site qui perturbe la surface du niveau de la nappe, le sens d'écoulement N-NE est considéré comme direction générale de la nappe superficielle. Par ailleurs, vu la stratigraphie générale du site et les sondages existants (cf. l'étude historique R-LUP-1511-02a), la nappe atteinte est probablement une nappe perchée dans les alluvions.

3.1.2 Purge des piézomètres

La purge des piézomètres a été réalisée à l'aide de tubes bailers.

En SPZ1, le tube préleveur standard (PEHD Ø 40mm) n'a pas pu être utilisé car la section du piézomètre se réduit à environ 3 mètres de profondeur (ce piézomètre a été probablement posé pour une utilisation purement géotechnique) ; par conséquent, la purge de SPZ1 a été réalisée manuellement avec un tube bailer de Ø 19 mm.

En SPZ2, le tube préleveur standard (PEHD Ø 40mm) a pu être utilisé ; toutefois l'utilisation de la pompe d'échantillonnage a échoué probablement en raison de la faible productivité de la nappe. La purge a été réalisée manuellement.

Les piézomètres ont été vidés au moins une fois par pompage avant échantillonnage.

Numéro du piézomètre	Quantité d'eau pompée	Débit	Couleur de l'eau	Turbidité de l'eau	Niveau d'eau après la purge par rapport au repère (profondeur)
SPZ1	5 l	-	neutre	absente	-
SPZ2	3 l	faible	noirâtre	moyenne	6,50

Tableau 10 : mesures et observations in situ lors de la purge des piézomètres

3.1.3 Le prélèvement

Les prélèvements d'échantillons ont été réalisés à l'aide d'un tube préleveur (respectivement de 19 et 40 mm de diamètre pour SPZ1 et SPZ2).

Les échantillons ont été prélevés dans les règles de l'art, dans des flacons à usage unique, fournis par le laboratoire.

Les échantillons prélevés ont été conservés dans une glacière réfrigérée sur le terrain puis dans le réfrigérateur dédié au stockage dans les locaux de NEODYME, avant d'être acheminés au laboratoire par glacière réfrigérée et messagerie express le 8 décembre.

Les constats organoleptiques des eaux ont mis en évidence les observations suivantes :

- en SPZ1 pas d'odeur détectée ou de couleur suspecte ;
- en SPZ2 l'eau était noirâtre, turbide et avait une forte odeur carbonée.

3.1.4 Contenu des analyses

Un échantillon d'eau souterraine a été prélevé pour chaque piézomètre, des analyses physico-chimiques in-situ ont également été réalisés.

Les éléments recherchés dans **les 2 échantillons** (SPZ1 et SPZ2) d'eaux souterraines sont les suivants :

- ✓ Métaux (Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Nickel, Plomb, Zinc, Mercure),
- ✓ HAP (Hydrocarbures aromatiques polycycliques),
- ✓ HCT (Hydrocarbures totaux C10-C40),
- ✓ COHV (Composés organiques halogénés volatils),
- ✓ BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, xylène).

3.2 Présentation des résultats d'analyses

En milieu naturel, les eaux contiennent naturellement des éléments pouvant être considérés comme des polluants. Ces concentrations en éléments naturels sont appelées « Fond Hydrogéologique ».

Les résultats d'analyses ont été confrontés :

- aux valeurs limites de qualité des eaux brutes issues de l'Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine;
- aux valeurs limites et référence de qualité pour l'eau destinée à la consommation humaine issues de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine.

Nous comparerons les résultats surtout aux valeurs limites de qualité des eaux brutes car on considère que les eaux souterraines ne seront pas consommées directement.

Cette comparaison permet d'effectuer une première estimation afin d'évaluer s'il existe un risque sanitaire potentiel vis-à-vis des cibles à une éventuelle contamination de ce milieu d'exposition (sur et hors site).

Il est admis que, l'usage futur du site prévu est une école, l'usage est considéré comme sensible.

