

HPC Envirotec
21, rue du Tertre - CS 46 833
35.768 SAINT-GREGOIRE



:/ Havauba1.doc

- VILLE DU HAVRE -

*Terrain des Docks Vauban sis quai Frissard
(partie Est de l'Ilot Vauban) au HAVRE (76)*

**DIAGNOSTIC APPROFONDI ET
EVALUATION DETAILLEE DES RISQUES**

Chargés d'affaires : **Frank KARG**
Géologue - Géochimiste
Directeur Scientifique

François LANGLOIS
Directeur Général Adjoint

Stéphane VIRCONDELET
Généraliste Environnement

Rapport HPC-F 3/2.02.0269 c

24 novembre 2003

HPC ENVIROTEC S.A. : Capital 204 000 € RCS RENNES B 383 974 292 APE 742 C N° DE SIRET 383 974 292 00096

21, Rue du Tertre
La Chapelle-des-Fougeretz
CS 46833
35768 SAINT-GRÉGOIRE Cedex

Agences nationales :
 Rennes
 Paris
 Marseille
 Rouen

Tél.
02 99 13 14 50
01 46 10 50 81
04 91 17 90 42
02 35 88 12 52

Fax :
02 99 13 14 51
01 46 10 50 13
04 91 17 90 43
02 32 08 02 15

Internationales :
Berlin (D)
Francfort (D)
Bilbao (E)

Rio de Janeiro (BR)
Sofia (BU)
Milan (I)
Budapest (H)

e-mail : hpc.france@wanadoo.fr

SOMMAIRE

1. - INTRODUCTION	4
2. - LOCALISATION, IDENTIFICATION ET OCCUPATION	5
3. - CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL	6
3.1. - GEOLOGIE DU SITE	6
3.2. - CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	7
3.2.1. - HYDROGEOLOGIE LOCALE	7
3.2.2. - CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE LOCAL	7
3.2.3. - RESSOURCES EN EAUX	7
4. - ELEMENTS DU DIAGNOSTIC INITIAL (HPC ENVIROTEC)	8
4.1. - NATURE DES INVESTIGATIONS MISES EN OEUVRE	8
4.2. - RESULTATS DES INVESTIGATIONS	10
4.2.1. - CONSTATS ORGANOLEPTIQUES DE SOLS	10
4.2.2. - QUALITE CHIMIQUE DES SOLS	10
4.2.3. - QUALITE CHIMIQUE DE L' AIR DU SOL	10
4.2.4. - QUALITE CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES	10
5. - DIAGNOSTIC APPROFONDI	11
5.1. - NATURE DES INVESTIGATIONS MISES EN OEUVRE	11
5.2. - RESULTATS DES INVESTIGATIONS	12
5.2.1. - CONSTATS ORGANOLEPTIQUES	12
5.2.2. - QUALITE CHIMIQUE DES SOLS	13
5.2.3. - QUALITE CHIMIQUE DE L' AIR DU SOL	13
6. - EVALUATION DETAILLEE DES RISQUES POUR LA SANTE	14
6.1. - IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES DANGERS POTENTIELS	14
6.1.1. - SELECTION DES SUBSTANCES PRISES EN COMPTE	14
6.1.2. - CONCENTRATIONS DES SUBSTANCES SELECTIONNEES	15
6.2. - EVALUATION DES EXPOSITIONS POTENTIELLES LIEES A L'USAGE FUTUR DU SITE	16
6.2.1. - DONNEES CONCERNANT L'USAGE FUTUR DU SITE	16
6.2.2. - BUDGETS ESPACE-TEMPS FUTURS	16
6.2.3. - VOIES DE TRANSFERT CONSIDEREES	17
6.2.4. - VOIES D'EXPOSITION - SCHEMA CONCEPTUEL	17
6.2.5. - CALCUL DES DOSES JOURNALIERES ET CONCENTRATIONS D'EXPOSITION (DJE ET CE)	18
6.3. - CARACTERISATION DES RISQUES POUR LA SANTE DES FUTURS USAGERS	21
6.3.1. - DETERMINATION DES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE RELATION DOSE - EFFETS	21
6.3.2. - QUANTIFICATION DES RISQUES POUR LES FUTURS USAGERS	22
6.3.3. - PRISE EN COMPTE ET CALCULS DES INCERTITUDES	23
6.4. - QUANTIFICATION DES OBJECTIFS DE REHABILITATION	25
6.4.1. - CONCENTRATIONS MAXIMALES ADMISSIBLES DANS LES SOLS	25
6.4.2. - CONCENTRATIONS MAXIMALES ADMISSIBLES DANS L' AIR DU SOL	26
7. - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	27
7.1. - RESULTATS DES DIAGNOSTICS	27
7.2. - RESULTATS DE L'EVALUATION DES RISQUES	27
7.3. - RECOMMANDATIONS	28

ANNEXES

- ok > ANNEXE 1 : PRESENTATION DU TERRAIN
- > ANNEXE 2 : LOCALISATION DES INVESTIGATIONS DE RECONNAISSANCE DU SOUS-SOL
(SYNTHESE DES 2 CAMPAGNES D'INVESTIGATIONS)
- ok > ANNEXE 3 : COUPES DES INVESTIGATIONS DE RECONNAISSANCE DU SOUS-SOL
(COUPES DES 2 CAMPAGNES D'INVESTIGATIONS)
- ok > ANNEXE 4 : SYNTHESE DES RESULTATS D'ANALYSES AU LABORATOIRE
(SYNTHESE DES 2 CAMPAGNES D'INVESTIGATIONS)
- ok > ANNEXE 5 : BULLETINS D'ANALYSES DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE
- > ANNEXE 6 : CARTOGRAPHIE DES SOUILLURES DECELEES DANS LE SOUS-SOL DU SITE
(SYNTHESE DES RESULTATS DES 2 CAMPAGNES D'INVESTIGATIONS)
- > ANNEXE 7 : PRESENTATION DU MODELE UTILISE POUR L'EVALUATION DES EXPOSITIONS
ET LA QUANTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES
- > ANNEXE 8 : PARAMETRES UTILISES POUR LA MODELISATION DE L'EXPOSITION
- > ANNEXE 9 : EQUATIONS UTILISEES POUR LA MODELISATION DE L'EXPOSITION ET LA
QUANTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES
- > ANNEXE 10 : RESULTATS DES CALCULS D'INCERTITUDES DANS LA QUANTIFICATION
DES RISQUES SANITAIRES
- > ANNEXE 11 : CALCUL DES CONCENTRATIONS MAXIMALES ADMISSIBLES DANS LE
CADRE D'UNE EXPOSITION AIGUE AU SOL SUPERFICIEL
- > ANNEXE 12 : REFERENCES UTILISEES POUR LA MISE EN ŒUVRE DE L'EDR-S

1. - Introduction

Dans la perspective d'un futur projet de réaménagement d'une partie du quartier des docks Vauban (ou Ilot Vauban), la Ville Du Havre (Direction de l'Aménagement) a de nouveau mandaté notre société HPC Envirotec pour la réalisation d'un diagnostic approfondi complété par une Evaluation Détaillée des Risques pour la Santé humaine (EDR-S) sur la **partie Est de l'Ilot Vauban** représentée par les **anciens docks-entrepôts**, selon les prescriptions de la circulaire du 10 décembre 1999 relatives aux principes de fixation des objectifs de réhabilitation de sites et sols pollués.

Cette étude a été effectuée dans la continuité du diagnostic initial (voir rapport HPC-F 2/2.02.0269 b du 28 avril 2003) qui a permis de mettre en évidence, au sein des sols, la présence ponctuelle :

- ◆ **d'hydrocarbures totaux** dans la partie Nord-Est du site (au droit de l'ancienne cours intérieure Nord des docks-entrepôts, entre les bâtiments 7 et 10),
- ◆ de **plomb** en partie Centrale-Ouest du site (au droit de l'ancienne cour intérieure Nord des docks entrepôts, à l'intersection des bâtiments 5/6 et 11/12).

La présente étude a été réalisée conformément à la méthodologie définie dans le guide « Gestion des sites pollués - Diagnostic approfondi et évaluation détaillée des risques » - Version 0, juin 2000 du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable ainsi que dans le guide « Qualité - EDR » de l'Union Professionnelle des entreprises de Dépollution de Sites (UPDS) de septembre 2000, à savoir :

- **l'identification et la caractérisation des dangers potentiels du site** sur la base des résultats obtenus lors des différentes phases d'investigations et analyses préalables (résultats des diagnostics initial et approfondi) : identification des effets indésirables qu'une substance est capable de provoquer sur la santé humaine,
- **l'évaluation des expositions potentielles liées à l'usage futur du terrain** en intégrant les résultats obtenus lors des études préalables et les caractéristiques propres du projet de réaménagement : détermination des voies de passage des substances polluantes des sources vers les cibles,
- **la caractérisation des risques pour la santé des futurs utilisateurs du terrain** : synthèse de l'ensemble des résultats obtenus à l'issue des différentes étapes précédentes et étude des incertitudes entourant ces résultats,
- **la quantification des objectifs de réhabilitation** devant éventuellement être atteints pour assurer un usage pérenne du terrain tel qu'il est envisagé dans le futur.

Après une présentation sommaire du terrain des docks Vauban, ce rapport synthétise l'ensemble des résultats obtenus lors de la précédente étude réalisée puis développe les résultats obtenus lors des étapes précitées concernant l'évaluation détaillée des risques pour la santé humaine.

2. - Localisation, identification et occupation

Le terrain des Docks Vauban, indiqué sur le plan topographique (voir annexe 1), représente la partie Nord de l'Ilot Vauban. Il se trouve à environ 500 m au Sud de la gare ferroviaire du Havre et à environ 1.400 m au Sud-Est du centre-ville.

De forme sensiblement rectangulaire et globalement plan (environ + 5,0 m NGF), il est délimité :

- au Sud, par le quai des Antilles puis par le Bassin Paul Vatine au delà duquel se trouve un terrain occupé par des entrepôts (hangars 36 et 37 communément appelés « Docks Café »),
- au Nord, par la chaussée du quai Frissard et au delà par le quai Frissard puis par le *Bassin Vauban*,
- à l'Ouest, par un bâtiment du *laboratoire de mécanique* de l'Université du Havre et par l'*Institut Universitaire de Technologie (I.U.T.)* au delà duquel se trouvent les hangars n° 31 et 32,
- à l'Est, par un parking en enrobé et par une salle multifonctions (salle de sports et de spectacles) nommée « Salle Docks Océane » bordée par la rue Marceau au delà de laquelle se trouvent des bâtiments administratifs et une entreprise de fourniture de matériaux de travaux publics.

Son adresse est la suivante :

Docks Vauban Quai Frissard 76.600 LE HAVRE

Le terrain étudié est actuellement constitué de 13 entrepôts (bâtiments n°5 à 7, 10 à 12, 16 à 18 et 22 à 24) divisés en alvéoles et entrecoupés de voies internes de circulation nommées « cours intérieures ».

Les anciens docks sont en grande partie inoccupés exceptées certaines alvéoles ayant fait l'objet d'un réaménagement et quelques entrepôts en l'état dont les occupations sont les suivantes :

- partie Nord-Est : le *Musée Maritime et Portuaire* occupe quatre alvéoles du bâtiment 7 et la partie de cour intérieure associée (Sud et Ouest du bâtiment 7) pour les expositions permanentes et temporaires, l'administration et le stockage de matériaux divers (pièces de bateaux ; batteries usagées ; bidons d'huiles et de produits divers). Il dispose également d'un atelier pour la rénovation des pièces du musée (peinture, mécanique, ...) à l'Ouest du bâtiment 10. Une alvéole adjacente à celles du musée est occupée par les bureaux de deux associations : l'*association des Maquettistes Havrais* et l'*association de l'Hirondelle de la Manche*,
- partie Nord-Ouest : le *Laboratoire Municipal* occupe trois alvéoles du bâtiment 5 pour le laboratoire proprement dit et le stockage de produits et le magasin *Wine and Beer Compagny* (vente d'alcools et spiritueux) occupe une alvéole de ce même bâtiment,
- partie Ouest : Le *Laboratoire de Mécanique* de l'université occupe une alvéole du bâtiment 12 pour un atelier de menuiserie, de petite métallurgie et de peinture. La partie Est du bâtiment 12 est occupée par des salles de sports (ping-pong,...), des bureaux et sanitaires associés
- reste des docks : utilisation par la Ville du Havre pour le stockage de divers matériaux de récupération (palettes de bois, câbles, ...) et de matériel de maintenance (tronçonneuses, bidons d'huile, ...).

3. - Contexte environnemental

3.1. - Géologie du site

DP

Au regard des données bibliographiques consultées et de celles collectées auprès de la banque de données du sous-sol du BRGM, le terrain étudié se trouve sur des formations alluviales de *la Seine* (Quaternaire) reposant sur le substratum argilo-calcaire (nommé bed-rock) du Secondaire.

Selon ces informations, complétées de celles obtenues au cours des investigations de reconnaissance menées sur le terrain, le profil géologique moyen suivant au droit du terrain peut être envisagé :

Formations	Dénomination	Nature	Epaisseur moyenne
Remblais	-	Matériaux hétérogènes majorit. sablo-graveleux	0,5/1,0 m
Alluvions modernes	Fz	Alternance de couches de limons sablo-argileux, graviers et galets	6,0/10,0 m (*)
Oxfordien supérieur (Jurassique supérieur)	J7	Alternance de niveaux argileux et calcaires	> 50 m

(*) : toit du bed-rock admettant un pendage rapide et important en direction du Sud-Ouest.

3.2. - Contexte hydrogéologique

3.2.1. - Hydrogéologie locale

DP

Selon les données obtenues, le principal niveau aquifère régional correspond à une nappe se développant au sein des terrains du Crétacé (craie cénomanienne) selon une circulation de type karstique. Cette nappe est cependant absente au droit du terrain (absence des formations cénomaniennes).

D'autre part, des études hydrogéologiques menées par le Port du havre lors de la construction de l'Ecluse Maritime ont démontré que les eaux estuariennes percolaient au travers de la couche inférieure des alluvions recouvrant le bed-rock (formations de graviers et galets) et formaient une nappe continue de 3,0 à 12,0 mètres d'épaisseur et dont le toit se trouvait localisé dans la couche alluviale supérieure (limons argileux) à une profondeur variant à la faveur des marées.

Les investigations de reconnaissance réalisées lors de la première campagne d'investigations sur le terrain (implantation de quatre piézomètres) ont permis de mettre en évidence la présence du toit de cette nappe à une profondeur d'environ - 1,7 mètres par rapport à la surface actuelle du sol (mesures du 07 avril 2003 à 16h00).

3.2.2. - Contexte hydrographique local

DP

De part sa localisation géographique, le terrain des Docks Vauban est en étroite relation avec les eaux superficielles des bassins portuaires suivants :

- le Bassin Paul Vatine bordant le site au Sud,
- le Bassin de l'Eure en relation avec le précédent et localisé à environ 250 m à l'Ouest du site,
- le Bassin Vauban en relation avec le précédent, bordant le site au Nord.

Le niveau des eaux de ces bassins a été mesurée à - 2,30 mètres en moyenne par rapport à la surface du sol du site (mesure du 07 avril 2003 à 16h00).

3.2.3. - Ressources en eaux

DP

D'après les informations recueillies auprès du Service Santé-Environnement de la DDASS de Seine Maritime, il n'existe aucune utilisation des eaux souterraines pour l'Alimentation en Eau Potable (AEP) à proximité et dans la zone d'influence du site, l'alimentation de l'agglomération havraise s'effectuant à partir de captages exploitant la craie cénomanienne au Nord de la ville à environ 4,0 km au Nord-Est du site.

D'après les informations fournies par la Ville Du Havre, la quasi-totalité des entreprises industrielles de l'agglomération havraise sont alimentées par le réseau public d'alimentation en eau potable.

De plus, selon les services de la DRIRE du Havre, il n'existe aucun captage d'Alimentation en Eau Industrielle (AEI) à proximité du site étudié.

Concernant les activités exercées dans les bassins localisés à proximité du site, celles-ci sont uniquement de type industriel (parcage de matériel et de bateaux).

4. - Eléments du Diagnostic initial (HPC Envirotec)

4.1. - Nature des investigations mises en oeuvre

DP

Les travaux de reconnaissance du sous-sol du terrain des docks Vauban mis en œuvre dans le cadre de la réalisation du diagnostic initial de l'ensemble de l'îlot Vauban (intégrant en sus les terrains des anciens hangars 31 et 32, du laboratoire de mécanique de l'université et de l'I.U.T. situés à l'Ouest ainsi que le parking situé à l'Est du terrain à l'étude) se sont déroulés du 20 au 24 ainsi que le 29 janvier 2003.

Ils ont consisté, sur la base d'une étude historique et documentaire préalable, en la réalisation des prestations suivantes (voir rapport HPC-F 2/2.02.0269 b du 28 avril 2003) :

- réalisation de 17 sondages de reconnaissance des sols (S3 à S20) menés jusqu'à une profondeur maximale de 5,0 m à l'aide d'une sondeuse portative équipée de gouges de 36/50 mm de diamètre,
- examen organoleptique de l'ensemble des matériaux traversés par les sondages (textures, structures, odeurs, couleurs,...),
- prélèvements au droit de chaque sondage d'échantillons dédoublés :
 - par mètre linéaire,
 - par couche lithologique,
 - par niveau de sol jugé suspect,
 - représentatif de l'ensemble des couches de sol traversées,
- dosage semi-quantitatif, dans 6 sondages sélectionnés, d'éventuelles substances volatiles (n-octane, benzène, trichloroéthylène et dichlorométhane) à l'aide de tubes colorimétriques Dräger,

- prélèvements d'échantillons d'air du sol au droit de 5 sondages sélectionnés par adsorption sur ampoules de charbon actif,
- mise en place d'un piézomètre (PZ7) dans un forage effectué à l'aide d'une sondeuse portative équipée de gouges de 80 mm de diamètre crépiné à partir d'une profondeur d'environ 1 mètre de profondeur et jusqu'à 3,1 mètres,
- examen organoleptique des eaux souterraines présentes au droit du piézomètre (turbidité, odeurs, couleurs,...),
- prélèvements d'échantillons d'eaux souterraines au droit du piézomètre,
- analyses au laboratoire d'échantillons unitaires de sols sélectionnés :
 - hydrocarbures totaux par spectrométrie infrarouge : 10 analyses,
 - métaux lourds et métalloïdes (As, Cd, Cr tot, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) par spectrométrie d'absorption atomique : 3 analyses,
 - hydrocarbures aromatiques polycycliques par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse : 3 analyses,
 - polychlorobiphényles par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse : 2 analyses,
 - composés organiques volatils (COV - principaux solvants polaires, BTEX et solvants chlorés) par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse : 1 analyse.
- analyses au laboratoire de l'échantillon d'eaux souterraines :
 - hydrocarbures totaux par spectrométrie infrarouge,
 - métaux lourds et métalloïdes (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) par spectrométrie d'absorption atomique,
 - potentiel hydrogène (pH) par méthode électrométrique,
 - composés organiques volatils (COV - principaux solvants polaires, BTEX et solvants chlorés) par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse.
- analyses au laboratoire d'échantillons d'air du sol :
 - hydrocarbures totaux par spectrométrie infrarouge : 2 analyses,
 - composés organiques volatils (COV - principaux solvants polaires, BTEX et solvants chlorés) par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse : 1 analyse.

La localisation des investigations mises en œuvre figure en annexe 2.

4.2. - Résultats des investigations

4.2.1. - Constats organoleptiques de sols

Les constats organoleptiques établis sur les échantillons de sols lors de la phase initiale d'investigations ont permis de mettre en évidence la présence de traces de souillures (traces huileuses) en surface du sol au droit du sondage S3 implanté en partie Nord-Est des docks.

4.2.2. - Qualité chimique des sols

Les résultats d'analyses des échantillons de sol sélectionnés, ont permis de mettre en évidence une teneur :

- en hydrocarbures totaux ponctuellement supérieure à la VDSS (*) en partie Nord-Est des docks (sondage S3),
- en plomb supérieure à la VDSS (*) en partie Centrale-Ouest des docks (sondage S7).

4.2.3. - Qualité chimique de l'air du sol

Les dosages semi-quantitatifs réalisés à l'aide de tubes réactifs Dräger dans les trous de sondages sélectionnés ont montré l'absence des substances volatiles recherchées.

Ces derniers ont été confirmés par les analyses réalisées au laboratoire, celles-ci ayant montré des teneurs en composés organiques volatils très faibles et majoritairement inférieures aux seuils de détection analytique.

4.2.4. - Qualité chimique des eaux souterraines

Les analyses au laboratoire des échantillons d'eaux souterraines prélevés au sein du piézomètre Pz7 implanté lors de la phase initiale d'investigations ont permis de mettre en évidence, en comparaison des valeurs guides considérées :

(*) VDSS (Valeur de Définition de Sources - Sol) : valeur guide (annexe 5C - révision du 09 décembre 2002 - du guide du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable « Gestion des sites (potentiellement pollués) ») permettant de définir l'existence d'une source de pollution constituée d'un sol pour la substance considérée indépendamment de l'usage de ce dernier.

- la présence d'hydrocarbures totaux à une teneur supérieure à la VCI *sensible* (*) (0,05 mg/l),
- l'absence de métaux et de métalloïdes avec des teneurs relevées systématiquement inférieures aux valeurs guides.
- L'absence de composés organiques volatils avec des concentrations systématiquement inférieures aux seuils de détection analytiques.

5. - Diagnostic approfondi

SV

5.1. - Nature des investigations mises en oeuvre

Les investigations mises en oeuvre par HPC Envirotec dans le cadre de la réalisation du diagnostic approfondi du site se sont déroulées le 07 août 2003 et ont consisté en la réalisation des prestations suivantes (voir annexe 2) :

- réalisation de 10 sondages carottés de reconnaissance des sols :
 - dans la zone reconnue souillée par des hydrocarbures en partie Nord-Est (**nommée zone Nord-Est** dans la suite du rapport) :
 - ◆ 4 sondages (S42 à S45) menés jusqu'à une profondeur maximale de 2,0 m en sa périphérie immédiate afin d'en évaluer l'extension,
 - ◆ un sondage (S3') mené en son centre afin de caractériser les souillures de sol et d'évaluer spécifiquement la qualité de l'air du sol,
 - dans la zone remblais reconnus souillés par du plomb en partie Centrale-Ouest (**nommée zone Centrale-Ouest** dans la suite du rapport), 5 sondages (S46 à S50) menés jusqu'à une profondeur maximale de 2,0 m en sa périphérie immédiate afin d'en évaluer l'extension.
- examen organoleptique de l'ensemble des matériaux traversés par les sondages (textures, structures, odeurs, couleurs,...),

(*) **VCI** (Valeur de Constat d'Impact) : valeur guide (annexe 5C - révision du 09 décembre 2002 - du guide du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable « Gestion des sites (potentiellement pollués) ») permettant de constater l'existence d'un impact potentiel d'une source de pollution constituée d'un sol en fonction de l'usage de ce dernier (usage sensible ou non sensible).

- prélèvement d'échantillons unitaires, d'échantillons moyens et d'échantillons de sols sélectionnés dans les sondages en fonction des résultats de l'examen organoleptique et des besoins pour la mise en œuvre de l'EDR-S,
- dosage semi-quantitatif de l'air du sol (tests colorimétriques n-octane, benzène et dichlorométhane) dans tous les sondages et prélèvements d'échantillons sur charbon actif dans les sondages menés au centre des zones souillées,
- analyses au laboratoire d'échantillons de sols sélectionnés :
 - * hydrocarbures totaux par spectrométrie infrarouge (NFT 90-114) : 5 analyses,
 - * hydrocarbures totaux par fractions carbonées aliphatiques et aromatiques par GC-FID (ISO CD 16703) : 1 analyse,
 - * métaux lourds et métalloïdes (As, Cd, Cr tot, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) par spectrométrie d'absorption atomique : 5 analyses,
 - * composés organiques volatils (COV) par GC-MS (NFT 90-125) : 1 analyse,
 - * hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) par GC-MS (EPA 8270) : 1 analyse,
 - * composés organiques totaux (ISO 10694) : 1 analyse,
- analyses au laboratoire d'échantillons d'air du sol sélectionnés :
 - * hydrocarbures totaux par spectrométrie infrarouge (NFT 90-114) : 1 analyse,
 - * composés organiques volatils (COV) par GC-MS (VDI 3865) : 1 analyse.

