



SOCOTEC

Agence HSE

Parc de l'Angevinère – Allée de Bagatelle
Boulevard Marcel Paul
44800 Saint-Herblain
Tél. : 02.28.01.77.40
Fax : 02.28.01.94.50
E-mail : hse.nantes@socotec.com

La SET

Acticampus I
40, Rue James Watt
BP 20605
37206 Tours Cedex 3

► **Environnement**

► **Sites et sols pollués**

**Imprimerie MAME
Boulevard de Preuilley
TOURS (37)**



Assistance à Maîtrise d'Ouvrage

Direction de l'exécution des travaux B320

Assistance aux opérations de réception B330

Investigations complémentaires sur les eaux souterraines et gaz des sols (A210 - A230)

Analyses quantitatives des risques sanitaires pour la santé humaine A320

- Date : 1^{er} octobre 2012
- Dossier SOCOTEC n° : EAG3260
- Référence du rapport : E14Q2/12/187

Ce rapport comprend 60 pages de rapport et 13 annexes

► **Chef de Projet :** Guillaume GENDREAU

RESUME NON TECHNIQUE

N° d'affaire :	EAG3260
N° de rapport :	E14Q2/12/187
Nom et adresse du client :	La SET Acticampus I - 40, Rue James Watt - BP 20605 - 37206 Tours Cedex 3
Intitulé du rapport :	Assistance à maîtrise d'ouvrage et Validation sanitaire
Localisation du site :	Ancienne imprimerie MAME, Angle du Boulevard de Preuilley et Rue du 501 ^{ème} Régiment de Chars de Combat à TOURS (37)
Mission d'assistance technique lors de l'exécution des travaux de dépollution	<p>Du 17 au 19 juillet 2012, SOCOTEC a suivi les travaux de terrassement et d'excavation de terres polluées issues du site de l'ancienne imprimerie MAME située boulevard de Preuilley à Tours (37). Ces travaux ont été réalisés dans le cadre d'un projet immobilier prévoyant la construction d'un immeuble comprenant deux niveaux de parking (dont un enterré) et des niveaux supérieurs de logements.</p> <p>Préalablement, SOCOTEC est intervenu dans l'accompagnement pour le choix du centre de traitement des terres polluées, pour le repérage des zones de contamination à évacuer et au lancement des travaux. Les travaux ont consisté à contrôler la bonne exécution du tri des terres, des opérations de dépollution par excavation de 767 t de terres contaminées par des hydrocarbures, solvants polaires et alcools, acheminés au centre de traitement biologique de BIOTER-GTTP à Vouvray (37), ainsi que la validation de fin de travaux par prélèvements de sols en fonds et parois de fouille.</p>
Constats (Validation de fond et parois de fouilles)	<p>Les analyses réalisées en fond et parois de fouille de fouilles mettent en avant des teneurs proches des limites de quantification en hydrocarbures, alcools et solvants polaires. Toutefois, il a été constaté une présence résiduelle d'hydrocarbures volatiles (C6-C16) d'Isopropanol et d'Acétone pour l'échantillon CF7, prélevé dans le fond de la fouille, au Sud.</p> <p>Ces concentrations résiduelles ont donné lieu à une étude d'Analyse des Risques Résiduels pour valider la compatibilité sanitaire du projet.</p>