Une synthèse des résultats d'analyses est présentée en annexe 6. Les bordereaux d'analyses sur les échantillons d'eaux sont reportés en annexe 7.

Légende des tableaux :

< 10 : concentration inférieure au seuil de détection analytique.

Valeurs supérieures à la valeur limite et référence de qualité pour les eaux brutes destinées à la consommation humaine issue de l'arrêté du 11 janvier 2007.

3.2.1 Paramètres physico-chimiques

Échantillon	SPZ1	SPZ2	Seuils eaux potables Arr. 11/01/2007 annexe 1 Valeur limite	Seuils eaux potables Arr. 11/01/2007 annexe 1 Valeur référence	Seuils eaux potabilisables (eaux brutes) Arr. 11/01/2007 annexe 2 Valeur limite
Température (°C)	13	14,2	-	25	25
pH	8,7	7,6	-	6,5 – 9	-
Conductivité (µS/cm)	305	2813	-	180 – 1000 à 20 °C	-
Redox (mV)	104	147	-	-	-
O2 dissous (%)	0	0	-	-	< 30%

Tableau 11 : Paramètres physico-chimique mesurés après la purge des piézomètres.

Les valeurs de pH mesurées dans les eaux souterraines sont comprises entre 7,6 et 8,7 ; ces eaux sont légèrement (SPZ2) et moyennement basiques (SPZ1) sans dépasser les seuils de référence de l'arrêté du 11 janvier 2007.

Les valeurs de conductivité mesurées sont de 305 µS/cm (SPZ1) et 2813 µS/cm (SPZ2) respectivement aux températures de 13 et 14,2 °C. La valeur de 2813 µS/cm dépasse les seuils de référence de l'arrêté du 11 janvier 2007.

Le taux d'oxygène dissous dans les échantillons est négligeable.

3.2.2 Métaux

Méthode d'analyse : méthode NEN-EN-ISO 17294-2 ; EN 1483 (mercure)

Unité : µg/l

Échantillon	SPZ1	SPZ2	Limite de potabilité	Limite de potabilisation
Arsenic (As)	<5,0	26	10 µg/l ^(b)	100 µg/l ^(a)
Cadmium (Cd)	<0,10	0,25	5 µg/l ^(b) / 3 µg/l ^(c)	5 µg/l
Chrome (Cr)	2,5	5,1	50 µg/l ^(b)	50 µg/l ^(a)
Cuivre (Cu)	15	6,2	2000 µg/l ^(b)	-
Mercure (Hg)	<0,03	0,33	1 µg/l ^(b) / 6 µg/l ^(c) 0,01 µg/l ^(b) / 0,7 µg/l ^(c)	1 µg/l ^(a)
Nickel (Ni)	<5,0	18	20 µg/l ^(b) / 70 µg/l ^(c) 0,01 µg/l ^(b) / 0,7 µg/l ^(c)	-
Plomb (Pb)	8,7	73	10 µg/l ^(b)	50 µg/l ^(a)
Zinc (Zn)	360	44	-	5000 µg/l ^(a)

Tableau 12 : Résultats d'analyses – Concentration (µg/l) de métaux dans les eaux souterraines (Source : AGROLAB)

(a)= limite de qualité des eaux brutes issue de l'Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine

(b) = limite et référence de qualité pour l'eau destinée à la consommation humaine issue de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine

(c) = valeur de référence issue des valeurs guides de l'OMS (Guidelines for Water Quality), 3ème édition, 2006

En SPZ1, les concentrations en arsenic, cadmium, mercure et nickel sont inférieures au seuil de détection analytique. Les concentrations en chrome, cuivre, plomb et zinc sont supérieures au seuil de détection analytique mais toutes inférieures à la limite de potabilisation (arrêté 11 janvier 2007).

En SPZ2, les concentrations en métaux sont toutes supérieures au seuil de détection analytique ; la concentration **en plomb** dépasse la limite de potabilisation de l'arrêté 11 janvier 2007.