5.2. - Résultats des investigations

5.2.1. - Constats organoleptiques

Les constats organoleptiques établis sur les sols lors des investigations du diagnostic approfondi ont confirmé les résultats du diagnostic précédent et ont permis de délimiter spatialement les **deux zones** reconnues souillées, la première par des hydrocarbures totaux (zone Nord-Est) et la seconde par du plomb (zone Centrale-Ouest - voir annexe 3).

5.2.2. - Qualité chimique des sols

Les résultats d'analyses des échantillons de sols prélevés lors du diagnostic approfondi montrent :

- la décroissance rapide des concentrations en hydrocarbures totaux identifiées au sein de la zone Nord-Est lors des investigations initiales de janvier 2003 en s'éloignant du sondage S3 ayant révélé la zone souillée,
- une coupe d'hydrocarbures caractéristique de la zone Nord-Est révélant la présence d'hydrocarbures aromatiques et aliphatiques à longues chaînes carbonées (absence de chaîne de moins de 12 carbones),
- des teneurs faibles voire inférieures aux seuils de détection pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les composés organiques volatils recherchés.
- une teneur en plomb supérieure à la VDSS (sondage S47) au sein de la zone Centrale-Ouest confirmant les résultats obtenus lors du diagnostic initial,

5.2.3. - Qualité chimique de l'air du sol

- Les dosages semi-quantitatifs réalisés in situ dans les trous de sondages réalisés au droit de la zone Nord-Est lors du diagnostic approfondi ont permis de mettre en évidence l'absence de composés volatils au sein de l'air du sol.
- Les analyses réalisées au laboratoire sur l'échantillon prélevé sur charbon actif au droit de la zone Nord-Est lors de cette campagne ont confirmé les tests colorimétriques et mis en évidence des teneurs en hydrocarbures totaux et composés organiques volatils faibles voire inférieures aux seuils de détection analytique.

6. - Evaluation détaillée des risques pour la santé

Les objectifs de la présente évaluation des risques liés à la présence de substances polluantes dans le sous-sol du site sont, sur la base d'une quantification préalable établie selon les connaissances scientifiques du moment, d'identifier les éventuelles zones du site induisant des risques sanitaires inacceptables et, le cas échéant, d'orienter les éventuelles décisions de réhabilitation en définissant des objectifs de dépollution (CMA : Concentrations Maximales Admissibles) pour ces zones compatibles avec les usages futurs envisagés du site.

6.1. - Identification et caractérisation des dangers potentiels

6.1.1. - Sélection des substances prises en compte

Les dangers potentiels liés à la présence de substances polluantes dans les sols du site ont été déterminés en fonction de leurs caractéristiques spécifiques (concentrations détectées dans les sols, valeurs toxicologiques propres, propriétés physico-chimiques) mises en évidence à l'issue des investigations, conduisant aux sélections suivantes :

Famille de substances	Prise en compte dans l'étude	Justification (*)
Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Nickel, Mercure, Zinc	NON	Faibles teneurs dans les sols
Plomb	OUI	Teneurs significatives dans les sols
Hydrocarbures mono-aromatiques	OUI (toluène et xylènes)	Présence dans les sols
Hydrocarbures totaux	OUI (Aliphatiques C _{>12} -C ₁₆ , Aliphatiques C _{>16} -C ₃₅ , Aromatiques C _{>16} -C ₂₁ et Aromatiques C _{>21} -C ₃₅)	Présence dans les sols
Autres Composés Organiques Volatils (COV)	NON	Absence dans les sols et l'air du sol
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	NON	Quasi-absence dans les sols

(*) : les seuils de détection atteints par les laboratoires pour les échantillons de sols et d'air du sol ont été définis afin de garantir l'absence de risques sanitaires non tolérables.

Le tableau en page suivante regroupe les substances ainsi sélectionnées, la nature du risque potentiel induit par celles-ci ainsi que les voies potentielles d'exposition et les cibles toxicologiques chez l'homme.

Substances chimiques	Nature du risque	Voies d'exposition	Cibles toxicologiques chez l'homme
Hydrocarbures aliphatiques			
• C _{>12} -C ₁₆	non cancérigène	* Ingestion * Inhalation	Systèmes hépatique et circulatoire
• C _{>16} -C ₃₅		* Ingestion * Inhalation	Système hépatique
Hydrocarbures aromatiques			
• C _{>16} -C ₂₁ et C _{>21} -C ₃₅	non cancérigène	* Ingestion * Inhalation	Système rénal
Hydrocarbures mono-aromatiques			
• Toluène	non cancérigène	* Ingestion * Inhalation	Systèmes hépatique, rénal et immunitaire Système neurologique et développement foetal
• Xylènes		* Ingestion * Inhalation	Système hépatique Développement foetal, système neurologique
Métaux lourds			
• Plomb	non cancérigène	* Ingestion * Inhalation	Systèmes circulatoire, rénal, neurologique, digestif et osseux

6.1.2. - Concentrations des substances sélectionnées

Les concentrations dans les sols du site prises en compte dans la présente évaluation sont regroupées dans le tableau suivant :

Substances polluantes sélectionnées	Teneurs maximales mesurées dans les sols (mg/kg)
Hydrocarbures aliphatiques	
• C _{>12} -C ₁₆	11
• C _{>16} -C ₃₅	990
Hydrocarbures aromatiques	
• C _{>16} -C ₂₁	14
• C _{>21} -C ₃₅	130
Hydrocarbures mono-aromatiques	
• Toluène	0,002
• Xylènes	0,001
Métaux lourds	
• Plomb	270

6.2. - Evaluation des expositions potentielles liées à l'usage futur du site

6.2.1. - Données concernant l'usage futur du site

Selon les données obtenues auprès de la SAS SORIF Urbanisme Commercial, le site est destiné à être complètement réaménagé afin d'accueillir des bâtiments destinés à recevoir des locaux commerciaux et localement des bureaux, les différentes cours restant closes et inaccessibles. Cet aménagement conduit à la prise en compte des scénarios d'exposition suivants :

- un scénario commercial avec présence ponctuelle d'enfants,
- un scénario bureaux concernant seulement des adultes.

6.2.2. - Budgets espace-temps futurs

Les budgets espace-temps maximaux pris en compte pour les futurs usagers du site selon les différents aménagements envisagés, sont synthétisés dans le tableau suivant :

Aménagement	Usagers	Types d'usagers	Durées d'exposition des usagers		Budgets espace-temps	
					Extérieur	Intérieur
• Bureaux	• Personnel administratif	Adultes	25 ans ⁽¹⁾	217 J/an ⁽²⁾	0h30 / J ⁽³⁾	8h00 / J ⁽³⁾
• Commerces	• Commerçants	Adultes	25 ans ⁽¹⁾	217 J/an ⁽²⁾	0h30 / J ⁽³⁾	8h00 / J ⁽³⁾
	• Enfants de la clientèle	Enfants	6 ans ⁽⁴⁾	52 J/an ⁽⁵⁾	0h30 / J ⁽⁶⁾	1h00 / J ⁽⁶⁾

⁽¹⁾ : estimation d'une durée de travail moyenne sur un même lieu au cours d'une carrière professionnelle,

⁽²⁾ : nombre de jours travaillés par an (loi des 35 heures),

⁽³⁾ : nombre d'heures passées sur le lieu de travail,

⁽⁴⁾ : donnée utilisée lors de l'établissement de VCI pour un usage sensible d'un site (MEDD),

⁽⁵⁾ : une fois par semaine,

⁽⁶⁾ : nombre d'heures passées chez le commerçant.

Remarque : en raison de leurs paramètres d'exposition similaires, les données relatives aux adultes concernés par les scénarios bureaux et commercial seront regroupées dans les mêmes tableaux.

6.2.3. - Voies de transfert considérées

Dans le souci de se placer dans des conditions majorantes et compte tenu des propriétés physico-chimiques des substances polluantes sélectionnées, la présente évaluation a été effectuée en considérant les sols, l'air du sol, l'air ambiant et l'eau de distribution (eau potable) comme voies potentielles de transfert vers l'homme. Ces dernières sont réunies dans le tableau synthétique suivant :

Propriétés des substances	Formes et voies potentielles de transfert vers l'homme		Substances concernées
• Accessibles	Poussières	Air ambiant et contact direct	Plomb
• Volatiles	Gaz	Air du sol puis air ambiant	Hydrocarbures
• Solubles	Solutés	Eau des canalisations	

Concernant les voies potentielles de transfert via un contact direct des végétaux et des eaux souterraines, celles-ci n'ont pas été prises en compte pour les raisons suivantes :

- Voies de transfert via les végétaux : absence d'exploitation à des fins alimentaires (présence uniquement de pelouses et de massifs ornementaux).
- Voies de transfert directes via les eaux souterraines : absence d'utilisation pour la consommation (eaux saumâtres) et de substance volatile.

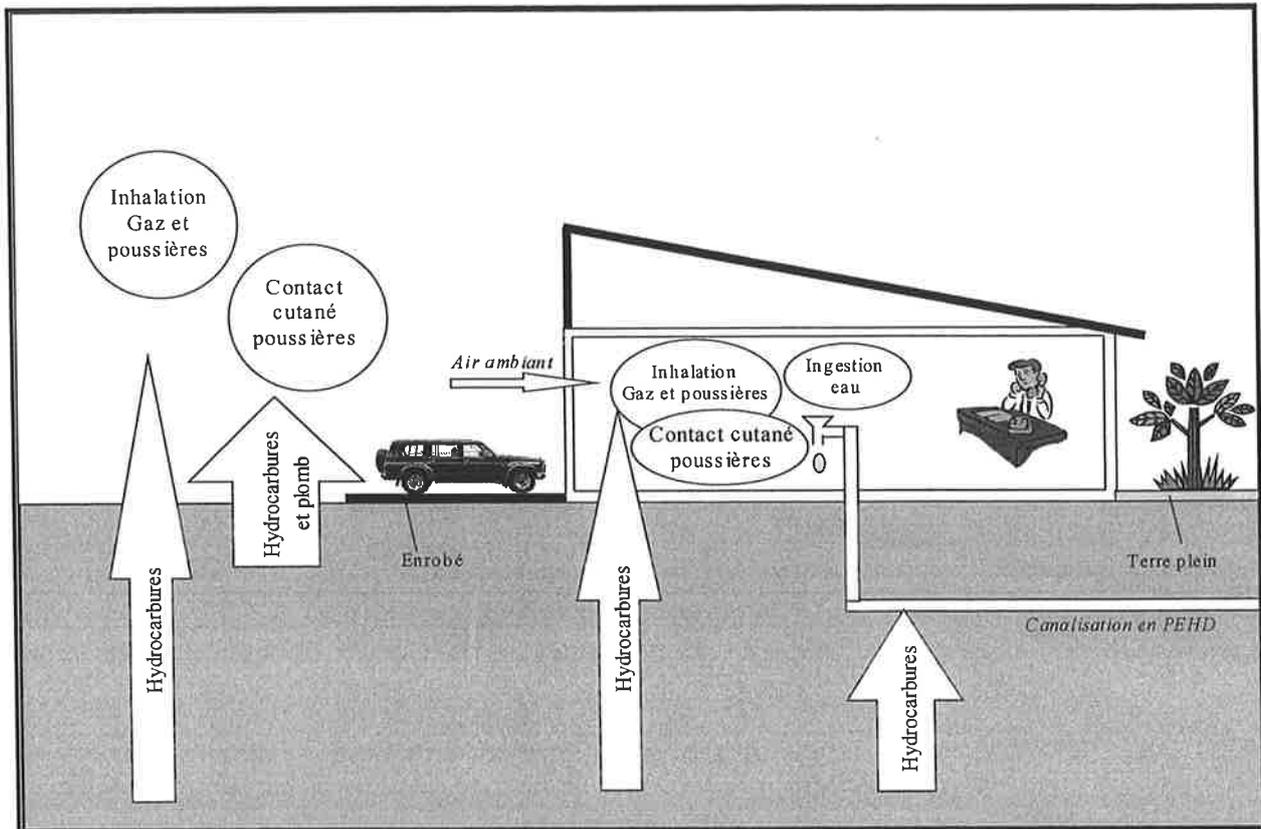
6.2.4. - Voies d'exposition - Schéma conceptuel

Sur la base des spécificités des différents scénarios de réaménagement du site envisagés (voir § 6.2.1 et 6.2.2) et des voies de transfert des substances polluantes identifiées (voir § 6.2.3) vers les populations cibles représentées par les futurs usagers du site, un schéma conceptuel a été élaboré.

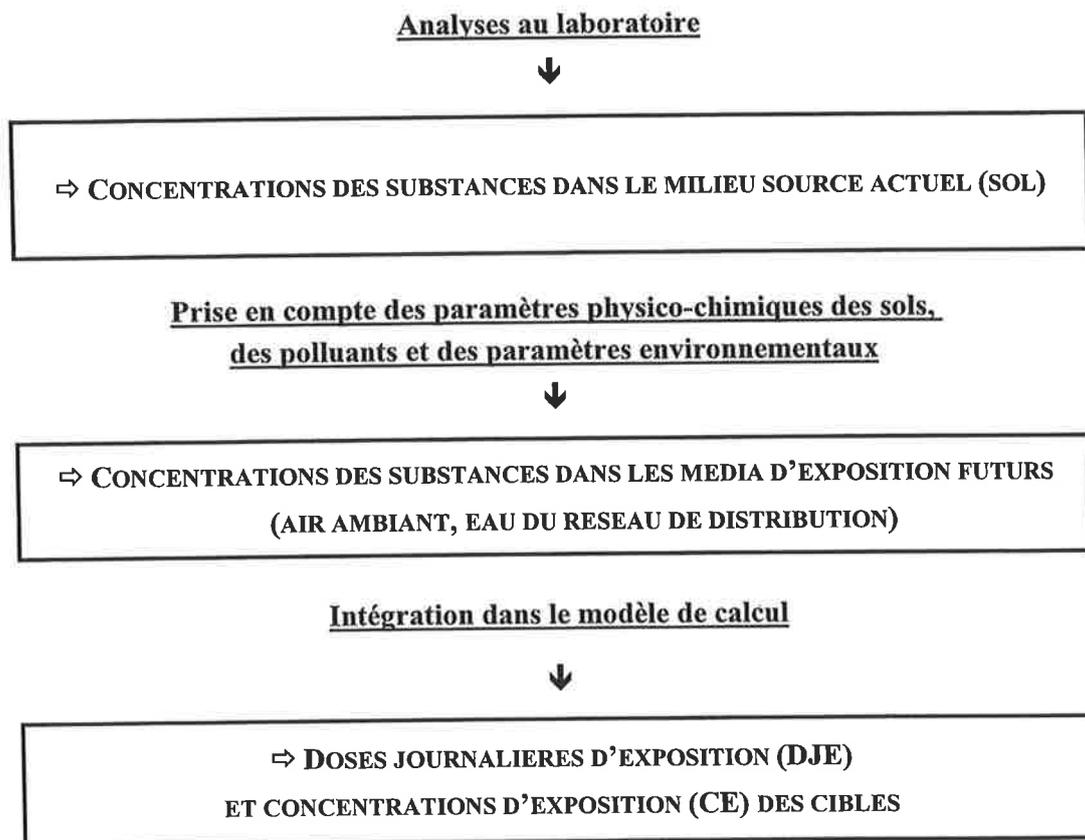
Les voies d'exposition prises en compte dans ce schéma sont listées dans le tableau suivant :

Voies d'exposition potentielles (*)	Type d'usagers considérés dans le futur scénario d'aménagement	Milieux sources considérés pour la modélisation
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Voie orale (ingestion)</u> : * eau de distribution contaminée 	Scénarios bureaux et commercial : Adultes et enfants	Sols
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Voie pulmonaire (inhalation)</u> : * poussières contaminées * air ambiant contaminé 		
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Voie cutanée (absorption)</u> : * poussières contaminés 		

(*) : voies prises en compte en considérant la présence des polluants dès la surface du sol (situation majorante).

Schéma conceptuel :**Scénarios bureaux et commercial****6.2.5. - Calcul des doses journalières et concentrations d'exposition (DJE et CE)**

Sur la base des concentrations en substances polluantes mesurées dans le sous-sol du site et des voies d'exposition et de transfert considérées dans le cadre du scénario de réaménagement envisagé du site (voir schéma conceptuel - § 6.2.4), un calcul des **doses journalières d'exposition (DJE) et des concentrations d'exposition (CE)** des cibles a été effectué à l'aide du modèle (voir annexe 7) selon la procédure décrite dans le schéma en page suivante.



Les **DJE** (doses journalières d'exposition en mg/kg/j) sont établies pour chaque voie d'exposition potentielle (dans le cas présent l'inhalation de gaz et l'ingestion d'eau du robinet) en fonction du poids des individus et de leur durée d'exposition. Celles-ci sont comparées, lors de la quantification des risques, aux doses journalières tolérables (DJT en mg/kg/j).

Les **CE** (concentrations d'exposition en mg/m³) sont rapportées au temps passé sur le site. Elles représentent la conversion des DJE par inhalation (mg/kg/j) en mg/m³ (en multipliant par le poids et en divisant par le volume respiratoire pour chaque cible) et sont comparées lors de la quantification des risques aux concentrations tolérables (CT en mg/m³).

Les résultats du calcul par le modèle des DJE et des CE, en considérant les durées d'exposition et les budgets espace-temps maximaux des futurs usagers sont présentés dans les tableaux en page suivante (voir détail des équations et paramètres en annexes 8 et 9).

BUREAUX ET COMMERCIAL		Inhalation		Ingestion d'eau	Contact cutané poussières	Apport total adulte
ADULTES		forme gazeuse	poussières			
Toluène	DJE (mg/kg/j)	6,44E-05	9,19E-12	6,07E-08	4,11E-12	6,45E-05
	CE (mg/m ³)	9,20E-05	1,31E-11	-	-	-
Xylènes	DJE (mg/kg/j)	1,05E-05	4,60E-12	2,04E-08	2,05E-12	1,05E-05
	CE (mg/m ³)	1,50E-05	6,57E-12	-	-	-
Plomb	DJE (mg/kg/j)	-	1,20E-06	-	-	1,20E-06
	CE (mg/m ³)	-	1,71E-06	-	-	-
Aliphatiques > C12-C16	DJE (mg/kg/j)	3,14E-02	5,06E-08	1,08E-08	2,26E-08	3,14E-02
	CE (mg/m ³)	4,49E-02	7,22E-08	-	-	-
Aliphatiques > C16-C35	DJE (mg/kg/j)	2,85E-03	4,55E-06	4,87E-09	2,03E-06	2,86E-03
	CE (mg/m ³)	4,07E-03	6,50E-06	-	-	-
Aromatiques > C16-C21	DJE (mg/kg/j)	3,10E-04	6,44E-08	8,60E-07	2,88E-08	3,11E-04
	CE (mg/m ³)	4,43E-04	9,19E-08	-	-	-
Aromatiques > C21-C35	DJE (mg/kg/j)	8,96E-06	5,98E-07	9,83E-07	2,67E-07	1,08E-05
	CE (mg/m ³)	1,28E-05	8,54E-07	-	-	-

COMMERCIAL		Inhalation		Ingestion d'eau	Contact cutané poussières	Apport total enfants
ENFANTS		forme gazeuse	poussières			
Toluène	DJE (mg/kg/j)	4,81E-06	9,01E-13	-	6,38E-13	4,81E-06
	CE (mg/m ³)	2,83E-06	5,30E-13	-	-	-
Xylènes	DJE (mg/kg/j)	7,86E-07	4,50E-13	-	3,19E-13	7,86E-07
	CE (mg/m ³)	4,62E-07	2,65E-13	-	-	-
Plomb	DJE (mg/kg/j)	-	1,17E-07	-	-	1,17E-07
	CE (mg/m ³)	-	6,89E-08	-	-	-
Aliphatiques > C12-C16	DJE (mg/kg/j)	2,35E-03	4,95E-09	-	3,51E-09	2,35E-03
	CE (mg/m ³)	1,38E-03	2,91E-09	-	-	-
Aliphatiques > C16-C35	DJE (mg/kg/j)	2,13E-04	4,46E-07	-	3,16E-07	2,14E-04
	CE (mg/m ³)	1,25E-04	2,62E-07	-	-	-
Aromatiques > C16-C21	DJE (mg/kg/j)	2,32E-05	6,30E-09	-	4,47E-09	2,32E-05
	CE (mg/m ³)	1,36E-05	3,71E-09	-	-	-
Aromatiques > C21-C35	DJE (mg/kg/j)	6,57E-07	5,85E-08	-	4,15E-08	7,57E-07
	CE (mg/m ³)	3,86E-07	3,44E-08	-	-	-

Les résultats des calculs des DJE et des CE montrent que les principales voies potentielles d'exposition aux substances polluantes présentes dans le sous-sol pour les futurs usagers du site sont :

- l'inhalation de gaz pour les hydrocarbures mono-aromatiques et les différentes chaînes carbonées,
- l'inhalation de poussières pour le plomb.

6.3. - Caractérisation des risques pour la santé des futurs usagers

6.3.1. - Détermination des valeurs toxicologiques de relation dose - effets

La première phase de la caractérisation des risques potentiels a consisté en une recherche des données scientifiques disponibles les plus récentes concernant la toxicité des substances polluantes retenues en distinguant les effets potentiels **avec seuil** (non cancérigènes) et/ou **sans seuil** (cancérigènes).

Dans le cas présent, les substances cancérigènes, telles que le benzène, le benzo(a)pyrène ou certains solvants chlorés, n'ont pas été détectées lors des différentes phases du diagnostic effectué sur site.

Aussi, les valeurs toxicologiques de référence des substances non cancérigènes sont les suivantes :

- ⇒ les **doses journalières tolérables (DJT)** applicables à l'homme pour l'ingestion et le contact cutané,
- ⇒ les **concentrations tolérables (CT)** applicables pour l'inhalation.

Ces valeurs, issues de la bibliographie existante, sont regroupées au sein du tableau suivant :

Substance	Nature du risque	Valeur toxicologique chronique			Organe(s) cible(s)	Espèce testée	Critère / Facteur de sécurité	Organisme (*)
		Voie d'exposition	Nom	Valeur				
Toluène	NC	Ingestion	DJT	0,2 mg/kg/j	Syst. hépatique, rénal et immunitaire	rat	NOAEL / 1000	IRIS 1994
		Inhalation	CT	0,4 mg/m ³	Syst. neurologique et développement fœtal	homme	LOAEL / 300	IRIS 1992
Xylènes totaux		Ingestion	DJT	0,2 mg/kg/j	Système hépatique	rat	NOAEL / 1000	IRIS 2003
		Inhalation	CT	0,6 mg/m ³	Développement fœtal, système neurologique	homme	LOAEL / 100	ATSDR 1995
Plomb		Ingestion	DJT	0,0035 mg/kg/j	Système circulatoire, rénal, neurologique, digestif et osseux	enfant	-	OMS 1993
		Inhalation	CT	0,005 mg/m ³		enfant	-	OMS 1999
Aliphatique C _{>12} -C ₁₆		Ingestion	DJT	0,1 mg/kg/j	Système hépatique et circulatoire	rat	LOAEL / 5000 NOAEL / 1000	TPHCWG 1997
		Inhalation	CT	1,0 mg/m ³		rat	NOAEL / 1000	
Aliphatique C _{>16} -C ₂₁ C _{>21} -C ₃₅		Ingestion	DJT	2,0 mg/kg/j	Système hépatique	rat	NOAEL / 100	
		Inhalation	CT	Non disponible	-	-	-	
Aromatique C _{>16} -C ₂₁ C _{>21} -C ₃₅	Ingestion	DJT	0,03 mg/kg/j	Système rénal	Valeur du pyrène (C ₁₆)			
	Inhalation	CT	Non disponible	-	-	-		

NC : non cancérigène
 NOAEL : Non Observed Adverse Effect Level
 NOEL : Non Observed Effect Level
 LOEL : Low Observed Effect Level
 LOAEL : Low Observed Adverse Effect Level

DJT : Dose Journalière Tolérable par ingestion
 CT : Concentration Tolérable (inhalation)
 (*) Les références des organismes sont fournies en annexe 12.