Acquisition de données de terrain complémentaires	<p><u>Investigations sur les eaux souterraines</u> : 1 piézomètre implanté le 20 septembre 2012 par la société GINGER jusqu'à 15 m de profondeur ; Analyses des échantillons d'eaux par le laboratoire EUROFINIS</p> <p><u>Investigations sur les gaz des sols</u> : 1 piézair implanté le 18 septembre 2012 par la société SOCOTEC à 2,30 m de profondeur, au niveau du sondage CB6 Analyses des échantillons de gaz des sols par le laboratoire AGROLAB</p> <p><u>Constats</u> : Il ressort la présence de toluène et d'éléments traces métalliques (As, Cu, Pb et Zn) dans les eaux souterraines, globalement dans de faibles teneurs. On relève aussi l'absence de mercure volatil dans le prélèvement de gaz de sols effectué à l'emplacement du point CB6 (plus forte teneur en mercure sur brut, ARCADIS / juin 2012).</p> <p>Sur la base de ces constats, la présence de toluène dans les eaux souterraines est donc prise en compte dans la réalisation de l'analyse des risques résiduels (ARR), en tant que substance organique volatile.</p>
Cibles considérées :	<p><u>Scénario 1</u> : Résidents seniors occupant en permanence un logement au 1^{er} étage et Travailleur fréquentant de manière permanente un local commercial au rez-de-chaussée Sud (sans sous-sol) et occupant les lieux 8h / j</p> <p><u>Scénario 2</u> : Résident naissant sur site et quittant le domicile familial à 30 ans : il occupe un logement au 1^{er} étage et fréquente quotidiennement le parking en sous-sol</p>
Sources de contamination :	Sols (source finie) et Eaux souterraines (source infinie)
Polluants considérés :	Hydrocarbures volatiles C6-C16 ; Acétone ; Isopropanol ; Toluène.
Voies d'exposition :	Inhalation de composés volatils dans l'air ambiant intérieur des locaux considérés
Résultats de l'ARR	Au droit du site et de la zone de contamination, les niveaux de risques calculés (Quotients de Dangers), liés à la présence résiduelle de contaminants au droit du futur sous-sol, sont inférieurs aux seuils inacceptables définis par les circulaires du 8 février 2007 pour les cibles considérées selon les scénarii retenus.
Restrictions d'usage et servitudes	Taux de renouvellement d'air dans les locaux à prendre en compte, Conservation de la mémoire du site, Recouvrement de surface sur l'ensemble du site, Utilisation déconseillée de la ressource en eaux souterraines.
Intervenants SOCOTEC	
Ingénieur d'études	Benjamin SAUNIER
Chef de projet (Rédacteur)	Guillaume GENDREAU
Superviseur	Nicolas FOURAGE

