Agence Ile de France

FONDERIES MONTUPET

PLAN DE GESTION

Site de Nogent sur Oise (60)

Rapport Technique

Responsables du projet :

MONTUPET : **S. SIRE**

Société ATOS Environnement :

Chef de projet : **O. BAGARD**	Visa :
Contrôle Qualité : **B. MARECHAL**	Visa :

N° rapport ATOS Environnement : **PL-B5172-RT02-mod**
Version : 01
Date : **Octobre 2007**

Agence et Siège Social de NANTES
Aéroport Nantes Atlantique
Rue Nungesser et Coli
44860 St AIGNAN DE GRAND LIEU
Tel : 02-40-13-12-00 / Fax : 02-40-05-20-62

Agence de LYON
Actipole / 3, Rue Hermann Frenkel
69007 LYON
Tel : 04-37-37-82-60
Fax : 04-78-61-09-80

Agence de PARIS
53, Rue Charles Frérot
94250 GENTILLY / BP 91
Tel : 01-45-47-24-35
Fax : 01-45-47-31-84

Agence de NANCY
45, Grande Rue
54385 ROSIERES EN HAYE
Tel : 03-83-24-66-66
Fax : 03-83-24-54-96

Bureaux : Pau / Rouen / Périgueux / Aix en Provence / Lille
SA au capital de 300560 € / RCS Nantes B 387 498 132 00076 NAF 742C E.mail : contact@atos-environnement.fr **- Site :** www.ged.fr

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION 4

I.1. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE 4
I.2. PRESENTATION DU SITE 5
I.3. PROJET D'AMENAGEMENT DU SITE 6

II. CARACTERISATION DE LA CONTAMINATION DES SOLS – COMPLEMENTS D'INVESTIGATION ET SYNTHESE 7

II.1. OBJECTIFS 7
II.2. METHODOLOGIE 7
II.3. CARACTERISATION DE LA QUALITE DES SOLS 11
II.4. CARACTERISATION DE LA QUALITE DES GAZ DU SOL 23
II.5. SYNTHESE DES INVESTIGATIONS 26

III. ANALYSE COUTS BENEFICES 29

III.1. GENERALITES 29
III.2. DESCRIPTION DES SCENARIOS DE GESTION 30
III.3. SELECTION DE LA SOLUTION OPTIMALE 33

IV. ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS 35

IV.1. DEFINITION DU MODELE CONCEPTUEL, SOURCES, VOIES D'EXPOSITION ET CIBLES 35
IV.2. DEFINITION DE L'ETAT DE CONTAMINATION RESIDUEL 39
IV.3. CARACTERISTIQUES DES VOIES DE TRANSFERT 42
IV.4. EVALUATION DE L'EXPOSITION DES CIBLES 44
IV.5. EVALUATION DE LA TOXICITE – CHOIX DES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE 45
IV.6. QUANTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES RESIDUELS 51
IV.7. CONCENTRATION MAXIMALES ADMISSIBLES 52
IV.8. EVALUATION DES INCERTITUDES – DISCUSSION DES RESULTATS 55
IV.9. SYNTHESE DES CALCULS DE RISQUE SANITAIRE 64

V. CONCLUSIONS 65

VI. ANNEXES 67

RESUME

Dans le cadre de la cessation de ses activités sur le site de Nogent sur Oise et de la reconversion du terrain pour un usage d'habitation, la société Montupet a mandaté ATOS environnement pour la réalisation d'une étude visant à définir les modalités de gestion du site quant à la problématique des pollutions du sous-sol. Les investigations se sont déroulées de 2005 à 2006 et l'étude a été modifiée en 2007 afin de la mettre en conformité avec la circulaire du 8 février 2007 sur la gestion des sites et sols pollués publiée par le ministère en charge de l'environnement.

Les investigations de terrain ont permis de mettre en évidence la présence de traces non significatives dans plusieurs zones du site ainsi que deux zones d'anomalies majeures présentant des teneurs significatives en solvants chlorés et aromatiques d'une part (zone 5-7-8) et en métaux lourds d'autres part (zone cuivre).

Compte-tenu des contraintes techniques, économiques et environnementale, l'analyse coûts bénéfices a montré que la solution optimale consistait en la conservation sur le site des traces de polluants identifiées à l'exception du point le plus concentré en cuivre (SD4C) qu'il est conseillé de traiter (évacuation en CET1 des 100 m^3 de terres concernées) assortie des restrictions et obligations suivantes :

- Recouvrement intégral du site par du béton, du bitume ou de la terre végétale afin de confiner les terres présentant des teneurs en polluant et pour supprimer la possibilité de contact direct avec ces polluants. Ce recouvrement est a priori déjà prévu dans le cadre de tout aménagement standard. En cas de nécessité de terrassement (nivellement du site, mise en place des fondations des bâtiments), des terres non inertes pourront également être conservée sur le site (butte paysagère) à la condition que le recouvrement de ces terres soit respecté ;
- Conservation de la mémoire de la qualité des sols : les présents diagnostics devront être joints à l'acte de vente du site ;
- Mise en place d'un suivi quadriennal sur les piézomètres du site qui devront être conservés ou remplacés en cas de destruction lors des travaux afin de s'assurer de la stabilité de la qualité de la nappe. Ce suivi sera réalisé tous les 6 mois et concernera les paramètres HCT, BTEX, COHV et métaux lourds et aluminium.

L'analyse des risques résiduels a montré que moyennant les conditions précédemment énoncées, les traces de polluants mises en évidence dans les sols peuvent rester en place pour la mise en place de logements individuels de plain-pied comme prévu dans le projet d'aménagement. L'analyse de risque a de plus permis de définir des concentrations maximales admissibles dans les gaz du sols au cas où des indices de pollution inattendus seraient identifiés lors des travaux.

Les recommandations et servitude concernant l'usage des eaux souterraines, font l'objet du rapport AEPLC6011-RT06 qui montre que la qualité des eaux souterraines sortant du site est acceptable pour les usages réalisés et qui interdit l'utilisation des eaux souterraines au droit du site.

I. INTRODUCTION

I.1. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE

Dans le cadre d'un transfert des activités du site de Nogent sur Oise, situé 67 rue Jean de la Fontaine (60), au site plus récent de Laigneville, **les Fonderies Montupet** ont fait réaliser un diagnostic initial avec un calcul ESR en 2002 qui a fait classer le site dans la catégorie n°2 : "site à surveiller".

Dans le but de définir les modalités de gestion de son site en cessation d'activité et cession avec changement d'usage, les fonderies Montupet demandent la réalisation d'un diagnostic approfondi de pollution du sous-sol et une analyse des risques résiduels au droit de la zone concernée par le projet de cession de terrain. Cette démarche s'inscrit également dans le cadre du devoir d'information du cédant au sujet des activités exercées sur place et de leurs éventuelles répercussions sur l'environnement.

Les fonderies Montupet ont mandaté ATOS Environnement pour la réalisation de cette prestation réalisée en 2005. Le présent rapport a été réédité pour une mise en conformité avec les recommandations de la circulaire du 8 février 2007 édité par le ministère en charge de l'environnement pour la gestion des sites pollués.

Cette étude se décompose en 3 phases :

- Synthèse des données existantes et réalisation d'un diagnostic approfondi, faisant suite à un diagnostic initial entrepris par SOLEN ;
- Analyse coûts bénéfices des solutions de gestion ;
- Mise en œuvre d'une analyse des risques résiduels au regard des différentes orientations d'aménagement envisageables.

La problématique de l'impact hors site via les eaux souterraines fait l'objet du rapport AEPLC6011-RT06.

Les objectifs de la mission sont donc les suivants :

- Compléter l'état de connaissance du degré de contamination du sous-sol afin de permettre la mise en œuvre de l'évaluation détaillée des risques, par prélèvements de sols, de gaz du sol et d'eaux souterraines et analyses en laboratoire ;
- Définir les options de gestion du site selon une analyses coûts bénéfices ;
- Quantifier les risques sanitaires susceptibles d'être encourus par les futures populations amenées à fréquenter le site, en prenant en compte divers scénarii d'aménagement et d'usage du site et selon l'option de gestion du site retenues à la suite de l'analyse coûts bénéfices.

I.2. PRESENTATION DU SITE

La zone concernée par l'étude correspond au site qui a été exploité par les Fonderies Montupet, 67 rue Jean de la Fontaine à Nogent sur Oise (60), jusqu'en 2006. Une carte d'implantation localisant le site figure en **Annexe I**.

Le site, d'une surface d'environ 40 000 m², est situé dans le centre ville de Nogent sur Oise entre :

- la rue Saint Just au Nord ;
- la rue Jean de la Fontaine à l'Ouest ;
- la rue des Frères Perraux à l'Est et au Sud, avec la voie ferrée derrière.

L'environnement du site est constitué d'habitats individuels (maisons avec jardin privatif) à l'Ouest et au Nord, le long des rues Saint Just et Jean de la Fontaine. L'usine est mitoyenne d'un pavillon au Nord (entrée rue Saint-Just). Elle est distante de quelques mètres d'une école ; un collège et un gymnase sont également situés à proximité (500 mètres).

Les coordonnées moyennes Lambert 1 du site Montupet sont les suivantes :

- X = 610 015 m
- Y = 1 175 100 m

Les activités ont été exercées sur un bâtiment d'un seul tenant d'une surface de 23 000 m^2. Celles-ci sont détaillées dans le rapport n° V 05329 PGPG I02 de la société SOLEN. L'activité de fonderie réalisée par la société Montupet est une activité soumise à autorisation et est soumise à la réglementation des ICPE.

L'ESR réalisée par le bureau d'études SOLEN a placé le site en classe 2 du fait :

- de la présence de chlorure de vinyle dans les sols et dans les eaux (> VCI de chacun de ces milieux : 0,02 mg/kg MS et 0,5 µg/L, respectivement pour l'usage sensible)
- de la protection de cette source de pollution par une dalle béton et de l'absence d'enjeux sur la ressource en eaux.

Par ailleurs, d'autres sources potentielles ont été reconnues : la présence d'hydrocarbures a été révélée au niveau de la zone de stockage de carburant. Des métaux (aluminium, cuivre, plomb) et des composés organo-halogénés (trichloroéthylène) ont été retrouvés dans les sols ; les zones sont mal définies. Dans les eaux, les analyses ont révélé également la présence de nickel et d'aluminium. Il convient de noter qu'aucune note n'a été attribuée à l'aluminium pour le danger qu'il représente dans les eaux en raison d'un manque de données ; l'évaluation simplifiée des risques ne porte donc pas sur le potentiel danger de l'aluminium dans les eaux.

Ces différentes zones ont fait l'objet d'investigations complémentaires de terrain destinées d'une part à confirmer la présence de ces sources et le cas échéant, à les caractériser précisément par des prélèvements de sols et de gaz du sol. La qualité de l'eau souterraine, par le biais de prélèvements et analyses d'eau de piézomètres existant ou à implanter a été également évaluée et sera présentée et discutée dans un rapport séparé

Les résultats de ces investigations sont présentés dans le chapitre suivant.

Il convient de rappeler que le classement de l'ESR (2) s'est appuyé sur une utilisation industrielle du site.

I.3. PROJET D'AMENAGEMENT DU SITE

Le site actuel occupé par les usines Montupet est voué à une reconversion complète qui va entraîner un changement d'usage. Ainsi les usines vont être entièrement démantelées pour laisser place à un lotissement. Ne disposant d'aucun plan d'aménagement précis de la zone en question, les calculs de risque ont été réalisés suivant une hypothèse générale *a priori* majorante. Ne disposant d'aucun plan précis d'aménagement futur de la zone, l'usage futur retenu pour le plan de gestion est un usage résidentiel constitué d'habitations individuelles de plain-pied couvrant une surface de 100 m^2 associée à un jardin de 1000 m^2. Il s'agit de valeurs communément retenues pour des calculs de risque sanitaire avec ce type d'ensemble.

Dans le cadre de la cessation d'activité et de la reconversion du site en habitation, un schéma conceptuel d'exposition doit être mis en place.

L'objet de ce rapport est donc la description des sources de pollution (investigations de terrain et analyses en laboratoire), des voies de transferts et les implications pour les usages futurs sur le site (ce rapport) et les usages hors site (rapport AEPLC6011-RT06).

II. CARACTERISATION DE LA CONTAMINATION DES SOLS – COMPLEMENTS D'INVESTIGATION ET SYNTHESE

II.1. OBJECTIFS

Les investigations de terrain visent à :

- Reconnaître et décrire les terrains superficiels par sondage ;
- Prélever des échantillons représentatifs des sols et des gaz du sol pour analyses en laboratoire agréé ;
- Comparer les concentrations mesurées aux valeurs seuils françaises ;
- Mesurer le degré de pollution des sols au droit du site ;
- Estimer les extensions latérales et verticales des sources de pollution identifiées dans les sols et l'impact sur les eaux souterraines ;
- Acquérir toutes les données nécessaires à la discussion sur les options de gestion du site (analyses coûts bénéfices).

II.2. METHODOLOGIE

II.2.1. Programme

Les investigations se sont déroulées entre le 7 et le 25 juillet 2005 pour les prélèvements de sols (et d'eaux souterraines dont la discussion fait l'objet d'un rapport séparé). Ces données ont été complétées par des prélèvements de gaz du sol réalisés du 14 au 17 novembre 2005. Les travaux ont été supervisés par M. LARTIGUET (ATOS Environnement). Les travaux de forage ont été réalisés par ATOS Environnement.

Le tableau suivant présente les investigations réalisées. Le plan de localisation des investigations est joint en **Annexe II**.

Tableau 1 – Investigations réalisées

Type d'investigation	Nombre	Commentaires
Sondages sols	30	Sondages tarières (Ø 100 mm) ou carottier électropneumatique (Ø 32 mm) Prof.= 2 à 3 m au maximum
Sondages gaz	7	Percement de la dalle et prélèvements d'échantillons d'air sur sac Tedlar™ Prof. = 50cm
Prélèvements de sols, observation organoleptique	94	2 à 4 prélèvements par sondage Observation organoleptique
Analyses en laboratoire accrédité sur sols et gaz du sol	Voir détail ci-après	

II.2.2. Sondages et prélèvements de sols

Les sondages ont été réalisés au moyen d'une sondeuse hydraulique sur chenille équipée de tarière de diamètre 100 mm ou d'un carottier électro-portatif.

En général, un échantillon par mètre de forage a été prélevé. L'échantillonnage a été adapté suivant les observations de terrains (présence d'indices de pollution, lithologie). Le protocole de sondage est le suivant :

- Sécurisation des points de forage par méthode géophysique (caractérisation de l'encombrement du sous-sol) et par vérification des plans des réseaux enterrés disponibles ;
- Percement des revêtements de surface (dalle de béton, enrobé) ;
- Forage mètre par mètre avec observation organoleptique des terrains rencontrés ;
- Description des carottes et échantillons. Renseignement de la fiche de sondage ;
- Echantillonnage des sols suivant le protocole suivant :
    - Pas d'indice de pollution : confection d'un échantillon moyen sur 1m de profondeur ;
    - Présence d'indice(s) de pollution :
        - Prélèvements des sols présentant des degrés de pollution équivalents ;
        - Si, au sein d'une zone polluée, la nature des terrains varie nettement (par ex. argile / sable), confection d'un échantillon pour chaque type de terrain ; le cas s'est avéré pour les sondages SD 4A à 4C, SD 5A à 5C et SD 9A à 9C.
- Conditionnement des échantillons en bocal et stockage temporaire en glacière de terrain ;
- Envoi des échantillons au laboratoire agréé et conservation des échantillons non analysés ;
- Rebouchage des forages ;
- Repérage des sondages sur fond de plan.

Pour certains points, la mise en œuvre d'analyses sur 2 échantillons par sondage permet d'étudier l'évolution des teneurs en polluant avec la profondeur.

Pour chaque sondage une coupe descriptive a été réalisée. Celles-ci sont compilées en **Annexe III**.

II.2.3. Sondages et prélèvements d'air des sols

Au niveau de chaque point de prélèvement d'air, un sondage de petit diamètre (32 mm) a été réalisé au moyen d'un perforateur équipé d'un foret de 32mm. Un tube en acier de diamètre 15 mm équipé à son extrémité inférieure d'une crépine amovible a ensuite été introduit dans le trou, son extrémité supérieure étant reliée à une pompe d'aspiration prélevant l'air contenu dans les sols à un débit compris entre 0,5 et 2 L/min. Une purge équivalente à au moins 5 fois le volume d'air présent dans le système de prélèvement (sondage+tubes+contenant) a été entreprise avant le prélèvement proprement dit. Par ailleurs, le système a été connecté à un PID afin de disposer de mesures en composés organiques volatils et de rendre compte de la stabilisation de ce paramètre lors du pompage. Toutefois, l'appareil PID utilisé s'est avéré rapidement peu fiable en raison de mesures non reproductibles ou incohérentes.

En sortie de la pompe d'aspiration, une pompe de faible débit est raccordée pour les prélèvements d'air en sac (type Tedlar) d'une capacité de un litre. La pompe est ensuite raccordée à un charbon actif au travers duquel une dizaine de litres d'air est pompée.

Les échantillons d'air et les charbons actifs ont été envoyés en fin de campagne en laboratoire agréé.

II.2.4. Conditionnement et stockage des échantillons

Les échantillons de sol collectés ont été conditionnés en flaconnage adapté aux analyses prévues. Ils ont été stockés en glacière de terrain réfrigérée et à l'abri de la lumière. Avant envoi au laboratoire, les échantillons ont été entreposés en réfrigérateur. L'envoi en laboratoire a été réalisé en fin de campagne après sélection des échantillons.

II.2.5. Méthodologies d'analyse des échantillons

Les analyses ont été mises en œuvre par les laboratoires WESSLING et CHEMEX, agréé COFRAC, selon les protocoles suivants :

Tableau 2 – Normes et méthodologies d'analyses

Paramètre	**Méthodologie d'analyse (sol)**
Matières sèches	ISO 11465
Hydrocarbures totaux (HCT) – C_{10} – C_{40}	NFX 31-410
Hydrocarbures aromatiques volatils (CAV ou BTEX)	EN ISO 11423-1
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	D'après EN ISO13877
Composés organo-halogénés volatils (COHV)	Sol : EN ISO 10 301-3
Métaux (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)	Sol : EN ISO 11885 après minéralisation à l'eau régale (EN 11466)
Mercure	Sol : EN 1483
Alkylphénols	EN 14154
Paramètre	**Méthodologie d'analyse (air)**
Composés organiques volatils	CPG-MS (voir ci-dessous)

Les analyses d'air ont été effectuées par le laboratoire CHEMEX par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse (GS-MS), de la liste 8260 définie par l'US-EPA pour l'analyse des composés organiques volatils. Cette analyse est relative à une série de composés organiques volatils élaborée par l'US-EPA (« method 8260 list ») incluant notamment les familles de composés suivants :

- Hydrocarbures aromatiques volatils (BTEX)
- Composés organo-halogénés (COHV)
- Chlorobenzènes
- Solvants polaires (cétones)

En plus de ces substances, une recherche semi-quantitative d'autres composés organiques (tels que les hydrocarbures volatils) a été entreprise par ce même laboratoire, sur la base des spectres collectés par CPG-SM.

II.3. CARACTERISATION DE LA QUALITE DES SOLS

II.3.1. Description des terrains et des échantillons

L'indexation des sondages repose sur un système alphanumérique : le numéro reprend les zones précédemment identifiées lors du diagnostic initial réalisé pour l'ESR. La lettre correspond au nom du sondage dans la zone spécifique. L'indice 0 correspond aux sondages réalisés pour couvrir les zones non étudiées lors du diagnostic initial (zones blanches).