3.2.3 Hydrocarbures totaux

Méthode d'analyse : méthode interne

Unité : µg/l

Échantillon	SPZ1	SPZ2	Limite de potabilisation
Hydrocarbures Totaux C10 – C40	227	<50	1000 µg/l ^(a)
Fraction C10-C12	36	<10	-
Fraction C12-C16	44	<10	-
Fraction C16-C20	29	<5,0	-
Fraction C20-C24	32	<5,0	-
Fraction C24-C28	27	6,2	-
Fraction C28-C32	34	<5,0	-
Fraction C32-C36	18	<5,0	-
Fraction C36-C40	7,1	<5,0	-

Tableau 13 : résultats d'analyses - dosage des HcT (µg/l) sur les eaux souterraines (source : AGROLAB)

(a)= limite de qualité des eaux brutes issue de l'Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine

En SPZ1, les concentrations des hydrocarbures mesurées (pour toutes les fractions) sont supérieures aux seuils de détection analytiques ; la concentration en hydrocarbures totaux est inférieure à la limite de potabilisation fixée par l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine.

En SPZ2, les concentrations des hydrocarbures mesurées (exception faite pour la fraction C24-C28) sont inférieures aux seuils de détection analytiques ; la concentration en hydrocarbures totaux est inférieure à la limite de potabilisation fixée par l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine.

3.2.4 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Méthode d'analyse : méthode interne

Unité : µg/l

Échantillon	SPZ1	SPZ2	Limite de potabilité	Limite de potabilisation
Naphtalène	<0,02	0,1	-	-
Acénaphthylène	<0,050	<0,050	-	-
Acénaphthène	<0,01	0,02	-	-
Fluorène	<0,010	0,035	-	-
Phénanthrène	0,016	0,014	-	-
Anthracène	<0,010	<0,010	-	-
Fluoranthène	0,019	<0,010	-	-
Pyrène	0,017	0,012	-	-
Benzo(a)anthracène	<0,010	<0,010	-	-
Chrysène	<0,010	<0,010	-	-
Benzo(b)fluoranthène	<0,010	<0,010	-	-
Benzo(k)fluoranthène	<0,01	<0,01	-	-
Benzo(a)pyrène	<0,010	<0,010	0,01 µg/l ^(b) / 0,7 µg/l ^(c)	-
Dibenzo(a,h)anthracène	<0,010	<0,010	-	-
Benzo(g,h,i)pérylène	<0,010	<0,010	-	-
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	<0,010	<0,010	-	-
Somme HAP	0,019	n.d.	0,1 µg/l ^(b)	-
HAP (VROM) - somme	0,035	0,11	-	1 µg/l ^(a)
HAP (EPA) - somme	0,052	0,18	-	-

Tableau 14 : résultats d'analyses - dosage des HAP (µg/l) sur les eaux souterraines (source : AGROLAB)

(a) = limite de qualité des eaux brutes issue de l'Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine

(b) = limite et référence de qualité pour l'eau destinée à la consommation humaine issue de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine

(c) = valeur de référence issue des valeurs guides de l'OMS (Guidelines for Water Quality), 3ème édition, 2006

En SPZ1, les concentrations des HAP mesurées sont inférieures aux limites de détections exception faite pour le Phénanthrène, le Fluoranthène, et le Pyrène. La somme des HAP et la concentration en Benzo(a)pyrène ne dépassent pas les limites de potabilité et de potabilisation fixées par l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine.

En SPZ1, les concentrations des HAP mesurées sont inférieures aux limites de détections exception faite pour le Naphtalène, l'Acénaphène, le Fluorène, le Phénanthrène et le Pyrène. La somme des HAP et la concentration en Benzo(a)pyrène ne dépassent pas les limites de potabilité et de potabilisation fixées par l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine.