6.3.2. - Quantification des risques pour les futurs usagers

Le risque non cancérigène (ou **indice de risque IR**), seul risque évalué dans le cas présent étant donné l'absence de substance à potentiel cancérigène sur le site, a été défini par le rapport entre la dose journalière d'exposition (DJE calculée par le modèle) et la dose journalière tolérable (DJT) ou par la concentration tolérable (CT) et ce, pour chaque substance considérée.

Les équations, intégrées au modèle, sont présentées en annexe 9.

L'indice de risque (IR) est comparé au seuil limite de 1 pour lequel la dose d'exposition est égale à la dose tolérable (circulaire du 10 décembre 1999) (*).

⇒ $IR = DJE \text{ (mg/kg/j)} / DJT \text{ (mg/kg/j)}$ [pour l'ingestion et le contact cutané],

⇒ $IR = DJE \text{ (mg/m}^3\text{)} / CT \text{ (mg/m}^3\text{)}$ [pour l'inhalation].

- si $IR \leq 1$: risque considéré acceptable
- si $IR > 1$: risque considéré inacceptable

(*) Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Circulaire « Sites et sols pollués - Principes de fixation des objectifs de réhabilitation ». DPPR/SEI/BPSE/BS/MB. 10 décembre 1999.

Les risques non cancérigènes (IR) ainsi calculés pour les futurs usagers du site (adultes et enfants) en fonction des propriétés des substances identifiées en sous-sol du site sont synthétisés dans le tableau suivant :

SCENARIOS BUREAUX ET COMMERCIAL	Risques non cancérigènes	
	ADULTES	ENFANTS
Toluène	0,000230	0,00000708
Xylènes	0,0000252	0,00000077
Plomb	0,000341	0,0000138
Aliphatiques C _{>12} -C ₁₆	0,0449	0,00138
Aliphatiques C _{>16} -C ₃₅	0,00143	0,000107
Aromatiques C _{>16} -C ₂₁	0,0104	0,000772
Aromatiques C _{>21} -C ₃₅	0,000360	0,0000252
Somme des risques non cancérigènes (lim. : 1,00)		
Système neurologique (toluène + xylènes + plomb)	0,000597	0,0000216
Système hépatique (ALC _{>12} C ₁₆ + ALC _{>16} C ₃₅ + toluène + xylènes)	0,0466	0,00150
Système rénal (ARC _{>16} C ₂₁ + ARC _{>21} C ₃₅ + toluène + plomb)	0,0113	0,000818
Système circulatoire (ALC _{>12} C ₁₆ + plomb)	0,0453	0,00140
Développement foetal (toluène + xylènes)	0,000255	0,00000785
Système immunitaire (toluène)	0,000230	0,00000708
Système digestif (plomb)	0,000341	0,0000138
Système osseux (plomb)	0,000341	0,0000138

Il ressort des calculs que, pour les futurs usagers du site, en considérant la présence de l'ensemble des substances polluantes dès la couche supérieure du sol, **les risques non cancérigènes sont très inférieurs à la limite tolérable** (égale à 1).

6.3.3. - Prise en compte et calculs des incertitudes

L'objectif de l'étape de l'évaluation des incertitudes a été de réaliser des simulations supplémentaires aboutissant à de nouvelles quantifications des risques en faisant varier différents paramètres ou en intégrant de nouveaux paramètres dans le modèle.

Les paramètres ainsi considérés (**majorants par rapport à ceux pris en compte dans l'évaluation initiale**, celle ci ayant démontré l'absence de risques sanitaires inacceptables) sont listés dans le tableau suivant :

Incertitudes potentielles majorantes	Nature des incertitudes potentielles	Prise en compte dans la présente évaluation
• Toxicité des substances	Valeurs plus contraignantes pour les substances selon les données issues de la littérature scientifique existante	Voir annexe 10
• Erreur analytique	Pourcentages d'erreur (+) attribués par le laboratoire d'analyses lors de la détermination des teneurs en chaque substance	
• Ingestion de sols	Prise en compte d'une ingestion de sols (accès à des pelouses)	Adultes : 64 mg/j Enfants : 113 mg/j

D'autres incertitudes potentiellement majorantes n'ont pas été retenues lors de la présente évaluation, ces dernières ainsi que la justification de leur non prise en compte sont présentées au sein du tableau suivant :

Incertitudes potentielles majorantes	Nature des incertitudes potentielles	Justification de la non prise en compte de l'incertitude
• Durée de résidence	Durées de travail plus importante Pour les employés de bureau et les commerçants	Absence de substance cancérigène présentant un danger cumulatif
• Choix du modèle d'exposition	Utilisation du modèle Risc Workbench intégrant le modèle de transfert de vapeurs de Johnson et Ettinger	Modèle minorant dans le cas présent ^(*)

^(*) : Les calculs, à l'aide du modèle de Johnson et Ettinger, de transfert des vapeurs d'hydrocarbures vers les futurs occupants et usagers du site ont montré des concentrations d'exposition inférieures à celles déterminées à partir du modèle HESP[®].

Les calculs ainsi réalisés (voir détails en annexe 10) ont permis d'aboutir à une quantification de risques maximum pour chaque polluant pour les différents scénarios d'aménagement du site envisagés. Les résultats de ces calculs, sont synthétisés dans le tableau suivant :

SCENARIO :		BUREAUX ET COMMERCIAL				Voie majeure d'exposition
CIBLES :		ADULTES		ENFANTS		
Substances	Nature du risque	Risques		Risques		
		probables	Maximaux	probables	Maximaux	
Toluène	NC	0,000230	0,000265 ^(b)	0,00000708	0,00000814 ^(b)	Inhalation de gaz et de poussières
Xylènes		0,0000252	0,0000327 ^(a)	0,00000077	0,00000100 ^(a)	
Plomb		0,000341	0,0407 ^(c)	0,0000138	0,0797 ^(c)	
Aliphatiques C _{>12} -C ₁₆		0,0449	0,0517 ^(b)	0,00138	0,00159 ^(b)	
Aliphatiques C _{>16} -C ₃₅		0,00143	0,00170 ^(c)	0,000107	0,000638 ^(c)	
Aromatiques C _{>16} -C ₂₁		0,0104	0,0119 ^(b)	0,000772	0,000888 ^(b)	
Aromatiques C _{>21} -C ₃₅		0,000360	0,00272 ^(c)	0,0000252	0,00468 ^(c)	
Somme des risques non cancérogènes (lim. : 1,00)						
Système neurologique (toluène + xylènes + plomb)		0,000597	0,0410 ^(c)	0,0000216	0,0797 ^(c)	Inhalation de gaz et de poussières
Système hépatique (ALC _{>12} C ₁₆ + ALC _{>16} C ₃₅ + toluène + xylènes)		0,0466	0,0534 ^(b)	0,00150	0,00215 ^(c)	
Système rénal (ARC _{>16} C ₂₁ + ARC _{>21} C ₃₅ + toluène + plomb)		0,0113	0,0543 ^(c)	0,000818	0,0857 ^(c)	
Système circulatoire (ALC _{>12} C ₁₆ + plomb)		0,0453	0,0857 ^(c)	0,00140	0,0812 ^(c)	
Développement foetal (toluène + xylènes)		0,000255	0,000294 ^(b)	0,00000785	0,00000902 ^(b)	
Système immunitaire (toluène)		0,000230	0,000265 ^(b)	0,00000708	0,00000814 ^(b)	
Système digestif (plomb)		0,000341	0,0407 ^(c)	0,0000138	0,0797 ^(c)	
Système osseux (plomb)		0,000341	0,0407 ^(c)	0,0000138	0,0797 ^(c)	

NC : non cancérogène

(a) : incertitudes sur la toxicité des substances - utilisation de valeurs majorantes

(b) : incertitudes sur le pourcentage de variation analytique - utilisation de valeurs majorantes

(c) : incertitudes sur l'ingestion de sol - prise en compte d'une ingestion de sol au niveau des cours extérieures

Il ressort du calcul des incertitudes synthétisé dans le tableau précédent, pour les futurs usagers du site (adultes et enfants), en considérant des paramètres plus contraignants que ceux pris en compte dans l'évaluation initiale, que **tous les risques (non cancérogènes) reconnus acceptables lors de l'étude initiale demeurent très inférieurs aux limites tolérables.**

6.4. - Quantification des objectifs de réhabilitation

Malgré l'absence d'occurrence de risques sanitaires non tolérables et l'utilisation des concentrations maximales dans les sols dans le cadre de la caractérisation des risques sanitaires (voir § 6.2.2), les concentrations maximales admissibles (CMA) en sous-sol du site (sols et air sol) pour l'ensemble des substances considérées (dans le cadre des usages futurs du site) ont toutefois été calculées, en raison notamment des futurs travaux d'aménagement du site susceptibles de générer l'excavation et la gestion de terres souillées. Ces CMA ont été déterminées en utilisant une démarche symétrique à celle adoptée pour la quantification des risques sanitaires en considérant les paramètres pris en compte dans l'étude initiale.

Ces calculs de CMA ayant été réalisés dans le cadre d'une exposition chronique aux polluants du sous-sol, le cas particulier d'une potentielle exposition aiguë a également été pris en compte en considérant hypothétiquement l'ingestion accidentelle par un enfant de 10 grammes de sol (détail des calculs et résultats par substance présentés en annexe 11).

6.4.1. - Concentrations maximales admissibles dans les sols

L'ensemble des résultats du calcul des CMA dans les sols est listé dans les tableaux suivants :

Substances	Concentrations maximales mesurées dans les sols (mg/kg)	Concentrations Maximales Admissibles dans les sols (CMA) pour les scénarios bureaux et commercial (mg/kg)		
		de 0 à 0,3 m de profondeur	au-delà de 0,3 m de profondeur	Indice de risque utilisé pour le calcul des CMA
Toluène	0,002	8	51	1
Xylènes	0,001	39	230	1
Plomb	260	760000	pvl	1
Aliphatiques C _{>12} -C ₁₆	11	2,3	14	0,0096
Aliphatiques C _{>16} -C ₃₅	990	pvl	pvl	0,865
Aromatiques C _{>16} -C ₂₁	14	16	89	0,012
Aromatiques C _{>21} -C ₃₅	130	230000	440000	0,113
Hydrocarbures totaux	3500	pvl	pvl	1

Pvl : Pas de Valeur Limite

Au regard des résultats obtenus, il ressort qu'aucun dépassement des Concentrations Maximales Admissibles n'existe pour l'ensemble des substances recherchées, les teneurs maximales mesurées dans les sols demeurant inférieures aux CMA déterminées pour les scénarios d'aménagement envisagés.

6.4.2. - Concentrations maximales admissibles dans l'air du sol

L'ensemble des résultats du calcul des CMA dans l'air du sol est listé dans le tableau suivant et comparé aux VME (Valeurs Moyennes d'Expositions) définies par l'INRS au sein du cahier « valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France » édité en 1999, ces dernières devant néanmoins être adoptées par précaution et en raison des travaux en sous-sol envisagés pour la construction des futurs bâtiments :

Substances	Concentrations maximales mesurées dans l'air du sol (mg/m ³)	Concentrations Maximales Admissibles calculées dans l'air du sol (mg/m ³)	VME (mg/m ³)	Concentrations Maximales Admissibles à prendre en compte dans l'air du sol (mg/m ³)	Indice de risque utilisé pour le calcul des CMA
Toluène	1	630	375	375	1
Xylènes	< 2	1220	435	435	1
Plomb	-	-	-	-	-
Aliphatiques C _{>12} -C ₁₆	-	14	-	14	0,0096
Aliphatiques C _{>16} -C ₃₅	-	C _{sat} (6)	-	6	0,865
Aromatiques C _{>16} -C ₂₁	-	0,7	-	0,7	0,012
Aromatiques C _{>21} -C ₃₅	-	C _{sat} (0,003)	-	0,003	0,113
Hydrocarbures totaux	340	C _{sat}	500	500	1

C_{sat} : Concentration de saturation dans l'air du sol

Au regard des résultats obtenus, il ressort qu'aucun dépassement des Concentrations Maximales Admissibles n'existe pour l'ensemble des substances recherchées, les teneurs maximales mesurées dans l'air du sol demeurant inférieures aux CMA déterminées pour les scénarios d'aménagement envisagés.

7. - Conclusions et recommandations

Dans la perspective d'un futur projet de réaménagement d'une partie du quartier des docks Vauban (ou Ilot Vauban) à la fois en commerces et bureaux, une évaluation détaillée des risques sanitaires liés à la présence, dans le sous-sol, de substances polluantes (hydrocarbures et métaux lourds) a été réalisée.

Cette évaluation a été menée sur la base d'un diagnostic complet du site (sondages de reconnaissance du sous-sol accompagnés d'analyses d'échantillons sélectionnés de sols, d'air du sol et d'eaux souterraines au laboratoire) complété par un diagnostic approfondi.

7.1. - Résultats des diagnostics

Les diagnostics de l'état du sous-sol du site (diagnostic initial et diagnostic approfondi) ont permis de mettre en évidence par comparaison des résultats avec les valeurs guides proposées par le Ministère chargé de l'Environnement la présence d'une première zone (partie Nord-Est du site) présentant une teneur significative en hydrocarbures au sein des sols et d'une seconde zone (partie Centrale-Ouest du site) présentant une teneur significative en plomb au sein des sols.

7.2. - Résultats de l'évaluation des risques

L'évaluation des risques sanitaires a été mise en œuvre dans le cadre d'un aménagement de type tertiaire (bureaux) et commercial (avec présence potentielle d'enfants).

Elle a permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

- absence de substances cancérigènes,
- absence de risques sanitaires potentiels liés à la présence des substances recherchées au sein des sols avec des risques non cancérigènes calculés très inférieurs aux limites tolérables (y compris lors de la prise en compte de paramètres majorants dans le cadre de l'étude des incertitudes).

7.3. - *Recommandations*

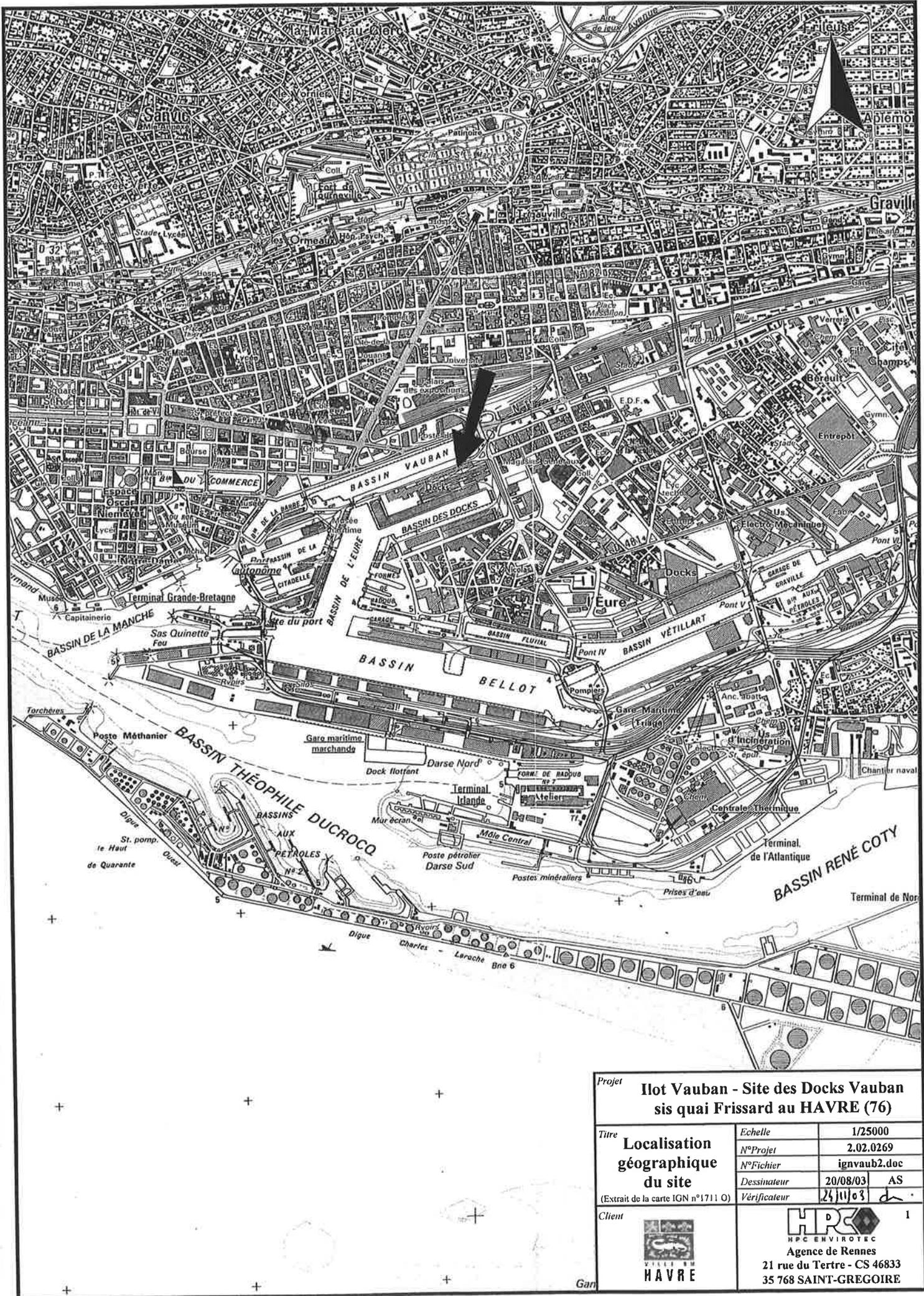
Sur la base des résultats de l'évaluation et au regard du projet d'aménagement du site tel qu'il est envisagé, nous ne recommandons pas de mesure corrective quant à la gestion des matériaux souillés par des hydrocarbures et des métaux lourds présents dans les sols.

Néanmoins, des préconisations sont à considérées dans les situations suivantes :

- Cas de travaux en sous-sol dans les zones reconnues souillées :
 - assurer la protection des travailleurs susceptibles d'être directement exposés aux matériaux souillés (information, port d'équipements de protection individuelle adaptés tels que masques, combinaisons et gants),
 - assurer la gestion des matériaux souillés et notamment leur acheminement vers des exutoires adaptés dans le cadre de travaux d'excavation nécessaires à l'aboutissement du projet d'aménagement.
- Cas d'un changement d'orientation dans le projet d'aménagement (usage plus sensible que celui défini initialement), réalisation d'une nouvelle quantification des risques sanitaires liés à la présence des matériaux souillés en sous-sol et prise en compte des éventuelles mesures correctives ou conservatoires conséquentes.

Annexe 1

Présentation du terrain



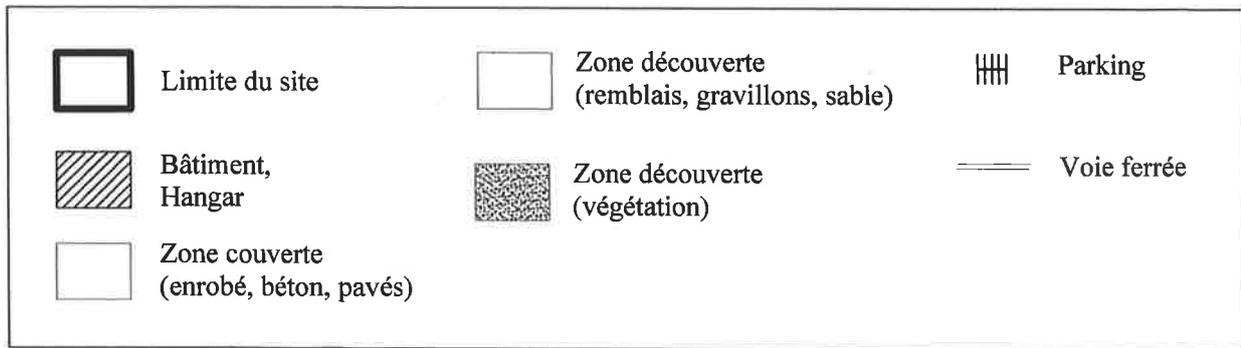
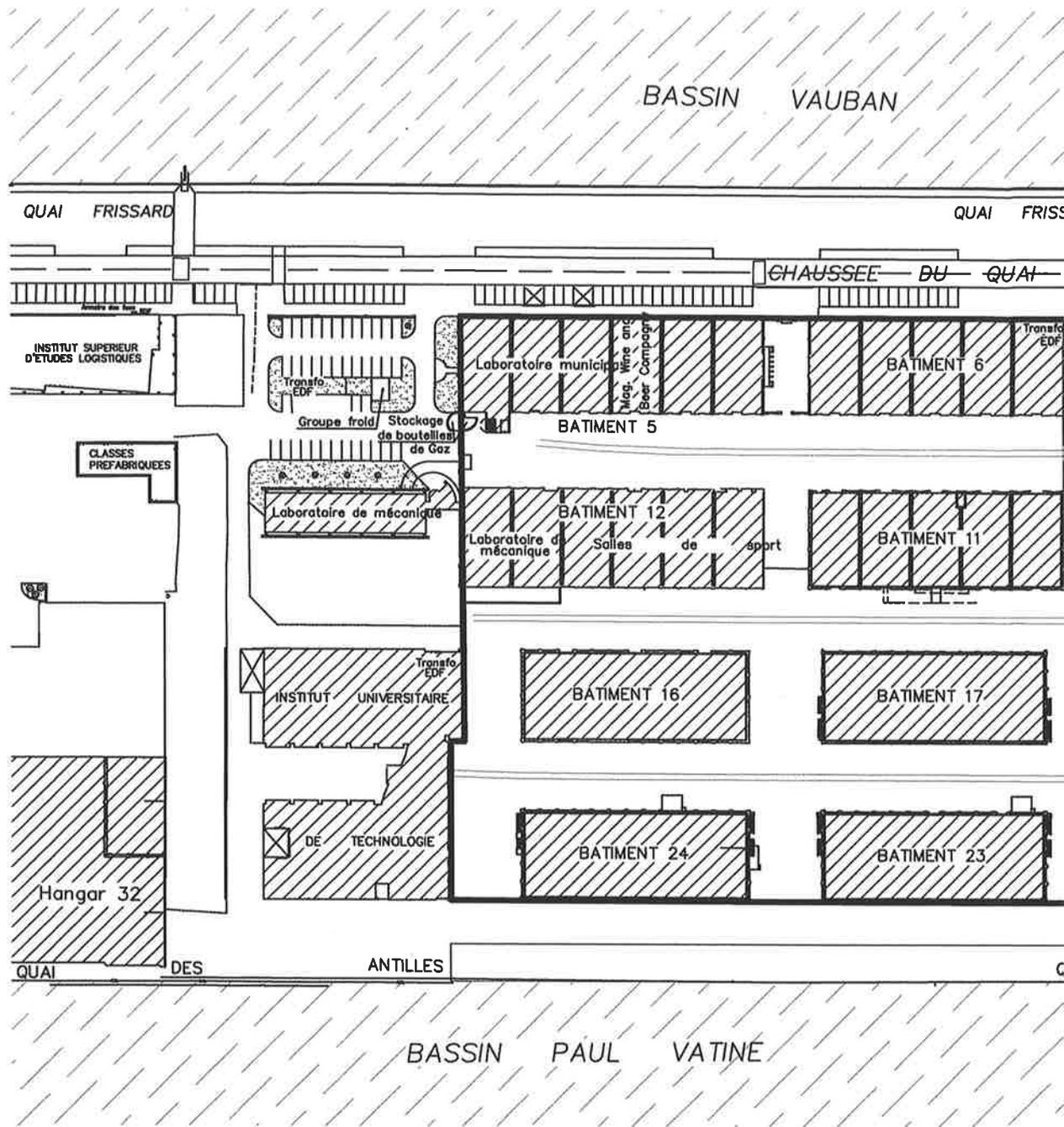
Projet **Ilot Vauban - Site des Docks Vauban sis quai Frissard au HAVRE (76)**