Les descriptions des sondages sont fournies en **Annexe III**. Elles permettent de définir la coupe synthétique suivante, de haut en bas :

- Revêtement de surface de type béton à l'intérieur du bâtiment et également sur les abords du bâtiment (épaisseur de 0,1 à 0,2 m);
- Présence de remblais de lithologie plutôt homogène de type sablo-limoneux de couleur foncée (brun) de 0,1 mètres à 1 mètre en général. Ils peuvent se prolonger jusqu'à 1,8 mètres et s'arrêtent parfois à 0,7 mètre. Des cailloutis blancs de type calcaire sont également souvent présents. Une couleur rouille-orangé est notée sur les sondages SD OA, SD 0F et SD 9C.
- Terrain naturel, (au-delà de 1 mètre) constitué de:
    - limons sableux gris-noirs ou vert-gris, parfois ocres (SD OC et SD 7, 8 et 13) jusqu'au toit de la nappe - tendance argileuse sur certains endroits du site (SD 1A, 1B)
    - sables graveleux de 2,5 mètres à environ 4,5 mètres.
    - sables fins beiges au-delà de 4,5 mètres, sur au moins 3 m d'épaisseur – lithologie décrite grâce au forage plus en profondeur lors de l'implantation des piézomètres.

La zone saturée est observée dès 1,5 mètres sur quelques sondages (zones 2, 4, 5) mais la plupart du temps à partir de 2 mètres de profondeur.

Sur chaque échantillon, les observations organoleptiques ont été notées. L'ensemble de ces observations (odeur/ aspect) est reporté sur les coupes de sondages. Sont présentées dans le tableau suivant, les tranches de sol révélant des indices de pollution (odeurs/aspects) constatés lors de la campagne d'investigations.

Tableau 3: Synthèse des observations effectuées sur les échantillons de sol

Localisation	Sondage	Intervalle de profondeur (m)	Lithologie	Indices de contamination
Remblais	SD OA	0,2 –1,4	Remblais sableux noirs	Absence d'indices
Remblais	SD OE	1-2	Limons gris-noirs	Très forte odeur d'hydrocarbures
Remblais	SD OF	1-2	Remblais sableux brun	Odeur d'hydrocarbures
Ancienne zone de stockage des crasses	SD 13A	0,3 -1	Remblais sableux rouge	Odeur non identifiée
	SD 13D	0,2 -1	Remblais sablolimoneux brun/ rouge	Odeur non identifiée
Zone stockage de carburant	SD 1C	0,2 -1	Remblais sableux noirs	Absence d'indices
Ancien stockage de fûts	SD 2A	0,2 – 1,1	Remblais limonosableux noirs	Absence d'indices
	SD 2A	0,7 – 1,1	Limons gris-noirs	Odeur non identifiée
	SD 2C	0,7 – 1,1	Limons gris-noirs	Odeur non identifiée
2ème zone de stockage des phénols	SD 4A	0,2 – 0,7	Remblais sableux noirs	Odeur non identifiée
	SD 4B	0,7 – 1,1	Limons gris-noirs	Odeur non identifiée
	SD 4C	0,2 – 0,7	Remblais sableux noirs	Absence d'indices
Contrôle radio	SD 5A	0,2 – 0,7	Remblais sableux noir	Absence d'indices
	SD 5B	0,2 – 0,7	Remblais sableux noir	Absence d'indices
	SD 5C	0,7 – 1,4	Limons gris-noirs	Légère odeur d'hydrocarbures
Aire de stockage des solvants	SD 7B	1-1,5	Remblais limonosableux foncé à noir	Légère odeur non identifiée
Zone des compresseurs	SD 8B	1 - 2	Argile gris-brun	Odeur huile
	SD 8C	1 - 2	Argile gris-brun	Odeur huile
Zone des transformateurs et anciennes fosses	SD 9B	0,15 - 1	Remblais sableux noirs	Absence d'indices
	SD 9C	0,6 – 1,5	Remblais sableux gris-noirs	Absence d'indices

II.3.2. Présentation et discussion des résultats d'analyses de sol

II.3.2.1. Références et valeurs-seuils

Dans ce rapport, l'évaluation de la qualité des sols est réalisée en utilisant les valeurs de référence ou valeurs-seuils françaises conformément aux recommandations du guide technique pour la gestion des sites (potentiellement) pollués – **M**inistère de l'**A**ménagement du **T**erritoire et de l'**E**nvironnement (Version 2 – Mars 2000, révisée en décembre 2002). Deux types de valeurs sont ainsi définis :

- La VDSS (valeur de définition de source-sol) permet de définir la présence d'une source de pollution : un dépassement de cette valeur signifie que le sol est pollué ;
- La VCI (valeur de constat d'impact) définit le niveau d'impact potentiel de la source. De manière stricte, la notion d'impact n'est applicable que pour les 30 premiers centimètres de sols non recouverts. Cette valeur est définie selon l'usage du site. Dans le cas présent, cette valeur est utilisée à titre indicatif, uniquement pour apprécier le degré de pollution des sols.

Ces valeurs sont indicatives. Elles ne constituent qu'un outil pour définir l'existence et l'extension des éventuelles sources de pollution et pour en estimer l'impact. En aucun cas, elles ne peuvent représenter un objectif de réhabilitation. Toutefois, elles sont utilisées afin d'apprécier le degré de contamination des sols. Par ailleurs, ces valeurs ont été utilisées dans le cadre d'un diagnostic réalisé en 2005 avant la suppression de ces valeurs par la circulaire du 8 février 2007.

Les valeurs ainsi retenues, exprimées en mg/kg de matières sèches (MS) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4 – Valeurs de référence pour les sols

Substance	VDSS (mg/kg MS)	VCI sensible (mg/kg MS)	VCI non sensible (mg/kg MS)
Hydrocarbures totaux	2500	5000	25000
Benzène	1	2,5	pas de valeur limite
Toluène	5	10	120
Ethylbenzène	25	50	250
Xylènes totaux	5	10	100
Benzo(a)anthracène	7	13,9	252
Benzo(k)fluoranthène	450	900	2520
Chrysène	5175	10350	25200
Benzo(a)pyrène	3,5	7	25
Fluoranthène	3050	6100	pas de valeur limite
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	8	16,1	252
Naphtalène	23	46	pas de valeur limite
1,1,1-trichloroéthane	7,5	15	180
Tétrachlorométhane	0,5	1	5
Trichoroéthylène	0,1	0,2	3020
1,2-dichloroéthylène	3	6	pas de valeur limite
Chlorure de vinyle	Limite de quantification	0,02	30

Certaines substances recherchées ne disposent pas de valeurs de référence. Pour autant, elles seront présentées et discutées étant donné les objectifs du diagnostic approfondi (réalisation d'une EDR – volet sanitaire).

II.3.2.2. Résultats d'analyse de sol

Les analyses chimiques effectuées par le laboratoire agréé WESSLING (fournies en **annexe IV**) permettent de définir la qualité des sols.

Le tableau suivant rend compte du programme analytique mis en œuvre sur les sols. Etant donné le nombre important de composés recherchés, seuls les résultats significatifs de ces analyses seront présentés dans le tableau 5.

Tableau 5 – Synthèse du programme analytique sur les échantillons de sol

Echantillon	Paramètres					
	Hydrocarbures totaux	Alkyl-phénols	Métaux	HAP	BTEX	COHV
Zone carburant (SD 1A à C)	X + spéciation	X	X	X	X	X
Zone fûts (SD 2A, 2C)	X	-	X	X	X	X
Zone 2 (SD 4A à C)	-	-	X	-	-	X
Zone contrôle radio (SD 5A à C)	-	-	-	-	-	X
Zone noyautage (SD 7A,B)	-	-	-	X	X	X
Zone compresseurs (SD 8A à D)	-	-	-	X	X	X
Zone transformateurs et anciennes fosses	-	-	X	-	-	X
Zone crasses (SD 13A à D)	-	X	-	-	X	X
Remblais (SD OA à OF)	-	-	X	-	-	X

Légende : - : paramètre non analysé X : paramètre analysé

Des sondages ont été réalisés au niveau de zones non identifiées comme potentiellement polluées par les activités de l'usine (SD OA à OF). Ainsi, des analyses de métaux et de COHV ont été réalisées sur

les échantillons issus de ces sondages dans le but de caractériser la qualité globale des remblais au droit du site.

Un récapitulatif des résultats obtenus par SOLEN lors du précédent diagnostic est fourni en **Annexe VII.** Le diagnostic approfondi a pour but de préciser l'extension et l'importance en terme de concentration des pollutions découvertes par SOLEN. Au droit des zones concernées, des analyses complémentaires en HAP, BTEX et COHV et alkylphénols ont ainsi été réalisées. Le tableau ci-après présente le bilan des analyses complémentaires. Sauf indications contraires, les résultats sont exprimés en mg/kg de matières sèches (mg/kg MS). **Les résultats non présentés ci-après (au sein d'une même famille de composés comme HAP, BTEX, COHV) correspondent à l'absence de détection des composés recherchés**.

Tableau 6 : Résultats des analyses de sols

Sondage	**SD OA**	**SD OB**	**SD OC**	**SD OD**	**SD OE**	**SD OF**	**SD 1A**	**SD 1B**	**SD 1C**	**SD 2A**	**SD 2C**	**SD 4A**	**SD 4B**	**SD 4C**	**VDSS (mg/kg MS)**	**VCI sensible (mg/kg MS)**	**VCI non sensible (mg/kg MS)**
Profondeur (m)	2,0 – 2,9	0,15 – 1,0	0,15 – 1,6	0,2 – 1,0	0,2 – 1,0	1,0 – 1,8	0,2 – 1,0	0,2 – 1,0	0,2 – 1,0	0,2-0,7 + 0,7+1,1	0,2–0,7 + 0,7-1,1	0,2 – 0,7	0,7- 1,1	0,2 – 0,7			
Lithologie	Limons sableux beige	Remblais limono brun foncé + cailloutis blancs	Remblais sableux légèrement limoneux beige + cailloutis blancs	Remblais limono sableux brun foncé + cailloutis blancs	Remblais limono sableux brun foncé + cailloutis blancs	Remblais sablo limoneux rouille ou noirâtres	Remblais sablo argileux bruns	Remblais sableux marron	Remblais sableux noirs	Remblais limono sableux + limons gris-noirs	Remblais sablo limoneux noirs + limons gris à noirs	Remblais sableux noirs (présence de briquettes)	Limons gris à noirs	Remblais sableux noirs (présence de briquettes)			
Localisation	Extérieur	Extérieur	Extérieur	Extérieur	Extérieur	Extérieur	Zone de stockage de carburant	Zone de stockage de carburant	Zone de stockage de carburant	Ancien stockage de fûts	Ancien stockage de fûts	2ème zone de stockage des phénols	2ème zone de stockage des phénols	2ème zone de stockage des phénols			
Matières sèches (%)	83,1	81,6	84,7	85,6	81,0	81,9	83,5	87,2	80,1	83	84,7	88,8	83,4	86,3			
Métaux et assimilés																	
Aluminium	7100	11000	12000	6700	7300	8400	na	na	na	na	na	17000	9200	15000	na	na	na
Arsenic	1,5	1,8	6,4	2,5	5,8	15	na	na	na	na	na	7,6	1,9	14	19	37	120
Cadmium	0,17	0,09	0,15	0,11	0,21	0,21	na	na	na	na	na	0,35	0,08	0,47	10	20	60
Chrome	18	29	12	11	13	**270**	na	na	na	na	na	27	17	19	65	130	7000
Cuivre	7,2	19	97	80	20	**190**	na	na	na	na	na	**370**	25	**1600**	95	190	950
Mercure	0,04	<0,03	0,04	<0,03	0,16	0,14	na	na	na	na	na	0,14	<0,03	0,62	3,5	7	600
Nickel	8,3	10	8,3	6,8	10	14	na	na	na	na	na	17	8,5	33	70	140	900
Plomb	24	11	24	11	21	390	na	na	na	na	na	90	10	270	200	400	2000
Zinc	85	68	85	20	51	120	na	na	na	na	na	160	30	290	4500	9000	pvl
Composés organiques																	
Composés organohalogénés volatils (COHV)																	
1,1,1-Trichloroéthane	<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	7,5	15	150
Cis-Dichloroéthène	<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	3	6	pvl
Tétrachlorométhane	<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	0,5	1	5
Trichloroéthylène	0,11	<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	0,1	0,2	3020
Trichlorométhane	<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	nd	nd	nd
Somme COHV	*0,11*	-	*0,06*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	nd	nd	nd

Sauf indications contraires, les concentrations sont exprimées en mg/kg de matière sèche.
Légende :

Teneur mesurée > VCI usage non sensible
VCI usage sensible < Teneur mesurée < VCI usage non sensible
VDSS < Teneur mesurée < VCI usage sensible
Teneur mesurée < VDSS

- Na : non analysé
- So: sans objet

Tableau 7 : Résultats des analyses de sols (suite)

Sondage	**SD 1A**	**SD 1B**	**SD 1C**	**SD 2A**	**SD 2C**	**VDSS (mg/kg MS)**	**VCI sensible (mg/kg MS)**	**VCI non sensible (mg/kg MS)**
Profondeur (m)	0,2 – 1,0	0,2 – 1,0	0,2 – 1,0	0,2-0,7 + 0,7+1,1	0,2-0,7 + 0,7+1,1			
Lithologie	Remblais sablo argileux bruns	Remblais sableux marron	Remblais sableux noirs	Remblais limonosableux + limons gris-noirs	Remblais limonosableux + limons gris-noirs			
Localisation	Zone de stockage de carburant	Zone de stockage de carburant	Zone de stockage de carburant	Ancien stockage de fûts	Ancien stockage de fûts			
Composés Organiques (suite)								
HCT	16	8	9	12	49	na	na	na
Hydrocarbures aromatiques volatils (BTEX)								
Benzène	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1	2,5	Pvl (*)
Toluène	<0,01	0,05	0,02	<0,01	<0,01	5	10	120
Ethylbenzène	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	25	50	250
Xylènes totaux	<0,01	0,05	0,01	<0,01	<0,01	5	10	100
Somme BTEX	-	*0,10*	*0,03*	-	-	*nd*	*nd*	*nd*
Isopropylbenzène (cumène)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*nd*	*nd*	*nd*
1,3,5 triméthylbenzène (mésitylène)	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	nd	nd	nd
1,2,4 triméthylbenzène (pseudocumène)	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	nd	nd	nd
Ethyltoluène	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	nd	nd	nd
Somme CAV	-	*0,13*	*0,03*	-	-	*nd*	*nd*	*nd*
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)								
Naphtalène	0,20	0,18	0,11	<0,02	0,15	23	46	pvl
Acénaphtène	<0,06	0,23	<0,02	<0,02	0,70	nd	nd	nd
Phénanthrène	0,20	0,24	0,15	<0,02	0,40	nd	nd	nd
Fluoranthène	<0,06	0,14	<0,02	<0,02	0,44	3050	6100	pvl
Pyrène	<0,06	0,14	0,04	<0,02	0,44	nd	nd	nd
Benzo(a)anthracène	<0,06	<0,06	<0,02	<0,02	0,18	7	13,9	252
Chrysène	<0,06	<0,06	0,05	<0,02	0,24	5175	10350	25200
Benzo(b)fluoranthène	<0,06	<0,06	0,02	<0,02	0,15	nd	nd	nd
Benzo(k)fluoranthène	<0,06	<0,06	<0,02	<0,02	0,12	450	900	2520
Benzo(a)pyrène	0,08	0,09	<0,02	<0,02	0,27	3,5	7	25
Benzo(ghi)perylène	<0,06	<0,06	<0,02	<0,02	0,14	nd	nd	nd
Indéno(123-cd)pyrène	<0,06	<0,06	<0,02	<0,02	0,15	6	16,1	252
Somme des HAP	*0,49*	*1,02*	*0,40*	-	*3,38*	*nd*	*nd*	*nd*
Somme des 6 HAP	*0,08*	*0,23*	*0,05*	-	*1,28*	*nd*	*nd*	*nd*
Somme des Hydrocarbures volatils (BTEX + naphtalène)	*0,20*	*0,28*	*0,14*	-	*0,15*	*nd*	*nd*	*nd*

Sauf indications contraires, les concentrations sont exprimées en mg/kg de matière sèche. Légende :

Teneur mesurée > VCI usage non sensible
VCI usage sensible < Teneur mesurée < VCI usage non sensible
VDSS < Teneur mesurée < VCI usage sensible
Teneur mesurée < VDSS

Tableau 8 : Résultats des analyses de sols (suite)

Sondage	**SD 5A**	**SD 5B**	**SD 5C**	**SD 7A**	**SD 7A**	**SD 7B**	**SD 7B**	**SD 8A**	**SD 8B**	**SD 8C**	**SD 8D**	**SD 9A**	**SD 9B**	**SD 9C**	**SD 13 A**	**SD 13 B**	**SD 13 C**	**SD 13 D**	**VDSS (mg/kg MS)**	**VCI sensible (mg/kg MS)**	**VCI non sensible (mg/kg MS)**
Profondeur (m)	0,2-0,7	0,2-0,7	0,7-1,4	0,15-1 + 1-1,5	1,5-2	0,15-1 + 1-1,5	1,5-2	0,1-1	1-2	1-2	0,1-1	0,1 – 1,1 + 1-2	0,15 - 1	0,15-0,6 + 0,6-1,5	0,2 - 1	0,2 - 1	0,2 - 1	0,2 - 1			
Lithologie	Remblais sableux noir (+ briques + cailloux)	Remblais sableux noir (+briques + cailloux)	Limons gris-noirs	Remblais limono sableux bruns foncés à cailloutis blancs	Limons bruns à cailloutis blanc	Remblais limono sableux bruns foncés à cailloutis blancs	Limons bruns à cailloutis blanc	Remblais sablo argileux puis argilo sableux brun	Argile gris-brun (odeur huile)	Argile sableuse gris-brun (odeur huile)	Remblais sabloargileux brun	Remblais argilosableux + Argile sableuse brune	Remblais sableux noir + cailloutis blancs	Remblais sableux ocre-orangé + Remblais limonosableux gris noirs à cailloutis blancs	Remblais sableux rouge	Sables limoneux bruns	Sables limoneux ocre	Remblais sableux limoneux rouge/ brun			
Localisation	Zone de contrôle radio	Zone de contrôle radio	Zone de contrôle radio	Atelier de noyautage, stockage solvants	Atelier de noyautage, stockage solvants	Atelier de noyautage, stockage solvants	Atelier de noyautage, stockage solvants	Salle des compres-seurs	Salle des compres-seurs	Salle des compres-seurs	Salle des compres-seurs	Salle des transformateurs et anciennes fosses	Salle des transformateurs et anciennes fosses	Salle des transformateurs et anciennes fosses	Ancienne zone de stockage des crasses	Ancienne zone de stockage des crasses	Ancienne zone de stockage des crasses	Ancienne zone de stockage des crasses			
Matières sèches (%)	83,1	84,6	81,2	77,2	81,8	80,6	80,1	84,8	83,6	83,1	88,6	83,5	92,3	91	84	83,7	84,7	86,2			
Métaux et assimilés																					
Aluminium	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	6900	6100	5500	na	na	na	na	so	so	so
Arsenic	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	3	7,1	4,5	na	na	na	na	19	37	120
Cadmium	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	0,12	0,09	0,23	na	na	na	na	10	20	60
Chrome	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	29	12	11	na	na	na	na	65	130	7000
Cuivre	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	41	**300**	**220**	na	na	na	na	95	190	950
Mercure	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	0,04	<0,03	<0,03	na	na	na	na	3,5	7	600
Nickel	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	11	6,3	7,7	na	na	na	na	70	140	900
Plomb	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	25	90	77	na	na	na	na	200	400	2000
Zinc	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	33	74	120	na	na	na	na	4500	9000	pvl
Composés organiques																					
Composés organohalogénés volatils (COHV)																					
1,1,1-Trichloroéthane	<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	0,09	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	7,5	15	150
Cis-Dichloroéthène	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,4	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	3	6	pvl
Tétrachlorométhane	**4,2**	0,66	<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	<0,05	0,5	1	5
Trichloroéthylène	0,06	**3,1**	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	**9,7**	<0,05	<0,05	**0,56**	**0,25**	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	0,2	3020
Trichlorométhane	2,2	0,61	<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	<0,05	so	so	so
Somme COHV	6,44	4,35	-	-	-	-	-	11,1	-	-	0,56	0,25	-	0,09	-	-	-	-	so	so	so
Alkylphénols																					
Toute molécule	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	so	so	so