3.2.5 BTEX

Méthode d'analyse : EN-ISO 11423-1:

Unité : µg/l

Échantillon	SPZ1	SPZ2	Limite de potabilité	Limite de potabilisation
Benzène	<0,2	<0,2	1 µg/l ^(b)	-
Toluène	0,6	<0,5	700 µg/l ^(c)	-
Ethylbenzène	<0,5	<0,5	300 µg/l ^(c)	-
m,p-Xylène	<0,2	<0,2	-	-
o-Xylène	<0,50	<0,50	-	-
Somme Xylènes	n.d.	n.d.	500 µg/l ^(c)	-

Tableau 15 : résultats d'analyses - dosage des BTEX (µg/l) sur les eaux souterraines (source : AGROLAB)

(a)= limite de qualité des eaux brutes issue de l'Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine

(b) = limite et référence de qualité pour l'eau destinée à la consommation humaine issue de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine

(c) = valeur de référence issue des valeurs guides de l'OMS (Guidelines for Water Quality), 3ème édition, 2006

L'ensemble des concentrations des BTEX mesurées sont inférieures aux limites de détections exception faite pour le Toluène en SPZ1.

Pour les deux piézomètres, l'ensemble des concentrations en Benzène, Toluène, Ethylbenzène et aussi la somme des Xylènes ne dépasse pas les limites de potabilité et de potabilisation fixées par l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine, et les valeurs de référence issues des valeurs guides de l'OMS (2006).

3.2.6 COHV

Méthode d'analyse : méthode interne

Unité : µg/l

Échantillon	SPZ1	SPZ2	Limite de potabilité	Limite de potabilisation
Dichlorométhane	<0,5	<0,5	20 µg/l ^(c)	-
Tétrachlorométhane	<0,1	<0,1	400 µg/l	-
Trichlorométhane	5,0	<0,5	300 µg/l ^(c)	-
1,1-Dichloroéthane	<0,5	<0,5	-	-
1,2-Dichloroéthane	<0,5	<0,5	3 µg/l ^(b) / 30 µg/l ^(c)	-

Échantillon	SPZ1	SPZ2	Limite de potabilité	Limite de potabilisation
1,1,1-Trichloroéthane	<0,5	<0,5	-	-
1,1,2-Trichloroéthane	<0,5	<0,5	-	-
1,1- Dichloroéthylène	<0,1	<0,1	-	-
Chlorure de Vinyle	<0,2	<0,2	0,5 µg/l ^(b) / 0,3 µg/l ^(c)	-
cis-1,2-Dichloroéthène	<0,50	<0,50	-	-
Trans-1,2-Dichloroéthylène	<0,50	<0,50	-	-
Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes	n.d.	n.d.	-	-
Trichloroéthylène	<0,5	<0,5	-	-
Tétrachloroéthylène	<0,1	0,1	-	-

Tableau 16 : résultats d'analyses - dosage des COHV (µg/l) sur les eaux souterraines (source : AGROLAB)

(a)= limite de qualité des eaux brutes issue de l'Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine

(b) = limite et référence de qualité pour l'eau destinée à la consommation humaine issue de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine

(c) = valeur de référence issue des valeurs guides de l'OMS (Guidelines for Water Quality), 3ème édition, 2006

L'ensemble des concentrations des COHV mesurées sont inférieures aux limites de détections exception faite pour le Trichlorométhane en SPZ1 et le Tétrachloroéthylène en SPZ2.

Pour les deux piézomètres, l'ensemble des concentrations en Dichlorométhane, Tétrachlorométhane, Trichlorométhane, 1,2-Dichloroéthane et Chlorure de Vinyle ne dépasse pas les limites de potabilité et de potabilisation fixées par l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine, et les valeurs de référence issues des valeurs guides de l'OMS (2006).

4 DESCRIPTION DES INVESTIGATIONS SUR LES GAZ DU SOLS

4.1 Localisation des piézair

NEODYME a réalisé des prélèvements d'échantillons de gaz du sol sur un sondage équipé en piézair effectué au carottier battu, afin de déterminer si les gaz du sol du site présentent des concentrations en hydrocarbures et BTEX supérieures à la valeur de référence.

En accord avec le client, nous avons fixé l'emplacement du sondage, en fonction du plan des réseaux fournis par le client, de l'accessibilité du site et des constats de pollution réalisés lors des investigations sur les sols en novembre 2015.