Titre **Localisation géographique du site**
(Extrait de la carte IGN n°1711 0)

Echelle	1/25000
N°Projet	2.02.0269
N°Fichier	ignvaub2.doc
Dessinateur	20/08/03 AS
Vérificateur	24/10/03

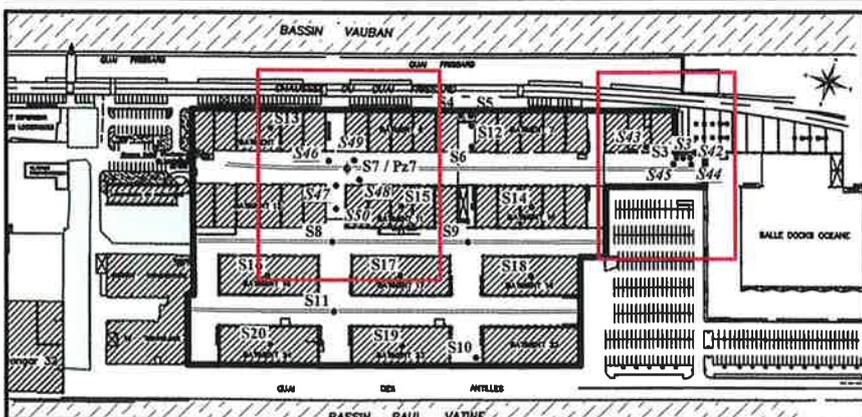
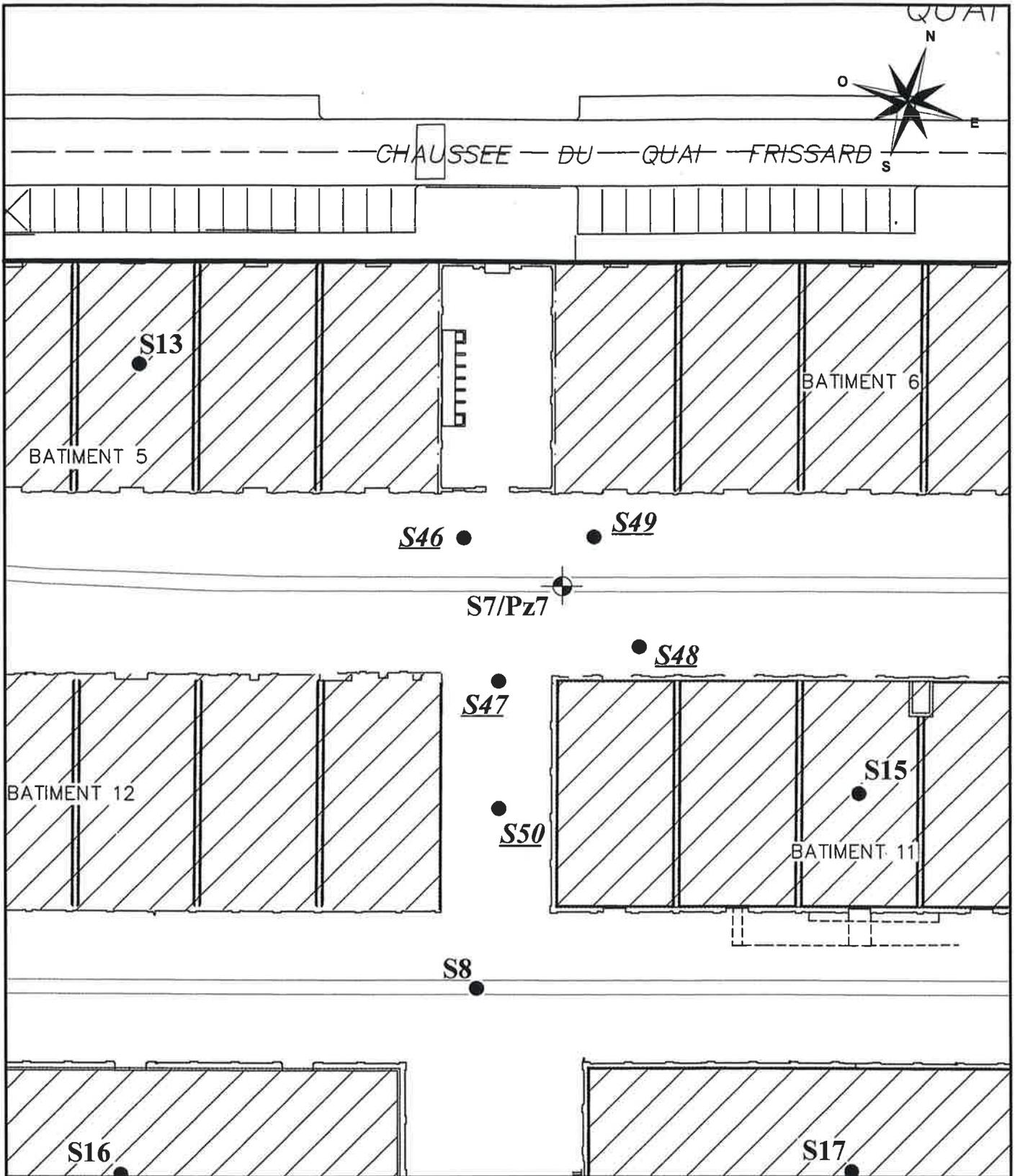
Client  **HAVRE**


HPC ENVIROTEC
 Agence de Rennes
 21 rue du Tertre - CS 46833
 35 768 SAINT-GREGOIRE



Annexe 2

Localisation des investigations de reconnaissance du sous-sol (synthèse des 2 campagnes d'investigations)



S i • Sondage carotté (Ø 100)
(Janvier 2003)

S i • Sondage carotté (Ø 100)
(Août 2003)

Pz i ♦ Piézomètre (Ø 52/60)

Annexe 3

Coupes des investigations de reconnaissance du sous-sol (coupes des 2 campagnes d'investigations)

**LEGENDE DES
COUPES DE SONDAGES**

Niveau d'eau en fin de forage :

 : Niveau d'eau (m)

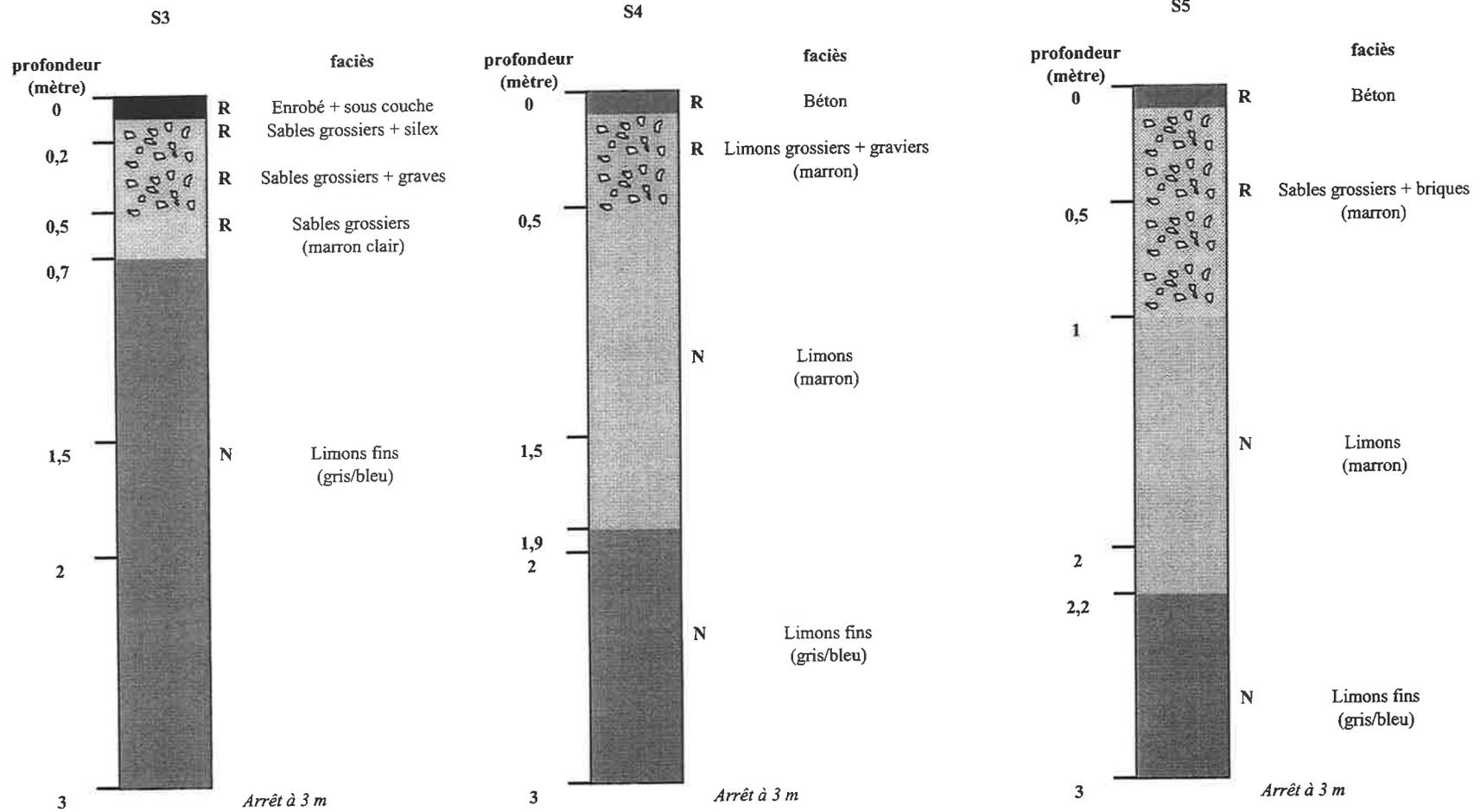
Observations organoleptiques :

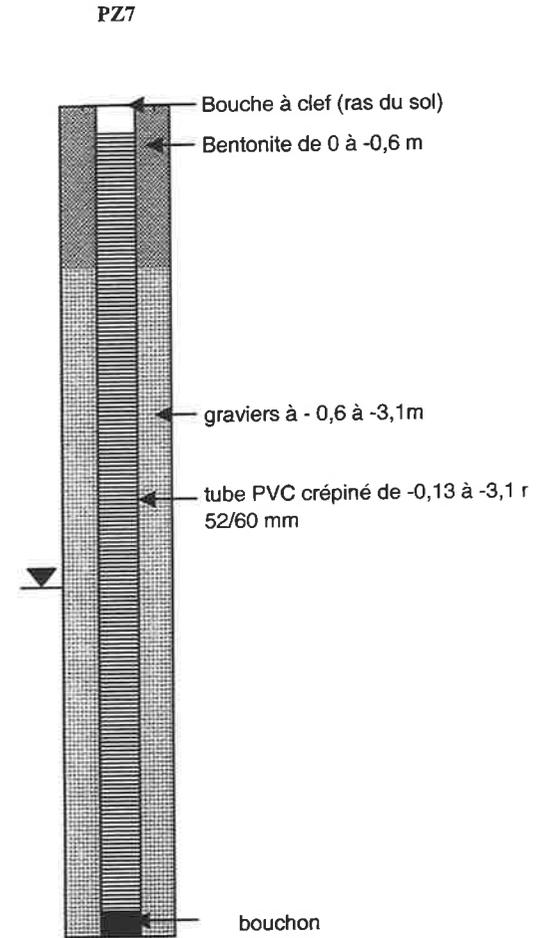
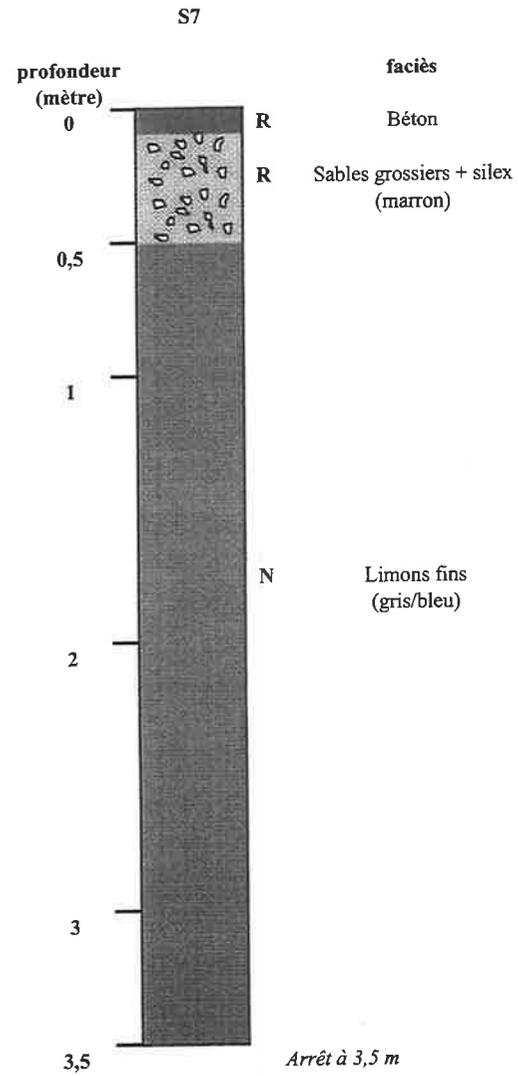
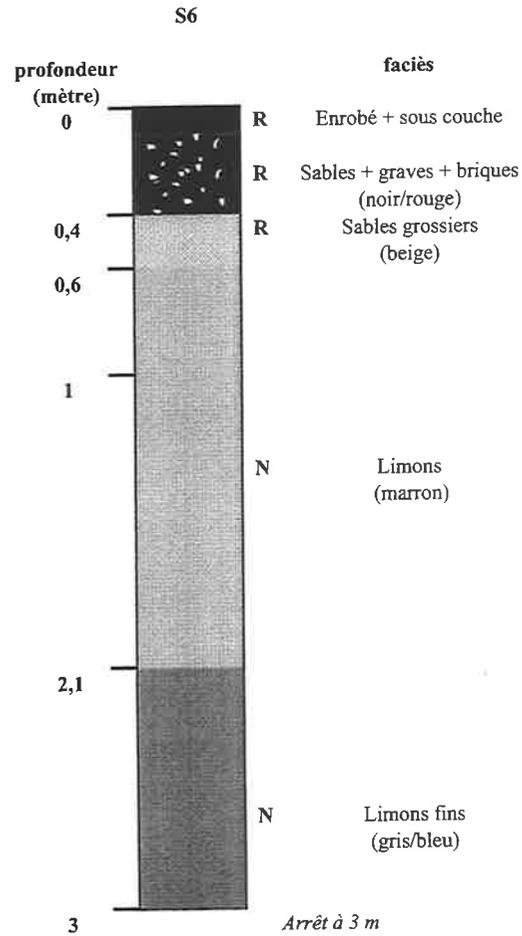
 : Odeur faible d'huile

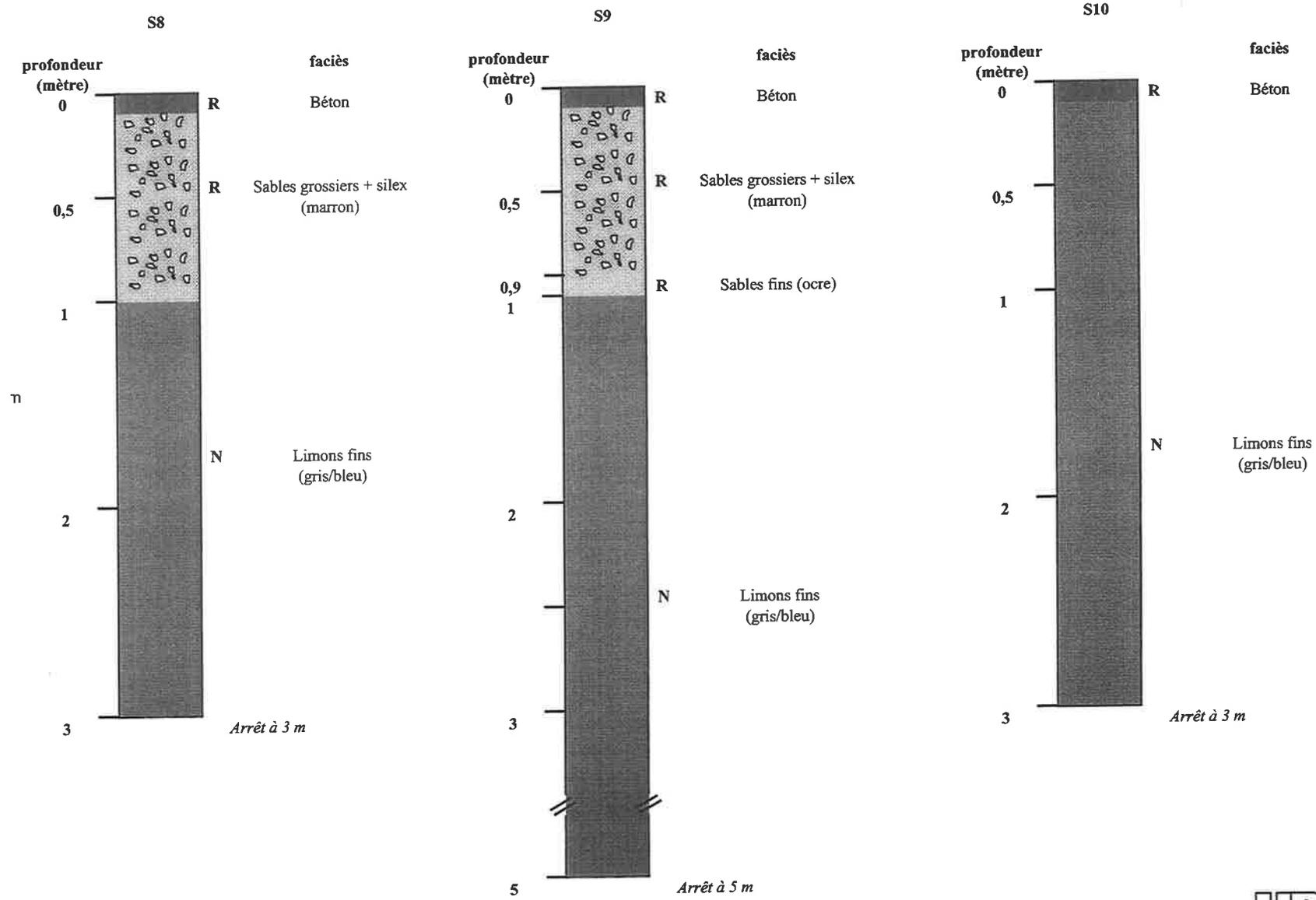
Nature des terrains :

R : Formation de remblais

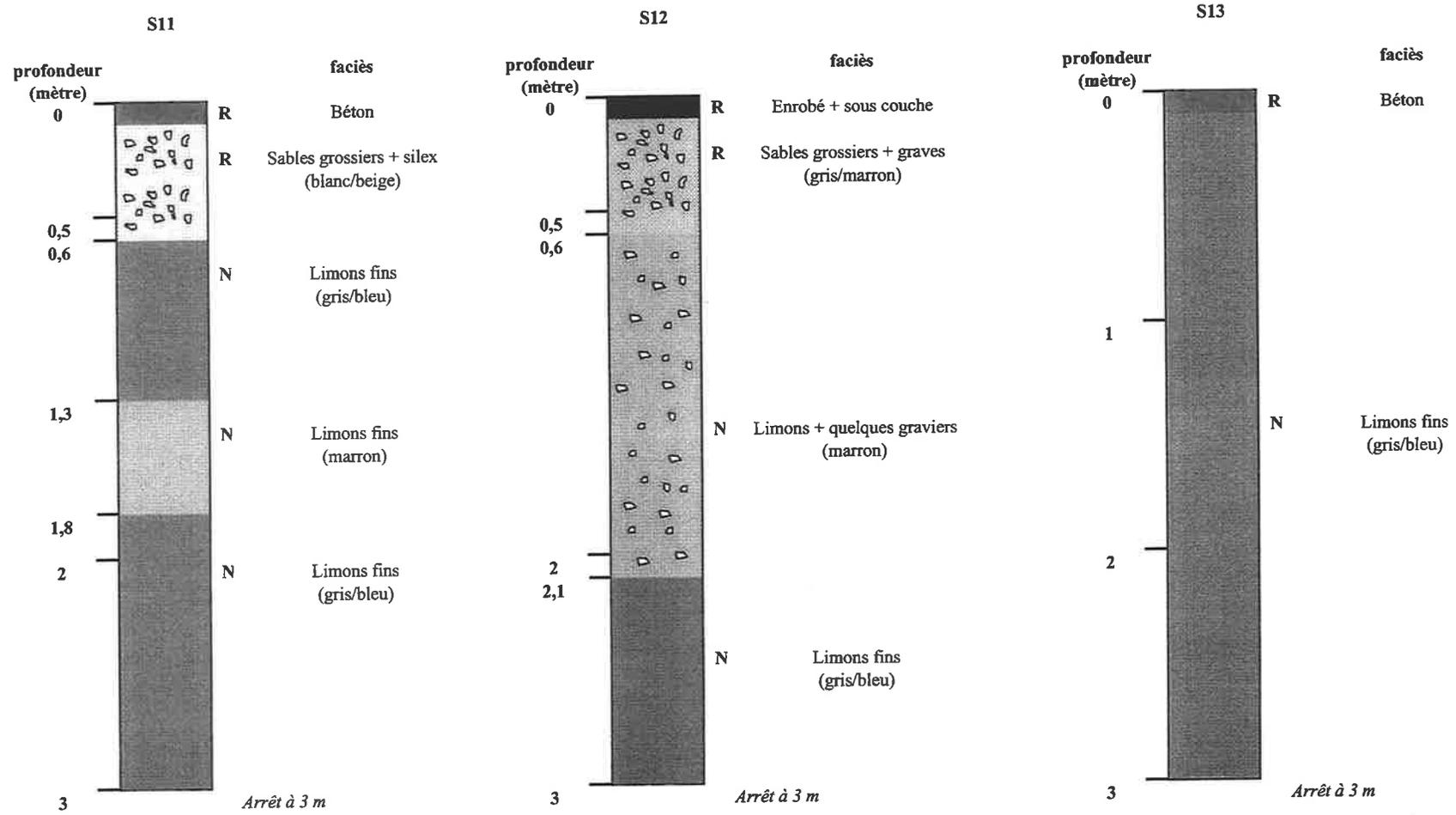
N : Terrain naturel en place

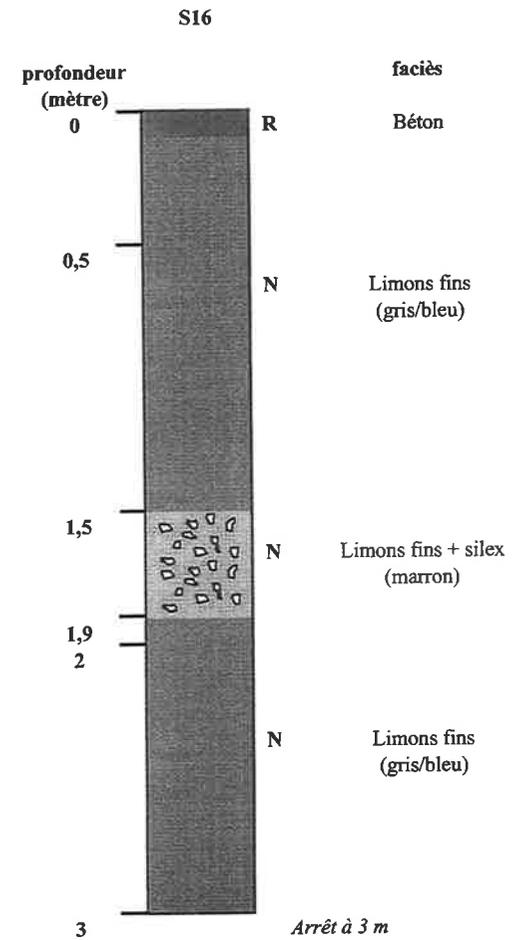
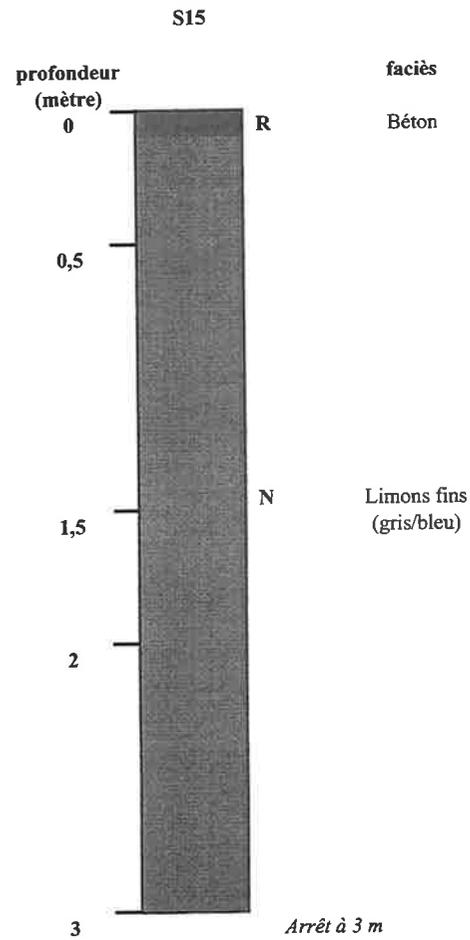
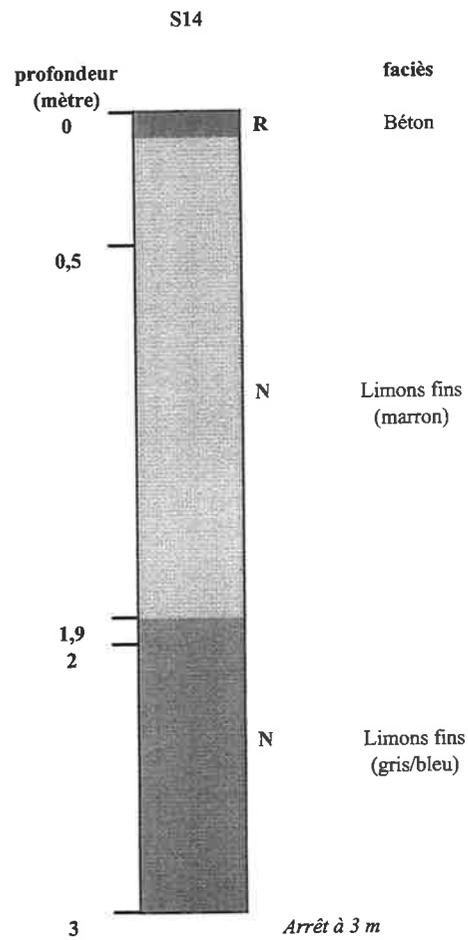