Sauf indications contraires, les concentrations sont exprimées en mg/kg de matière sèche.
Légende :

Teneur mesurée > VCI usage non sensible
VCI usage sensible < Teneur mesurée < VCI usage non sensible
VDSS < Teneur mesurée < VCI usage sensible
Teneur mesurée < VDSS

Tableau 9 – Résultats d'analyses de sol (suite et fin)

Sondage	**SD 7A**	**SD 7A**	**SD 7B**	**SD 7B**	**SD 8A**	**SD 8B**	**SD 8C**	**SD 8D**	**SD 13 A**	**SD 13 B**	**SD 13 C**	**SD 13 D**	**VDSS (mg/kg MS)**	**VCI sensible (mg/kg MS)**	**SCI non sensible (mg/kg MS)**
Profondeur (m)	0,15-1 + 1-1,5	1,5-2	0,15-1 + 1-1,5	1,5-2	0,1-1	1-2	1-2	0,1-1	0,2 - 1	0,2 - 1	0,2 - 1	0,2 - 1			
Lithologie	Remblais limonosableux bruns foncés à cailloutis blancs	Limons bruns à cailloutis blanc	Remblais limonosableux bruns foncés à cailloutis blancs	Limons bruns à cailloutis blanc	Remblais sabloargileux puis argilosableux brun	Argile gris-brun (odeur huile)	Argile sableuse gris-brun (odeur huile)	Remblais sabloargileux brun	Remblais sableux rouge	Sables limoneux bruns	Sables limoneux ocre	Remblais sableux limoneux rouge/brun			
Localisation	Atelier de noyautage, stockage solvants	Atelier de noyautage, stockage solvants	Atelier de noyautage, stockage solvants	Atelier de noyautage, stockage solvants	Salle des compresseurs	Salle des compresseurs	Salle des compresseurs	Salle des compresseurs	Ancienne zone de stockage des crasses	Ancienne zone de stockage des crasses	Ancienne zone de stockage des crasses	Ancienne zone de stockage des crasses			
Composés organiques (suite)															
BTEX															
Benzène	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	na	<0,01	<0,01	1	2,5	Pvl (*)
Toluène	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	0,12	<0,01	na	<0,01	<0,01	5	10	120
Ethylbenzène	0,10	0,04	0,10	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	na	<0,01	<0,01	25	50	250
Xylènes totaux	0,30	0,11	0,30	0,02	0,11	0,01	0,02	0,14	<0,01	na	<0,01	<0,01	5	10	100
Somme BTEX	*0,40*	*0,15*	*0,40*	*0,02*	*0,18*	*0,01*	*0,02*	*0,32*	-	*na*	-	-	*nd*	*nd*	*nd*
Isopropylbenzène (cumène)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	na	<0,01	<0,01	so	so	so
1,3,5 triméthylbenzène (mésitylène)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	na	<0,01	<0,01	so	so	so
1,2,4 triméthylbenzène (pseudocumène)	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,02	0,01	<0,01	na	<0,01	<0,01	so	so	so
Ethyltoluène	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	<0,01	na	<0,01	<0,01	so	so	so
Somme CAV	*0,40*	*0,15*	*0,19*	*0,02*	*0,19*	*0,06*	*0,08*	*0,34*	-	*na*	-	-	*so*	*so*	*so*
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)															
Naphtalène	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	na	<0,06	<0,06	0,21	na	na	na	na	23	46	pvl
Acénaphtène	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	na	<0,06	<0,06	0,11	na	na	na	na	nd	nd	nd
Phénanthrène	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	na	<0,06	<0,06	0,23	na	na	na	na	nd	nd	nd
Fluoranthène	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	na	<0,06	<0,06	0,14	na	na	na	na	3050	6100	pvl
Pyrène	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	na	<0,06	<0,06	0,11	na	na	na	na	nd	nd	nd
Benzo(a)anthracène	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	na	<0,06	<0,06	<0,06	na	na	na	na	7	13,9	252
Chrysène	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	na	<0,06	<0,06	0,09	na	na	na	na	5175	10350	25200
Benzo(b)fluoranthène	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	na	<0,06	<0,06	<0,06	na	na	na	na	nd	nd	nd
Benzo(k)fluoranthène	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	na	<0,06	<0,06	<0,06	na	na	na	na	450	900	2520
Benzo(a)pyrène	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	na	<0,06	<0,06	0,10	na	na	na	na	3,5	7	25
Benzo(ghi)perylène	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	na	<0,06	<0,06	0,11	na	na	na	na	so	so	so
Indéno(123-cd)pyrène	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	na	<0,06	<0,06	0,08	na	na	na	na	6	16,1	252
Somme des HAP	-	-	-	-	*na*	-	-	*1,19*	*na*	*na*	*na*	*na*	*nd*	*nd*	*nd*
Somme des 6 HAP	-	-	-	-	*na*	-	-	*0,43*	*na*	*na*	*na*	*na*	*nd*	*nd*	*nd*
Somme des Hydrocarbures volatils (BTEX + naphtalène)	-	-	-	-	*na*	-	-	*0,53*	*na*	*na*	*na*	*na*	*nd*	*nd*	*nd*

Les résultats d'analyses de spéciation en hydrocarbures réalisées par le laboratoire CHEMEX sont présentés ci-dessous, les rapports d'analyses Chemex sont présentés en **Annexe VI** :

Tableau 10: Résultats de spéciation en hydrocarbures

Sondage	**SD 1C**	**SD1B**	**SD1A**
Profondeur (m)	(0,2-1)	(0,2-1)	(0,2-1)
Analyses (mg/kg de MS)			
Aliphatiques volatils			
C5-C6	<0,10	<0,10	<0,10
>C6-C8	<0,10	<0,10	<0,10
>C8-C10	<0,10	<0,10	<0,10
Aliphatiques extractibles			
>C10-C12	<0,10	<0,10	<0,10
>C12-C16	<0,10	<0,10	<0,10
>C16-C21	<0,10	<0,10	<0,10
>C21-C36	<0,10	**0,10**	**6,30**
Aromatiques volatils			
Benzène (C5-C7)	<0,10	<0,10	<0,10
Toluène (>C7-C8)	<0,10	<0,10	<0,10
>C8-C10	<0,10	<0,10	<0,10
Aromatiques extractibles			
>C10-C12	<0,10	<0,10	<0,10
>C12-C16	<0,10	<0,10	<0,10
>C16-C21	<0,10	<0,10	<0,10
>C21-C36	<0,10	**0,90**	**2,90**
Somme des fractions			
Somme	-/-	1,00	9,20
%			
>C21-C36 aliphatiques	-/-	10 %	31,5 %
>C21-C36 aromatiques	-/-	90 %	68,5 %

Commentaires

Les résultats d'analyses sont cohérents avec les résultats de SOLEN. Il convient de rappeler que ce sont les analyses réalisées lors du diagnostic approfondi qui permettent de délimiter précisément les zones de contamination. Les tableaux ci-dessous présentent brièvement la cohérence des résultats SOLEN/ATOS. Les valeurs correspondent aux teneurs maximales rencontrées sur ladite zone.

Tableau 11: Cohérence des analyses ESR/ DA : Comparaison des zones les plus impactées (Couche 0-1m)

Somme des COHV		
	SOLEN, 2002	***ATOS, 2005***
Zone contrôle radio	0,42 - (S5/S6)	6,44 - (SD 5A)
Zone compresseurs	0,31 - (S7/S8)	11,1 - (SD 8A)

BTEX + naphtalène		
	SOLEN, 2002	***ATOS, 2005***
Zone carburant	0,01 - (S1/S2)	0,28 - (SD 1B)
Zone stockage solvants	0,32 - (S7/S8)	0,40 - (SD 7A et 7B)
Zone compresseurs	0,32 - (S7/S8)	0,53 - (SD 8D)

HAP		
	SOLEN, 2002	***ATOS, 2005***
Zone carburant	0,01 - (S1/S2)	1,02 - (SD 1A)
Zone des fûts	0,18 - (S3/S4)	3,38 - (SD 2C)
Zone compresseurs	0,3 - (S7/S8)	1,19 - (SD 8D)
Zone transformateur / Zone des anciennes crasses ?	0,37 - (S9/S13)	na

Les zones investiguées lors du diagnostic approfondi correspondent aux zones reconnues comme polluées lors du diagnostic initial avec une différence de concentration observée sur l'ensemble des échantillons. En effet, les concentrations mesurées lors du diagnostic approfondi sont généralement supérieures à celles mesurées lors du diagnostic initial car des échantillons moyens avaient été alors prélevé entraînant une dilution des contaminants. Une cartographie de la qualité des sols est fournie en **annexe VIII**. Différentes zones se distinguent :

Hydrocarbures

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

La teneur maximale en HAP totaux retrouvée sur le site est de 3,38 mg/kg MS depuis la surface jusqu'à 1,1 mètre de profondeur (SD 2C) ; les concentrations retrouvées pour chaque composé sont inférieures aux VDSS d'un facteur 40 ou plus. Cette référence aux VDSS est purement indicative, elle permet toutefois de considérer le degré de contamination du site comme très faible. Les HAP sont des polluants ubiquitaires de l'environnement présents dans l'alimentation, l'eau, l'air et les sols (InVS, 2002). De plus, leur faible volatilité et solubilité les rendent très peu mobiles, à l'exception du naphtalène. Enfin la somme des concentrations des 16 HAP est inférieure à 10 mg/kg, valeur classiquement reconnue comme représentative du bruit de fond urbain pour ces substances. *Les concentrations en HAP sont donc considérées comme négligeables compte tenu des propriétés physico-chimiques des composés, de la nature du mélange présent (absence de benzo(a)pyrène) et des concentrations non significatives. Une exception est faite pour le naphtalène qui est retenu comme hydrocarbure volatil.*

Hydrocarbures volatils (BTEX + naphtalène)

- **Une zone depuis l'aire des compresseurs à l'aire de stockage des solvants au Nord-Est du site (SD 8A à D et 7A et B)** révèle une teneur maximale de 0,40 mg/kg MS en BTEX sur la couche 0-1 mètre (SD 7A et 7B). Le toluène, les xylènes et l'éthylbenzène ont été détectés. La teneur en naphtalène retrouvée est de 0,21 mg/kg MS (SD8D), soit la plus forte du site. Toutes ces valeurs sont très inférieures aux VDSS.

Concernant l'étendue en profondeur de cette zone, les analyses montrent une atténuation avec la profondeur en BTEX puisque sur la tranche 1,5-2 mètres, la teneur maximale totale n'est plus que de 0,15 mg/kg MS (SD 7A).

- **La zone de stockage des carburants à l'Ouest du site** (sondage SD 1A à 1C) se caractérise par la détection de traces de toluène, xylène à 0,28 mg/kg MS (SD 1B) et de naphtalène à 0,20 mg/kg MS sur la couche 0-1 mètre. *Elle est nommée zone 1, la surface est estimée à 400 m^2 et est présentée en **annexe IX**.*

- **La zone des fûts au Sud du site (SD 2A et 2C)** présente des traces de naphtalène à hauteur de 0,15 mg/kg MS (SD 2C) depuis la surface jusqu'à 1,1 mètre de profondeur. Là encore, le degré de contamination est faible. Les résultats observés sur SD 2A sont inférieurs au seuil de détection (< 0,02 mg/kg MS), aussi l'extension latérale de la zone est délimitée par le sondage SD 2C. L'extension en profondeur est supposée jusqu'au toit de la nappe (1,5 mètres). *Cette zone est nommée zone 2, elle couvre environ 100 m^2 et est présentée en **annexe IX**.*

Globalement, les BTEX sont présents à l'état de traces dans les sols au droits du site.

Composés organohalogénés volatils (COHV)

- **Une zone contaminée depuis l'aire des compresseurs à la salle de contrôle radio au Nord-Est du site (SD 8A à D et 5A à C)** présente la plus forte concentration en composés organohalogénés volatils du site (11,1 mg/kg MS en SD 8A). Deux composés sont majoritairement retrouvés : le trichloroéthylène (9,7 mg/kg MS en SD 8A) et le tétrachlorométhane (4,2 mg/kg MS en SD 5A) à des teneurs dépassant la VCI sensible (0,2 et 1 mg/kg MS, respectivement). Le trichloroéthylène est ainsi retrouvé dans un rapport de 48 à la VDSS. Le cis-dichloroéthène et le trichlorométane (chloroforme) sont également présent : D'après les résultats d'analyses des sondages SD 8C et 8D (1-2 mètres), les COHV ne sont plus détectés dès 1 mètre de profondeur.

*Cette zone de contamination se superpose à la zone où des traces de BTEX et naphtalène ont été retrouvées. Elle est appelée zone 5/7/8 et s'étend de l'aire des compresseurs à la salle de contrôle radio au Nord-Est du site (SD 5A à 5C à SD 7A et 7B). L'extension en profondeur est estimée à 1,5 mètres même si certains des polluants ne se retrouvent plus dès 1 mètre. Elle représente une surface de 1500 m^2 et est présentée en **annexe IX**.*

- **Deux zones ponctuelles** ont montré la présence de trichloroéthylène de la surface à 1 mètre de profondeur. Au Nord du site, la teneur est de 0,11 mg/kg MS (SD 0C), la teneur dépasse la VDSS (0,1 mg/kg MS). Au centre du site, la concentration est de 0,25 mg/kg MS (SD 9A), elle dépasse la VCI sensible (0,2 mg/kg MS). Ces références aux VDSS et VCI sont indicatives, elles permettent d'apprécier le degré de contamination. *Elles sont appelées respectivement zones 0C et zone 9 et représentent des surfaces délimitées à 100 m^2 environ.*

- Par ailleurs, les résultats d'analyses réalisées lors du diagnostic approfondi pour le chlorure de vinyle présentent une différence de seuil analytique avec ceux réalisés en 2002. Ainsi, le chlorure de vinyle a été mis en évidence lors de l'ESR à l'état de traces (0,03 mg/kg soit 0,038 mg/kg MS pour 80 % de matières sèches) sur l'ensemble du site. Il convient de noter qu'en raison de l'analyse sur des échantillons moyens ponctuels, aucune certitude n'est possible quant à la localisation précise du chlorure de vinyle. Le chlorure de vinyle n'a pas été détecté lors des analyses du diagnostic approfondi au seuil de 0,05 mg/kg MS. L'analyse de l'ensemble de ces données permet de conclure à la présence d'un bruit de fond en chlorure de vinyle ; la concentration moyenne est de 0,038 mg/kg MS.

Métaux

La présence de cuivre est constatée dans les remblais au Sud-Est du site (SD 4A et 4C, SD 9B et 9C), à des niveaux de concentration significatifs : de 220 à 1600 mg/kg MS et généralement entre 200 et 400 mg/kg MS (la VDSS est de 95 mg/kg MS). Le cuivre est un composé classique de la composition des sols ; toutefois, d'après les données du fond géochimique (BRGM), les teneurs dans cette zone géographique ne dépassent normalement pas 100 mg/kg MS. La zone est délimitée par les sondages précités. En effet, les analyses sur SD 9A et de la campagne de 2002 sur la zone 5 (aire de contrôle) et la zone 2 (stockage de fûts), donnent des résultats inférieurs aux seuils de détection (5 mg/kg MS) ; elle est estimée à 1600 m^2. Les concentrations ne semblent pas s'atténuer en profondeur, les résultats d'analyses des sondages sur la couche 1 à 2 mètres (SD 9C, SD 0F) montrant des teneurs toujours élevées : 300 mg/kg MS (SD 9C).

Au niveau de la zone 9 (transformateurs), une concentration élevée en plomb (180 mg/kg MS) avait été observée lors de l'ESR sur l'échantillon 0-2 mètres. Les analyses effectuées lors du diagnostic approfondi au niveau de cette zone ont montré des teneurs ne dépassant pas 77 mg/kg MS. Plus au centre du site (SD 0F), sur la couche 1-2 mètres, une teneur de 390 mg/kg MS est relevée (la VDSS est de 200 mg/kg MS). Par ailleurs, une concentration en chrome significative de 270 mg/kg MS se note également sur cet échantillon (VDSS : 65 mg/kg MS). De nombreuses analyses de métaux sont disponibles (ESR et diagnostic approfondi) et n'ont pas mis en évidence de chrome ou de plomb sur les autres parties du site. Il semble donc que ce soit une contamination ponctuelle (surface de 100 m^2). La contamination sur la couche 0-1 mètre n'est pas exclue.

L'ensemble des analyses d'aluminium réalisées permettent de calculer une concentration moyenne des remblais sur la couche 0-1 mètre à 9250 mg/kg MS, la concentration moyenne au droit des activités du site est calculée à 9 550 mg/kg MS, soit une teneur de 0,9 % d'aluminium. La composition naturelle au sein de niveaux argileux peut s'élever à plus de 10% d'aluminium.

Pour les autres métaux comme le cadmium, le zinc, les terres peuvent être considérées comme non impactées.

II.4. CARACTERISATION DE LA QUALITE DES GAZ DU SOL

II.4.1. Objectifs et stratégie de prélèvement

Au regard de la contamination constatée dans le sous-sol, il a été proposé de déterminer la qualité de l'air des sols en certains points, afin de disposer de mesures directes exploitables pour les calculs de risque sanitaires et ainsi de mieux contraindre l'analyse des risques résiduels. Ces mesures présentent

également l'avantage de rendre compte de la volatilisation des composés depuis les sols et depuis les eaux souterraines.

La stratégie d'échantillonnage retenue est la suivante :

- Prélèvement d'échantillons d'air des sols au droit de chacune des zones majeures de contamination par les composés organiques volatils reconnues dans les sols du site (Zone 1 et Zone 5-7-8), à faible profondeur (entre 0,3 et 1 m) : prélèvements SG1 à SG5 ;
- Prélèvement d'un échantillon d'air des sols au droit de la zone située à proximité des sondages SD9A à SD9D (Zone 9) où des traces de composés organo-halogénés ont été identifiées : prélèvement SG6 ;
- Prélèvement d'un échantillon d'air des sols au droit de zones dites « blanches », c'est-à-dire, au droit de zones n'ayant pas révélé de contamination des sols d'après les résultats présentés plus haut : prélèvements et SG7, à proximité du sondage de sol SD0C. Il s'agit de confirmer ou non l'absence de composés volatils dans l'air des sols ;

Les paramètres à mesurer par analyse (famille de polluants et substances) ont été définis d'après les résultats obtenus sur le contenu total des sols et concerne donc : les hydrocarbures, les composés chlorés, les hydrocarbures aromatiques, et les solvants polaires.

Le plan de localisation des points de prélèvement est présenté en **Annexe II**. Pour chaque point, une fiche de prélèvement a été renseignée. Ces fiches sont jointes en **Annexe V.**

II.4.2. Présentation des résultats

Les résultats des analyses d'air des sols et d'air ambiant sont synthétisés dans le tableau ci-dessous. Seuls les composés effectivement détectés sur au moins un échantillon sont présentés. Le rapport d'analyses associé est joint en **Annexe VI**.