Le plan d'implantation du sondage est présenté en annexe 1.

4.1.1 Contenu des analyses (gaz du sol)

Pour chaque piézair ont été prélevé 2 échantillons (mesure, M et contrôle, C) de gaz du sol.

Les éléments recherchés dans **les 6 échantillons** (PZair_1M / PZair_1C, PZair_6M / PZair_6C, PZair_8M / PZair_8C) sont les suivants :

- ✓ Hydrocarbures aliphatiques C5-C12,
- ✓ Hydrocarbures aromatiques C5-C12,
- ✓ BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, xylène) et le Naphtalène.

4.2 Valeur de référence

Le décret n°98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites, qui a fixé les valeurs de référence pour le benzène, a été modifié par le décret n°2002-213 du 15 février 2002 portant transposition des directives 1999/30/CE et 2000/69/CE.

Enfin, le Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air transpose la directive 2008/50/CE. Ce décret rappelle la valeur limite pour la santé humaine de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle civile et l'objectif de qualité à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle civile pour le benzène.

Directive sources	Période de calcul de la moyenne	Valeur limite	Objectif de qualité	Seuil d'Évaluation Inférieur (SEI)	Seuil d'Évaluation Supérieur (SES)
Directive 2008/50/CE	Année civile	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	/	$2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40% de la valeur limite)	$3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (70% de la valeur limite)
Décret n°2010-1250	Année civile	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	/	/

Tableau 17 : Valeur limite dans l'air (Source : Directive 2008/50/CE et Décret n°2010-1250)

La pose des piézair a été faite le 25 novembre par un employé de la société FONDASOL qui disposait des compétences requises. Les prélèvements des gaz du sol ont été effectués le 09 et 11 décembre 2015 par un technicien de Néodyme et acheminés par transporteur au laboratoire agréé le 14 décembre 2015.

4.3 Observations de terrain

Les sondages par le biais d'un carottier battu ont été descendus jusqu'à 2 m (PZair1) et 3 m (PZair6, PZair8) de profondeur par rapport au terrain naturel.

La coupe technique du piézair (dimensions et matériaux utilisés pour l'équipement de l'ouvrage) est reportée en annexe 8. Pour l'ensemble des sondages aucune arrivée d'eau n'a été constatée, et l'examen olfactif et visuel des sols n'a fait apparaître aucun indice organoleptique de contamination.

Au droit du sondage S1/PZair1, on a rencontré (du haut vers le bas) :

- du remblai sableux marron (jusqu'à -30 cm) ;
- des sables marneux beiges avec cailloux (jusqu'à -110 cm) ;
- des sables marneux grises avec cailloux (jusqu'à -200 cm).

Au droit du sondage S6/PZair6, on a rencontré (du haut vers le bas) :

- une dalle en béton (jusqu'à -20 cm) ;
- du remblai limono-sableux gris-brun avec quelques graviers (jusqu'à -180 cm) ;
- du limon argileux brun claire (jusqu'à -300 cm).

Au droit du sondage S8/PZair8, on a rencontré (du haut vers le bas) :

- une dalle en béton (jusqu'à -30 cm) ;
- du remblai sablo-limoneux gris-brun avec quelques graviers (jusqu'à -80 cm) ;
- des argiles vert-beigâtre (jusqu'à -190 cm) ;
- des argiles sableuses beigâtres (jusqu'à -300 cm).

4.4 Purge des piézairs

La purge du piézair a été réalisée à l'aide d'une pompe GilAir Plus préalablement étalonnée à 200ml/min. Le piézair a été purgé pendant 5 min (PZair1) et 10 min (PZair6 et PZair8) soit un volume purgé de, respectivement, 1 et 2 litres. Le piézair a été vidé au moins une fois par pompage avant échantillonnage : on estime en fonction de la hauteur du piézair que son volume est de l'ordre de 0,8 (PZair1) et 1,6 (PZair6 et PZair8) litres.