Observations sur l'utilisation de ce rapport : Ce rapport ainsi que ses annexes constituent un ensemble indissociable. L'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de cet ensemble, ainsi que toute interprétation au-delà des indexations et énonciations de SOCOTEC Environnement Loire-Atlantique – Vendée ne sauraient engager la responsabilité de cette dernière.

RESUME TECHNIQUE

N° d'affaire	EAG3260
N° de rapport	E14Q2/12/187
Nom et adresse du client	La SET – Acticampus I - 40, Rue James Watt - BP 20605 – 37206 Tours Cedex 3
Intitulé du rapport	Assistance à maîtrise d'ouvrage pour travaux de dépollution et Validation sanitaire
Mission de type	A320, B320 et B330 selon la norme NFX31-620-2 et 3 « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués » de juin 2011
Localisation du site	Ancienne imprimerie MAME, Angle du Boulevard de Preully et Rue du 501 ^{ème} Régiment de Chars de Combat à TOURS (37)
Zones concernées	Abords d'anciennes cuves enterrées de stockage de carburants et solvants
Mission d'assistance technique lors de l'exécution des travaux de dépollution	<p>Du 17 au 19 juillet 2012, SOCOTEC a suivi les travaux de terrassement et d'excavation de terres polluées issues du site de l'ancienne imprimerie MAME située boulevard de Preully à Tours (37). Ces travaux ont été réalisés dans le cadre d'un projet immobilier prévoyant la construction d'un immeuble comprenant deux niveaux de parking (dont un enterré) et des niveaux supérieurs de logements.</p> <p>Préalablement, SOCOTEC est intervenu pour le repérage des zones de contamination à évacuer et à la programmation des travaux. Les travaux ont consisté à contrôler et à réaliser la bonne exécution du tri des terres en fonction des paramètres organoleptiques, des opérations de dépollution par excavation de 767 tonnes de terres contaminées en HCT, solvants polaires et alcools, acheminés au biocentre de BIOTER-GTTP à Vouvray (37), ainsi qu'à la validation de fin de travaux par prélèvements de sols en fond et paroi de fouilles.</p>
Constats (Validation de fond et parois de fouilles)	<p>Les analyses réalisées en fond et parois de fouille de fouilles mettent en avant des teneurs proches des limites de quantification en hydrocarbures, alcools et solvants polaires. Toutefois, il a été constaté une présence résiduelle d'hydrocarbures volatiles (C6-C16) d'isopropanol et d'Acétone pour l'échantillon CF7, prélevé dans le fond de la fouille, au Sud.</p> <p>Ces concentrations résiduelles ont donné lieu à une étude d'Analyse des Risques Résiduels pour valider la compatibilité sanitaire du projet.</p>
Acquisition de données de terrain complémentaires	<p>Investigations sur les eaux souterraines : 1 piézomètre implanté le 20 septembre 2012 par la société GINGER jusqu'à 15 m de profondeur ; Analyses des échantillons d'eaux par le laboratoire EUROFINIS</p> <p>Investigations sur les gaz des sols : 1 piézair implanté le 18 septembre 2012 par la société SOCOTEC à 2,30 m de profondeur, au niveau du sondage CB6 Analyses des échantillons de gaz des sols par le laboratoire AGROLAB</p> <p>Constats : Il ressort la présence de toluène et d'éléments traces métalliques (As, Cu, Pb et Zn) dans les eaux souterraines, globalement dans de faibles teneurs. On relève aussi l'absence de mercure volatil dans le prélèvement de gaz de sols effectué à l'emplacement du point CB6 (plus forte teneur en mercure sur brut, ARCADIS / juin 2012). La présence de toluène dans les eaux souterraines sera prise en considération dans l'ARR.</p>
Cibles considérées	<p>Scénario 1 : Résidents seniors occupant en permanence un logement au 1^{er} étage et Travaillleur fréquentant de manière permanente un local commercial au rez-de-chaussée Sud (sans sous-sol) et occupant les lieux 8h / j</p> <p>Scénario 2 : Résident naissant sur site et quittant le domicile familial à 30 ans : il occupe un logement au 1^{er} étage et fréquente quotidiennement le parking en sous-sol</p>
Sources de contamination	Sols (source finie) et Eaux souterraines (source infinie)
Polluants considérés	Hydrocarbures volatiles C6-C16 ; Acétone ; Isopropanol ; Toluène.
Voies d'exposition	Inhalation de composés volatils dans l'air ambiant intérieur des locaux considérés
Résultats de l'ARR	Au droit du site et de la zone de contamination, les niveaux de risques calculés (Quotients de Dangers), liés à la présence résiduelle de contaminants au droit du futur sous-sol, sont inférieurs aux seuils inacceptables définis par les circulaires du 8 février 2007 pour les cibles considérées selon les scénarii retenus.
Restrictions d'usage et servitudes	<p>Taux de renouvellement d'air dans les locaux à prendre en compte :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 volumes / heure dans le parking en sous-sol a minima, • 4 volumes / heure dans le local commercial durant la présence de personnes <p>Conservation de la mémoire du site, Recouvrement de surface sur l'ensemble du site, Utilisation déconseillée de la ressource en eaux souterraines.</p>
Référentiels	<ul style="list-style-type: none"> ■ Textes et documents du 8 février 2007 relatifs à la politique nationale de gestion des sites et sols pollués (Notes aux préfets, annexes et circulaires, guides méthodologiques) ■ Norme NFX31-620-2 et -3 « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués » ■ Référentiel de certification SSP LNE en date du 30 mai 2011.
Intervenants SOCOTEC	
Ingénieur d'études	Benjamin SAUNIER
Chef de projet (Rédacteur)	Guillaume GENDREAU
Superviseur	Nicolas FOURAGE