Tableau 12 : Résultat des analyses de gaz du sol

	SG1	SG2	SG3	SG4	SG5	SG6	SG7
Zones de contamination	Zone 1	Zone 5,7,8				Zone 9	Zones Blanche
Composés organiques volatils - µg/m³							
Trichloréthylène	<50	<50	54	<50	<50	26	<50
1,1,1-trichloroéthane	39	<50	<50	<50	<50	3300	<50
1,1-dichloroéthane	<50	<50	<50	<50	<50	1700	<50
Dichlorométhane	250	240	280	320	360	240	210
Toluène	56	87	120	64	58	46	66
Ethylbenzène	38	38	38	47	100	37	46
Xylènes	<40	37	46	<40	40	<40	27
Acétone	51	60	58	67	70	<50	75
Hydrocarbures volatils - µg/m³							
C_5C_8	325	385	441	319	268	2293	333
C_8C_{10}	<100	<100	132	<100	4282	267	267
$C_{10}C_{12}$	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100

Commentaires

Les deux principales zones ayant présenté des teneurs en contaminants organiques dans les sols sont retrouvées :

- **la zone 1 :** (sondage SG1) qui présente une typologie hydrocarbures aromatiques volatils avec la présence de toluène (56µg/m³) et d'éthylbenzène (38µg/m³). Des traces de 1,1,1-trichloréthane sont également détectées dans l'air des sols (39µg/m³) alors que ce composé n'a pas été retrouvé dans les sols à cet endroit ;
- **la zone 5-7-8** : (sondages SG2 à 5) Il s'agissait de la zone principale de contamination des sols. Une partie de la typologie identifiée dans les sols est retrouvée dans les gaz du sol avec la détection du trichloréthylène (54µg/m³), le dichlorométhane (jusqu'à 360µg/m³), le toluène (jusqu'à 120µg/m³), l'éthylbenzène (jusqu'à 100µg/m³) et les xylènes (jusqu'à 46µg/m³). En revanche, le cis-dichloroéthylène, le chloroforme et le tétrachlorure de carbone n'ont été détectés dans les gaz du sol alors que ceux-ci avaient été mesurés dans les sols Un premier commentaire permet d'affirmer que ces concentrations sont plutôt faibles et significatives de traces dans les gaz du sol.

- **Zone blanche à proximité des SD9** : (sondage SG6). Ce sondage de gaz présente une contamination de l'air du sol essentiellement par les composés organo halogénés volatils, qui étaient également retrouvés dans les sols, mais à des concentrations bien moins importantes que dans la zone 5-7-8. Ainsi, le trichloréthylène (26 µg/m^3), le 1,1,1-trichloréthane (3300 µg/m^3), le 1,1-dichloréthane (1700 µg/m^3), le dichlorométhane (240 µg/m^3), le toluène (46µg/m^3) et l'éthylbenzène (37µg/m^3) ont été détectés dans l'air des sols au droit de cette zone.
- **Zone blanche à proximité de SD0C** : (sondage SG7). Ce sondage a été réalisé dans une zone où aucune contamination significative des sols n'a été détectée afin de s'assurer de la diffusion ou non des composés organiques volatils des zones effectivement repérées comme contaminées vers les autres. Ce prélèvement de gaz a confirmé un bruit de fond pour le dichlorométhane (210 µg/m3), le toluène (66µg/m^3), l'éthylbenzène (46µg/m^3), les xylènes (27 µg/m^3), qui sont par ailleurs retrouvés sur presque tous les prélèvements de gaz à des concentrations similaires.

Remarques :

- Certains composés comme le toluène, l'éthylbenzène, les xylènes et le dichlorométhane sont retrouvés sur l'ensemble des sondages à des concentrations voisines et très proches des seuils de détection. Cette observation semble traduire la présence d'un bruit de fond assez homogène pour ces composés dans les gaz du sol au droit de l'ensemble du site. Enfin pour les composés aromatiques volatils, les mesures d'hydrocarbures C_5 à C_{10} semblent confirmer la présence de ce bruit de fond associé à la présence probables d'autre composés hydrocarburés (aliphatiques et aromatiques) avec néanmoins des pics non négligeables en SG5 (Zone 5-7-8) avec 4282 µg/m3 en hydrocarbures C_8C_{10} et SG6 (Zone de SD9) avec 2293 µg/m3 en hydrocarbures C_8C_{10};
- Le chlorure de vinyle, que le bureau SOLEN avait détecté lors du diagnostic initial dans les sols (0,02mg/kg MS) et dans la nappe, n'est pas détecté dans l'air des sols.

II.5. SYNTHESE DES INVESTIGATIONS

II.5.1. Synthèse de l'évaluation simplifiée des risques

L'ESR réalisée par le bureau d'études SOLEN a placé le site en classe 2 du fait :

- de la présence de chlorure de vinyle dans les sols et dans les eaux (> VCI de chacun de ces milieux : 0,02 mg/kg MS et 0,5 µg/L, respectivement)
- de la protection de cette source par une dalle béton et de l'absence d'enjeux sur la ressource en eaux.

Des données complémentaires ont été recherchées afin de s'assurer de l'absence d'enjeux sur la ressource "eaux". La recherche des cibles potentielles n'a pas montré l'existence de captages AEP en aval du site dans un rayon de 5 km. Toutefois, compte tenu du caractère résidentiel du voisinage du site, la présence de puits particuliers non déclarés à proximité immédiate du site n'est pas exclue.

Les sources potentielles de pollution des sols identifiées à l'issue de l'ESR peuvent être associées à l'ensemble des activités actuelles ou passées du site.

II.5.2. Synthèse des investigations complémentaires sur site

II.5.2.1. Qualité des sols

Suite à l'évaluation simplifiée des risques, une campagne d'investigations pour prélèvements et analyses de sols et d'eaux souterraines a été entreprise. Ainsi, 30 sondages de sols, 2 forages d'eau équipés en piézomètres ont été effectués. La localisation des sondages a été définie en cohérence avec les conclusions de l'ESR d'une part et dans un souci de couvrir toute l'emprise du site. L'implantation a donc été établie à la fois de manière ciblée et systématique.

L'ensemble des données collectées lors des investigations, compilées avec celles de l'ESR conduit à l'identification de 6 zones contaminées dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 13.

Les concentrations en HAP sont considérés comme négligeables compte tenu des propriétés physicochimiques de ces substances, de la nature du mélange présent (non détection du benzo(a)pyrène). Ils ne sont pas retenus pour l'évaluation des risques sanitaires. Une exception est faite pour le naphtalène qui est retenu en raison notamment de sa plus grande volatilité.

Les hydrocarbures volatils (BTEX + naphtalène) se retrouvent au Nord-Est du site (aire de stockage des solvants et des compresseurs). L'extension verticale de la zone où les BTEX et le naphtalène ont été repérés est estimée à 1,5 mètres environ.

Les COHV se retrouvent au Nord-Est (zone des compresseurs et de contrôle radio). La contamination n'est pas considérée étendue au-delà de 1,5 mètres ; cette zone se superpose à celle des hydrocarbures volatils (Zone 5-7-8). Deux zones ponctuelles en trichloroéthylène se distinguent également (zone 0C et zone 9).

Par ailleurs, le chlorure de vinyle est estimé présent à l'état de traces sur l'ensemble du site, l'ensemble des zones investiguées lors de l'ESR ayant observée une concentration de 0,038 mg/kg MS et les analyses du diagnostic approfondi n'ayant pas démontré sa présence au-delà de 0,05 mg/kg MS. Enfin, il n'est pas détecté dans les gaz du sol.

Pour le cas des métaux, la présence de cuivre est constatée au Sud-Est du site (zone 4/9), depuis la surface à 2 mètres de profondeur, à des niveaux de concentration significatifs (de 220 à 1600 mg/kg MS et généralement entre 200 et 400 mg/kg MS). La surface est estimée à 1600 m^2.

Au centre du site, sur la couche 1-2 mètres (SD 0F), une teneur de 390 mg/kg MS en plomb est relevée et constitue une pollution (VDSS : 200 mg/kg MS). Eu égard aux nombreuses analyses de métaux disponibles (ESR et diagnostic approfondi) n'ayant pas mis en évidence de plomb sur les autres parties du site, cette contamination est jugée ponctuelle ; la surface de contamination est ainsi estimée à 100 m^2.

Par ailleurs, une concentration en chrome significative de 270 mg/kg MS se note sur cet échantillon (SD 0F). Eu égard aux nombreuses analyses de métaux disponibles (ESR et diagnostic approfondi) n'ayant pas mis en évidence de chrome sur les autres parties du site, cette contamination est jugée ponctuelle ; la surface de contamination est ainsi estimée à 100 m^2.

L'ensemble des analyses réalisées révèle la présence d'aluminium sur l'ensemble du site, au lieu des implantations des activités actuelles et sur les remblais.

Pour les autres métaux comme le cadmium, le zinc, les terres peuvent être considérées comme non impactées.

II.5.2.2. Qualité de l'air des sols

Les analyses de l'air des sols réalisées lors de la campagne du 14 au 16 novembre ont démontré la présence d'un bruit de fond pour le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes à des concentration proches des seuils de détection. Ces produits sont détectés sur l'ensemble du site : dans les zones blanches et dans les zones identifiées comme contaminées lors de la campagne de prélèvements de sols en juillet 2005.

Par ailleurs, la zone 5-7-8 étant identifiée comme la zone principale de contamination des sols a également présenté des teneurs en composés organo halogénés volatils déjà détectés dans les sols comme le trichloréthylène. En revanche le cis-dichloroéthylène, le chloroforme et le tétrachlorure de carbone détectés dans les sols ne sont pas retrouvés dans l'air du sol.

Enfin la zone 1 et la zone des sondages de sol SD9 (dénommée zone 9 par la suite) présentent une typologie dans l'air des sols cohérente avec les polluants retrouvés dans les sols à savoir le 1,1,1-trichloroéthane dans la zone 1 et le 1,1,1-trichloroéthane, le 1,1-dichloréthane et le trichloréthylène dans la zone 9.

Tableau 13 – Tableau récapitulatif de la qualité des sols

Zone	Surface estimée (m^2)	Volume estimé (m^3)	Composition des sols	Composition de l'air des sols	Localisation/Remarques
Ensemble du site T	35 000	70 000 (bruit de fond estimé jusqu'à 2 m)	**COHV** : chlorure de vinyle - 0,038 mg/kg MS	Non détecté	Ensemble du site – bruit de fond
Zone 0C	80	160 (contamination estimée jusqu'à 2 m)	**COHV :** Trichloréthylène - 0,11 mg/kg MS	Dichlorométhane	Remblais
Zone 5 /7 /8	1500	2400 (contamination constatée jusqu'à 1,5 m)	*Pour 1000 m2 :* **HC volatils** : BTEX: Benzène, Toluène, Xylènes et Ethylbenzène - 0,40 mg/kg MS Naphtalène - 0,21 mg/kg MS *Pour 1000 m2 :* **COHV :** Trichloroéthylène, Trichlorométhane, Tétrachlorométhane, Cis-dichloroéthylène - 11,1 mg/kg MS	**HC Volatils** : Toluène, Ethylbenzène, Xylènes **COHV** : trichloréthylène, 1,1,1-trichloroéthane, dichlorométhane	Ensemble des zones de contrôle radio, compresseurs, stockage des solvants
Zone 9	80	160 (contamination estimée jusqu'à 2 m)	**COHV** : Trichloroéthylène, 1,1,1-trichlorométhane - 0,25 mg/kg MS	**HC Volatiles** : Ethylbenzène **COHV** : trichloréthylène, 1,1,1-trichloroéthane, 1,1-dichlorméthane, dichlorométhane	Zone des transformateurs et anciennes fosses
Zone 0F	100	100 (contamination sur la couche 1-2 mètres)	Plomb - 390 mg/kg MS Chrome -270 mg/kg MS	Composés non volatils	Remblais
Zone 4 /9	1600	3200 (contamination constatée jusqu'à 2 m)	Cuivre - 1600 mg/ kg MS	Composés non volatils	Zone de stockage des phénols, des transformateurs et anciennes fosses

III. ANALYSE COUTS BENEFICES

III.1. GENERALITES

Conformément à la méthodologie de gestion des sites et sols potentiellement pollués proposée dans la circulaire ministérielle du 8 février 2007, une discussion « coûts-avantages » est proposée pour définir les modalités de gestion de site et étudier la possibilité de traitement ou de gestion simple des sources de pollutions concentrées identifiées dans le cadre des diagnostics.

Le diagnostic a montré la présence de 4 zones principales (voir cartographie de l'**annexe IX**) où des polluants ont été identifiés dans les sols :

- Zone 1 (400 m^2) : présence d'hydrocarbures aromatiques volatils (BTEX et naphtalène) à l'état de traces non significatives (0,15 mg/kg MS pour le naphtalène et 3 mg/kg MS pour les HAP) : cette source n'est pas une source concentrée ;
- Zone 2 (100 m^2) : présence de naphtalène et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques à l'état de traces non significatives (inférieures à 0,5 mg/kg MS) : cette source n'est pas une source concentrée ;
- Zone 5-7-8 (1500 m^2) : présence de solvants (halogénés principalement – 0,5 à 11 mg/kg MS – et mono-aromatiques en moindre mesure) à des concentrations significatives ;
- Zone « cuivre » (1600 m^2) (zone 4-9 du tableau précédent) : présence de métaux lourds et notamment de cuivre (190 à 370 mg/kg MS avec un point – 100 m^2 – à 1600 mg/kg MS) à des concentrations significatives et plus ponctuellement de plomb (390 mg/kg MS) et de chrome (270 mg/kg MS).

Ainsi les zones 1 et 2 ne présentant pas d'anomalie particulière, aucun traitement spécifique ne sera proposé, et l'évaluation des risques résiduels montrera que la présence de ces polluants à l'état de traces est compatible avec l'usage envisagé.

En revanche, plusieurs scénarios pour la gestion des zones 5-7-8 et « cuivre » sont proposés :

- Réalisation d'une analyse des risques résiduels et mise en place de servitudes le cas échéant ;
- Traitement :
    - Zone 5-7-8 : dépollution par :
        - Excavation et évacuation en biocentre ou CET2 (hors site) ;
        - Excavation et traitement en biopile sur le site ;
    - Zone « cuivre » :
        - Excavation et évacuation en CET1 (ensemble de la zone diffuse ou point concentré SD4C) ;
        - Confinement sur site de la zone impactée.

III.2. DESCRIPTION DES SCENARIOS DE GESTION

Deux scénarios principaux sont proposés pour la gestion des sources de pollution identifiées au droit du site Montupet :

- Conservation des sols contenant des polluants impliquant et analyses des risques résiduels avec mises en place de servitudes et de restriction adaptées ;
- Traitement des sources principales de pollution.

Un tableau récapitulatif des différentes options avec leurs avantages et inconvénients respectifs est proposé en **Annexe X-bis**

III.2.1. Restriction d'usage

La première option de gestion qui est proposée consiste en la conservation des traces de polluants sur le site assortie de la réalisation d'un calcul de risques résiduels sur la base des données connues à l'issue des différents diagnostics portant sur les sols, l'air des sols (ce rapport partie IV) et les eaux souterraines (rapport AEPLC6011-RT06).

Ces calculs démontrent que les sources de pollution identifiées dans les sols peuvent rester en place pour l'usage suivant qui est prévu, à savoir du logement sans sous-sols. Ce calcul de risque est assorti des mesures suivantes :

- Recouvrement du site intégral afin de supprimer la possibilité de contact direct avec les sols contenant des polluants organiques ou métalliques soit par des voiries, du béton (dalle des bâtiments) ou des espaces verts (apport de 30 cm de terre végétale saine). Par ailleurs, les canalisations d'eau potable devront être réalisées dans un matériau limitant les transferts de polluants, et les tranchées où sont installées ces canalisations remblayées par des matériaux inertes. Ces contraintes sont a priori intégrées au projet d'aménagement et n'entraînent ainsi pas de surcoût. Ces dispositions doivent être jointe au contrat de vente. Afin de garantir une marge de sécurité supplémentaire aux expositions et aux risques associés, un vide sanitaire ventilé pourra être imposé, son installation permet en effet une réduction du risque d'un facteur 2 à 3 environ ;
- Conservation de la mémoire de la qualité des sols ;
- Mise en place d'une surveillance semestrielle de la qualité de la nappe (bilan quadriennal qui reste à la charge de l'exploitant) et des gaz du sol.

Cette option de gestion se caractérise par :

- Avantages : c'est la solution la plus avantageuse sur le plan financier (30 k€). Par ailleurs, elle est assez rapide et n'entraine pas d'immobilisation du terrain qui peut être libéré immédiatement pour la réalisation des aménagements ;
- Inconvénients : Cette solution impose la mise en place de servitudes contraignantes pour l'utilisation future des sols et de la nappe. En particulier, la contrainte de recouvrement intégral du sol doit bien être prise en compte afin de supprimer la voie de transfert par contact direct, il sera également déconseillé de pratiquer des cultures potagères sur le site. Il est également conseillé d'éviter l'utilisation de la nappe pour la consommation.

Le fait de laisser en place des terres contenant des polluants peut également avoir un impact sur le projet d'aménagement sans que cela pose de restrictions sur le plan sanitaire. En effet, les terrassements éventuels engendrés par le nivellement du terrain ou la mise en place des fondations des maisons peuvent générer des déblais non inertes qui ne seraient pas acceptables en CET3. Ces surcoûts qui sont liés à l'aménagement et non à une remise en état du site ne sont pas imputables à l'exploitant. Il apparait cependant que compte tenu des résultats de l'analyse des risques résiduels, ces éventuels déblais non inertes peuvent être conservés sur le site à la condition encore de les recouvrir de 30 cm de terre végétale saine (butte paysagère).

III.2.2. Traitement des sources 5-7-8 et « cuivre »

La seconde option consiste en un traitement des deux sources principales de pollution :

- la source 5-7-8 qui présente des teneurs significatives en solvants chlorés et en moindre mesure en solvants aromatiques ;
- la source « cuivre » qui présente des teneurs significative en cuivre et en moindre mesure et de façon plus localisée en chrome et en plomb.

Pour chacune de ces deux sources, qui présentent des typologies bien distinctes, deux solutions de traitement sont proposées. Quoiqu'il en soit, dans chaque cas, les propositions de gestion devront être validées par une analyse des risques résiduels.

Zone 5-7-8

Pour le traitement de cette zone de pollution il est proposé d'excaver les 1500 m^3 de terres polluées avec deux types de gestion :

- évacuation hors site avec envoi vers un centre d'enfouissement technique de classe 2 ou biocentre :
  - Avantages : le traitement est rapide et permet la libération immédiate du terrain. Par ailleurs, il autorise l'élimination de la source et il n'y a pas de contraintes de suivi ou de nécessité de conservation de la mémoire. Enfin, cette solution n'entraine pas de contrainte pour les aménagements suivants et à venir ;
  - Inconvénients : le coût financier 150 k€ est important. Il existe également un impact environnemental et des nuisances des travaux non négligeables avec la mobilisation de nombreux poids lourds pour évacuer les déblais dans un quartier fortement résidentiel avec des accès étroits ;
- Traitement sur site via biopiles :
  - Avantages : Cette solution permet l'élimination de la source, n'entraîne pas de contrainte de suivi post traitement ou de nécessité de conservation de la mémoire ou de mise en place de servitude. Il ne nécessite pas d'évacuer les terres hors du site ni de mobilisation d'une flotte importante de camions. Par ailleurs la pollution est traitée, il ne s'agit pas d'un simple déplacement de polluants. Le coût financier est moins important que l'évacuation.

- Inconvénient : le coût financier reste assez élevé 75 k€. Le traitement peut s'avérer relativement long (six mois à un an), ce qui peut poser des problèmes de contraintes dans les délais de libération du site pour les aménageurs.