4.5 Prélèvement et échantillonnage

Les prélèvements d'échantillons de gaz du sol ont été réalisés à l'aide de deux tubes (type TCAN, 100/50 charbon actif) montés en série et reliés à la pompe GilAir Plus. L'un des tubes a été utilisé comme témoin¹, tandis que l'autre a été utilisé pour réaliser la mesure.

Une perte de charge en reliant le support (tube et filtre) à la pompe de prélèvement avant sa mise en marche a été effectuée avant l'échantillonnage. La pompe a fonctionné avec un débit de 200 ml/min pendant environ 1 heure. Les détails (volume purgé, débit, etc.) de la phase d'échantillonnage sont reportés dans le compte rendu d'échantillonnage d'air du sol contenu en annexe 9.

Après l'échantillonnage les tubes de charbons ont été scellés avec les embouts étanches prévus ; avant d'être acheminés au laboratoire.

4.6 Présentation des résultats d'analyses

Nous comparerons les résultats d'analyses aux valeurs de référence du Décret n°2010-1250. Ceci permettra d'effectuer une estimation afin d'évaluer s'il existe un risque sanitaire potentiel vis-à-vis des usagers du site.

L'usage du site étant, au moins partiellement, de type établissement scolaire, l'usage est considéré comme sensible.

Le tableau récapitulatif des résultats d'analyse et leur comparaison aux valeurs de référence retenues est reporté en annexe 10. Les bordereaux d'analyse sur les échantillons d'air du sol du laboratoire sont reportés en annexe 11.

4.6.1 Hydrocarbures

Méthode d'analyse :

¹ Un témoin est un échantillon permettant de détecter les éventuelles contaminations indirectes croisées au cours de l'opération et après les prélèvements.

Méthode interne (AGROLAB)

Unité : µg/tube

Pour l'ensemble des échantillons analysés, les concentrations mesurées en tout type d'hydrocarbures (Naphtalène/HAP, aliphatiques et aromatiques) sont inférieures au seuil de détection analytique.

Les concentrations de contrôle (témoin/blanc) sont également inférieures au seuil de détection analytique.

Échantillon	PZair_1M	PZair_1C	PZair_6M	PZair_6C	PZair_8M	PZair_8C
Naphtalène	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Hydrocarbures aliphatiques >C5-C6	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Hydrocarbures aliphatiques >C6-C8	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Hydrocarbures aliphatiques >C8-C10	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Hydrocarbures aromatiques >C8-C10	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Hydrocarbures aromatiques >C10-C12	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Somme fractions aliphatiques C5-C12	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Somme fractions aromatiques C6-C12	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0

Tableau 18 : Résultats d'analyses - Dosage des hydrocarbures dans les gaz du sol (Source : AGROLAB)

4.6.2 BTEX et éthers

Méthode d'analyse :

Méthode interne (AGROLAB)

Unité : µg/tube

Pour l'ensemble des échantillons analysés, les concentrations mesurées en BTEX et MTBE sont inférieures au seuil de détection analytique.

Échantillon	PZair_1M	PZair_1C	PZair_6M	PZair_6C	PZair_8M	PZair_8C
MTBE (tube)	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Benzène (tube)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Toluène (tube)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Ethylbenzène (tube)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10

m,p-Xylène (tube)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
o-Xylène (tube)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Somme Xylènes (tube)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10

Tableau 19 : Résultats d'analyses - Dosage des BTEX et du MTBE dans les gaz du sol (Source : AGROLAB)

Les concentrations de contrôle (témoin/blanc) sont aussi inférieures au seuil de détection analytique.

Le seuil de 5 µg/m³ de Benzène n'est probablement pas atteint dans les mesures d'analyses des gaz du sol.

5 LE SCHEMA CONCEPTUEL DU SITE

Le schéma conceptuel (cf. annexe 12) est réalisé pour l'usage futur du site et vise à illustrer :

- les zones impactées ;
- les cibles potentielles ;
- les voies de transfert possibles ;
- les voies d'exposition.