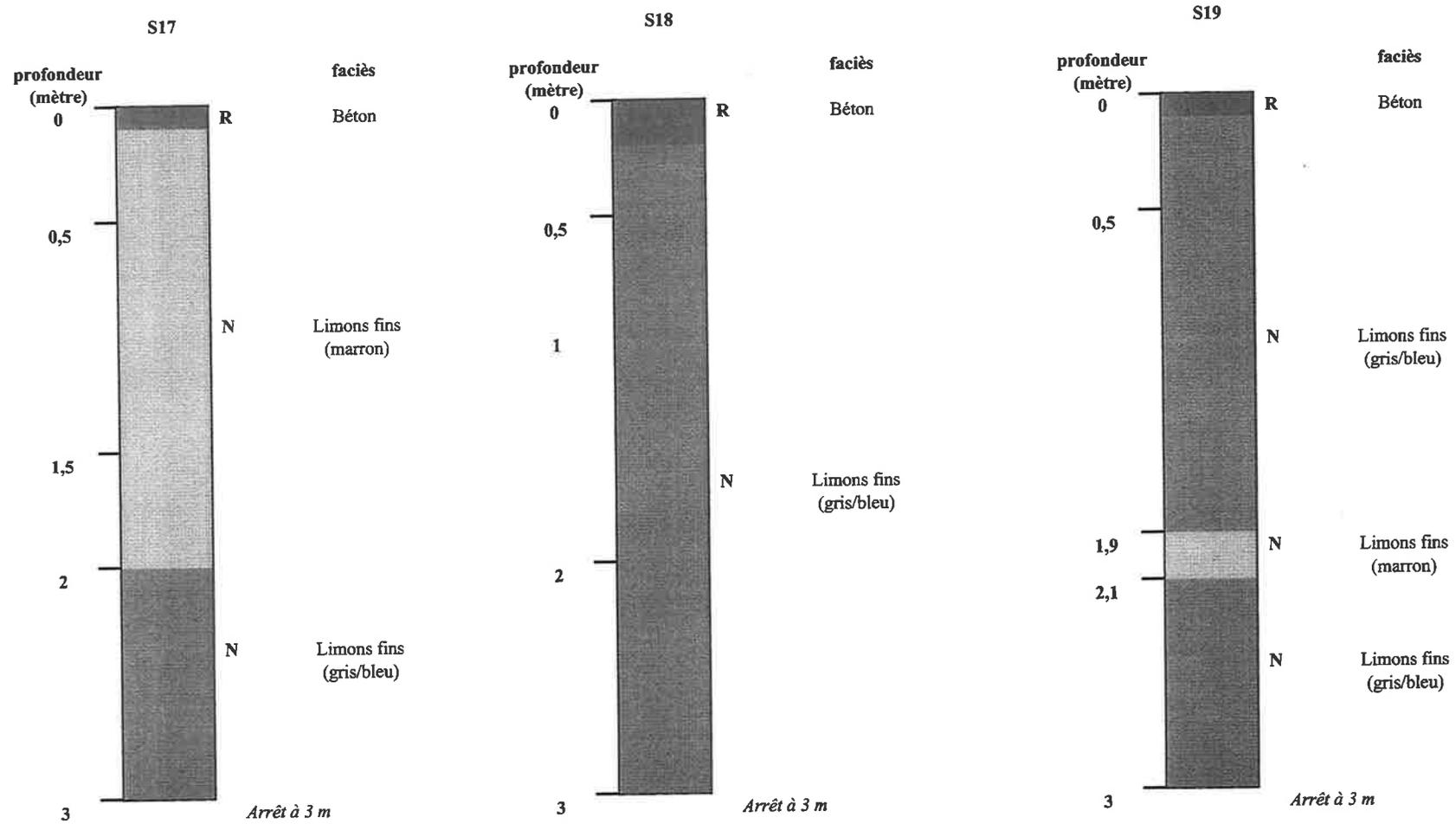


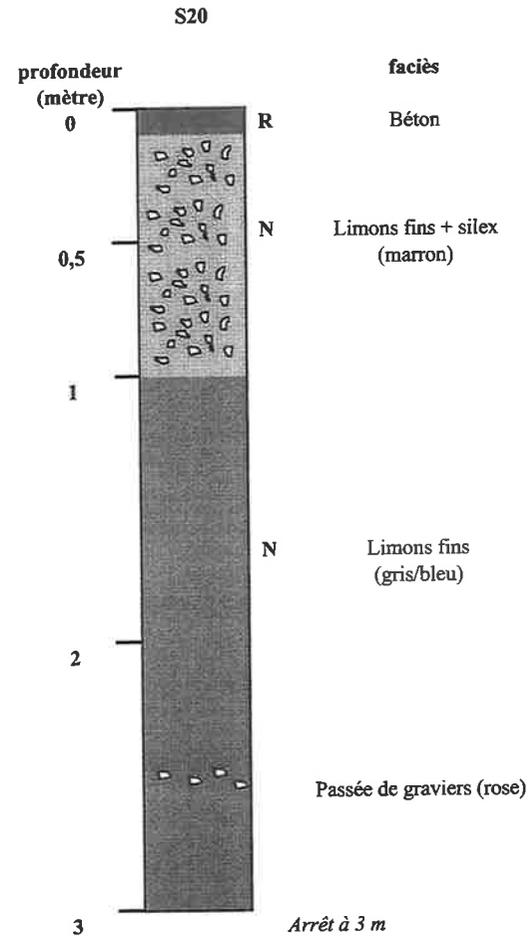


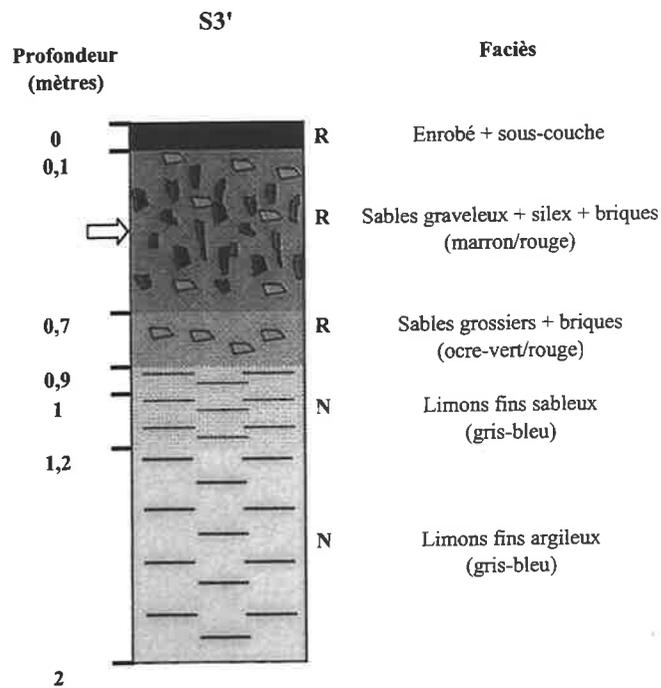
Coupes des sondages



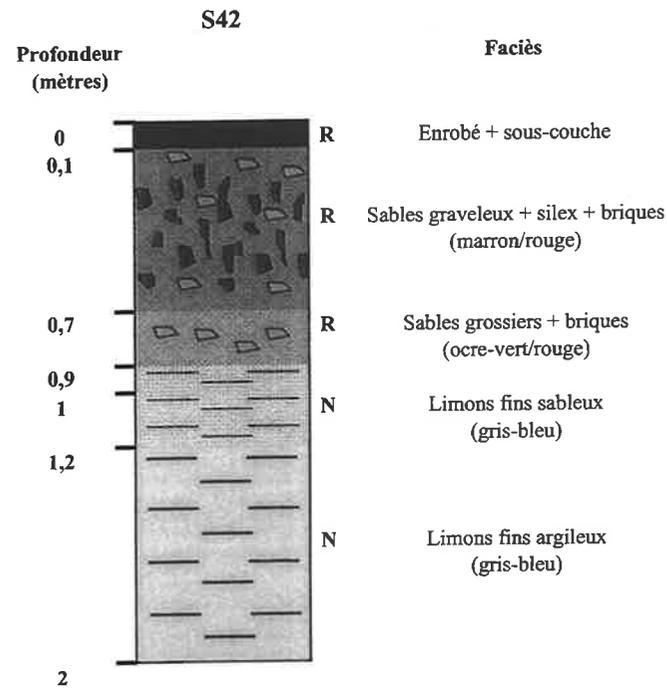




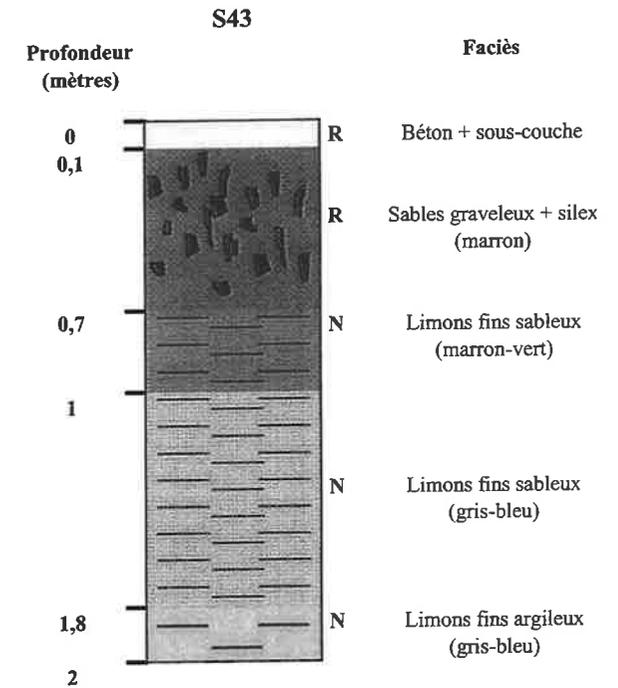




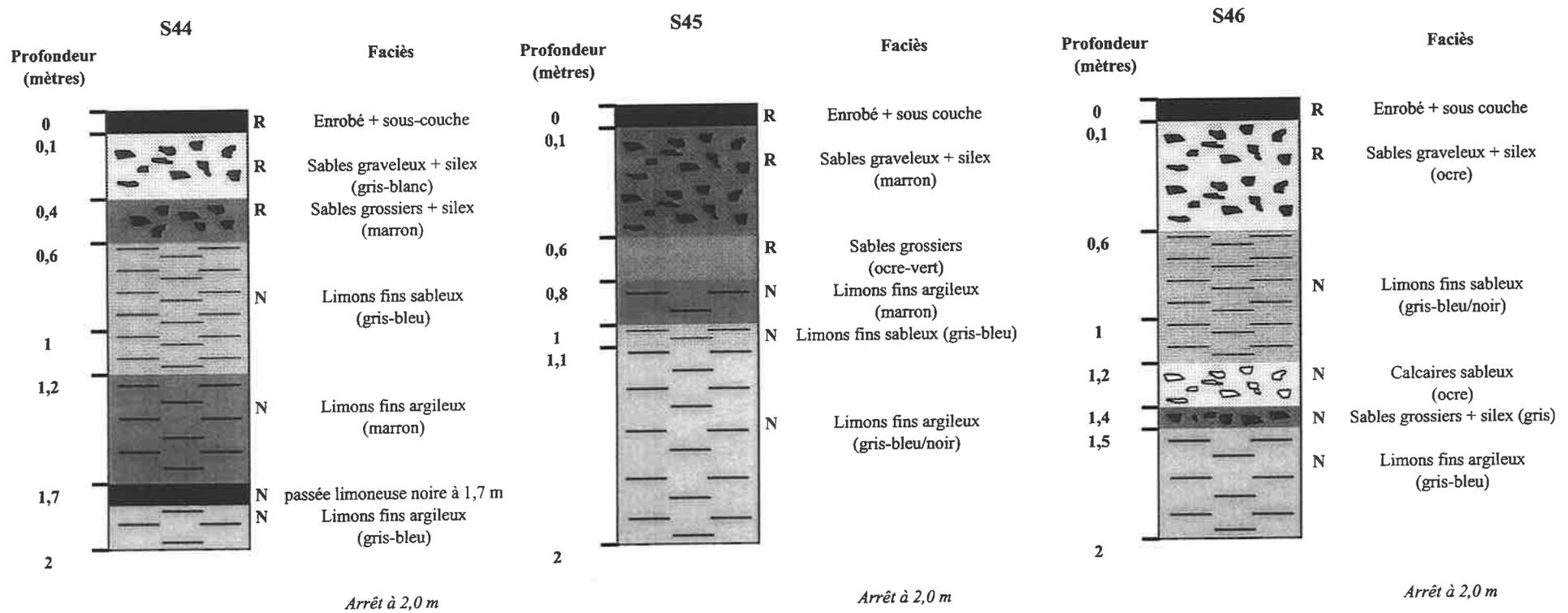
Arrêt à 2,0 m

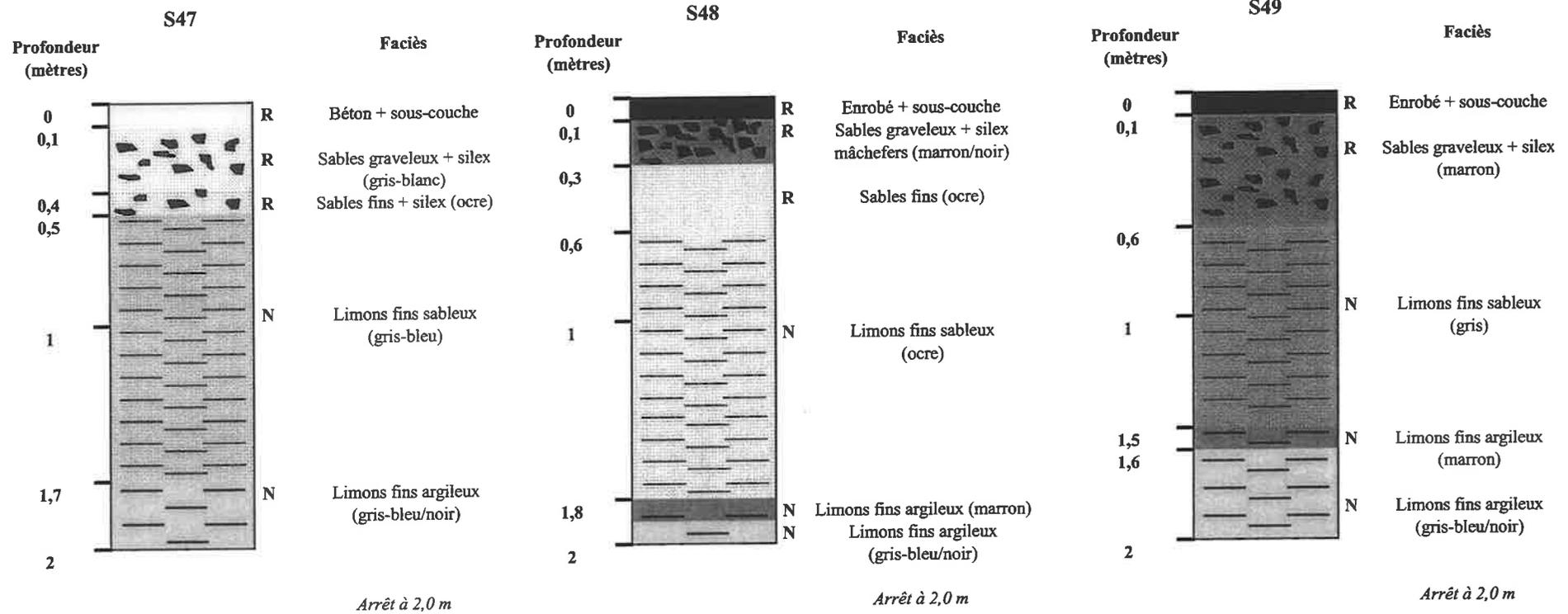


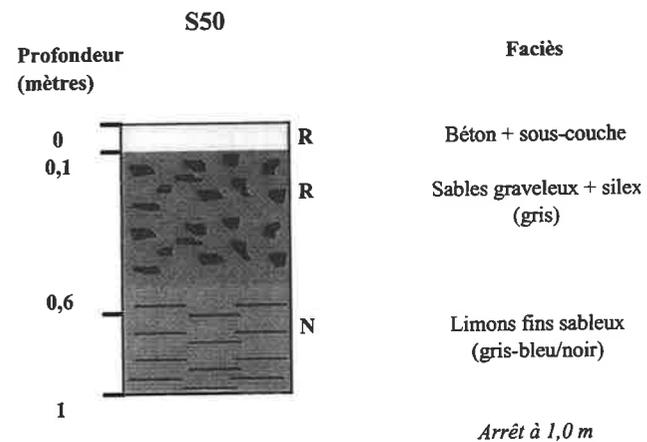
Arrêt à 2,0 m



Arrêt à 2,0 m







Annexe 4

Synthèse des résultats d'analyses au laboratoire (synthèse des 2 campagnes d'investigations)

**Synthèse des résultats d'analyses
établis sur les échantillons
des 2 campagnes d'investigations
(Janvier 2003 / août 2003)**

Synthèse des analyses des échantillons de sol (résultats sur matières sèches)

⇒ Hydrocarbures totaux (mg/kg) :

✓ Janvier 2003 :

Échantillons	S3	S5	S6	S9	S10	VDSS	VCI <i>sens.</i>	VCI <i>non sens.</i>
Profondeur (m)	0,05-2,00	0,1-2,0	0,1-2,0	0,05-2,00	0,1-2,0			
Hydroc. totaux	3.500	14	710	16	8	2.500	5.000	25.000

Échantillons	S12	S13	S14	S17	S20	VDSS	VCI <i>sens.</i>	VCI <i>non sens.</i>
Profondeur (m)	0,1-2,0	0,05-2,00	0,1-2,0	0,05-2,00	0,1-2,0			
Hydroc. totaux	11	2	2	6	1	2.500	5.000	25.000

✓ Août 2003 :

Échantillons	S42	S43	S44	S45	S3'	VDSS	VCI <i>sens.</i>	VCI <i>non sens.</i>
Profondeur (m)	0,1-2,0	0,1-2,0	0,1-2,0	0,1-2,0	0,05-2,0			
Hydroc. totaux	110	< 1	26	180	700	2.500	5.000	25.000

⇒ Hydrocarbures aliphatiques (mg/kg) - coupes pétrolières :

✓ Août 2003 :

Échantillon	S3'
Profondeur (m)	0,05-2,0
C5 - C6	< 5
C6 à C8	< 10
C8 à C10	< 10
C10 à C12	< 10
C12 à C16	11
C16 à C21	190
C21 à C35	800
TOTAL	1001

⇒ Hydrocarbures aromatiques (mg/kg) - coupes pétrolières :

✓ Août 2003 :

Échantillon	S3'
Profondeur (m)	0,05-2,0
C5 à C7	< 10
C7 à C8	< 10
C8 à C10	< 10
C10 à C12	< 10
C12 à C16	< 10
C16 à C21	14
C21 à C35	130
TOTAL	144

⇒ Métaux lourds (mg/kg) :

✓ Janvier 2003 :

Échantillons	S5	S6	S7	VDSS	VCI <i>sens.</i>	VCI <i>non sens.</i>
Profondeur (m)	0,1-1,0	0,1-0,6	0,05-0,50			
Arsenic	6,9	8,1	4,2	19	37	120
Plomb	84	52	270	200	400	2000
Cadmium	<0,2	<0,2	<0,2	10	20	60
Chrome	23	18	16	65	130	7000
Cuivre	42	79	32	95	190	950
Nickel	17	39	19	70	140	900
Mercure	0,1	0,1	0,1	3,5	7	600
Zinc	100	160	280	4.500	9.000	-

✓ Août 2003 :

Échantillons	S46	S47	S48	S49	S50	VDSS	VCI <i>sens.</i>	VCI <i>non sens.</i>
Profondeur (m)	0,1-0,6	0,1-0,4	0,1-0,3	0,1-0,6	0,1-0,6			
Arsenic	2,6	8,2	13	9,1	7,1	19	37	120
Plomb	8	260	64	26	170	200	400	2000
Cadmium	0,8	0,9	0,6	0,6	1,0	10	20	60
Chrome	7	18	12	12	14	65	130	7000
Cuivre	10	34	34	51	48	95	190	950
Nickel	4	12	11	5	22	70	140	900
Mercure	0,2	0,4	0,1	0,4	0,5	3,5	7	600
Zinc	33	420	120	56	360	4.500	9.000	-

⇒ Polychlorobiphényles (mg/kg) :

✓ Janvier 2003 :

Échantillons	S4	S5
Profondeur (m)	0,1-2,0	0,1-2,0
PCB 28	< 0,025	< 0,025
PCB 52		
PCB 101		
PCB 138		
PCB 153		
PCB 180		
TOTAL	< 0,15	< 0,15