Zone « cuivre » / ensemble

Pour le traitement de cette zone de pollution il est proposé d'excaver les 3200 m^3 de terres polluées avec deux types de gestion :

- évacuation hors site avec envoi vers un centre d'enfouissement technique de classe 1 (il n'est pas possible de traiter les pollutions métalliques) :
  - Avantages : La source est éliminée, il n'y a pas de contraintes de suivi ou de conservation de la mémoire. Il n'y a pas non plus de nécessité de mise en place de servitude ou de contrainte d'aménagements ;
  - Inconvénients : Le coût financier de 770 k€ pour cette opération est très élevé. En effet, il n'existe pas de solution de traitement de terres polluées par des métaux lourds. Il s'agit donc ici de déplacer des terres d'un endroit à un autre présentant un bilan environnemental nul voire négatif, alors que leur conservation sur le site est acceptable sur le plan sanitaire. Il existe enfin un impact environnemental et des nuisances des travaux non négligeables avec la mobilisation de nombreux poids lourds pour évacuer les déblais dans un quartier fortement résidentiel avec des accès étroits ;
- Confinement sur site des terres polluées dans une structure de géo-membranes :
  - Avantages : La source est physiquement confinée et les coûts de 60 k€ environ sont raisonnables. Pas de nécessité de mise en place de servitude. Le traitement est rapide et n'entraîne pas d'immobilisation du site ;
  - Inconvénients : Un suivi doit être maintenu ainsi que la mémoire des sols conservée. Les contraintes de recouvrement des sources sont maintenues, cette solution apporte juste une sécurité vis-à-vis d'un éventuel impact sur la nappe par des métaux lourds : les suivis ont montré jusqu'ici que la concentration en cuivre dans l'eau était toujours inférieures à la norme de potabilité (voir rapport AEPLC6011-RT06).

Zone « cuivre » / point concentré

L'analyse précédente a montré que le traitement de l'ensemble de la zone « cuivre » était très onéreux. La zone cuivre présente une disparité de concentration importante : en effet, les concentrations mesurées varient de 190 à 370 mg/kg MS (ordre de grandeur des anomalies naturelles fortes sur le territoire français – données INRA) sur l'ensemble de la zone avec une pointe à 1600 mg/kg MS localisé en SD4C.

Il est ainsi proposé d'étudier le traitement de ce point de pollution concentrée par l'évacuation des 100 m^3 de terres concernés :

- Avantages : Cette solution, d'une ampleur raisonnable permet d'éliminer le point de concentration le plus élevé en cuivre du site. Il permet par ailleurs d'éviter des servitudes particulièrement contraignantes sur cette zone spécifique (interdiction de cultures par exemple) ;

- Inconvénients : Le traitement proposé est partiel, il laisse en place la plus grande extension de la pollution, toutefois il permet d'éliminer un point qui est 5 fois plus concentré que le reste de la zone. Il faudra néanmoins conserver les mesures de recouvrement intégral du site et la mémoire de la qualité du sous-sol.

III.3. SELECTION DE LA SOLUTION OPTIMALE

La présentation des deux grandes options de gestion du site ont permis de décrire les avantages et les inconvénients de chacune des deux solutions avec dans le cas des traitements plusieurs possibilités d'interventions.

Il ressort que les solutions de traitement sont très onéreuses financièrement, par rapport au prix du terrain, alors que l'évaluation des risques résiduels montre que les terres peuvent rester en place.

De façon générale, les solutions de traitement visant à excaver et évacuer les terres hors du site présente un bilan environnemental global assez défavorable car impliquant d'une part la mobilisation d'une flotte de poids lourds importante pour réaliser les évacuations en milieu urbain dense, et d'autre part le déplacement de la pollution du site vers un site extérieur sans apporter de réelle solution de traitement (sauf pour la zone 5-7-8 si évacuée vers un bio-centre).

Concernant la solution de traitement in situ pour la pollution par les solvants organiques, celle-ci est intéressante du point de vue du bilan environnemental global, mais elle reste onéreuse financièrement et implique une immobilisation prolongée du site. De plus, l'analyse des risques résiduels montre que la pollution peut rester en place, et les analyses de la qualité des eaux souterraines montrent que cette source n'entraîne pas de contamination marquée de la nappe.

Enfin, la solution de confinement de la zone cuivre bien que relativement raisonnable financièrement, ne présente que peu d'avantages sur le plan environnemental et sur le plan de la gestion future du site : en effet la pollution est laissée en place ce qui impose la conservation des mesures de suivi, de conservation de la mémoire et d'obligation de recouvrement du site.

Au final, sur la base de la discussion précédente et compte tenu de l'analyse des risques résiduels favorable pour la conservation des terres impactées sur le site, ATOS Environnement ne recommande que le traitement de la zone cuivre concentrée autours de SD4C. Cette recommandation s'accompagne des mesures restrictives suivantes :

- Recouvrement intégral du site par du béton, du bitume ou de la terre végétale afin de confiner les terres présentant des teneurs en polluant et pour supprimer la possibilité de contact direct avec ces polluants. Ce recouvrement est a priori déjà prévu dans le cadre de tout aménagement standard. En cas de nécessité de terrassement (nivellement du site, mise en place des fondations des bâtiments), des terres non inertes pourront également être conservée sur le site (butte paysagère) à la condition que le recouvrement de ces terres soit respecté. Par ailleurs, les canalisations d'eau potable devront être réalisées dans un matériau limitant les transferts de polluants, et les tranchées où sont installées ces canalisations remblayées par des matériaux inertes. ;
- La mise en place d'un vide sanitaire ventilé de 50 cm de profondeur sous les habitations afin d'assurer une marge de sécurité confortable pour les niveaux d'exposition et de risques associés ;
- Interdiction d'utilisation des eaux souterraines au droit du site ainsi que des cultures potagères ;
- Conservation de la mémoire de la qualité des sols : les présents diagnostics devront être joints à l'acte de vente du site ;

- Mise en place d'un suivi quadriennal sur les piézomètres eaux et gaz (ces derniers restant à installer) du site qui devront être conservés ou remplacés en cas de destruction lors des travaux afin de s'assurer de la stabilité de la qualité de la nappe et des gaz du sols : il s'agira de vérifier que les concentrations maximales admissibles fixées dans l'analyse de risques résiduels soient respectées. Ce suivi sera réalisé tous les 6 mois et concernera les paramètres HCT (Hydrocarbures volatils pour les gaz), BTEX, COHV et métaux lourds et aluminium (métaux uniquement pour les eaux).

IV. ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS

IV.1. DEFINITION DU MODELE CONCEPTUEL, SOURCES, VOIES D'EXPOSITION ET CIBLES

IV.1.1. Introduction - Méthodologie générale

L'interprétation des résultats analytiques relatifs aux sols a permis de mettre en évidence la nature et la concentration en substances polluantes dans le sous-sol.

La présente partie de cette étude consiste à évaluer si la présence de polluants dans le sous-sol peut entraîner des risques sanitaires pour les populations susceptibles d'être présentes sur le site et ses abords immédiats, suivant divers scénarii représentant la zone étudiée en fonction des aménagements projetés.

La méthodologie appliquée est conforme aux recommandations formulées dans les documents de référence suivants, établis au niveau national : L'étude ayant été d'abord réalisée en 2006, elle a fait l'objet d'adaptation à la circulaire du 8 février 2007, ainsi les anciens guides techniques ont également été utilisés comme référence :

- Circulaire du 8 février 2007 sur la gestion des sites et sols pollués publié par le ministère en charge de l'environnement ;
- Guide technique pour la gestion des sites (potentiellement) pollués – Diagnostic initial – Evaluation Simplifiée des Risques – version 2, publié en mars 2000 et partiellement révisé en décembre 2002, par le BRGM et le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) ;
- Guide technique pour la gestion des sites pollués – Diagnostic Approfondi – Evaluation Détaillée des Risques – version 0, publié en juin 2000 par le BRGM, l'INERIS et le MATE ;
- Evaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des ICPE – substances chimiques, publié en 2003 par l'INERIS.
- Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact, publié par l'Institut de Veille Sanitaire en février 2000.
- Circulaire du ministère en charge de l'environnement du 10 décembre 1999 définissant les principes de fixation des objectifs de réhabilitation pour les sites et sols pollués.
- Rapport du RIVM (n°711701041/2006) sur la validation du modèle VOLASOIL avec des mesures de sites contaminés au Danemark.

L'évaluation réalisée se compose des étapes suivantes :

- Elaboration d'un modèle conceptuel d'exposition des cibles recensées à la contamination des sols : ce modèle repose sur la définition du triplet source-vecteur-cible ;
- Définition des caractéristiques de(s) la source(s) de pollution, notamment sélection des substances ;
- Définition des caractéristiques des voies de transfert et des cibles : définition des expositions ;
- Evaluation de la toxicité : choix des valeurs sanitaires de référence ;
- Evaluation de l'exposition : quantification des doses absorbées

- Evaluation des risques : quantification des risques ;
- Définition des concentrations maximales admissibles.

IV.1.2. Présentation du schéma conceptuel retenu – Présentation des hypothèses

IV.1.2.1. Introduction

L'évaluation des risques sanitaires porte sur les risques liés à l'exposition chronique des populations aux substances présentes dans le sous-sol du fait des activités passées pratiquées sur le site étudié.

Cette approche quantitative repose sur les guides méthodologiques listés précédemment et a fait appel aux modèles de calculs Johnson & Ettinger, Volasoil et Csoil, développés respectivement pour les agences de protection de l'environnement des Etats-Unis (US-EPA) et des Pays-Bas (RIVM). Ces modèles analytiques sont reconnus internationalement et couramment utilisés dans le cadre des évaluations sanitaires. Le modèle Johnson & Ettinger est utilisé dans le cas présent pour évaluer la concentration dans l'air ambiant à l'intérieur du rez-de-chaussée des futures habitations au droit de la zone contaminée (sols). Le modèle Volasoil a été utilisé afin de décrire les transferts de polluant des sols vers un vide sanitaire et du vide sanitaire au niveau d'habitation situé au dessus. Enfin, le modèle Csoil a été requis pour évaluer le transfert des polluants du sol vers l'atmosphère en milieu extérieur.

Tous ces modèles reposent sur le triplet « source-vecteur-cible » qui définit la notion de risque et qui se décompose ainsi :

- Source de pollution ;
- Transfert des composés, par un vecteur particulier (eau superficielle, eau souterraine, air) vers un point d'exposition ;
- Exposition des populations aux substances au point d'exposition.

Le triplet considéré dans cette évaluation constitue le schéma conceptuel d'exposition. Il est détaillé par la suite et illustré graphiquement en **Annexe X**.

La modélisation de la source de pollution est déduite des données obtenues sur le terrain.

La modélisation des transferts des polluants de la source au point d'exposition est effectuée à partir des modèles analytiques Johnson & Ettinger, Volasoil et Csoil mentionnés plus haut.

Le calcul des doses absorbées et la quantification des risques sont effectués conformément aux équations présentées dans les guides méthodologiques listés au **§ IV.1.1.**

L'évaluation mise en œuvre porte sur l'usage futur du site envisageable et non sur l'utilisation actuelle du site. Les usages projetés ont été discutés et définis en concertation avec les fonderies Montupet. Les résultats de la présente étude sont valables uniquement pour les orientations d'aménagement considérées. Si celles-ci venaient à être modifiées, les calculs de risques ne seraient plus valables.

IV.1.2.2. Schéma conceptuel d'exposition considéré

Comme expliqué précédemment, le schéma conceptuel est constitué de source(s), de voie(s) de transfert et de cible(s). Les composantes du risque sont présentées ci-dessous et leurs caractéristiques sont détaillées dans les paragraphes suivants.

Le schéma conceptuel présentait ici correspond au cas où les sources de pollution identifiées lors du diagnostic sont laissées en place. Il s'agit d'étudier les risques résiduels lié à la conservation de ces traces de polluants dans les sols.

Sources

Les investigations de terrains ont permis de caractériser l'état de contamination du sous-sol au droit des installations des fonderies Montupet. Cette contamination est caractérisée par la présence d'**hydrocarbures, de composés organiques volatils (composés aromatiques volatils - BTEX, composés organo-chlorés volatils - COHV)** dans le sous-sol et plus précisément uniquement dans la zone non saturée du sol.

Pour l'évaluation du transfert de polluant sous forme gazeuse, les concentrations en polluant dans l'air des sols retenues sont dérivées des concentrations mesurées et non des concentrations calculées par les modèles à partir de concentrations dans les sols et/ou dans les eaux. Ainsi, conformément à la méthodologie nationale, lorsqu'elle existe et qu'elle est exploitable, la mesure est préférée à la modélisation. Ceci permet de prendre en compte la diffusion de composés volatils depuis les sols, mais aussi depuis la nappe dont la qualité n'est pas déterminée au milieu du site.

Voies de transfert

Ces polluants peuvent être transférés vers des cibles par :

- Remontées de vapeurs depuis les sols et/ou la nappe contaminés vers l'intérieur des habitations supposées de plein pied. Deux scénarios sont considérés : avec et sans vide sanitaire ;
- Remontées de vapeur directement du sol et/ou la nappe vers l'atmosphère extérieure (jardin) ;
- Contact direct avec les sols pollués (ingestion, inhalation de poussières, transfert cutané) sur les espaces libres.

Au vu des aménagements qui entraîneront le recouvrement du site par des matériaux sains et/ou des revêtements de surface ou alors des bâtiments, les voies d'exposition par contact « direct » avec les sols pollués ne sont pas retenues. **Aussi, seule l'inhalation de vapeurs remontant du sous-sol sera donc quantifiée dans le cadre de l'analyse des risques résiduels conformément aux conclusions de l'analyse coût bénéfice.**

Cibles

Les orientations d'aménagement du site telles que définies avec les Fonderies Montupet sont les suivantes. L'ensemble du terrain actuellement occupé par les fonderies Montupet est destiné à accueillir une zone d'habitation résidentielle. Les contaminations identifiées lors du diagnostic approfondi étant située principalement entre 0 et 1,5 mètres de profondeur, les habitations seront considérées de plain-pied sans sous-sol, ce qui est le cas le plus défavorable et permet d'envisager une approche sécuritaire.

Deux scénarios seront testés pour les habitations :

- **Scénario n°1 :** maisons de plain-pied sans vide sanitaire ;
- **Scénario n°2 :** maisons de plain-pied avec vide sanitaire.

Cela permettra de quantifier la marge de sécurité supplémentaire apportée par la mise en place d'un vide sanitaire sous les habitations.

Par ailleurs, afin de conserver cette approche sécuritaire, les habitations et leur jardin seront considérées comme étant situées au droit des zones les plus contaminées.

Les cibles retenues pour le calcul de risques sont :

- les enfants résidents ;
- les adultes résidents

Le schéma conceptuel général d'exposition est présenté en **Annexe X**.

Les contaminations aux métaux repérées lors du diagnostic approfondi ne seront pas prises en compte dans le calcul de risque sanitaire dans la mesure où le mercure, seul métal volatil, n'a pas été identifié au droit du site. D'autre part, le projet d'aménagement de lotissement impose un recouvrement intégral du site soit par du bitume, des bâtiments ou 30cm de terre végétale éliminant *de facto* tout contact direct (ingestion de sol et inhalation de poussières du sol contaminé). Il s'agit enfin de l'hypothèse de gestion la plus simple qui a été retenue dans l'analyse coûts bénéfices.

Le tableau suivant synthétise le scénario d'exposition considéré :

Tableau 14 – Scénario d'exposition retenu

Aménagement	Cibles	Polluants - milieu	Voie d'exposition	Risque sanitaire
Habitation individuelle sans sous-sol et de plein pied	Résidents adultes Résidents enfants	**Air des sols :** Hydrocarbures, COHV, BTEX, 2-butanone	Inhalation de vapeurs à l'intérieur, à l'extérieur des bâtiments : - sans vide sanitaire - avec vide sanitaire	Risque sanitaire à seuil (effets systémiques) Risque sanitaire sans seuil (effets cancérogènes)

IV.2. DEFINITION DE L'ETAT DE CONTAMINATION RESIDUEL

IV.2.1. Substances retenues

Les composés recherchés dans les sols, les eaux souterraines et dans l'air du sol, lors des diagnostics initial et approfondi sont les substances associées aux activités anciennes et actuelles. Pour cela, les paramètres qui ont été analysés sont les hydrocarbures (aliphatiques et aromatiques), les composés organo-chlorés volatils ainsi que les solvants polaires, sur différents milieux : le sol et l'air des sols. De manière générale, la source de pollution retenue est établie pour le milieu constituant l'air des sols et dont la composition est liée au dégazage des composés volatils depuis le sol. La composition de cet air est élaborée comme suit : en cas de détection d'un composé sur au moins un échantillon d'air des sols, la concentration retenue est la concentration maximale mesurée parmi les 7 échantillons considérés – en cas de présence du polluant dans les sols ou dans la nappe néanmoins non détecté dans l'air des sols, le composé est retenu à une concentration valant le seuil de détection d'analyse d'air. Pour les contaminants uniquement détectés dans la nappe, ils seront retenus dans le cas où leur concentration dépasse les normes de potabilité fixées par l'OMS. Ceci conduit aux choix suivant pour chaque famille de polluant.

Les composés recherchés dans les sols lors des diagnostics initial et approfondi sont les substances associées aux activités anciennes et actuelles. Pour cela, les paramètres qui ont été analysés sont :

- Les hydrocarbures aromatiques monocycliques (**BTEX**) et naphtalène : ces hydrocarbures sont clairement volatils. Toutes les substances significativement présentes sur au moins un échantillon de sol ou air des sols seront retenues (Les autres composés aromatiques volatils sont pris en compte dans les hydrocarbures aromatiques des fractions C_5C_8 et C_8C_{10}):
    - Benzène : non détecté dans l'air des sols mais dans les sols, la concentration retenue est celle du seuil de détection,
    - Toluène : détecté dans l'air des sols,
    - Ethylbenzène : détecté dans l'air des sols,

- Xylènes totaux : détecté dans l'air des sols;

- Les composés aliphatiques halogénés volatils (**COHV**) : il s'agit de composés chlorés volatils, utilisés comme solvants. Toutes les substances significativement présentes sur au moins un échantillon d'air des sol ou de sol seront retenues :
  - Tétrachlorure de carbone : non détecté dans l'air des sols mais dans les sols, la concentration retenue est celle du seuil de détection,
  - Chloroforme : non détecté dans l'air des sols mais dans les sols, la concentration retenue est celle du seuil de détection,
  - Dichlorométhane : détecté dans l'air des sols,
  - Chlorure de vinyle : non détecté dans l'air des sols, mais dans la nappe et les sols lors du diagnostic initial : la concentration retenue est celle du seuil de détection,
  - Cis-dichloroéthylène : non détecté dans l'air des sols mais dans les sols, la concentration retenue est celle du seuil de détection,
  - 1,1-dichloroéthylène : non détecté dans l'air des sols mais dans l'eau lors du diagnostic initial à une concentration inférieure à la valeur guide des eaux de boisson (OMS 2004) : ce composé n'est pas retenu pour le calcul,
  - Trichloroéthylène : détecté dans l'air des sols,
  - PCE : non détecté dans l'air des sols, mais dans les sols lors du diagnostic initial : la concentration retenue est celle du seuil de détection,
  - 1,1,1-trichloréthane : détecté dans l'air des sols,
  - 1,1-dichloréthane : détecté dans l'air des sols ;
- Les HAP ne seront pas retenus dans cette étude car présents à des quantités non significatives au regard de leur toxicité et de leur mobilité (composés peu volatils), excepté pour le naphtalène qui a été détecté uniquement dans les sols et pas dans l'air des sols. La concentration retenue est celle du seuil de détection.
- Les hydrocarbures des fractions C_5C_8 et C_8C_{10} détectées dans l'air des sols sont retenus pour le calcul. La fraction C_5C_8 incluant le toluène et le benzène qui sont déjà pris en compte précédemment, les concentrations de ces composés seront retranchées du total C_5C_8, ce qui donnera la concentration de la fraction aliphatique des C_5C_8.