SOMMAIRE

1. RAPPEL DU CONTEXTE.....	8
2. REFERENTIELS METHODOLOGIQUES ET DOCUMENTS DE REFERENCE.....	9
2.1. REFERENTIELS METHODOLOGIQUES.....	9
2.2. DOCUMENTS DE REFERENCE.....	9
3. ASSISTANCE A MAITRISE D'OUVRAGE POUR LES TRAVAUX DE DEPOLLUTION DES SOLS DE LA ZONE IDENTIFIEE (B320).....	10
3.1. CHOIX DES INTERVENANTS.....	10
3.2. REUNION PREALABLE.....	10
3.3. LA PHASE D'EXCAVATION.....	10
3.3.1. Mesures d'hygiène et de sécurité.....	10
3.3.2. Déroulement de la mission.....	10
3.3.3. Terrassement de la zone contaminée.....	11
3.3.4. Gestion des déblais.....	13
3.3.5. Acceptation des terres.....	13
3.3.6. Gestion des eaux d'exhaure.....	13
4. VALIDATION DES FONDS DE FOUILLES (B330).....	14
4.1. DEROULEMENT DE LA MISSION.....	14
4.1.1. Détermination du lieu des prélèvements et échantillonnage.....	14
4.1.2. Paramètres analysés.....	15
4.1.3. Modalités pratiques.....	15
4.2. RESULTATS DES ANALYSES.....	15
4.3. INTERPRETATION DES RESULTATS.....	17
4.3.1. Valeurs de référence pour l'appréciation de l'impact de la pollution et des risques.....	17
4.3.2. Caractérisation des sols au droit de la zone étudiée.....	17
4.3.2.1 Caractérisation des sols en hydrocarbures totaux (C10-C40)	17
4.3.2.2 Caractérisation des sols en Hydrocarbures volatils (C6-C10)	17
4.3.2.3 Caractérisation des sols en alcools	17
4.3.2.4 Caractérisation des sols en Solvants polaires divers	17
4.3.3. Synthèse des investigations de Validation de fonds et parois de fouille.....	18
5. ACQUISITION DE DONNEES DE TERRAIN COMPLEMENTAIRES.....	19
5.1. PRELEVEMENTS, MESURES, OBSERVATIONS ET/OU ANALYSES SUR LES EAUX SOUTERRAINES (A210).....	19
5.1.1. Implantation du piézomètre.....	19
5.1.1.1 Détermination de l'implantation de l'ouvrage	19
5.1.1.2 Mise en place de l'ouvrage	19
5.1.2. Prélèvement d'eaux souterraines.....	20
5.1.3. Résultats analytiques sur la matrice eaux souterraines.....	20
5.1.4. Interprétation des résultats obtenus sur la matrice eaux souterraines.....	22
5.1.4.1 Valeurs de référence	22
5.1.4.2 Caractérisation des eaux souterraines en hydrocarbures totaux (C ₁₀ -C ₄₀)	22
5.1.4.3 Caractérisation des eaux souterraines en hydrocarbures volatils (C ₅ -C ₁₀)	22
5.1.4.4 Caractérisation des eaux souterraines en solvants aromatiques volatils (BTEXN)	22
5.1.4.5 Caractérisation des eaux souterraines en éléments traces métalliques	22
5.1.4.6 Caractérisation des eaux souterraines en solvants polaires divers	22
5.2. PRELEVEMENTS, MESURES, OBSERVATIONS ET/OU ANALYSES SUR LES GAZ DU SOL (A230)....	23
5.2.1. Mise en place du piézair.....	23