⇒ Composés organo-volatils (mg/kg) :

✓ Janvier 2003 :

Échantillon	S12	VDSS	VCI <i>sens.</i>	VCI <i>non sens.</i>
Profondeur (m)	0,1-2,0			
Acétone	< 0,05	-	-	-
2-Butanone	< 0,01	-	-	-
4-Méthyl-2-pentanone		-	-	-
Acétate d'éthyle		-	-	-
Acétates de butyle		-	-	-
Tétrahydrofurane		-	-	-
n-Hexane	< 0,001	-	-	-
n-Octane		-	-	-
n-Nonane		-	-	-
n-Décane		-	-	-
n-Undécane		-	-	-
Benzène		1	2,5	-
Toluène		5	10	120
Xylènes totaux		5	10	100
Ethylbenzène		25	50	250
Styrène		50	100	500
Cumène		-	-	-
n-Propylbenzène		-	-	-
4-Ethyltoluène		-	-	-
1,3,5 triméthylbenzènes	-	-	-	
1,2,4 triméthylbenzènes	-	-	-	
1,2,3 triméthylbenzènes	-	-	-	
Σ Solvants chlorés (10)	< 0,022	-	-	-

✓ Août 2003 :

Échantillon	S42	VDSS	VCI <i>sens.</i>	VCI <i>non sens.</i>
Profondeur (m)	0,1-2,0			
Acétone	< 0,05	-	-	-
2-Butanone	< 0,01	-	-	-
4-Méthyl-2-pentanone		-	-	-
Acétate d'éthyle		-	-	-
Acétates de butyle		-	-	-
Tétrahydrofurane		-	-	-
n-Hexane	< 0,001	-	-	-
n-Octane		-	-	-
n-Nonane		-	-	-
n-Décane		-	-	-
n-Undécane		-	-	-
Benzène		1	2,5	-
Toluène	2	5	10	120
Xylènes totaux	1	5	10	100
Ethylbenzène	< 1	25	50	250
Styrène		50	100	500
Cumène		-	-	-
n-Propylbenzène		-	-	-
4-Ethyltoluène		-	-	-
1,3,5 triméthylbenzènes		-	-	-
1,2,4 triméthylbenzènes		-	-	-
1,2,3 triméthylbenzènes		-	-	-
Σ Solvants chlorés (10)		< 0,022	-	-

⇒ Composés organiques totaux (mg/kg) :

✓ Août 2003 :

Échantillon	S42
Profondeur (m)	0,1-2,0
COT	8.000

⇒ Hydrocarbures aromatiques polycycliques (mg/kg) :

✓ Janvier 2003 :

Échantillons	S6	S10	S12	VDSS	VCI <i>sens.</i>	VCI <i>non sens.</i>
Profondeur (m)	0,1-2,0	0,1-2,0	0,1-2,0			
Naphtalène	< 0,05	< 0,05	< 0,05	23	46	-
Acénaphthylène				-	-	-
Acénaphène				-	-	-
Fluorène				-	-	-
Phénanthrène	0,14		-	-	-	-
Anthracène	< 0,05		-	-	-	-
Fluoranthène	0,09		0,13	3050	6100	-
Pyrène	0,11		< 0,05	-	-	-
Benzo(a)anthracène	0,05		0,05	7	13,9	252
Chrysène	0,06		0,05	5.175	10.350	25.200
Benzo(b)fluoranthène	0,11		0,08	-	-	-
Benzo(k)fluoranthène	< 0,05		< 0,05	450	900	2.520
Benzo(a)pyrène	0,07		< 0,05	3,5	7	25
Indeno(1,2,3,c,d)pyrène	0,08		0,05	8	16,1	252
Dibenzo(a,h)anthracène	< 0,05		< 0,05	-	-	-
Benzo(g,h,I)perylène	0,09		< 0,05	-	-	-
Σ HAP (16)	0,8	< 0,8	0,36	-	-	-

✓ Août 2003 :

Échantillon	S42	VDSS	VCI <i>sens.</i>	VCI <i>non sens.</i>
Profondeur (m)	0,1-2,0			
Naphtalène	< 0,05	23	46	-
Acénaphthylène		-	-	-
Acénaphène		-	-	-
Fluorène		-	-	-
Phénanthrène	0,11	-	-	-
Anthracène	< 0,05	-	-	-
Fluoranthène	0,51	3050	6100	-
Pyrène	0,38	-	-	-
Benzo(a)anthracène	0,10	7	13,9	252
Chrysène	0,10	5.175	10.350	25.200
Benzo(b)fluoranthène	0,19	-	-	-
Benzo(k)fluoranthène	0,09	450	900	2.520
Benzo(a)pyrène	0,30	3,5	7	25
Indeno(1,2,3,c,d)pyrène	0,10	8	16,1	252
Dibenzo(a,h)anthracène	< 0,05	-	-	-
Benzo(g,h,I)perylène	0,11	-	-	-
Σ HAP (16)	1,99	-	-	-

Synthèse des analyses des échantillons d'air du sol

⇒ Composés organiques volatils (mg/m³) :

✓ Janvier 2003 :

Echantillon	AS12	VME (mg/m ³)	VLE (mg/m ³)	
Profondeur (m)	1,0			
Acétone	< 1	1800	-	
2-Butanone		600	-	
4-Méthyl-2-pentanone		205	-	
Acétate d'éthyle		1400	-	
Acétate de butyle		710	940	
Tétrahydrofurane		590	-	
n-Hexane		170	-	
n-Octane		1450	-	
n-Nonane		1050	-	
n-Décane		-	-	
n-Undécane		-	-	
Benzène		16	-	
Toluène		1	375	550
Ethylbenzène		< 1	435	-
Xylènes totaux	< 2	435	650	
Styrène	< 1	215	-	
n-Propylbenzène		-	-	
Mésitylène		-	-	
Triméthylbenzènes	< 2	125	-	
Cumène	< 1	245	-	
4-Ethyltoluène		-	-	
1,2-Dichloroéthylène, trans		-	-	
1,2-Dichloroéthylène, cis		-	-	
Dichlorométhane		180	350	
1,1,1-Trichloroéthane		1650	2500	
Tétrachlorométhane		12	60	
Trichlorométhane		25	250	
Trichloroéthylène		405	1080	
Tétrachloroéthylène		335	-	

✓ Août 2003 :

Échantillon	AS42	VME (mg/m ³)	VLE (mg/m ³)
Profondeur (m)	1,0		
Acétone	< 0,5	1800	-
2-Butanone		600	-
4-Méthyl-2-pentanone		205	-
Acétate d'éthyle		1400	-
Acétate de butyle		710	940
Tétrahydrofurane		590	-
n-Hexane		170	-
n-Octane		1450	-
n-Nonane		1050	-
n-Décane		-	-
n-Undénane		-	-
Benzène		16	-
Toluène		375	550
Ethylbenzène		435	-
Xylènes totaux		< 1	435
Styrène	< 0,5	215	-
n-Propylbenzène		-	-
Mésitylène		-	-
Triméthylbenzènes	< 1	125	-
Cumène	< 0,5	245	-
4-Ethyltoluène		-	-
1,2-Dichloroéthylène, trans		-	-
1,2-Dichloroéthylène, cis		-	-
Dichlorométhane		180	350
1,1,1-Trichloroéthane		1650	2500
Tétrachlorométhane		12	60
Trichlorométhane		25	250
Trichloroéthylène		405	1080
Tétrachloroéthylène		335	-

⇒ Hydrocarbures totaux (mg/m³) :

✓ Janvier 2003 :

Échantillons	AS6	AS12	VME	VME
Profondeur (m)	1,0	1,0		
Hydroc. totaux	340	-	500	1.500

✓ Août 2003 :

Échantillon	AS42	VME	VME
Profondeur (m)	1,0		
Hydroc. totaux	27	500	1.500

Synthèse des analyses des échantillons d'eaux souterraines

⇒ **pH :**

✓ Janvier 2003 :

Échantillon	Pz7
pH	7,60

⇒ **Hydrocarbures totaux (mg/l) :**

✓ Janvier 2003 :

Échantillon	Pz7	VCI <i>sens.</i>	VCI <i>non sens.</i>
Hydroc. totaux	0,05	0,01	1

⇒ **Métaux lourds (mg/l) :**

✓ Janvier 2003 :

Échantillon	Pz7	VCI <i>sens.</i>	VCI <i>non sens.</i>
Arsenic	0,008	0,01	0,1
Plomb	< 0,02	0,025	0,125
Cadmium	< 0,003	0,005	0,025
Chrome	< 0,005	0,05	0,25
Cuivre	< 0,005	2	4
Nickel	< 0,005	0,02	0,1
Mercure	< 0,0001	0,001	0,005
Zinc	0,010	3	6

⇒ Composés organo-volatils (mg/l) :

✓ Janvier 2003 :

Échantillon	Pz7	VCI <i>sens.</i>	VCI <i>non sens.</i>
Acétone	< 0,05	-	-
2-Butanone	< 0,01	-	-
4-Méthyl-2-pentanone		-	-
Acétate d'éthyle		-	-
Acétates de butyle		-	-
Tétrahydrofurane		-	-
n-Hexane	< 0,001	-	-
n-Octane	< 0,005	-	-
n-Nonane		-	-
n-Décane		-	-
n-Undécane	< 0,01	-	-
Benzène	< 0,001	0,001	0,005
Toluène		0,7	3,5
Xylènes totaux		0,5	2,5
Ethylbenzène		0,3	1,5
Styrène		0,02	0,1
Cumène		-	-
n-Propylbenzène		-	-
4-Ethyltoluène		-	-
1,3,5 triméthylbenzènes		-	-
1,2,4 triméthylbenzènes		-	-
1,2,3 triméthylbenzènes	-	-	
Σ Solvants chlorés (10)	< 0,022	-	-

Annexe 5

Bulletins d'analyses des échantillons au laboratoire

Chef de projet **Ruch, Edith**

Projet **2019303**

Fin d'analyse: **01.09.2003**

Lab.# **310492**

Analyse du sol

Projet : V.D.H. 2020269
 Demandeur : HPC Envirotec s.a.
 Lieu : Le Havre
 Chef de projet : Langlois, François
 Date de prélèvement : 07.08.2003
 Arrivée : 27.08.2003

INNOLAB GMBH
 Nördlinger Str. 2
 86655 Harburg / Schwaben
 Germany
 Phone ++49-(0)9080-
 999274

Parametre	S 42 (0,1- 2,0m)	S 43 (0,1- 2,0m)	S 44 (0,1- 2,0m)	S 45 (0,1- 2,0m)	Méthode	Limite de Unité détection
Hydrocarbures totaux	110	nd	26	180	NF T 90-114	1 mg/kg

na : non analysé
 N/nd : non détecté

Chef de projet **Ruch, Edith**

Projet **2019303**

Fin d'analyse: **05.09.2003**

Lab.# **310754**

Analyse du sol

Projet : V.D.H. 2020269
 Demandeur : HPC Envirotec s.a.
 Lieu : Le Havre
 Chef de projet : Langlois, François
 Date de prélèvement : 31.01.2003
 Arrivée : 03.09.2003

INNOLAB GMBH
 Nördlinger Str. 2
 86655 Harburg / Schwaben
 Germany
 Phone ++49-(0)9080-
 999274

Parametre	S 3' (0,05-2,0)	Méthode	Limite de Unité détection
Hydrocarbures totaux <i>Diesel</i>	700	NF T 90-114	1 mg/kg

na : non analysé
 N/nd : non détecté

Chef de projet **Ruch, Edith**

Projet **2019303**

Fin d'analyse: **26.08.2003**

Lab.# **310013**

Analyse du sol

Projet : V.D.H. 2020269
Demandeur : HPC Envirotec s.a.
Lieu : Le Havre
Chef de projet : Langlois, François
Date de prélèvement : 31.01.2003
Arrivée : 19.08.2003

INNOLAB GMBH
Nördlinger Str. 2
86655 Harburg / Schwaben
Germany
Phone ++49-(0)9080-
999274

Parametre	S 3' (0,05-2,0)	Méthode	Limite de Unité détection
TPH - Aliphatic and Aromatic Fractions:			
C5 to C35 Aliphatics			
C5 - C6 Aliphatics	nd	ISO CD 16703	5 mg/kg
C6 et >C6 de C8	nd	GC-FID (3/2/98)	10 mg/kg
>C8 de C 10	nd		10 mg/kg
>C10 de C12	nd		10 mg/kg
>C12 de C16	11		10 mg/kg
>C16 de C21	190		10 mg/kg
>C21 de C35	800		10 mg/kg
Aliphatics total	1001		mg/kg
C5 to C35 Aromatics			
>C5 de C7 (Benzenes)	nd		10 mg/kg
>C7 de C8 (Toluene)	nd		10 mg/kg
>C8 de C10	nd		10 mg/kg
>C10 de C12	nd		10 mg/kg
>C12 de C16	nd		10 mg/kg
>C16 de C21	14		10 mg/kg
>C21 de C35	130		10 mg/kg
Aromatics total	144		mg/kg

na : non analysé
N/nd : non détecté

Chef de projet **Ruch, Edith**

Projet **2019303** Fin d'analyse: **22.08.2003**

Lab.# **310219**

Analyse du sol

Projet : V.D.H. 2020269
Demandeur : HPC Envirotec s.a.
Lieu : Le Havre
Chef de projet : Langlois, François
Date de prélèvement : 07.08.2003
Arrivée : 20.08.2003

INNOLAB GMBH
Nördlinger Str. 2
86655 Harburg / Schwaben
Germany
Phone ++49-(0)9080-
999274

Parametre	S 46 (0,1- 0,6)	S 47 (0,1- 0,4)	S 48 (0,1- 0,3)	S 49 (0,1- 0,6)	Méthode	Limite de Unité détection
8 Métaux						
Arsenic	2,6	8,2	13	9,1	EN ISO 11969 D18	0,5 mg/kg
Plomb	8	260	64	26	EN ISO 11885	5 mg/kg
Cadmium	0,8	0,9	0,6	0,6	EN ISO 11885	0,2 mg/kg
Chrome	7	18	12	12	EN ISO 11885	3 mg/kg
Cuivre	10	34	34	51	EN ISO 11885	3 mg/kg
Nickel	4	12	11	5	EN ISO 11885	3 mg/kg
Mercure	0,2	0,4	0,1	0,4	EN 1483	0,1 mg/kg
Zinc	33	420	120	56	NF T 90-112	3 mg/kg

na : non analysé
N/nd : non détecté

Chef de projet **Ruch, Edith**

Projet **2019303**

Fin d'analyse: **03.09.2003**

Lab.# **310516**

Analyse du sol

Projet : V.D.H. 2020269
 Demandeur : HPC Envirotec s.a.
 Lieu : Le Havre
 Chef de projet : Langlois, François
 Date de prélèvement : 07.08.2003
 Arrivée : 27.08.2003

INNOLAB GMBH
 Nördlinger Str. 2
 86655 Harburg / Schwaben
 Germany
 Phone ++49-(0)9080-
 999274

Parametre	S 50 (0,1-0,6m)	Méthode	Limite de Unité détection
Arsenic	7,1	EN ISO 11969 D18	0,5 mg/kg
Plomb	170	EN ISO 11885	5 mg/kg
Nickel	22	EN ISO 11885	3 mg/kg
Cuivre	48	EN ISO 11885	3 mg/kg
Chrome	14	EN ISO 11885	3 mg/kg
Mercure	0,5	EN 1483	0,1 mg/kg
Zinc	360	NF T 90-112	3 mg/kg
Cadmium	1,0	EN ISO 11885	0,2 mg/kg

na : non analysé
 N/nd : non détecté

Chef de projet **Ruch, Edith**

Projet **2019303**

Fin d'analyse: **01.09.2003**

Lab.# **310495**

Analyse du sol

Projet : V.D.H. 2020269
Demandeur : HPC Envirotec s.a.
Lieu : Le Havre
Chef de projet : Langlois, François
Date de prélèvement : 07.08.2003
Arrivée : 27.08.2003

INNOLAB GMBH
Nördlinger Str. 2
86655 Harburg / Schwaben
Germany
Phone ++49-(0)9080-
999274

Parametre	S 42 (0,1-2,0m)	Méthode	Limite de Unité détection
VOC			
Acétone	nd	NF T 90-125	50 µg/kg
2-Butanone	nd		10 µg/kg
4-Méthyl-2-pentanone	nd		10 µg/kg
Acétate d'éthyle	nd		10 µg/kg
Acétates de butyle	nd		10 µg/kg
Tétrahydrofurane	nd		10 µg/kg
n-Hexane	nd	GC-MS (HS)	1 µg/kg
n-Octane	nd		1 µg/kg
n-Nonane	nd		1 µg/kg
n-Décane	nd		1 µg/kg
n-Undécane	nd		1 µg/kg
Benzène	nd		1 µg/kg
Toluene	2		1 µg/kg
m,p-Xylènes	1		1 µg/kg
o-Xylène	nd		1 µg/kg
Éthylbenzène	nd		1 µg/kg
Styrène	nd		1 µg/kg
n-Propylbenzène	nd		1 µg/kg
Cumène	nd		1 µg/kg
1,3,5-Triméthylbenzènes	nd		1 µg/kg
1,2,4-Triméthylbenzène	nd		1 µg/kg
1,2,3-Triméthylbenzène	nd		1 µg/kg
4-Éthyltoluene	nd		1 µg/kg
Trichlorotrifluoromethane	nd		1 µg/kg
1,1,2-Trichlorotrifluoroethane	nd		1 µg/kg
1,2-Dichloroethene,trans	nd		5 µg/kg
1,2-Dichloroethene, cis	nd	EN ISO 10301	5 µg/kg

na : non analysé
N/nd : non détecté

Chef de projet **Ruch, Edith**

Projet **2019303**

Fin d'analyse: **01.09.2003**

Lab.# **310495**

Analyse du sol

Projet : V.D.H. 2020269
 Demandeur : HPC Envirotec s.a.
 Lieu : Le Havre
 Chef de projet : Langlois, François
 Date de prélèvement : 07.08.2003
 Arrivée : 27.08.2003

INNOLAB GMBH
 Nördlinger Str. 2
 86655 Harburg / Schwaben
 Germany
 Phone ++49-(0)9080-
 999274

Parametre	S 42 (0,1-2,0m)	Méthode	Limite de Unité détection
Dichloromethane	nd		5 µg/kg
1,1,1-Trichloroethane	nd		1 µg/kg
Tetrachloromethane	nd		1 µg/kg
Trichloromethane	nd		1 µg/kg
Trichloroethene	nd		1 µg/kg
Tetrachloroethene	nd		1 µg/kg

na : non analysé
 N/nd : non détecté

Chef de projet **Ruch, Edith**

Projet **2019303**

Fin d'analyse: **28.08.2003**

Lab.# **310490**

Analyse du sol

Projet : V.D.H. 2020269
 Demandeur : HPC Envirotec s.a.
 Lieu : Le Havre
 Chef de projet : Langlois, François
 Date de prélèvement : 07.08.2003
 Arrivée : 27.08.2003

INNOLAB GMBH
 Nördlinger Str. 2
 86655 Harburg / Schwaben
 Germany
 Phone ++49-(0)9080-
 999274

Parametre	S 42 (0,1-2,0m)	Méthode	Limite de Unité détection
COT	8	ISO 10694	1 g/kg

na : non analysé
 N/nd : non détecté

Chef de projet **Ruch, Edith**

Projet **2019303**

Fin d'analyse: **02.09.2003**

Lab.# **310498**

Analyse du sol

Projet : V.D.H. 2020269
Demandeur : HPC Envirotec s.a.
Lieu : Le Havre
Chef de projet : Langlois, François
Date de prélèvement : 07.08.2003
Arrivée : 27.08.2003

INNOLAB GMBH
Nördlinger Str. 2
86655 Harburg / Schwaben
Germany
Phone ++49-(0)9080-
999274

Parametre	S 42 (0,1-2,0m)	Méthode	Limite de Unité détection
HAP U.S.EPA			
Naphthalène	nd	Method 8270	0,05 mg/kg
Acenaphthylene	nd		0,05 mg/kg
Acenaphthene	nd		0,05 mg/kg
Fluorene	nd		0,05 mg/kg
Phenanthrene	0,11		0,05 mg/kg
Anthracene	nd		0,05 mg/kg
Fluoranthene	0,51		0,05 mg/kg
Pyrene	0,38		0,05 mg/kg
Benzo(a)anthracene	0,10		0,05 mg/kg
Chrysene	0,10		0,05 mg/kg
Benzo(b)fluoranthene	0,19		0,05 mg/kg
Benzo(k)fluoranthene	0,09		0,05 mg/kg
Benzo(a)pyrene	0,30		0,05 mg/kg
Indeno(1,2,3,c,d)pyrene	0,10		0,05 mg/kg
Dibenzo(a,h)anthracene	nd		0,05 mg/kg
Benzo(g,h,i)perylene	0,11		0,05 mg/kg
Total	1,99		mg/kg

na : non analysé
N/nd : non détecté

Chef de projet **Ruch, Edith**

Projet **2019303**

Fin d'analyse: **28.08.2003**

Lab.# **310496**

Analyse du gaz du sol (CA)

INNOLAB GMBH
Nördlinger Str. 2
86655 Harburg / Schwaben
Germany
Phone ++49-(0)9080-
999274

Projet : V.D.H. 2020269
Demandeur : HPC Envirotec s.a.
Lieu : Le Havre
Chef de projet : Langlois, François
Date de prélèvement : 07.08.2003
Arrivée : 27.08.2003

Parametre	AS 42	Méthode	Limite de Unité détection
VOC			
Acétone	nd	VDI 3865	0,5 mg/m ³
2-Butanone	nd		0,5 mg/m ³
4-Méthyl-2-pentanone	nd		0,5 mg/m ³
Acétate d'éthyle	nd		0,5 mg/m ³
Acétates de butyle	nd		0,5 mg/m ³
Tétrahydrofurane	nd		0,5 mg/m ³
n-Hexane	nd		0,5 mg/m ³
n-Octane	nd		0,5 mg/m ³
n-Nonane	nd		0,5 mg/m ³
n-Décane	nd		0,5 mg/m ³
n-Undécane	nd		0,5 mg/m ³
Benzène	nd		0,5 mg/m ³
Toluène	nd		0,5 mg/m ³
Éthylbenzène	nd		0,5 mg/m ³
m,p-Xylènes	nd		0,5 mg/m ³
o-Xylène	nd		0,5 mg/m ³
Styrène	nd		0,5 mg/m ³
n-Propylbenzene	nd		0,5 mg/m ³
Mésitylène	nd		0,5 mg/m ³
1,2,4-Triméthylbenzène	nd		0,5 mg/m ³
Cumène	nd		0,5 mg/m ³
1,2,3-Triméthylbenzène	nd		0,5 mg/m ³
4-Éthyltoluene	nd		0,5 mg/m ³
1,2-Dichloroethene, trans	nd		0,5 mg/m ³
1,2-Dichloroethene, cis	nd		0,5 mg/m ³
Dichloromethane	nd		0,5 mg/m ³
1,1,1-Trichloroethane	nd		0,5 mg/m ³

na : non analysé
N/nd : non détecté

Chef de projet **Ruch, Edith**

Projet **2019303**

Fin d'analyse: **28.08.2003**

Lab.# **310496**

Analyse du gaz du sol (CA)

Projet : V.D.H. 2020269
 Demandeur : HPC Envirotec s.a.
 Lieu : Le Havre
 Chef de projet : Langlois, François
 Date de prélèvement : 07.08.2003
 Arrivée : 27.08.2003

INNOLAB GMBH
 Nördlinger Str. 2
 86655 Harburg / Schwaben
 Germany
 Phone ++49-(0)9080-
 999274

Parametre	AS 42	Méthode	Limite de Unité détection
Tetrachloromethane	nd		0,5 mg/m ³
Trichloromethane	nd		0,5 mg/m ³
Trichloroethene	nd		0,5 mg/m ³
Tetrachloroethene	nd		0,5 mg/m ³

na : non analysé
 N/nd : non détecté

Chef de projet **Ruch, Edith**

Projet **2019303**

Fin d'analyse: **28.08.2003**

Lab.# **310494**

Analyse du gaz du sol (CA)