IV.2.2. Caractéristiques des sources de pollution

Les caractéristiques des sources de contaminations retenues pour le calcul sont décrites dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Caractéristiques des sources de contaminations retenues pour le calcul

Famille	Gaz du sol	Concentration dans l'air des sols ($\mu g/m^3$)	Origine de la donnée	Surface
COHV	Perchloroéthylène	**50**	Seuil de détection analytique	Surface de l'habitation : 100 m^2 (avec ou sans vide sanitaire) à 50 cm sous la surface des aménagements Surface de l'espace vert : (Ensemble du site) 35 000 m^2 à 30 cm sous la surface des aménagements
	Trichloroéthylène	**54**	SG3 – concentration maximale mesurée	
	Cis-Dichloroéthylène	**50**	Seuil de détection analytique	
	Chlorure de vinyle	**50**	Seuil de détection analytique	
	1,1-dichloroéthane	**1700**	SG6 – concentration maximale mesurée	
	1,1,1-trichloroéthane	**3300**	SG6 – concentration maximale mesurée	
	Tétrachlorure de carbone	**50**	Seuil de détection analytique	
	Chloroforme	**40**	Seuil de détection analytique	
	Dichlorométhane	**360**	SG5 – concentration maximale mesurée	
BTEX	Benzène	**40**	Seuil de détection analytique	
	Toluène	**120**	SG3 – concentration maximale mesurée	
	Ethylbenzène	**100**	SG5 – concentration maximale mesurée	
	Xylènes	**46**	SG3 – concentration maximale mesurée	
HAP	Naphtalène	**50**	Seuil de détection analytique	
Hydrocarbures	Hydrocarbures aliphatiques C_5C_8	**2133 ***	SG6 – concentration maximale mesurée	
	Hydrocarbures aliphatiques C_8C_{10}	**4282**	SG5 – concentration maximale mesurée	
	Hydrocarbures aromatiques C_8C_{10}	**4282**	SG5 – concentration maximale mesurée	

* Cette grandeur est obtenue en faisant la différence de la valeur mesurée par le laboratoire pour les hydrocarbures de la fraction C_5C_8 et les mesures pour le benzène et le toluène (uniques composés aromatiques de cette fraction).

IV.3. CARACTERISTIQUES DES VOIES DE TRANSFERT

IV.3.1. Caractéristiques du sol

Le milieu sol est modélisé sur la base des données obtenues lors des investigations de terrain.

Deux lithologies principales différentes ont été rencontrées sur le site des fonderies Montupet. Toutefois la contamination étant présente en sub-surface, seule la couche supérieure sera considérée dans le calcul à savoir l'horizon sablo limoneux.

Terrain sablo limoneux de 0 à 1 mètre de profondeur

Les terrains situés entre 0 et 1 mètre de profondeur sont essentiellement de type sablo limoneux. Les paramètres du sol utilisés pour les calculs seront établis sur la base des données proposées dans le modèle Johnson & Ettinger pour un sol sablo limoneux, à savoir :

- Porosité totale : **0,39** (bibliographie) ;
- Densité : **1,62** (bibliographie) ;
- Teneur en eau résiduelle : **0,076** (bibliographie) ;
- pH : **7** (bibliographie) ;
- Température du sol : **10°C** (bibliographie).

IV.3.2. Caractéristiques des aménagements futurs

Les caractéristiques des bâtiments sont établies suivant une approche sécuritaire qui reste cohérente avec la nature des aménagements envisagés dans le futur. Certaines de ces caractéristiques sont néanmoins issues de la bibliographie (Johnson & Ettinger, VOLASOIL, etc…) :

Bâtiment

- Epaisseur des dalles de béton : **0,1 m**, correspondant également à la profondeur d'encaissement des bâtiments ;
- Surface du bâtiment : **100 m^2,** dimension standard pour habitat individuel ;
- Hauteur du rez-de-chaussée : **2,5 m** ;
- Profondeur de la pollution sous la dalle : **0,50 m** ;
- Différence de pression entre le sol et le bâtiment : **2 Pa**, valeur par défaut du modèle Volasoil ;
- Renouvellement d'air dans le bâtiment : **0,25 volume par heure**, en l'absence de données spécifiques, le taux considéré correspond au taux minimal obtenu par simple ventilation naturelle ;

Vide sanitaire

- Epaisseur des dalles de béton : **0,10 m** ;
- Profondeur du vide sanitaire : **0,50 m**
- Surface du vide sanitaire : **100 m²**, il a été calé sur la surface considérée pour l'habitation ;
- Profondeur de la pollution sous le vide sanitaire : **0,5 m** ;
- Différence de pression entre le sol et le bâtiment : **2 Pa**, valeur par défaut du modèle Volasoil et recommandée par le RIVM (rapport de 2006) – valeur également retenue entre 2 étages ;
- Renouvellement d'air dans le bâtiment : **1 volume par heure**, valeur moyenne par défaut pour le renouvellement naturel de l'air dans un vide sanitaire – valeur recommandée par le RIVM (2006) ;
- Densité d'ouvertures dans la dalle de béton (transfert entre niveaux) : **0,2 m^{-2}** (valeur par défaut de VOLASOIL) ;
- Fraction d'ouverture de la dalle : **10^{-5} m^2/m^2**, cette valeur correspond à une qualité de dalle normale qui peut être largement attendue pour des constructions neuves (RIVM 2006).

IV.3.3. Caractéristiques de l'environnement extérieur

Le calcul du transfert de polluants dans l'atmosphère extérieure nécessite la définition de certains paramètres utilisés par le modèle Csoil. Ces paramètres sont principalement des données bibliographiques proposées par défaut dans ce modèle :

- Surface du terrain : **35000 m²**, hypothèse sécuritaire : cela correspond à la surface de l'ensemble de la zone à aménager ;
- Profondeur de la pollution sous la surface : **0,30 m** : épaisseur de terre végétale saine recommandée pour le recouvrement du site ;
- Vitesse du vent (à 10 m) : **7,2 km/h** (valeur minimales des vitesses les plus fréquentes mesurées à la station de Beauvais) ;
- Rugosité de la surface : **1 m** (valeur standard en zone urbaine) ;
- Epaisseur de la couche limite à la surface du sol : **0,005 m** (valeur standard) ;
- Flux d'évaporation d'eau : **1.10^{-4} $m^3/(m^2.j)$** (valeur standard).

IV.4. EVALUATION DE L'EXPOSITION DES CIBLES

Les cibles retenues pour la présente étude seront les enfants et adultes résidents. Les fréquences d'exposition proposées dans le tableau ci-dessous sont calées sur l'utilisation prévue du site.

Tableau 16 : Temps d'exposition des adultes résidents

<table>
<tr><th rowspan="2">Lieu d'exposition</th><th colspan="2">Adulte résident</th></tr>
<tr><th>Hiver</th><th>Eté</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Dans l'habitation</td><td>14 heures - 5 jours/semaine
23 heures -2 jours/semaine
26 semaines/an</td><td>12 heures - 7 jours/semaine
26 semaines/an</td></tr>
<tr><td colspan="2">Soit 5200 heures/an</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Dans le jardin</td><td>1 heure/jour -182 jours</td><td>2 heures/jour – 182 jours/an</td></tr>
<tr><td colspan="2">Soit 546 heures/an</td></tr>
<tr><td>A l'extérieur du site</td><td colspan="2">2994 heures/an (nombre d'heures restant dans l'année, non comptabilisées dans les rubriques précédentes)</td></tr>
</table>

Tableau 17 : Temps d'exposition pour les enfants résidents

<table>
<tr><th rowspan="2">Lieu d'exposition</th><th colspan="2">Enfant résident</th></tr>
<tr><th>Hiver</th><th>Eté</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Dans l'habitation</td><td>14 heures - 5 jours/semaine
23 heures -2 jours/semaine
26 semaines/an</td><td>12 heures - 7 jours/semaine
26 semaines/an</td></tr>
<tr><td colspan="2">Soit 5200 heures/an</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Dans le jardin</td><td>1 heure/jour -182 jours</td><td>2 heures/jour – 182 jours/an</td></tr>
<tr><td colspan="2">Soit 546 heures/an</td></tr>
<tr><td>A l'extérieur du site</td><td colspan="2">2994 heures/an (nombre d'heures restant dans l'année, non comptabilisées dans les rubriques précédentes)</td></tr>
</table>

Au final, pour chaque cible la durée d'exposition à l'extérieur et à l'intérieur des bâtiments est définie de la manière suivante :

Tableau 18 : Récapitulatif des temps d'exposition des cibles retenues pour le calcul

Cible	Temps passé à l'extérieur, dans la cour	Temps passé dans les logements
Enfants 0-6 ans	546 heures/an	5200 heures/an
Adultes	546 heures/an	5200 heures/an

Pour les calculs des effets sans seuil, les durées d'exposition sont pour les enfants de 6 ans et pour les adultes de 30 ans.

IV.5. EVALUATION DE LA TOXICITE – CHOIX DES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE

IV.5.1. Effets sanitaires étudiés

L'évaluation des risques sanitaires fait appel, entre autres, à des paramètres relatifs aux caractéristiques toxicologiques des substances considérées.

Les effets sanitaires considérés pour des expositions de type chronique sont de deux grands types :

- Effets sanitaires à seuil
- Effets sanitaires sans seuil

Un même composé peut engendrer des effets sans seuil et à seuil (cas du benzène par exemple).

IV.5.2. Effets sanitaires à seuil (évaluation des risques dits systémiques ou toxiques)

Les effets sanitaires à seuil ou systémiques dits également toxiques sont caractérisés par comparaison des apports estimés des substances potentiellement polluantes avec une dose dite de référence ou valeur toxicologique de référence (VTR). La VTR est, par définition, une évaluation du niveau d'exposition quotidien acceptable pour la population humaine au cours d'une vie. C'est la raison pour laquelle les effets toxiques potentiels d'une exposition donnée à cet élément justifient une action corrective si l'apport quotidien chronique estimé dépasse la VTR. Parmi les doses de référence, on distingue : les doses administrées, correspondant à la quantité reçue par l'organisme, les doses absorbées, correspondant à la quantité effectivement absorbée par l'organisme (et donc inférieure ou égale à la dose administrée) et les concentrations de référence. Pour la voie d'exposition orale, la dose de référence est généralement la dose administrée. Enfin, pour la voie respiratoire, la dose de référence est assimilée à une concentration dans l'air.

Un rapport de l'apport quotidien chronique à la VTR chronique est référencé sous le nom d'indice de risque.

Le seuil défaut à ne pas dépasser pour le quotient de risque toxique individuel, soit associé à une seule substance, a été mis égal à 1.

Le rapport de quotient de risque ne constitue pas une probabilité statistique ; un rapport de 0,01 ne signifie pas qu'il y ait une chance sur cent que l'effet se manifeste**. En fait, un rapport de quotient de risque supérieur à 1 indique que le « seuil » de cette substance est dépassé et qu'un effet sanitaire sur l'organisme peut être attendu.**

Il est admis que les effets toxiques de l'évaluation peuvent être ajoutés à partir d'une combinaison de composés chimiques lorsque ceux-ci produisent les mêmes effets sur les mêmes organismes ou systèmes vitaux et selon les mêmes mécanismes. Les quotients de risque spécifiques aux substances sont additionnés pour produire un indice de risque par mode d'exposition ; les indices de risque par mode sont ensuite additionnés pour produire un risque total pour chaque population concernée.

Dans la pratique, les organes cibles et les mécanismes d'action des polluants ne sont pas toujours bien établies dans les bases de données consultées. *Par conséquent, dans une démarche majorante et itérative, l'indice de risque total sera pris égal à la somme de l'ensemble des risques individuels, quel que soit l'organe cible et le mécanisme en jeu, souvent mal identifiés. Cette approche est assurément scientifiquement discutable, le caractère biologique n'étant pas considéré ; toutefois, dans le contexte de l'incertitude, une telle démarche est préférée puisqu'elle conduit à une estimation majorante du risque. En cas d'identification d'un risque toxique, l'effet cumulé sera réévalué en considérant les spécificités en terme d'organe-cible et de mécanisme pour chaque substance, sous réserve de l'existence de données disponibles.*

IV.5.3. Effets sanitaires sans seuil

Les effets sanitaires sans seuil concernent les agents cancérogènes génotoxiques (agissant sur le matériel génétique comme l'ADN). **Pour ces composés, il est considéré que toute absorption est susceptible d'engendrer un cancer, la probabilité de survenue de ce cancer étant d'autant plus grande que la dose totale reçue est élevée.**

Comme il est difficile de déterminer avec certitude si un composé cancérogène est génotoxique, la plupart des composés cancérogènes sont assimilés comme tels, leurs effets sont ainsi considérés sans seuil. Les effets sanitaires sans seuil concernent donc la majorité des composés cancérogènes potentiels.

Les risques attribuables à ces effets sont évalués comme probabilité supplémentaire de survenue d'un cancer. Cette probabilité est dite supplémentaire puisqu'elle résulte de l'exposition aux substances polluantes. Or, il existe toujours un risque de cancer pour un quelconque individu, appelé risque de base, indépendant de la pollution puisque lié à des paramètres intrinsèques (âge, facteurs génétiques…).

Pour la caractérisation des risques, les valeurs auxquelles se référer sont des coefficients, appelés « facteur de pente cancérigène » ou Excès de Risque Unitaire (ERU), exprimant le risque de cancer accru par unité de dose de substance polluante. Les risques de cancer spécifiques aux substances, appelés Excès de Risque Individuel (ERI), sont ainsi estimés en multipliant le facteur de pente ou ERU par les estimations d'apport quotidien en la substance sur une durée de vie. Les calculs des risques spécifiques aux éléments constitutifs pour le site seront présentés, dans les sections suivantes, par mode d'exposition.

Pour évaluer le risque global des effets cancérigènes que constitue le mélange des substances présentes sur le site, il est admis que l'on peut simplement les ajouter, indépendamment de leurs effets. C'est la raison pour laquelle les risques cancérigènes sont estimés pour chaque substance, puis les risques

spécifiques aux éléments constitutifs sont additionnés pour produire une estimation du risque cancérigène global spécifique à un mode donné.

Le risque de cancer sur une vie n'étant jamais nul, il ne peut être défini de valeur de seuil sans effet, c'est donc un seuil d'acceptabilité qui est établi. En France, c'est la valeur de 10^{-5} qui est retenue, tant pour un risque individuel que pour un risque cumulatif, conformément à la circulaire du 10 décembre 1999 du Ministère en charge de l'Environnement. Ce seuil signifie que la probabilité de cancer maximale acceptable est d'un cas pour une population de 100 000 personnes. Ce seuil d'acceptabilité est un seuil reconnu ; à l'échelle internationale, on observe que les valeurs d'acceptabilité retenues sont de 10^{-4} à 10^{-6}.

IV.5.4. Choix des valeurs de référence

Les valeurs de ces paramètres sont recherchées sur les bases de données reconnues à l'échelle nationale et internationale pour certaines d'entre elles.

Ainsi, différents organismes publics fournissent ces données :

- Base de données IRIS (US-EPA : agence gouvernementale américaine pour la protection de l'environnement)
- ATSDR (organisme public américain)
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé)
- OEHHA, définissant à l'échelle de l'état de Californie les VTR
- Santé Canada (agence gouvernementale canadienne pour la santé des personnes)
- RIVM (agence gouvernementale néerlandaise pour la protection de l'environnement)
- Synthèse dans les fiches toxicologiques de l'INERIS
- Valeurs limites d'exposition professionnelle, INRS.

Pour le cas particulier des hydrocarbures totaux, aucune approche spécifique n'est proposée par ces organismes. Certes, les risques et données toxicologiques sont présentées pour certaines substances spécifiques faisant partie des hydrocarbures (par exemple le benzène), mais les données concernant les mélanges sont inexistantes.

Néanmoins, des travaux ont été réalisés pour surmonter cette difficulté. Parmi ceux-ci, les approches développées aux Etats-Unis par le MADEP (Massachusetts Department of Environmental Protection) en 1997 ou par le TPHCWG (Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group, groupe de travail *ad hoc* regroupant l'USEPA, les principales compagnies pétrolières, l'ASTM, l'US Air Force et l'Etat fédéral) entre 1993 et 1998 sont particulièrement intéressantes. Dans ces approches, pour les hydrocarbures totaux, les risques toxiques sont définis pour plusieurs familles (ou fractions) au sein desquelles les substances ont un comportement physique, chimique et toxicologique similaire. Ainsi, sont distingués les hydrocarbures aliphatiques des hydrocarbures aromatiques, enfin le nombre d'atomes de carbone entrant dans les hydrocarbures est le principal facteur permettant de classer les substances organiques dans différentes familles. En revanche, les risques cancérigènes sont estimés à partir des substances pour lesquelles un risque cancérigène est établi, par exemple le benzène ou certains HAP.

L'approche TPHCWG est plus complète et plus élaborée que celle du MADEP. D'ailleurs, selon le guide méthodologique pour la gestion des sites pollués et l'évaluation détaillée des risques (version 0),

publié par le MATE en juin 2000, en l'absence d'une approche française pour les hydrocarbures totaux à l'heure actuelle, il est recommandé de suivre la méthodologie et les données proposées par le TPHCWG.

A partir de l'ensemble des données toxicologiques disponibles, il convient de choisir *la valeur toxicologique de référence (VTR) et de la replacer dans un contexte de santé publique*. Pour cela, des critères de choix ont été définis dans les guides publiés par l'INERIS *« Méthode d'évaluation des effets sur la santé dans l'étude d'impact des installations classées »* (version 3 – novembre 2001)» et par l'Institut de Veille Sanitaire *« Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact »* (février 2000). Bien que ces guides soient destinés aux études d'impact des installations classées, les recommandations s'appliquent à l'Evaluation Détaillée des Risques puisque la méthodologie et la nature des données utilisées sont identiques.

Les principaux critères de sélection à prendre en considération au moment du choix de la VTR sont :

- La mise à jour de la VTR
- La réputation de l'organisme
- La transparence des résultats
- L'adéquation entre l'exposition des populations et la fréquence visée par la VTR
- Le protocole expérimental
- La préférence des données humaines à celles issues d'expérimentations animales
- Les facteurs d'incertitude.

Les tableaux ci-après présentent les résultats de cette recherche pour les substances précitées. Ces données, regroupées par voie d'exposition, sont évaluées avant leur utilisation dans les calculs présentés par la suite. Les VTR s'appliquent à des expositions régulières, chroniques à sub-chroniques (plus d'un an) et ne peuvent pas être extrapolées pour des expositions plus brèves ou aiguës.

Les fiches de synthèse toxicologique et de choix des VTR de chaque substance sont fournies en **Annexe XI**.

Dans le cas présent, pour les scénarii retenus, seules les valeurs relatives à l'exposition par inhalation sont présentées.

IV.5.5. Valeurs toxicologiques de référence pour les effets à seuils

Les valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets à seuil sont présentées dans le tableau 19 ci-après. Le détail de la sélection des VTR est disponible en **annexe XI**.