5.1 Zones impactées

Les zones impactées sont (cf. annexes 12 et 13) :

Pour les sols :

- du sondage **S2** où est présente une contamination en **cuivre** et **zinc** à une profondeur comprise entre 0,5 et 0,9 mètre ;
- du sondage **S3** où est présente une contamination en **mercure**, **plomb** et **zinc** à une profondeur comprise entre 0,5 et 0,8 mètre ;
- du sondage **S4** où le test de lixiviation indique une concentration en **sulfates cumulés** et **fraction soluble** cumulée supérieure au seuil (cf. arrêté du 12/12/14 relatif aux installations de stockage de déchets inertes) pour les terres à une profondeur comprise entre 0,4 et 0,9 mètres ;
- du sondage **S6** où est présente une contamination en **cuivre**, **mercure**, **plomb** et **zinc** à une profondeur de 0,3 et 0,7 mètres de profondeur, ainsi qu'une contamination en **cuivre**, **mercure** et **plomb** à une profondeur comprise entre 1,9 et 2,2 mètres ;
- du sondage **S7** où est présente une contamination en **cuivre**, **plomb** et **zinc** à une profondeur comprise entre 0,4 et 0,8 mètre ;
- du sondage **S8** où est présente une contamination en **HAP** à une profondeur comprise entre 0,4 et 0,8 mètre ;

- du sondage **S11** où le test de lixiviation indique une concentration en **molybdène cumulé, sulfates cumulés et fraction soluble** cumulée supérieure au seuil (cf. arrêté du 12/12/14 relatif aux installations de stockage de déchets inertes) pour les terres à une profondeur comprise entre 0,3 et 0,6 mètres ;

Pour les eaux souterraines :

- du piézomètre **SPZ2** où les eaux souterraines (nappe détectée à - 6,6 m) présentent une contamination en **plomb** qui dépasse la limite de potabilisation de l'arrêté 11 janvier 2007.

5.2 Cibles potentielles

Étant donné l'usage futur du site « école », il s'agit d'un usage sensible.

Les cibles potentielles suivantes seront retenues :

- Enfants,
- Adultes,
- Employés.

5.3 Modes de transfert de la source vers les autres milieux

Compte tenu des zones impactées mises en évidence et de l'usage futur (établissement scolaire) du site :

- **le contact direct** (ingestion de sols et de poussières, inhalation de poussières et contact cutané avec les sols) avec les sols impactés par les métaux dans les zones impactées a été retenu, en raison de la présence probables d'espaces verts (sans couvertures bétonnées) ;
- **le contact indirect** (volatilisation et inhalation de polluants) a été retenu, en raison de la présence d'éléments volatils (mercure et HAP) au droit des sondages S3, S6, et S8.
- **la migration** potentielle des polluants (métaux) depuis le sol vers la nappe a été retenu, en raison de la présence de plomb dans le sol du sondage S3 (profondeur 0,5 - 0,8 m) ainsi que dans les eaux souterraines du même secteur (piézomètre SP2/nappe profonde environ 7m).

6 SYNTHÈSE

Pour ce qui concerne les anomalies rencontrées pendant la réalisation du sondage le 25 novembre, on résume que :

- une modification au plan de sondage a été nécessaire par rapport à la partie sud-est du site : la présence d'un obstacle (barrière) a empêché l'accès de la foreuse dans la cour des immeubles sis 181 avenue Jean Lolive.
- Dans la zone sud-ouest du site, il y a eu plusieurs « refus » à environ 30 cm de profondeur (dalle en béton et probable présence du réseau électrique) avant de pouvoir réaliser S3.
- L'annulaire cimenté du piezair en S8 n'a pas été installé (impossibilité survenue après plusieurs tentatives des sondeurs).

Pour ce qui concerne les anomalies rencontrées pendant la réalisation du sondage le 4 décembre, on résume que :

- Dans la zone sud-ouest du site, il y a eu plusieurs « refus » à environ 10 cm de profondeur (dalle en béton) avant de pouvoir réaliser S11.