Projet : V.D.H. 2020269
 Demandeur : HPC Envirotec s.a.
 Lieu : Le Havre
 Chef de projet : Langlois, François
 Date de prélèvement : 07.08.2003
 Arrivée : 27.08.2003

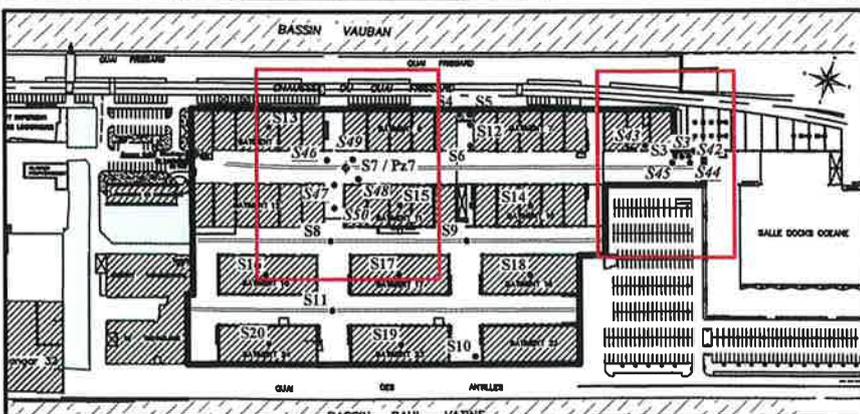
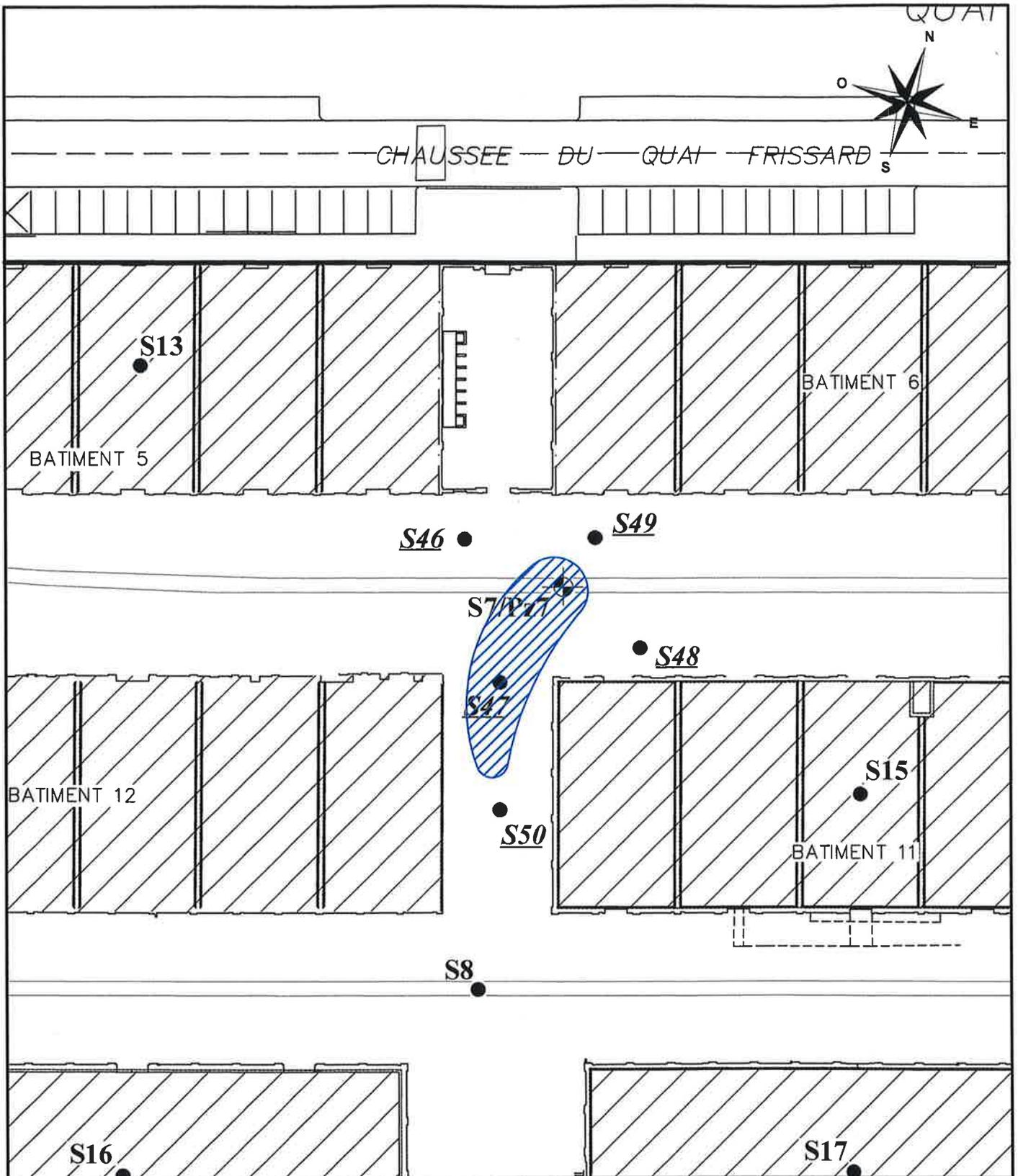
INNOLAB GMBH
 Nördlinger Str. 2
 86655 Harburg / Schwaben
 Germany
 Phone ++49-(0)9080-
 999274

Parametre	AS 42	Méthode	Limite de Unité détection
Hydrocarbures totaux	27	NF T 90-114	25 mg/m3

na : non analysé
 N/nd : non détecté

Annexe 6

Cartographie des souillures décelées dans le sous-sol du site (synthèse des résultats des 2 campagnes d'investigations)



S i • Sondage carotté (Ø 36/50 mm)
(Janvier 2003)

S i • Sondage carotté (Ø 36/50 mm)
(Août 2003)

Pz i • Piézomètre (Ø 52/60 mm)



Annexe 7

Présentation du modèle utilisé pour l'évaluation des expositions et la quantification des risques sanitaires

**Description du modèle utilisé pour
l'évaluation de l'exposition et
la quantification des risques sanitaires**

Le modèle utilisé dans la présente évaluation est issu du modèle d'exposition HESP© version 2.1, dérivant lui-même du modèle néerlandais C-Soil développé par l'Institut de l'Environnement et de la Santé Publique Néerlandais (RIVM) pour le calcul des valeurs guides néerlandaises.

Le logiciel HESP© version 2.1., simple, est spécifique de l'évaluation de l'exposition des individus due aux substances présentes dans les sols pollués.

De la catégorie des « screening models », il repose à la fois sur des principes physico-chimiques et des équations de régression basées sur des études en laboratoire.

Celui-ci a été converti au format Microsoft Excel afin d'améliorer l'accessibilité à tous les paramètres et équations considérés (données spécifiques au site et au projet d'aménagement).

Pour les besoins de l'étude, certaines équations et paramètres du modèle ont également été remplacés par des valeurs issues de mesures sur site ou d'expérimentations réelles s'adaptant mieux aux spécificités du site (équations et paramètres décrits dans les annexes).

Ceci a été réalisé conformément aux recommandations du groupement de travail « Sites pollués - Santé Publique » du Ministère de l'Ecologie et du développement durable.

Annexe 9
Paramètres utilisés
pour la modélisation de l'exposition

Paramètres utilisés pour la modélisation de l'exposition

◆ **Tableau 1 : Paramètres liés aux récepteur**

Définition	Référence	Valeur Enfant	Valeur Adulte
Poids corporel	Veerkamp, 1994	15 kg	70 kg
Volume respiratoire	ALMBL, 1995	25,5 m ³ /j	25,5 m ³ /j
Hauteur de respiration	Veerkamp, 1994	1 m	1,5 m
Surface corporelle totale	Veerkamp, 1994	0,95 m ²	1,8 m ²
Surface des mains	Veerkamp, 1994	0,03 m ²	0,09 m ²
Surface des bras et des mains	Veerkamp, 1994	0,1 m ²	0,34 m ²
Surface des avant bras et des mains	Veerkamp, 1994	-	0,17 m ²
Surface des jambes et des pieds	Veerkamp, 1994	0,18 m ²	0,55 m ²
Quantité d'eau ingérée	Veerkamp, 1994	1 l/j	1 l/j
Quantité de sol ingérée	Stanek, 1995	113 mg/j	64 mg/j

◆ **Tableau 2 : Facteurs d'absorption et de rétention**

Définition	Référence	Valeur
Fraction de rétention des particules dans les poumons	Veerkamp, 1994	0,75
Facteur d'absorption par inhalation	Veerkamp, 1994	1
Facteur d'absorption par ingestion	Veerkamp, 1994	1

◆ **Tableau 3 : Budget espace-temps**

Aménagement	Usagers	Types d'usagers	Durées d'exposition des usagers		Budgets espace-temps	
					Extérieur	Intérieur
• Bureaux	• Personnel administratif	Adultes	25 ans ⁽¹⁾	217 J/an ⁽²⁾	0h30 / J ⁽³⁾	8h00 / J ⁽³⁾
• Commerces	• Commerçants	Adultes	25 ans ⁽¹⁾	217 J/an ⁽²⁾	0h30 / J ⁽³⁾	8h00 / J ⁽³⁾
	• Enfants de la clientèle	Enfants	6 ans ⁽⁴⁾	52 j/an ⁽⁵⁾	0h30 / J ⁽⁶⁾	1h00 / J ⁽⁶⁾

⁽¹⁾ : estimation d'une durée de travail moyenne sur un même lieu au cours d'une carrière professionnelle,

⁽²⁾ : nombre de jours travaillés par an (loi des 35 heures),

⁽³⁾ : nombre d'heures passées sur le lieu de travail,

⁽⁴⁾ : donnée utilisée lors de l'établissement de VCI pour un usage sensible d'un site (MEDD),

⁽⁵⁾ : une fois par semaine,

⁽⁶⁾ : nombre d'heures passées chez le commerçant.

◆ **Tableau 4 : Paramètres liés au sol**

Référence : Veerkamp, 1994	Sol Standard
fraction de carbone organique	0,013
Densité apparente	1,5 kg/l
Teneur en eau	0,200
Teneur en air	0,20
Conductivité hydraulique	1,0 m/j
Température moyenne annuelle du sol	10 °C

◆ **Tableau 5 : Paramètres liés à l'inhalation de polluants gazeux**

Définition	Référence	Valeur
Longueur du site	Lié au site	330 m
Vitesse du vent	Lié au site	18000 m/h
Hauteur de référence	Lié au site	10 m
Température moyenne annuelle	Lié au site	11,7°C
Flux d'évaporation d'eau	Veerkamp, 1994	0,0001 m/j
Hauteur de la couche limite	Veerkamp, 1994	0,005 m
Longueur de diffusion	Veerkamp, 1994	0,05 m
Hauteur de dispersion	Veerkamp, 1994	2 m
Constante de Karman	Veerkamp, 1994	0,4
Rugosité de surface	Veerkamp, 1994	1 m

◆ **Tableau 6 : Paramètres liés aux poussières**

Définition	Référence	Valeur
Particules en suspension dans l'air extérieur	Veerkamp, 1994	70 µg/m ³
Particules en suspension dans l'air intérieur	Veerkamp, 1994	52,5 µg/m ³
Taux de déposition de polluant à l'extérieur	Veerkamp, 1994	60 mg/m ² /j
Fraction de sol dans les poussières extérieures	Veerkamp, 1994	0,5
Fraction de sol dans les poussières intérieures	Veerkamp, 1994	0,8

◆ **Tableau 7 : Paramètres liés aux caractéristiques des bâtiments**

Définition	Référence	Valeur
Longueur des bâtiments	Propre au site	10 m
Largeur des bâtiments	Propre au site	5 m
Hauteur des bâtiments	Propre au site	2,5 m
Hauteur du vide sanitaire	Propre au site	0,5 m
Porosité du béton	Veerkamp, 1994	0,02
Fraction d'air dans le béton	Veerkamp, 1994	0,01
Epaisseur de la paroi en béton	Veerkamp, 1994	0,1 m
Taux de ventilation	Veerkamp, 1994	1,25 volume/heure
Fraction d'air du sous-sol dans l'air du bâtiment	Veerkamp, 1994	0,1

◆ **Tableau 8 : Paramètres liés à la diffusion dans les canalisations d'eau potable**

Définition	Référence	Valeur
Rayon interne des canalisations	Veerkamp, 1994	9,8 mm
Epaisseur des canalisations	Veerkamp, 1994	2,7 mm
Longueur des canalisations	en fonction du projet d'aménagement	165 m
Volume d'eau consommée	Veerkamp, 1994	0,5 m ³ /j
Durée de stagnation de l'eau dans les conduites	Veerkamp, 1994	24 heures

◆ **Tableau 7 : Paramètres physico-chimiques des substances**

Paramètres physico-chimiques		Toluène	Xylènes	Plomb
température de référence	Tréf (°C)	25	25	20
masse molaire	M (g/mol)	90	106,2	207,19
pression de vapeur	P(Tréf) Pa	2940	801	-
solubilité dans l'eau	S(Tréf) mg/l	526	175	-
coef de partage octanol/eau	log kow	2,75	3,15	-
coef de partage carbone organique/eau	log Koc	2,26	2,57	def
coef de partage sol-eau	Kd(l/kg)	def	def	2400
coef de diffusion dans l'air	Da (m ² /h)	0,03132	0,025704	-
coef de diffusion dans l'eau	De (m ² /h)	3,1E-06	3,36E-06	-
Constante de Henry à Tref	Ho (Pa.m ³ /mol.K)	673	531	-
Absorption cutanée				
taux journalier d'abs. cutanée de sol	TAC (1/j)	def	def	def
vitesse d'abs cutanée-eau	VACe (m/j)	1,08E-02	1,92E-02	9,60E-07
Perméabilité à travers les canalisations				
Coefficient de perméabilité	Dp (m ² /j)	1,20E-06	1,60E-06	-

def : utilisation par défaut d'une équation issue du modèle HESP.

Références bibliographiques pour les paramètres physico-chimiques :

- HSDB database. [Http://sis.nlm.nih.gov/Cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB](http://sis.nlm.nih.gov/Cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB)
 - INERIS: Institut National pour l'Environnement Industriel et les Risques. Fiches de données toxicologiques sur les substances dangereuses. <http://www.ineris.fr>
 - Risk Assessment Information System (RAIS). <http://risk.lsd.ornl.gov/cgi-bin/tox>
 - US EPA (1996) Soil Screening Guidance: technical background document. 9355.4-17A, Washington,DC: Office of Emergency and Remedial Response. pp.1-168.
- US EPA (1992) Dermal exposure assessment: principles and applications. Interim report. EPA/600/8-91/011B.

Paramètres physico-chimiques		Aliphatique > C12-C16	Aliphatique > C16-C35	Aromatique > C16-C21	Aromatique > C21-C35
température de référence	Tréf (°C)	25	25	25	25
masse molaire	M (g/mol)	200	270	190	240
pression de vapeur	P(Tréf) Pa	4,8	0,77	0,77	0,00044
solubilité dans l'eau	S(Tréf) mg/l	7,60E-04	1,30E-06	5,10E-01	6,60E-03
coef de partage octanol/eau	log kow	6,8	8,9	4,7	6,1
coef de partage carbone organique/eau	log Koc	6,70	9	4,20	5,11
coef de partage sol-eau	Kd(l/kg)	def	def	def	def
coef de diffusion dans l'air	Da (m ² /h)	0,036	0,036	0,036	0,036
coef de diffusion dans l'eau	De (m ² /h)	3,6E-06	3,6E-06	3,6E-06	3,6E-06
Constante de Henry à Tref	Ho (Pa.m ³ /mol.K)	1340000	15800000	32,2	1,68
Absorption cutanée					
taux journalier d'abs. cutanée de sol	TAC (1/j)	def	def	def	def
vitesse d'abs cutanée-eau	VACe (m/j)	0,197	2,21	7,20E-03	3,60E-02
Perméabilité à travers les canalisations					
Coefficient de perméabilité	Dp (m ² /j)	1,00E-06	1,00E-06	2,00E-07	2,00E-07

def : utilisation par défaut d'une équation issue du modèle HESP.

Références bibliographiques pour les paramètres physico-chimiques :

- HSDB database. [Http://sis.nlm.nih.gov/Cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB](http://sis.nlm.nih.gov/Cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB)
- INERIS: Institut National pour l'Environnement Industriel et les Risques. Fiches de données toxicologiques sur les substances dangereuses. <http://www.ineris.fr>
- Risk Assessment Information System (RAIS). <http://risk.lsd.ornl.gov/cgi-bin/tox>
- US EPA (1996) Soil Screening Guidance: technical background document. 9355.4-17A, Washington,DC: Office of Emergency and Remedial Response. pp.1-168.
- US EPA (1992) Dermal exposure assessment: principles and applications. Interim report. EPA/600/8-91/011B.

Annexe 9
Equations utilisées
pour la modélisation de l'exposition
et la quantification des risques sanitaires

**Equations utilisées pour la modélisation des
expositions et la quantification
des risques sanitaires**

1. - Calcul des doses journalières d'exposition

1.1. - Ingestion de sol

$$DJE_{ing,sol} = C_s * \frac{Q_s}{P} * f_{a,ing} * Ea$$

- $DJE_{ing,sol}$: dose journalière d'exposition par ingestion de sol (mg/kg/j)
 C_s : concentration de polluant dans le sol (mg/kg)
 Q_s : quantité journalière de sol ingéré (kg/j)
 P : poids corporel (kg)
 $f_{a,ing}$: facteur d'absorption par la voie d'ingestion (-)
 Ea : fréquence d'exposition annuelle (nombre de jours par an d'exposition sur le site divisé par le nombre de jours dans une année) - (317 j/365 j)

1.2. - Inhalation de poussières

$$DJE_{inh,i} = \frac{VR * PS_i * fr_{s,i} * fr * fr_{a,inh} * T_i * C_s}{P \cdot 10^9} * Ea$$

$$DJE_{inh,e} = \frac{VR * PS_e * fr * fr_{s,e} * fr_{a,inh} * T_e * C_s}{P \cdot 10^9} * Ea$$

$$DJE_{inh} = DJE_{inh,i} + DJE_{inh,e}$$

- DJE_{inh} : dose journalière d'exposition par inhalation, à l'intérieur ou à l'extérieur (mg/kg/j)
 $DJE_{inh,i}$: dose journalière d'exposition par inhalation, à l'intérieur (mg/kg/j)
 $DJE_{inh,e}$: dose journalière d'exposition par inhalation, à l'extérieur (mg/kg/j)
 VR : volume respiratoire (m³/j)
 $PS_{i,e}$: quantité de particules en suspension à l'intérieur, à l'extérieur (µg/ m³)
 $fr_{s,i,e}$: fraction de sol dans les poussières à l'intérieur, à l'extérieur (-)
 fr : fraction de poussières retenues dans les poumons (-)
 $fr_{a,inh}$: fraction de poussières absorbée dans les poumons (-)
 $T_{i,e}$: fraction de temps passé à l'intérieur des bâtiments et à l'extérieur des bâtiments (-)
 C_s : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)
 P : poids corporel (kg)
 Ea : fréquence d'exposition annuelle (nombre de jours par an d'exposition sur le site divisé par le nombre de jours dans une année) - (317 j/365 j)

1.3. - Contact cutané avec les poussières

$$DJE_{cut,pouss} = \frac{S_{exp,i} * QPP * ABS * fr_{s,i,e} * fm * T_i * C_s}{P} * Ea$$

$$DJE_{cut,sol} = \frac{S_{exp,e} * QSP * ABS * fm * T_e * C_s}{P} * Ea$$

$$DJE_{cut,tot} = DJE_{cut,pouss} + DJE_{cut,sol}$$

- DJE_{cut,tot} : dose journalière d'exposition par absorption cutanée de poussières et sol (mg/kg/j)
 DJE_{cut,pouss} : dose journalière d'exposition par absorption cutanée de poussières (mg/kg/j)
 DJE_{cut,sol} : dose journalière d'exposition par absorption cutanée de sol (mg/kg/j)
 S_{exp,i,e} : surface de peau exposée à l'intérieur, à l'extérieur (m²)
 QPP : quantité de poussières sur la peau (kg/m²)
 ABS : taux d'absorption cutanée à partir du sol (-)
 fr_{s,i,e} : fraction de sol dans les poussières à l'intérieur, à l'extérieur (-)
 fm : facteur matriciel (-)
 T_{i,e} : fraction de temps passé à l'intérieur des bâtiments et à l'extérieur des bâtiments (-)
 C_s : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)
 P : poids corporel (kg)
 Ea : fréquence d'exposition annuelle (nombre de jours par an d'exposition sur le site divisé par le nombre de jours dans une année) - (317 j/365 j)

1.4. - Inhalation d'air ambiant

$$DJE_{inh} = (Caa_i * T_i + Caa_e * T_e) * \frac{VR}{P} * f_{a,inh} * Ea$$

$$CE_{inh} = (Caa_i * T_i + Caa_e * T_e) * f_{a,inh} * Ea$$

- DJE_{inh} : dose journalière d'exposition par inhalation d'air et de poussières (mg/kg)
 Caa_{i,e} : concentration de polluant dans l'air ambiant (extérieur ou intérieur) (mg/m³)
 T_{i,e} : fraction de temps passé sur le site à l'intérieur, à l'extérieur (-)
 VR : volume respiratoire (m³/j)
 P : poids corporel (kg)
 f_{a,inh} : facteur d'absorption par la voie d'inhalation (-)
 Ea : fréquence d'exposition annuelle (nombre de jours par an d'exposition sur le site divisé par le nombre de jours dans une année) - (j/j)

1.4.1. Capacité de fugacité :

$$1) Za = 1 / (R * Ts)$$

- Za : capacité de fugacité de l'air (mole/m³.Pa)
 R : constante des gaz parfaits (8,3143 Pa.m³/mole.K)
 Ts : température du sol (°K)

$$2) Z_w = \frac{1}{H_s}$$

Z_w : capacité de fugacité de l'eau (mole/m³.Pa)
 H_s : constante de Henry à la température du sol (m³.Pa/mole)

$$3) \ln H_s = \ln H(T) + 0,024(T_s - T)$$

avec $H(T) = \frac{VP(T) * M}{S(T)}$

H_s : constante de Henry à la température du sol (m³.Pa/mole)
 $H(T)$: constante de Henry à la température de référence (m³.Pa/mole)
 $S(T)$: solubilité dans l'eau de la substance pure à la température de référence (g/m³)
 $VP(T)$: pression de vapeur de la substance pure à la température de référence (Pa)
 M : masse molaire du composé (g/mole)

$$4) Z_s = K_d * SG * Z_w / SN_s$$

Z_s : capacité de fugacité du sol (mole/m³.Pa)
 K_d : coefficient de partition sol - eau (dm³/kg)=[mg/kg de sol]/[mg/dm³ d'eau]
 SG : masse volumique du sol sec (g/cm³)
 SN_s : fraction volumique de la phase solide du sol (-)

$$5) K_d = K_{oc} * f_{oc}$$

avec $K_{oc} = 0,411 * K_{ow}$

K_d : coefficient de partition sol - eau (dm³/kg)
 K_{oc} : coefficient de partage carbone organique - eau (dm³/kg)
 f_{oc} : fraction de carbone organique (-)
 K_{ow} : coefficient de partage octanol - eau (dm³/kg)

1.4.2. Fractions massiques :

$$6) P_a = (Z_a * SN_a) / (Z_a * SN_a + Z_w * SN_w + Z_s * SN_s)$$

$$7) P_w = (Z_w * SN_w) / (Z_a * SN_a + Z_w * SN_w + Z_s * SN_s)$$

$$8) P_s = (Z_s * SN_s) / (Z_a * SN_a + Z_w * SN_w + Z_s * SN_s)$$

P_a : fraction massique dans l'air du sol (-)
 P_w : fraction massique dans l'eau du sol (-)
 P_s : fraction massique dans la partie solide du sol (-)
 SN_a : teneur en air du sol (-)
 SN_w : teneur en eau du sol (-)
 SN_s : teneur en phase solide du sol (-)