Tableau 19 – Choix des Valeur Toxicologiques de Référence

Substance	VTR inhalation ($\mu g/m^3$)	Origine de la donnée
Hydrocarbures (suivant répartition TPHCWG) et BTEX		
Naphtalène	3	US-EPA – IRIS (1998)
Benzène	30	US-EPA – IRIS (2003)
Toluène	300	OEHHA (2005)
Ethylbenzène	770	RIVM (2000)
Xylènes totaux	435	ATSDR (1995)
Hydrocarbures aliphatiques C_5C_8	18400	TPHCWG (1997)
Hydrocarbures aliphatiques C_8C_{10}	1000	TPHCWG (1997)
Hydrocarbures aromatiques C_8C_{10}	200	TPHCWG (1997)
COHV		
Perchloroéthylène	250	OMS (2003)
Trichloroéthylène	600	OEHHA (2005)
Cis-dichloroéthylène	30	RIVM (2001)
Chlorure de vinyle	100	USEPA (2000)
1,1,1-trichloréthane	1000	OEHHA (2000)
1,1-dichloroéthane	Non applicable	-
Tétrachlorométhane	190	ATSDR (2003)
Trichlorométhane (chloroforme)	100	ATSDR (1997)
Dichlorométhane	1060	ATSDR (2000)
Solvants polaires		
Acétone	Non disponible	-
2-butanone	5000	US-EPA (2003)

IV.5.6. Valeurs toxicologiques de référence pour les effets sans seuils

Les valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets sans seuil sont présentées dans le tableau 20 ci-après. Le détail de la sélection des VTR est disponible en **Annexe XI**.

Tableau 20 – Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets sans seuil

Substance	ERU inhalation $(\mu g/m^3)^{-1}$	Origine de la donnée
HAP		
Naphtalène	$1,1.10^{-6}$	INERIS
BTEX et hydrocarbures		
Benzène	$7,8.10^{-6}$	US-EPA IRIS (2000)
Toluène	Non applicable	Classe 3 – CIRC
Ethylbenzène	Non applicable	Classe 3 – CIRC
Xylènes totaux	Non applicable	Classe 3 – CIRC
Hydrocarbures aliphatiques C_5C_8	Non applicable	Substances non cancérigènes
Hydrocarbures aliphatiques C_8C_{10}	Non applicable	Substances non cancérigènes
Hydrocarbures aromatiques C_8C_{10}	Non applicable	Substances non cancérigènes
COHV		
Perchloroéthylène	$5,9.10^{-6}$	OEHHA (2001)
Trichloroéthylène	$2,0.10^{-6}$	OEHHA (2001)
Cis-dichloroéthylène	Non applicable	Classe D US-EPA
Chlorure de vinyle	$1,1.10^{-6}$	OMS (2003)
1,1,1-trichloroéthane	Non applicable	Classe 3 – CIRC
1,1-dichloroéthane	$1,1.10^{-6}$	OEHHA (2002) – valeur provisoire / calcul développé dans les incertitudes
Trichlorométhane (chloroforme)	$2,3.10^{-5}$	US-EPA IRIS (2001)
Tétrachlorométhane	$4,2.10^{-5}$	OEHHA (2002)
dichlorométhane	1.10^{-6}	OEHHA (2002)
Solvants polaires		
Acétone	Non applicable	Non classée, données inadéquates (US-EPA)
2-butanone	Non applicable	Non classée, données inadéquates (US-EPA)

IV.6. QUANTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES RESIDUELS

IV.6.1. Quantification des risques sanitaires pour les différentes expositions

Les résultats des calculs de risque effectués sur la base des hypothèses définies précédemment sont synthétisés dans les tableaux ci-dessous, pour l'ensemble des cibles considérées. Le détail des niveaux de risque calculé pour chaque substance est fourni en **Annexe XII**.

Tableau 21 – Quantification des risques sanitaires pour les sources modélisées – Effets à seuil

Cibles	Indice de risque cumulé (IR)	
	Scénario n°1 (avec vide sanitaire)	Scénario n°2 (sans vide sanitaire)
Résident enfant	0,12	0,05
Résident adulte	0,12	0,05

Les indices de risques (IR) sont à comparer au seuil de référence valant 1. Ainsi, pour les deux cibles considérées et selon les hypothèses majorantes donc sécuritaires détaillées précédemment**, les indices de risques sont inférieurs à 1, signifiant l'absence de risques toxiques pour l'ensemble des cibles considérées dans cette étude et pour les deux scénarios.**

Tableau 22 – Quantification des risques sanitaires pour les sources modélisées – Effets sans seuil

Cibles	Excès de risque cancérogène (ERI)	
	Scénario n°1 (avec vide sanitaire)	Scénario n°2 (sans vide sanitaire)
Résident enfant	$1,29\times10^{-6}$	$3,59\times10^{-7}$
Résident adulte	$6,43\times10^{-6}$	$1,77\times10^{-6}$
Cumulé Enfant+Adulte	$6,44\times10^{-6}$	$1,77\times10^{-6}$

Les excès de risques individuels sont à comparer au seuil de référence valant 10^{-5}. Ainsi, **les excès de risques individuels sont inférieurs à 10^{-5}, signifiant le caractère acceptable des effets sanitaires sans seuil pour l'ensemble des populations fréquentant le site et pour les deux scénarios.**

IV.6.2. Synthèse des calculs de risque sanitaire

L'ensemble des calculs effectués sur la base des hypothèses sécuritaires précédemment définies fait apparaître des niveaux de risques sanitaires résiduels acceptable dans le cadre de la conservation des zones contenant des traces de polluants volatils dans les sols et pour la mise en place d'habitations individuelles sur le site des usines Montupet à Nogent sur Oise. Il apparaît en outre que la mise en place d'un vide sanitaire sous les habitations permet de réduire les deux types de risques d'un facteur 2 à 3.

IV.7. CONCENTRATION MAXIMALES ADMISSIBLES

IV.7.1. Généralités

L'analyse des risques résiduels a mis en évidence l'absence de risque toxique et d'excès de risque cancérogène pour les populations amenées à fréquenter le site des usines Montupet dans le cas où celui-ci serait aménagé en zone résidentielle avec des maisons individuelles de plain-pied pour l'exposition aux composés organiques volatils avec la conservation des zones où les sols présentent des traces en composés organiques volatils.

Toutefois, dans la mesure où des composés organiques volatils ont été détectés dans les gaz du sol, des concentrations maximales admissibles (CMA) dans le milieu ont été définies. Cette partie vise à fixer ces concentrations sur la base du scénario d'utilisation retenu du site et à obtenir des seuils de référence au cas où des concentrations différentes seraient observées lors du suivi. Ces seuils seront également utilisés lors du suivi du site comme référence.

Les concentrations maximales admissibles seront fixées pour tous les composés retenus pour la réalisation du calcul principal et qui sont les composés détectés dans l'air des sols au droit du site. La détermination de ces concentrations limites visent à définir les conditions dans lesquelles l'aménagement prévu du site est acceptable d'un point de vue sanitaire au regard de la composition de l'air des sols.

IV.7.2. Définition des seuils admissibles en polluants dans les sols

La définition des concentrations pour les composés organiques volatils est basée sur le calcul des concentrations admissibles dans les sols. Il s'agit de la concentration dans les composés détectés dans les gaz du sol pour laquelle les risques sanitaires pour l'inhalation de vapeurs pour les résidents enfants et adultes des maisons individuelles sont acceptables.

Les hypothèses retenues pour la détermination de ces seuils de réhabilitation sont les mêmes que celles retenues pour le calcul principal.

Les concentrations maximales acceptables dans l'air des sols mesurées entre 30 et 100 cm sous la surface fixés pour les composés concernés par le calcul principal sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 23 : Concentrations maximales admissibles (µg/m^3 dans l'air des sols à 30cm sous la surface)

Composés	Concentrations maximales admissibles (scénario 1)	Concentrations maximales admissibles (scénario 2)	Concentrations maximales mesurées sur le site dans les gaz du sol
Tétrachlorométhane*	100	400	<50
Chloroforme*	100	300	<40
Dichlorométhane	600	1000	360
Perchloroéthylène*	100	400	<50
Trichloroéthylène	100	500	54
Cis-dichloroéthylène*	500	400	<50
Chlorure de vinyle*	100	1000	<50
1,1,1-trichloroéthane	5000	400000	3300
Benzène*	100	500	<40
Toluène	5000	5000	120
Ethylbenzène	5000	5000	100
Xylènes	5000	5000	46
Naphtalène*	100	100	<50
Hydrocarbures aliphatiques C_5C_8	50000	50000	2133
Hydrocarbures C_8C_{10} (somme aliphatiques et aromatiques)	20000	50000	4282

* composés détectés uniquement dans les sols et/ou la nappe et non détectés dans le gaz du sol

Le tableau précédent permet de constater qu'aucune des CMA n'est dépassée pour aucun des composés considérés dans cette étude. De plus, les CMA sont au moins 2 fois supérieures aux concentrations mesurées.

Le tableau suivant présente les résultats des calculs de risque dont les détails sont présentés en **Annexe XIV** réalisé avec les concentrations maximales admissibles.

Tableau 24 – Quantification des risques sanitaires pour les sources modélisées – Effets à seuil

Cibles	Indice de risque cumulé	
	Scénario 1 (sans vide sanitaire)	Scénario 2 (avec vide sanitaire)
Résident adulte	0,89	0,96
Résident enfant	0,91	1

Tableau 25 – Quantification des risques sanitaires pour les sources modélisées – Effets sans seuil

Cibles	Excès de risque cancérogène cumulé	
	Scénario 1 (sans vide sanitaire)	Scénario 2 (avec vide sanitaire)
Résident adulte	$9,5\times10^{-6}$	$8,8\times10^{-6}$
Résident enfant	$1,9\times10^{-6}$	$2,0\times10^{-6}$
Résident enfant restant résident adulte	$9,5\times10^{-6}$	$9,04\times10^{-6}$

Les concentrations maximales admissibles fixées représentent la limite sécuritaire au dessous de laquelle aucun risque sanitaire inacceptable n'apparaît au droit du terrain pour l'usage prévu. **Dans le cas où un composé présenterait une concentration supérieure à sa CMA, un calcul de risque pourra être envisagé pour s'assurer que la combinaison de composés effectivement présents alors est compatible avec l'usage du terrain d'un point de vue sanitaire.**

IV.8. EVALUATION DES INCERTITUDES – DISCUSSION DES RESULTATS

La quantification des risques sanitaires par modélisation nécessite de choisir des hypothèses et d'intégrer un certain nombre de paramètres, mesurés ou évalués à partir de données issues de mesures sur site, en laboratoire ou provenant d'une recherche bibliographique, et sur lesquels porte une incertitude plus ou moins grande. De ce fait, l'évaluation des incertitudes permet d'évaluer qualitativement et quantitativement « l'erreur » induite par les choix effectués et pouvant conduire soit à une surestimation soit à une sous-estimation des effets sanitaires, c'est-à-dire, en d'autres terme la variabilité des indices de risque et des excès de risque calculés. Cette partie décrit donc avec le plus grand détail l'ensemble des paramètres qui peuvent influencer le résultat de l'évaluation détaillée des risques pour la santé humaine. Ces paramètres concernent soit la source, soit le mode de transfert, soit la typologie d'exposition et l'interprétation toxicologique. A l'issue de cette analyse, il sera alors possible de conclure effectivement sur la validité et la portée des calculs présentés ci-dessus.

Les éléments discutés dans cette partie sont les suivants :

Source

- Sélection des milieux contaminés à la source (sol, eau, air) ;
- Choix des paramètres représentatifs des sols et des eaux souterraines potentiellement contaminés ;
- Représentativité des résultats analytiques et définition des sources modélisées ;
- Evolution des sources de pollution dans le temps.

Mode de transfert

- Effet du modèle utilisé pour le calcul du transfert des volatils vers l'atmosphère (air ambiant extérieur et intérieur) ;
- Incertitudes sur les paramètres intervenant sur le mode de transfert des polluants sous forme gazeuse (paramètres du sol – paramètres des constructions) ;
- Comportement des polluants dans l'atmosphère.

Typologie d'exposition et interprétation toxicologique (cible – risque toxique/cancérogène).

- Fréquence d'exposition des différentes populations ;
- Evaluation des doses ingérées ou inhalées ;
- Effet des valeurs de référence toxicologiques sur le degré de risque calculé ;
- Risques cumulés.

La discussion des résultats portera sur les composés volatils reconnus dans les sols. Le cas des métaux sera uniquement discuté dans le cadre de l'ingestion de légumes cultivés au droit du site et arrosé par l'eau de la nappe.

IV.8.1. Incertitudes relatives aux sources de pollution modélisées

IV.8.1.1. Généralités

La densité des investigations de terrain mises en œuvre lors des deux campagnes (au total : 49 sondages de sols, 7 sondages de gaz), l'importance du programme analytique sur les sols (analyses en métaux, hydrocarbures, composés organiques volatils de diverses familles), rapportée à la nature de l'activité industrielle de fonderie d'aluminium et à son emprise (de l'ordre de 23000 m^2 pour les bâtiments et de 35000 m^2 pour l'ensemble du terrain) permettent d'obtenir une vision relativement précise de la distribution des polluants dans les sols latéralement et verticalement.

Pour les eaux souterraines, 3 piézomètres exploitables sont installés sur le site sur la base du contexte géologique et hydrogéologique du site ainsi qu'au vu des relevés de sondages effectués. En effet, la première formation aquifère (nappe alluviale de l'Oise) a été observée à une profondeur de 2 à 3 mètres sous la surface du sol. Les remontées de contaminants depuis la nappe et les sols à la fois sont prises en compte grâce aux mesures de concentrations de contaminants dans les sols.

Ainsi, **la connaissance des sources de pollution dans le sol est suffisante** pour la mise en œuvre de l'évaluation des risques sanitaires. Les résultats des calculs peuvent néanmoins varier, du fait des choix opérés pour paramétrer les sources de pollution ou bien du fait d'incertitudes résiduelles. Ces variations sont présentées et discutées ci-après pour la source prise en compte.

IV.8.1.2. Source de pollution constituée par les sols

La modélisation a reposé sur l'utilisation des mesures de concentrations en polluants dans les gaz du sol. Cette technique permet de prendre en compte la diffusion de contaminants volatils depuis à la fois la nappe et les sols.

Elaboration de la composition de la source en polluant dans le sous-sol

Les substances retenues pour le calcul sont les substances volatiles détectées dans au moins un des milieux investigués (sol, air et eaux souterraines). Lorsque la substance n'était pas détectée dans l'air des sols, mais dans l'un des deux autres milieux, la concentration égale au seuil de détection dans les gaz a été retenue pour ces composés.

Par ailleurs, tous les composés ne sont pas détectés dans toutes les zones de pollution. Néanmoins, dans le but d'assurer une démarche sécuritaire, toutes les substances identifiées sur le site ont été retenues dans la composition de la source modélisée.

Choix des concentrations en polluants de la source dans le sous-sol

Suivant une approche majorante et sécuritaire, pour un polluant donné, la concentration au sein de la source retenue est la concentration maximale mesurée dans les gaz du sol. Cette hypothèse est majorante puisque les concentrations sont relativement variables d'un sondage à un autre.

La variabilité des mesures de gaz réalisée est très différente d'un composé à l'autre. Deux profils se dégagent :

- Certains composés présentent une grande homogénéité de concentrations dans les gaz du sol à travers le site comme le trichloréthylène, le toluène, les xylènes, la 2-butanone avec une variabilité inférieure à 25 % entre la plus forte et la plus faible mesure ;
- Certains composés présentent au contraire une typologie de pic avec de fortes variations comme le 1,1,1-trichloréthane avec une concentration de l'ordre du seuil de détection sur 6 sondages sur 7 et un pic à 3300 µg/m^3 dans la zone 9 (SG6). Le 1,1-dichloroéthane, et les hydrocarbures des fractions C_5 à C_{10} présentent ce même type de profil.

Un calcul est proposé pour le cas du 1,1,1-trichloréthane (Scénario n°1, sans vide sanitaire) qui contribue à 7 % de l'indice de risque toxique (cette substance ne possède pas d'effet sans seuil). Le calcul principal a retenu l'hypothèse sécuritaire qui consiste à utiliser la concentration maximale mesurée, à savoir 3300 µg/m^3. Le calcul suivant se propose de déterminer l'indice de risque toxique induit par cette substance en considérant la moyenne des 6 autres valeurs mesurées qui est de 48 µg/m^3 (en retenant le seuil de détection pour les cas où le composé n'est pas détecté).

Tableau 26 : Influence de la concentration retenue sur l'indice de risque induit par le 1,1,1-TCA.

	Concentration en 1,1,1-TCA maximale (3300 µg/m^3)		**Concentration en 1,1,1-TCA moyenne des 6 valeurs les plus faibles (48 µg/m^3)**	
	Indice de risque toxique	Part dans l'indice de risque total	Indice de risque toxique	Part dans l'indice de risque total
Adultes	$8{,}19\times10^{-3}$	7%	$1{,}19\times10^{-4}$	0,11%
Enfants	$8{,}19\times10^{-3}$	7%	$1{,}19\times10^{-4}$	0,11%

Il apparaît que le fait de retenir la valeur la plus fréquemment reconnue sur le site entraîne une diminution importante de la contribution du 1,1,1-TCA à l'indice de risque globale, sa part étant réduite de 7 à 0,1%. Ceci indique clairement que le calcul de risque effectué était particulièrement sécuritaire et signifie l'absence de risque toxique pour les populations amenées à fréquenter le site après son réaménagement.

Pour les substances détectées seulement dans les sols et/ou dans les eaux souterraines, la concentration retenue est celle du seuil de détection analytique des analyses de gaz, ce qui garantie également une approche sécuritaire. Il apparaît enfin que la part des composés non détectés dans les gaz mais dans les sols et/ou dans la nappe est de 43% pour l'indice de risque et de 90% pour l'excès de risque cancérogène.

Extension de la source modélisée dans le sous-sol

La source principale de contamination repérée lors du diagnostic approfondi de juillet 2005 est comprise dans les zones 5, 7 et 8, couvrant une superficie totale de 1500 m^2. Cette zone présente une contamination par les COHV avec des traces de BTEX et de naphtalène.

Considérant le type d'aménagement que le site doit accueillir : maison individuelle avec jardin couvrant un total de 1100 m^2 et la taille de la zone contaminée estimée à 1500 m^2, il a été considéré que l'ensemble du terrain au droit de la maison et du jardin était contaminé afin de garantir une approche sécuritaire. Il a en outre été admis que l'ensemble des polluants détectés dans cette zone était uniformément présent à la concentration maximale mesurée lors du diagnostic approfondi.

De plus, la modélisation des remontées de contaminants volatils directement vers l'atmosphère extérieure a été réalisée en considérant que l'ensemble du site était recouvert d'espace vert, garantissant l'approche sécuritaire maximale.

Ces hypothèses constituent le cas le plus défavorable assurant une démarche majorante et donc sécuritaire.

Enfin, l'exposition extérieure représente moins de 1% de la dose d'exposition totale et donc des risques induits (toxiques et cancérogènes). Le fait de prendre une surface plus importante pour la zone de contamination et les transferts vers l'atmosphère extérieure a donc une influence limitée sur le résultat final et garanti une approche sécuritaire irréprochable.

Contamination de la nappe – cas du chlorure de vinyle

Le chlorure de vinyle a été détecté dans la nappe d'eau souterraine en bordure du site lors de la campagne de mesure réalisée pour l'ESR en 2002. Il n'a pas été détecté lors de la campagne du diagnostic approfondi. Toutefois, un doute persiste car plusieurs campagnes consécutives attestant la non détection d'un polluant sont *a priori* nécessaires pour conforter l'hypothèse de la disparition d'une pollution de la nappe.

De plus, tous les piézomètres sont situés en bordure du site. La campagne d'analyse des sols a révélé une contamination par les COHV au droit des zones 5, 7 et 8 avec des concentrations allant jusque 10 mg/kg MS en TCE. Il n'est donc *a priori* pas exclu que la nappe soit impactée par les COHV au droit de ces zones.

Le fait d'utiliser des mesures de gaz de sol permet de prendre en compte dès les données d'entrées le phénomène de remontées de vapeur depuis la nappe. De facto, ce phénomène est pris en compte selon la procédure majorante décrite plus haut.