Pour ce qui concerne les prélèvements d'eaux souterraines (4 décembre), vu que les piézomètres ont été installés pour l'étude géotechnique, nous n'avons pas pu utiliser notre protocole habituel pour la purge et pour les prélèvements.

Pour les prélèvements des gaz du sol (9 et 11 décembre) on ne signale pas d'anomalie.

Sur la base de l'étude que nous avons menée, les échantillons de sols prélevés sur le site sis avenue Jean Lolive sur la commune de Pantin dans le département de Seine-Saint-Denis (93) révèlent **une contamination généralisée des sols en métaux (cuivre, mercure, plomb et zinc)** et **une contamination ponctuel au droit de S8 en HAP**.

Le test de lixiviation réalisé indique que les terres du site ne peuvent pas être évacuées dans une installation de stockage pour Déchets Inerte (Classe 3).

L'échantillon en S6 indiquent que **la pollution est localisée aussi dans les terres moins superficielles** (au moins à une profondeur comprise entre 1,9 et 2,2 mètres).

Dans la zone sud-ouest du site (S3 et SP22) la contamination en plomb concerne les sols et aussi **les eaux souterraines**.

Les valeurs des gaz du sol sont négligeables pour les hydrocarbures et les BTEX.

7 RECOMMANDATIONS

Les concentrations mesurées dans le sol sur l'ensemble du site présentent un risque sanitaire pour les futurs usagers du site et pour la contamination de la nappe superficielle localisée au droit du secteur sud-ouest du site.

À l'état actuel, la profondeur de la zone polluée n'est pas définie précisément. Afin d'établir le volume de terre polluée et d'optimiser la gestion possible des terres polluées (dépollution in situ ou confinement ou mise en décharge de terres polluées, par exemple) NEODYME recommande:

- l'analyse (aussi par le biais d'autres tests de lixiviation) des 5 échantillons préalablement collectés (dont 4 en profondeur) pour mieux évaluer le volume et la profondeur des terres impactées par la pollution,
- une nouvelle mission de prélèvement du gaz du sol sur PZair6 (3 mètres de profondeur) pour analyses en mercure (détecté dans ces sols jusqu'à 2,2 m) et un pompage de longue durée (>4h30) qui vise à exclure définitivement une concentration à risque pour la présence des BTEX (notamment, pour ce qui concerne l'objectif de qualité de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ du décret n°2010-1250 pour le benzène),

In fine, nous préconisons en fonction du projet de réaliser au préalable des travaux un **plan de gestion des terres contaminées**.

ANNEXES

Annexe 1 :

Plan de localisation des sondages (Source : Néodyme)

Annexe 2 :

Fiche de sondage sol (Source : Néodyme)

Annexe 3 :

Tableau récapitulatifs des résultats d'analyses sur sol brut

(Source : AGROLAB - Néodyme)

Annexe 4 :

**Bordereau d'analyse sur les échantillons de
sol du laboratoire**

(Source : AGROLAB)

Annexe 5 :

Suivi d'échantillonnage eaux souterraines (Source : NEODYME)

Annexe 6 :

Tableau récapitulatifs des résultats d'analyses sur les eaux souterraines

(Source : AGROLAB – Néodyme)

Annexe 7 :

**Bordereau d'analyse sur les échantillons
d'eaux souterraines du laboratoire
(Source : AGROLAB)**

Annexe 8 :

Coupe piézair
(Source : NEODYME)

Annexe 9 :

Fiche prélèvement Gaz du sol (Source : NEODYME)

Annexe 10 :

**Tableau récapitulatifs des résultats
d'analyses sur les gaz du sol
(Source : AGROLAB - Néodyme)**

Annexe 11 :

**Bordereau d'analyse sur les échantillons de
gaz du sol du laboratoire
(Source : AGROLAB)**

Annexe 12 :

Schéma conceptuel (Source : Néodyme)

Annexe 13 :

Localisation des résultats significatifs (Source : Néodyme)