1.4.3. Coefficients de diffusion :

$$9) D_{sa} = SNa^{10/3} * Da / (1 - SNs)^2$$

$$\text{avec } Da = 0,036 * (76 / M)^{1/2}$$

Dsa	: coefficient de diffusion dans l'air du sol (m ² /h)
Da	: coefficient de diffusion dans l'air (m ² /h)
M	: masse molaire de la substance (g/mol)
SNa	: fraction volumique de la phase air du sol (-)
SNs	: fraction volumique de la phase solide du sol (-)

$$10) D_{sac} = CNa^{\frac{10}{3}} * Da / (1 - CNs)^2$$

Dsac	: coefficient de diffusion dans la phase gazeuse du béton (m ² /h)
Cna	: fraction volumique de la phase gazeuse du béton (-)
Da	: coefficient de diffusion dans l'air (m ² /h)
CNs	: fraction volumique de la phase solide du béton (-)

$$11) D_{sw} = SNw^{10/3} * Dw / (1 - SNs)^2$$

Dsw	: coefficient de diffusion dans l'eau du sol (m ² /h)
Dw	: coefficient de diffusion dans l'eau (m ² /h)
SNw	: fraction volumique de la phase eau du sol (-)

$$\text{avec } Dw = 3,6 * 10^{-6} * (76 / M)^{1/2}$$

$$12) Def = (Pa * Dsa / SNa) + (Pw * Dsw / SNw)$$

Def	: Coefficient de diffusion dans le sol (m ² /h)
Pa	: fraction massique dans l'air du sol (-)
Pw	: fraction massique dans l'eau du sol (-)
SNa	: teneur en air du sol (-)
SNw	: teneur en eau du sol (-)
Dsa	: coefficient de diffusion dans l'air du sol (m ² /h)
Dsw	: coefficient de diffusion dans l'eau du sol (m ² /h)

1.4.4. Flux de polluants émis :

$$13) J_1 = \left(\frac{(Dsa / Lc) * (Dsac / dc)}{(Dsa / Lc) + (Dsac / dc)} \right) * (Csa - Cba^0)$$

J1	: flux de polluant à travers le béton (g/m ² .h)
Dsa	: coefficient de diffusion dans l'air du sol à la température du sol (m ² /h)
Lc	: longueur de diffusion dans le sol (m)
Dsac	: coefficient de diffusion dans la phase gazeuse du béton à la température du sol (m ² /h)
Csa	: concentration dans l'air du sol (g/m ³)
Cba0	: concentration initiale dans l'air ambiant du sous-sol (g/m ³)

$$14) J2 = Da * Csa / Xa$$

- J2 : flux à travers la couche limite sol/air extérieur (g/m².h)
 Xa : épaisseur de la couche limite (m)
 Csa : concentration dans l'air du sol (g/m³)
 Da : coefficient de diffusion dans l'air (m²/h)

$$15) J3 = Cpw * Ev / 24$$

- J3 : flux lié à l'évaporation de l'eau du sol (g/m².h)
 Ev : flux d'eau évaporée par jour (m/h)
 Cpw : concentration dans l'eau du sol (g/m³)

$$16) Cpw = Csa * SNa * Pw / (Pa * SNw)$$

- Cpw : concentration dans l'eau du sol (g/m³)
 Csa : concentration dans l'air du sol (g/m³)
 Pa : fraction massique dans l'air du sol (-)
 Pw : fraction massique dans l'eau du sol (-)
 SNa : teneur en air du sol (-)
 SNw : teneur en eau du sol (-)

$$17) J4 = (Def / Lc) * ((Csa - Cya^0) * SNa / Pa)$$

- J4 : flux de diffusion dans l'eau du sol (g/m².h)
 Lc : longueur de diffusion dans le sol (m)

1.4.5. Concentrations en polluants dans l'air ambiant :

$$18) Caa_e = Jaa_e / Vf$$

- Si $J3 + j4 < J2$ alors $Jaa_e = J3 + J4$
 sinon $Jaa_e = J2$

- Caa_e : concentration dans l'air ambiant extérieur (g/m³)
 Vf : vitesse de dilution (m/h)

$$19) Vf = Vg * Sz / L$$

- Vg : vitesse moyenne du vent à hauteur de respiration (m/h)
 Sz : coefficient de dispersion de Pasquil (m)
 L : longueur de la zone contaminée (m)

$$20) Vg = (Vy + V^*) / 2$$

- V* : vitesse de friction (m/h)
 Vy : vitesse du vent à la hauteur Y (m/h)

$$21) V_y = \ln(Y / sr) \times V^* / k$$

Y : hauteur de respiration (m)
 sr : rugosité de surface (m)
 k : constante de Karman (-)

$$22) V^* = k \times Vh / \ln(h / sr)$$

Vh : vitesse du vent à la hauteur h (18000 m/h)
 h : hauteur (m)

$$23) Sz = Co * 0,2 * L^{0,76}$$

$$24) Co = (10 * sr)^{(0,53 * L^{-0,22})}$$

Co : facteur de correction de longueur de rugosité (-)

$$25) Caa_i = J1 * \frac{l_b * L_b + 2 * h_b (l_b + L_b)}{l_b * L_b * h_b * Ra}$$

Caa_i : concentration en polluant dans l'air ambiant intérieur (g/m³)
 J1 : flux de polluant à travers le béton (g/m².h)
 l_b : longueur du bâtiment (m)
 L_b : largeur du bâtiment (m)
 h_b : hauteur du premier niveau du bâtiment (m)
 Ra : taux de ventilation dans le bâtiment (heure⁻¹)

1.4.6. Concentration en polluant dans l'eau du robinet :

$$C_{dw} = \frac{2 * D_{pe} * C_{pw} * \delta.t}{r * d_e} * \frac{\pi * r^2 * L}{Q_{dw}}$$

C_{dw} : concentration en polluants dans l'eau du robinet (g/m³)
 D_{pe} : coefficient de perméation du polluant à travers le polyéthylène (m²/j)
 C_{pw} : concentration en polluant dans la phase aqueuse du sol (g/m³)
 δt : durée de stagnation dans les canalisations (j)
 r : rayon des canalisations (m)
 d_e : épaisseur des canalisations (m)
 L : longueur des canalisations (m)
 Q_{dw} : quantité d'eau consommée dans le centre nautique (l/j)

$$k_{wa} = \left(\frac{(H_{d,b} / R \cdot T_{d,b}) * k_L * k_G}{(H_{d,b} / R \cdot T_{d,b}) * k_G + k_L} \right) * (A_d / V_d) * t_f$$

k_{wa}	: étendue de l'évaporation (-)
k_G	: coefficient de transfert de masse en phase gazeuse (m/h)
k_L	: coefficient de transfert de masse en phase liquide (m/h)
A_d	: surface d'une goutte d'eau (m ²)
V_d	: volume d'une goutte d'eau (m ³)
t_f	: temps de chute d'une goutte d'eau (s)
$T_{d,b}$: température de la douche, du bain (K)
$H_{d,b}$: constante de Henry à $T_{d,b}$ (-)

$$\ln H_{d,b} = \ln H_T + 0,024(T_{d,b} - T)$$

$$k_G = K_g * \frac{\sqrt{18 / M}}{3600}$$

$$k_L = K_l * \frac{\sqrt{44 / M}}{3600}$$

M	: masse molaire moléculaire
K_l	: taux d'échange (CO ₂) en phase liquide (m/h)
K_g	: coefficient de transfert de masse en phase gazeuse (m/h)

1.5. - Ingestion d'eau :

$$DJE_{ing,w} = \frac{C_{dw} * Q_w * f_{a,ing} * Ea}{P}$$

$DJE_{ing,w}$: dose journalière d'exposition par ingestion d'eau (mg/kg/j)
C_{dw}	: concentration en polluant dans l'eau du robinet (g/m ³)
Q_w	: consommation d'eau (l/j)
$f_{a,ing}$: fraction absorbée par ingestion (-)
P	: Poids corporel (kg)
Ea	: fréquence d'exposition annuelle (nombre de jours par an d'exposition sur le site divisé par le nombre de jours dans une année) - (j/j)

2. - Quantification des risques basés sur les expositions

Risque non cancérigène

$$IR = \left(\frac{DJE_{mg/kg/j}}{DJT} + \frac{DJE_{mg/m^3}}{CT} \right)$$

IR	: indice de risque (-)
DJE	: dose journalière d'exposition (mg/kg/j ou mg/m ³)
DJT	: dose journalière tolérable (mg/kg/j)
CT	: concentration tolérable (mg/m ³)

Annexe 10

Résultats des calculs d'incertitudes dans la quantification des risques sanitaires

**Résultats de la prise en compte des incertitudes
dans le calcul de la
quantification des risques sanitaires**

1. - Incertitudes liées à la toxicité des substances

Les incertitudes sur la toxicité des substances ont été quantifiées en utilisant d'autres valeurs toxicologiques disponibles dans la littérature. L'ensemble des valeurs toxicologiques trouvées est résumé dans le tableau suivant (les valeurs utilisées pour l'étude initiale sont indiquées en gras) :

SUBSTANCES NON CANCERIGENES						
Substances	Toluène	Xylènes	Plomb	Aliphatique C _{>12} -C ₁₆	Aliphatique C _{>16} -C ₂₁ C _{>21} -C ₃₅	Aromatique C _{>16} -C ₂₁ C _{>21} -C ₃₅
Risques non cancérogènes par ingestion – valeur toxicologique en [mg/kg/j]						
IRIS	0,2	0,2	-	-	-	-
UBA	0,2	0,15	0,001 (50% abs)	-	-	-
OMS	0,223	0,179	0,0035 ⁽²⁾	-	-	-
ATSDR	0,02	-	-	-	-	-
TPHCWG				0,1	2	0,03
Risques non cancérogènes par inhalation – valeur toxicologique en [mg/m³]						
IRIS	0,4	-	-	-	-	-
UBA	0,7 (50% abs)	0,3 (65% abs)	-	-	-	-
OMS	1	-	0,005	-	-	-
ATSDR		0,6	-	-	-	-
TPHCWG				1	-	-

% abs : pourcentage d'absorption de la substance dans l'organisme
 IRIS : Integrated Risk Informations of Substances (U.S. - EPA)
 EPA : Environmental Protection Agency (U.S.A.)
 UBA : Umweltbundesamt (Deutschland / Germany)

OMS : Organisation Mondiale de la Santé
 ATSDR : Agency for toxic substances and disease registry
 RAIS : Risk Assessment Information System (U.S.A.)
 RIVM : Institut de l'Environnement et de la Santé Publique Néerlandais

♦ **Utilisation de valeurs toxicologiques majorantes (voir grille 1) :**

Les substances possédant des valeurs toxicologiques majorantes sont :

- Toluène : 0,02 mg/kg/j (ingestion),
- Xylènes : 0,15 mg/kg/j (ingestion) ; 0,3 mg/m³ (65% absorption - inhalation),
- Plomb : 0,001 (ingestion - 50 % absorption).

2. - Incertitudes liées au pourcentage de variation analytique

Pour chaque substance recherchée au laboratoire dans les échantillons de sol, d'air du sol et d'eau du robinet, un pourcentage de variation analytique est attribué par le laboratoire lors de la détermination de la concentration dans les échantillons (erreur liée à la méthode analytique) :

Substances	Toluène	Xylènes	Plomb	Aliphatique C _{>12} -C ₁₆	Aliphatique C _{>16} -C ₂₁ C _{>21} -C ₃₅	Aromatique C _{>16} -C ₂₁ C _{>21} -C ₃₅
% erreur	+/- 15 %	+/- 15 %	+/- 12 %	+/- 15 %	+/- 15 %	+/- 15 %

Un calcul de quantification des risques a été réalisé (voir grille 2) en prenant en compte, pour chaque substance, les résultats analytiques obtenus majorés du pourcentage d'incertitude.

3. - Incertitudes liées à l'ingestion directe de sol

Dans l'étude initiale, l'ingestion directe de sol n'a pas été prise en compte le contact direct avec les sols extérieurs étant très limité. De plus, le projet d'aménagement prévoit la fermeture des différentes cours extérieures, rendues alors inaccessibles à toute personne étrangère. Dans le cadre de l'étude des incertitudes, le contact direct avec le sol a toutefois été considéré pour les adultes travaillant dans les bureaux et commerces ainsi que pour les enfants issus de la clientèle. La quantité de sol ingérée quotidiennement a été prise égale à 64 mg/j pour les adultes et 113 mg/j pour les enfants, ces valeurs correspondant à une exposition pour un scénario résidentiel. Une quantification des risques sanitaires a été réalisée avec ces valeurs (voir grille 3).

GRILLE 1

Incertitudes sur la toxicité des substances - valeurs majorantes

SCENARIOS BUREAU ET COMMERCIAL	Risques non cancérogènes	
	ADULTES	ENFANTS
Toluène	0,000233	0,00000708
Xylènes	0,0000327	0,00000100
Plomb	0,000341	0,0000138
ALC12C16	0,0449	0,00138
ALC16C35	0,00143	0,000107
ARC16C21	0,0104	0,000772
ARC21C35	0,000360	0,0000252
Somme des risques non cancérogènes (lim. : 1,00)		
Système neurologique (toluène + xylènes + plomb)	0,000607	0,0000218
Système hépatique (ALC12C16 + ALC16C35 + toluène + xylènes)	0,0466	0,00150
Système rénal (ARC16C21 + ARC21C35 + toluène + plomb)	0,0113	0,000818
Système circulatoire (ALC12C16 + plomb)	0,0453	0,00140
Développement foetal (toluène + xylènes)	0,000266	0,00000808
Système immunitaire (toluène)	0,000233	0,00000708
Système digestif (plomb)	0,000341	0,0000138
Système osseux (plomb)	0,000341	0,0000138

GRILLE 2

Incertitudes la variation analytique - valeurs majorantes

SCENARIOS BUREAU ET COMMERCIAL	Risques non cancérigènes	
	ADULTES	ENFANTS
Toluène	0,000265	0,00000814
Xylènes	0,0000289	0,00000089
Plomb	0,000382	0,0000154
ALC12C16	0,0517	0,00159
ALC16C35	0,00143	0,000107
ARC16C21	0,0119	0,000888
ARC21C35	0,000405	0,0000283
Somme des risques non cancérigènes (lim. : 1,00)		
Système neurologique (toluène + xylènes + plomb)	0,000676	0,0000244
Système hépatique (ALC12C16 + ALC16C35 + toluène + xylènes)	0,0534	0,00170
Système rénal (ARC16C21 + ARC21C35 + toluène + plomb)	0,0130	0,000940
Système circulatoire (ALC12C16 + plomb)	0,0520	0,00160
Développement foetal (toluène + xylènes)	0,000294	0,00000902
Système immunitaire (toluène)	0,000265	0,00000814
Système digestif (plomb)	0,000382	0,0000154
Système osseux (plomb)	0,000382	0,0000154

GRILLE 3

Incertitudes sur l'ingestion de sol

SCENARIOS BUREAU ET COMMERCIAL	Risques non cancérogènes	
	ADULTES	ENFANTS
Toluène	0,000230	0,00000709
Xylènes	0,0000252	0,00000078
Plomb	0,0407	0,0797
ALC12C16	0,0450	0,00150
ALC16C35	0,00170	0,000638
ARC16C21	0,0106	0,00127
ARC21C35	0,00272	0,00468
Somme des risques non cancérogènes (lim. : 1,00)		
Système neurologique (toluène + xylènes + plomb)	0,0410	0,0797
Système hépatique (ALC12C16 + ALC16C35 + toluène + xylènes)	0,0469	0,00215
Système rénal (ARC16C21 + ARC21C35 + toluène + plomb)	0,0543	0,0857
Système circulatoire (ALC12C16 + plomb)	0,0857	0,0812
Développement foetal (toluène + xylènes)	0,000255	0,00000786
Système immunitaire (toluène)	0,000230	0,00000709
Système digestif (plomb)	0,0407	0,0797
Système osseux (plomb)	0,0407	0,0797

Annexe 11

Calcul des Concentrations Maximales Admissibles dans le cadre d'une exposition aiguë au sol superficiel

**Calcul des Concentrations Maximales Admissibles
dans le cadre d'une exposition aiguë
au sol superficiel**

Un calcul de Concentrations Maximales Admissibles (CMA) relatives à une exposition aiguë a été effectué pour chaque substance sélectionnée dans la présente étude selon l'hypothèse suivante : l'ingestion accidentelle de 10 grammes de sol par un enfant.

Cette annexe présente les valeurs toxicologiques aiguës utilisées ainsi que la méthodologie de calcul.

1. - Valeurs de toxicité aiguë pour chaque substance

Les valeurs toxicologiques aiguës utilisées sont issues des bases de données suivantes :

- HSDB (Hazardous Substances Data Bank - <http://toxnet.nlm.nih.gov/>),
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry - <http://www.atsdr.cdc.gov>)

Ces valeurs sont décrites dans le tableau suivant :

Substance	Valeur toxicologique aiguë (mg/kg)	
	DL50 (HSDB)	Valeur ATSDR
Toluène	625 (DLH)	0,8
Xylènes totaux	1590	-
Plomb	-	-
Aliphatiques > C12-C16	-	-
Aliphatiques > C16-C35	-	-
Aromatiques > C16-C21	-	-
Aromatiques > C21-C35	-	-

DL50 : Dose Létale pour 50 % de décès
DLH : Dose Létale Humaine

2. - Calcul des CMA pour une exposition aiguë

Deux types de calculs ont été effectués suivant l'origine de la valeur, à savoir :

- dans le cas de l'utilisation des DL50 ou des DLH, un facteur de sécurité de 1000 a été appliqué dans la mesure où il s'agit de doses léthales,
- dans le cas de l'utilisation des valeurs de l'ATSDR, aucun facteur de sécurité n'a été appliqué car elles correspondent à l'apparition d'un effet toxicologique et non à une léthalité.

L'équation utilisée pour le calcul des CMA aiguës a été la suivante :

$$CMA_{\text{aiguë}} = P_e \times VTA / FS / M_{\text{sol}}$$

- $CMA_{\text{aiguë}}$: Concentration maximale admissible pour une exposition aiguë (mg/kg),
 P_e : Poids d'un enfant (15 kg),
 VTA : Valeur Toxicologique Aiguë (DL50, DLH ou valeur ATSDR en mg/kg),
 FS : Facteur de Sécurité (1000 pour les DL50, DLH et 1 pour les valeurs ATSDR),
 M_{sol} : Masse de sol ingérée accidentellement par un enfant (0,01 kg).

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Substance	CMA _{aiguë} calculée (mg/kg)	
	Avec la DL50 ou DLH	Avec la valeur ATSDR
Toluène	937	1200
Xylènes totaux	2385	-
Plomb	-	-
Aliphatiques > C12-C16	-	-
Aliphatiques > C16-C35	-	-
Aromatiques > C16-C21	-	-
Aromatiques > C21-C35	-	-

Pour le toluène, la valeur la plus contraignante (à savoir celle calculée à partir de la DLH) a été prise en compte.

Annexe 12
Références utilisées
pour la mise en œuvre de l'EDR-S

**Références bibliographiques utilisées pour la
mise en œuvre de l'évaluation**

1. ALMBL : Arbeitsgemeinschaft der leitenden Medizinalbeamten und -Beamten der Länder (1995): Standards zur Expositionsabschätzung, BAGS, Hamburg, BRD.
2. ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <http://www.atsdr.cdc.gov>
3. Dumontier, F., Pan Ké Shon, J.-L. (oct 1999) En 13 ans, moins de temps contraints et plus de loisirs. INSEE PREMIERE. n°675. Tableau « Une journée moyenne en France en 1999 ».
4. Hawley, J. K. (1985) Assessment of health risk from exposure to contaminated soil. Risk Analysis. 5, 4, 289-302.
5. HSDB database. <http://toxnet.nlm.nih.gov/>
6. INERIS: Institut National pour l'Environnement Industriel et les Risques. Fiches de données toxicologiques sur les substances dangereuses. <http://www.ineris.fr>
7. INSEE (1992) Les enfants de moins de 6 ans. INSEE contours et caractères. P 93
8. INSEE - Monteiro,S. (mars 1996) Les vacances des français – Tendances longues et résultats détaillés de 1993 à 1994. INSEE RESULTATS. Consommation modes de vie n°80-81.
9. KARG F., LANGLOIS F., KOPP V. (28 avril 2003) - Ilot Vauban, terrain des Docks Vauban et des hangars 31 et 32 situé quai Frissard – Ville du Havre – Diagnostic initial et évaluation simplifiée des risques. Rapport HPC Envirotec – F2/2.02.0269 b.
10. MEDD : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (déc. 1998). Méthode de calcul des Valeurs de Constat d'Impact dans les sols - Document général - Version 1. Groupe de travail « Sites et sols pollués : Santé Publique ».
11. MEDD : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (1999). « Gestion et traitement des sites pollués - Diagnostic approfondi et évaluation détaillée des risques - Guide méthodologique ». Juin 2000.
12. MEDD : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Circulaire « Sites et sols pollués - Principes de fixation des objectifs de réhabilitation ». DPPR/SEI/BPSE/BS/MB. 10 décembre 1999.
13. OMS - IPCS - INCHEM. Environmental Health Criteria Monographs. <http://www.inchem.org/ehc.html>

14. Risk Assessment Information System (RAIS). Provisional values given by Superfund. <http://risk.lsd.ornl.gov/cgi-bin/tox>
15. RIVM : Institut de l'Environnement et de la Santé Publique Néerlandais, op cit TERA-ITER database.
16. Stanek, E. J., Calabrese, E. J. (1995) Soil ingestion estimates for use in site evaluations based on the best tracer method. Human and Ecological Risk Assessment. 1, 2, 133-156.
17. TERA-ITER Database : Toxicology Excellence for Risk Assessment. <http://www.tera.org/iter>
18. Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series, Vol. 1, (mars 1998) - Analysis of Petroleum Hydrocarbons in Environmental Media.
19. Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series, Vol. 2, (mai 1998) - Composition of petroleum mixtures.
20. Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series, Vol. 3, (juillet 1997) - Selection of representative TPH fractions based on fate and transport considerations.
21. Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series, Vol. 5, (juin 1997) - Human health risk-based evaluation of petroleum release sites : implementing the working group approach.
22. UBA - Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (September 1995) Aktualisierte Fortschreibung der Basisdaten Toxicologie für umweltrelevante Stoffe zur Gefahrenbeurteilung bei Altlasten - mit Ableitung von toxikologisch begründeten tolerierbaren resorbierten Körperdosen (TRD-Werten).
23. UPDS - Guide qualité EDR. Octobre 2000.
24. US EPA (1988) Superfund exposure assessment manual. Washington, DC. EPA/540/1-88/001.
25. US EPA (1992) Dermal exposure assessment: principles and applications. Interim report. EPA/600/8-91/011B.
26. US EPA / IRIS: Integrated Risk Information System. <http://www.epa.gov/ngispgm3/iris>
27. US EPA (1996) Soil Screening Guidance: technical background document. 9355.4-17A, Washington, DC: Office of Emergency and Remedial Response. pp.1-168.
28. Veerkamp W. and ten Berge W. (1994) The concept of HESP - Reference manual - Human exposure to soil pollutants - Version 2.10a. Shell Internationale Petroleum Maatschappij B.V. The Hague.
29. Vonk, M.W. KIWA, (Ed.) (1985) Permeatie van organische verbindingen door leidingmaterialen. Mededeling nr. 85, Nieuwegein.

Rapport HPC-F 3/2.02.0269 c du 24 novembre 2003			
Rédaction : S. VIRCONDELET (Généraliste environnement)		Contrôle : F. LANGLOIS (Directeur Adjoint)	
Date :	Signature :	Date :	Signature :
24/11/03		24/11/03	P.O. 