IV.8.1.3. Evolution des concentrations en polluant dans le temps

Les calculs de risque ont été réalisés en considérant les sources de pollution de sols stables dans le temps. **Le sous-sol constitue alors une source d'émission de gaz tout à fait constante et infinie**. Ainsi, aucune dégradation chimique ou biologique ni aucune diminution dans le temps des concentrations en polluants organiques au sein des sources et dans la nappe n'a été modélisée. Il est pourtant peu raisonnable que le flux de volatilisation reste constant et ne diminue pas dans le temps.

Par conséquent, les calculs de risque sont majorants. *Néanmoins, cette appréciation reste qualitative.*

IV.8.2. Incertitudes relatives aux voies et phénomènes de transfert

IV.8.2.1. Variabilité liée aux paramètres utilisés pour l'évaluation du transfert des phases gazeuses vers l'atmosphère

Variabilité liée aux propriétés des sols

Le flux des vapeurs depuis les sols vers l'air extérieur est conditionné par les propriétés du sol (porosité, taux de saturation de la zone non saturée).

Ces paramètres peuvent engendrer des variations de concentration et donc d'indice de risque significatives. Des tests de sensibilité ont été mis en œuvre afin d'évaluer le degré éventuel de surestimation dans les calculs.

On identifie quelques principaux paramètres influençant l'émission des polluants et la teneur en polluants dans l'air, à savoir : la perméabilité à l'air, la répartition entre l'eau et l'air dans les pores.

La répartition entre eau et air dans les pores du sol conditionne également la répartition du polluant entre les phases solide, liquide et gazeuse. Dans le cas présent, nous avons retenu, à partir de données bibliographiques, une porosité totale de 39 % qui est la valeur standard du modèle Johnson & Ettinger pour les formations de limons sableux. Sur cette porosité, nous avons considéré, conformément au modèle une teneur en eau de 7,6 % et une teneur en air de 31,4 %. De même, la perméabilité à l'air a été prise égale à la valeur par défaut du modèle, $1{,}62.10^{-8}$ cm^2. *Une réduction d'un facteur 10 de cette perméabilité entraîne une diminution d'un facteur supérieur à 5 de la concentration en polluant dans le bâtiment.* Ces valeurs sont directement liées à la représentation des lithologies reconnues au droit du site. Celles-ci ont été simplifiées puisque nous avons retenu une seule couche homogène de limons sableux, constituant une représentation sécuritaire acceptable des terrains superficiels présents au droit du site. Toutefois, les terrains effectivement reconnus sur le site pourraient présenter une teneur en eau bien plus élevée et une perméabilité à l'air plus faible, réduisant alors la propagation des composés volatils dans les sols. **Par conséquent, notre approche est qualitativement majorante et sécuritaire**.

Variabilité liée aux caractéristiques des bâtiments

Le transfert des vapeurs vers l'air intérieur est également fonction des caractéristiques des constructions, en particulier des différences de pression, de la dalle de béton, de la taille des pièces et du renouvellement d'air dans le volume occupé par le bâtiment, pour sa partie au-dessus du sol.

Dans le cas présent, suivant une approche sécuritaire, certaines données utilisées sont des données par défaut fournies par les modèles utilisés. En particulier, **les différences de pression entre le sol et le sous-sol ont été prises égales à 2 Pa, valeur par défaut considérée comme très sécuritaire.**

De même, les paramètres caractérisant la dalle de béton sont relatifs à une dalle de qualité normale. En effet, la valeur de la fraction d'ouverture est de 10^{-5}. Cette valeur correspond à une surface d'ouverture totale de 0,001 m^2 pour une dalle de 100 m^2, d'après le rapport du RIVM : cette densité d'ouverture est caractéristique d'une dalle de qualité normale qui peut être largement attendue pour des constructions neuves. L'approche est donc sécuritaire.

Le taux de renouvellement d'air du bâtiment et du vide sanitaire, établis respectivement à 0,25 et 1 volume par heure sont des valeurs standard de ventilation. Dans le cas de l'habitation cela correspond au taux de ventilation naturelle, pour le vide sanitaire, cette valeur est couramment retenue également (RIVM 2006). Ces valeurs minimales correspondant à des taux de ventilation naturelle **garantissent de ce fait une approche sécuritaire.**

Les dimensions du bâtiment retenues (surface au sol de 100 m^2) sont des valeurs standard pour une maison d'habitation individuelle. Il en va de même pour la surface du jardin (1000 m^2).

La hauteur des niveaux a été établie à 2,5 m, correspondant à une valeur moyenne de la hauteur des habitations individuelles.

IV.8.2.2. Détermination de la concentration dans l'air des bâtiments

Le modèle Johnson & Ettinger qui permet d'évaluer la concentration en contaminant dans l'atmosphère intérieure de bâtiments situés au droit de sols contaminés nécessite entre autre la détermination du flux de vapeur du sol vers le bâtiment (Q_{soil}). Ce paramètre peut être estimé comme la solution analytique au calcul de flux de gaz en deux dimensions à travers un drain horizontal (Nazaroff 1992). L'utilisation de ce modèle repose sur la connaissance de la perméabilité du sol à l'air et ainsi considérant les incertitudes portant sur ce paramètre, une large gamme de valeurs de flux de vapeur vers le bâtiment peut être calculée.

Une méthode empirique alternative est proposée pour déterminer la valeur de Q_{soil}. Cette nouvelle approche est basée sur le principe de conservation de la masse. Dans le cas où le mécanisme principal d'intrusion de contaminants du sol vers le bâtiment est l'advection de gaz du sol, Q_{soil} est estimé en mesurant les concentrations d'un traceur dans l'air du bâtiment, et dans les gaz du sol sous-jacent du bâtiment ; le taux de ventilation est également mesuré. Les valeurs de Q_{soil} ainsi déterminées ont été comparées aux valeurs prédites par le modèle de Nazaroff pour des sites présentant un sol graveleux. Les prédictions du modèle étaient soit supérieures ou inférieures aux valeurs mesurées, mais toujours du même ordre de grandeur. Bien que des incertitudes existent sur les valeurs mesurées comme sur les valeurs prédites, les résultats suggèrent que des valeurs typiques pour Q_{soil} sont comprises entre 1 et 10 L/min. L'inconvénient majeur des mesures in situ de Q_{soil} réside dans le fait que peu de valeurs sont disponibles et il ne semble pas y avoir d'étude portant sur des terrains dont le sol soit plus fin que des graviers. Comme la zone d'advection est relativement limitée en surface, le type de sol sous-jacent les fondations des bâtiments conditionne particulièrement la valeur de Q_{soil}. Toutefois, dans de nombreux cas, des remblais graveleux ou des terrains ayant été remaniés sont placés au droit des fondations garantissant ainsi l'approche sécuritaire du modèle. En effet, il est admis que le flux de vapeur vers le bâtiment est contrôlé par la couche de graviers et ne dépend pas des possibles réductions de flux imposée par des terrains plus fins. Ainsi, la valeur par défaut du modèle qui a été choisie est de 5L/min qui est la médiane entre les valeurs extrêmes mesurées (1 et 10 L/min).

A titre indicatif et pour évaluer l'influence du moyen de détermination de la valeur de ce paramètre, un calcul utilisant la méthode analytique de détermination de Q_{soil} est proposé pour le tétrachlorure de carbone qui contribue majoritairement aux risque toxique et excès de risque cancérogène.

La dose d'exposition dans l'air des bâtiments, en utilisant la valeur de 5L/min pour Q_{soil} était de $8{,}12\times10^{3}$ µg/m^3 alors que la dose est réduite à $9{,}31\times10^{2}$ µg/m^3 en utilisant la méthode analytique. Il en ressort une modification des valeurs d'indice de risque toxique et d'excès de risque cancérogène comme présenté dans le tableau suivant. Les détails des calculs associés sont présentés en **Annexe XIII**.

Le tableau suivant montre que l'utilisation de la valeur calculée du paramètre Qsoil dans le modèle Johnson & Ettinger conduit à une réduction des indices de risque et excès de risque cancérogène par un facteur 10.

Tableau 27 – Influence de la méthode de détermination de Q_{soil} dans la quantification des risques sanitaires– Effets sans seuil et avec seuil

Cibles	Indice de risque toxique (scénario n°1)		Excès de risque cancérogène (Scénario n°1)	
	Qsoil = 5L/min	Qsoil calculé	Qsoil = 5L/min	Qsoil calculé
Résident enfant	$1,2\times10^{-1}$	$1,4\times10^{-2}$	$4,5\times10^{-6}$	$1,1\times10^{-7}$
Résident adulte	$1,2\times10^{-1}$	$1,4\times10^{-2}$	$9,0\times10^{-7}$	$5,2\times10^{-7}$

Ceci met en évidence le caractère particulièrement sécuritaire du calcul principal et confirme le caractère acceptable des niveaux sanitaires des populations amenées à fréquenter le site.

IV.8.3. Incertitudes relatives à la typologie d'exposition et aux valeurs toxicologiques de référence

IV.8.3.1. Choix des cibles exposées

Les cibles retenues résultent d'une sélection reposant sur la connaissance des usages projetés du site. De manière systématique, nous avons retenu les populations les plus exposées aux sources de pollution. Ainsi, sur le site, il s'agit des enfants et des adultes résidents. **Le choix de ces cibles résulte donc d'une approche sécuritaire**.

IV.8.4. Fréquence et degré d'exposition des cibles

Le degré d'exposition retenu tel que précédemment pour les différentes populations a été établi logiquement au vu de la nature des occupations (logement).

Pour ce qui est des durées d'exposition, les valeurs considérées sont les valeurs utilisées classiquement (30 ans pour une exposition résidentielle pour les adultes – 6 ans pour des résidents enfants).

Le tableau suivant présente les temps d'exposition définis par l'INERIS pour le calcul des VCI.

Tableau 28 : Temps d'exposition retenu par l'INERIS pour le calcul des VCI.

	Adulte		Enfant	
	Hiver	Eté	Hiver	Eté
Dans l'habitation	14h - 5jours/semaine 23h - 2jour/semaine	12h - 7jours/semaine	23h - 7jours/semaine	16h - 7jours/semaine
En plein air	1h - 7jour/semaine	3h - 5jours/semaine 12h - 2 jours/semaine	1h - 7jours/semaine	8h - 7jours/semaine

Les tableaux suivants présentent les résultats des calculs de risque sanitaire en utilisant les durées d'exposition précédemment détaillées et dans le cas du scénario n°1 (sans vide sanitaire). Le détail des calculs de risques est présenté en **Annexe XIII**.

Tableau 29 – Quantification des risques sanitaires pour les sources modélisées – Effets à seuil

Cibles	**Indice de risque cumulé (IR)** **Temps INERIS**	**Indice de risque cumulé (IR)** **Temps ATOS**
Résident enfant	0,16	0,12
Résident adulte	0,12	0,12

Tableau 30 – Quantification des risques sanitaires pour les sources modélisées – Effets sans seuil

Cibles	**Excès de risque cancérogène (ERI)** **Temps INERIS**	**Excès de risque cancérogène (ERI)** **Temps ATOS**
Résident enfant	$1{,}23\times10^{-6}$	$8{,}96\times10^{-7}$
Résident adulte	$4{,}48\times10^{-6}$	$4{,}46\times10^{-6}$

Les deux tableaux précédents montrent que les résultats du calcul de risques sanitaires réalisés avec les hypothèses retenues dans cette étude (temps ATOS), sont très proches des résultats obtenus en suivant les scénarios des VCI. Toutefois, il apparaît que les risques concernant les enfants sont légèrement supérieurs avec les scénarios utilisés pour les VCI du fait d'un temps passé à l'intérieur plus important que pour le scénario retenu dans cette étude.

Dans tous les cas, les risques toxiques et excès de risques cancérogènes sont de l'ordre de l'acceptable.

Ainsi, de manière générale, les calculs de risque ont donc été réalisés avec des critères d'exposition réalistes.

IV.8.5. Influence des données toxicologiques utilisées

La sélection des VTR a été effectuée sur la base de critères jugés pertinents par les organismes publiant ou synthétisant les données sanitaires. Il s'agit de critères qu'il est proposé d'appliquer *dans la mesure du possible*. En effet, dans certains cas, la rareté des données ou leur inadéquation rend la sélection limitée. Dans de telles situations, malgré les limites de la méthode, une VTR a néanmoins été proposée, **par défaut**, dans un souci de relative exhaustivité pour conserver une approche sécuritaire.

Précisément, le choix a été effectué, dans une première approche, après consultation des bases de données IRIS de l'US-EPA, de l'ATSDR, de l'OMS, du RIVM, de Santé Canada et de l'OEHHA et des fiches toxicologiques ou des documents de synthèse publiés par l'INRS et l'INERIS. Dans un second temps, en l'absence de données disponibles dans ces documents, d'autres sources ont été reprises (TPHCWG).

IV.8.5.1. Effets cumulatifs des substances

Les effets toxiques de l'évaluation peuvent être cumulés à partir d'une combinaison de composés chimiques lorsque ceux-ci produisent les mêmes effets sur les mêmes organismes ou systèmes vitaux et selon les mêmes mécanismes. Les quotients de risque spécifiques aux substances sont additionnés pour produire un indice de risque par mode d'exposition; les indices de risque par mode sont ensuite additionnés pour produire un risque total pour chaque population concernée.

En revanche, pour évaluer le risque global des effets cancérigènes que constitue le mélange des substances présentes sur le site, l'USEPA suppose que l'on peut simplement les ajouter, indépendamment de leurs effets.

Dans la pratique, l'indice de risque toxique total a été pris égal à la somme de l'ensemble des risques individuels, quel que soit l'organe cible et le mécanisme en jeu, souvent mal identifiés, ce qui conduit à une estimation majorante du risque sanitaire pour les effets à seuil.

IV.8.5.2. Influence de la prise en compte des valeurs toxicologiques de référence du 1,1-dichloroéthane

Le 1,1-dichloroéthane a été mis en évidence dans les analyses des prélèvements d'air réalisés sur le site. La prise en compte de la VTR pour les effets sans seuils induit par le 1,1-dichloréthane est discutée ci après. Les effets induits par ce composé sont discutés dans les incertitudes et non dans le calcul principal car la VTR associée est une valeur provisoire. En effet, les études réalisées pour son calcul ne sont pas encore validées. Il n'est donc pas envisageable de retenir ce composé dont les effets restent incertains dans le calcul principal.

Le tableau suivant montre la contribution du 1,1-dichloréthane pour le scénario n°1 à l'excès de risque cancérogène pour les cibles retenues pour cette étude. Le détail des calculs associés est présenté en **Annexe XIII**.

Tableau 31 – Quantification des risques sanitaires pour les sources – Effets sans seuil

Cibles	Indice généré par le 1,1-dichloroéthane	Indice de risque cumulé (toute substance)
Résident adulte	$1{,}97\times10^{-6}$	$6{,}43\times10^{-6}$
Résident enfant	$3{,}95\times10^{-7}$	$1{,}29\times10^{-6}$

Le tableau précédent démontre que la prise en compte dans le calcul de risque de la VTR pour les effets sans seuils induit par le 1,1-dichloroéthane conduit à une augmentation de l'excès de risque cancérogène globale de l'ordre de 50% par rapport au calcul principal. Il est à noter toutefois, que malgré la prise en compte du 1,1-DCA, les niveaux de risques calculés restent largement du domaine de l'acceptable.

Malgré la prise en compte de ce composé, les calculs démontrent que l'excès de risque cancérogène global reste acceptable et inférieur à 10^{-5}.

IV.9. SYNTHESE DES CALCULS DE RISQUE SANITAIRE

Les calculs de risque sanitaire résiduel, conformément à l'option de gestion retenue à la suite de l'analyse coûts bénéfices, réalisé précédemment ainsi que l'analyses des incertitudes portant sur ces calculs permettent de mettre en évidence l'absence de risques sanitaires inacceptables pour les populations amenées à fréquenter le site dans le cadre des aménagements prévus à ce jour pour ce qui est de l'exposition aux composés volatils identifiés dans le sol.

Le calcul principal a permis, grâce à l'utilisation des concentrations en contaminants dans les gaz du sol de prendre en compte les remontées de vapeur depuis la nappe et les sols.

Du fait de la détection de substances ayant un impact sanitaire potentiel au droit du site, des concentrations de ces substances limites dans les gaz du sol ont été fixées dans le but de donner une référence en cas de découverte inopinée de pollution lors des travaux.

V. CONCLUSIONS

Dans le cadre de la cessation de ses activités sur le site de Nogent sur Oise et de la reconversion du terrain pour un usage d'habitation, la société Montupet a mandaté ATOS environnement pour la réalisation d'une étude visant à définir les modalités de gestion du site quant à la problématique des pollutions du sous-sol. Les investigations se sont déroulées de 2005 à 2006 et l'étude a été modifiée en 2007 afin de la mettre en conformité avec la circulaire du 8 février 2007 sur la gestion des sites et sols pollués publiée par le ministère en charge de l'environnement.

Les investigations de terrain ont permis de mettre en évidence la présence de traces non significatives dans plusieurs zones du site ainsi que deux zones d'anomalies majeures présentant des teneurs significatives en solvants chlorés et aromatiques d'une part (zone 5-7-8) et en métaux lourds d'autres part (zone cuivre).

Compte-tenu des contraintes techniques, économiques et environnementale, l'analyse coûts bénéfices a montré que la solution optimale consistait en la conservation sur le site des traces de polluants identifiées à l'exception du point le plus concentré en cuivre (SD4C) qu'il est conseillé de traiter (évacuation en CET1 des 100 m^3 de terres concernées) assortie des restrictions et obligations suivantes :

- Recouvrement intégral du site par du béton, du bitume ou de la terre végétale afin de confiner les terres présentant des teneurs en polluant et pour supprimer la possibilité de contact direct avec ces polluants. Ce recouvrement est a priori déjà prévu dans le cadre de tout aménagement standard. En cas de nécessité de terrassement (nivellement du site, mise en place des fondations des bâtiments), des terres non inertes pourront également être conservée sur le site (butte paysagère) à la condition que le recouvrement de ces terres soit respecté. Par ailleurs, les canalisations d'eau potable devront être réalisées dans un matériau limitant les transferts de polluants, et les tranchées où sont installées ces canalisations remblayées par des matériaux inertes ;
- Interdiction d'utilisation des eaux souterraines et des cultures potagère sur le site ;
- Afin de garantir une marge de sécurité supplémentaire vis-à-vis des expositions et des risques associés, un vide sanitaire ventilé de 50 cm de profondeur pourra être installé sous les maisons ;
- Conservation de la mémoire de la qualité des sols : les présents diagnostics devront être joints à l'acte de vente du site ;
- Mise en place d'un suivi quadriennal sur les piézomètres du site qui devront être conservés ou remplacés en cas de destruction lors des travaux afin de s'assurer de la stabilité de la qualité de la nappe. Ce suivi sera réalisé tous les 6 mois et concernera les paramètres HCT, BTEX, COHV et métaux lourds et aluminium.
- Mise en place d'un suivi des gaz du sol sur un réseau de piézomètres gaz qui reste à installer. Ce suivi sera réalisé tous les 6 mois et concernera les paramètres hydrocarbures volatils, BTEXN et COHV.

L'analyse des risques résiduels a montré que moyennant les conditions précédemment énoncées, les traces de polluants mises en évidence dans les sols peuvent rester en place pour la mise en place de logements individuels de plain-pied comme prévu dans le projet d'aménagement. L'analyse de risque

a de plus permis de définir des concentrations maximales admissibles dans les gaz du sols au cas où des indices de pollution inattendus seraient identifiés lors des travaux.

Les recommandations et servitude concernant l'usage des eaux souterraines, font l'objet du rapport AEPLC6011-RT06 qui montre que la qualité des eaux souterraines sortant du site est acceptable pour les usages réalisés et qui interdit l'utilisation des eaux souterraines au droit du site.