5.2.2. Prélèvements.....	23
5.2.3. Conditionnement et analyses	24
5.2.3.1 Conditionnement des échantillons	24
5.2.3.2 Analyses sur site	24
5.2.3.3 Analyses en laboratoire	24
5.2.4. Résultats des analyses.....	24
5.2.5. Interprétation des résultats obtenus sur la matrice gaz des sols	25
5.2.5.1 Valeur de référence	25
5.2.5.2 Caractérisation des gaz de sols en mercure volatil	25
5.3. SYNTHESE DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES	25
ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS	26
5.4. METHODOLOGIE DE L'EVALUATION DETAILLEE DES RISQUES	26
5.4.1. Etapes de la démarche.....	26
5.4.2. Rappel sur les données de terrain.....	27
5.4.2.1 Données sur les sols	27
5.4.2.2 Données sur les eaux souterraines	27
5.4.2.3 Données sur les gaz des sols	28
5.4.3. Rappels sur les caractéristiques propres au site.....	28
5.5. SCHEMA CONCEPTUEL (A300)	29
5.5.1. Hypothèses de base du projet.....	29
5.5.2. Les sources	29
5.5.3. Les voies de transfert et d'exposition	30
5.5.4. Les milieux d'exposition.....	30
5.5.5. Identification des cibles	30
5.5.6. Synthèse.....	31
5.6. EVALUATION DES DANGERS	32
5.6.1. Identification et sélection des substances	32
5.6.1.1 Milieux Sols	32
5.6.1.2 Milieux Eaux Souterraines	33
5.6.2. Evaluation des dangers des substances.....	33
5.6.3. Caractéristiques physico-chimiques.....	34
5.6.4. Effet sur la Santé – Toxicité des substances	34
5.6.5. Effets cancérogènes.....	34
5.7. EVALUATION DES EXPOSITIONS	36
5.7.1. Paramètres d'exposition	36
5.7.2. Scénarii d'exposition retenus.....	36
5.7.2.1 Inhalation d'air ambiant intérieur dans un logement du 1 ^{er} étage pour le résident sénior	37
5.7.2.2 Inhalation d'air ambiant intérieur dans local commercial en rdc pour le travailleur permanent	37
5.7.2.3 Inhalation d'air ambiant intérieur dans le parking en sous-sol pour les cibles familiales	38
5.7.2.4 Inhalation d'air ambiant intérieur dans un logement du 1 ^{er} étage pour les cibles familiales	38
5.7.3. Niveaux d'exposition.....	39
5.7.3.1 Hypothèses retenues	39
5.7.3.2 Modélisation des transferts	40
5.7.3.3 Détermination des concentrations moyennes inhalées aux lieux d'exposition	40
5.8. EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES	45
5.8.1. Relations dose-effets et valeurs toxicologiques de référence	45
5.8.2. Calcul des risques sanitaires.....	46
5.8.2.1 Scénario 1	47
5.8.2.2 Scénario 2	48
5.8.2.3 Synthèse	48
5.8.3. Compilation des résultats	49
6. EVALUATION DES INCERTITUDES	50
6.1. INCERTITUDES LIEES A LA VALIDATION DES FONDS DE FOUILLE	50
6.1.1. Incertitudes liées à la phase d'investigations	50
6.1.2. Incertitude liée à l'analyse par le laboratoire	50
6.1.3. Incertitude liée au choix du programme analytique.....	50

6.2. INCERTITUDES LIEES AUX PARAMETRES D'ENTREE DE L'ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS	50
6.2.1. <i>Incertitude liée à l'échantillonnage</i>	50
6.2.2. <i>Caractéristiques intrinsèques des substances</i>	51
6.2.3. <i>Choix de la concentration en polluant</i>	51
6.3. INCERTITUDES LIEES A L'UTILISATION DE MODELES	52
6.3.1. <i>Modèle Johnson et Ettinger</i>	52
6.4. INCERTITUDES LIEES AUX SCENARIOS D'EXPOSITION	53
6.4.1. <i>Exposition</i>	53
6.4.2. <i>Scénario non modélisé</i>	53
6.5. INCERTITUDE LIEE A L'ABSORPTION DES POLLUANTS.....	54
6.6. INCERTITUDES LIEES AUX VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE.....	54
6.7. INCERTITUDES LIEES AUX CALCULS DES RISQUES.....	55
6.8. CONCLUSION CONCERNANT LES INCERTITUDES	55
7. CONCLUSION.....	56
7.1. SUIVI DE L'EXECUTION DES TRAVAUX ET VALIDATION DES FONDS DE FOUILLE	56
7.2. ACQUISITION DE DONNEES COMPLEMENTAIRES	56
7.3. ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS	57
7.4. RESTRICTIONS D'USAGES, SERVITUDES PROPOSEES	58
7.4.1. <i>Conditions de ventilation des locaux</i>	58
7.4.2. <i>Aménagements extérieurs</i>	58
7.4.3. <i>Utilisation des eaux de la nappe</i>	58
7.4.4. <i>Conservation de la mémoire</i>	58
8. GLOSSAIRE.....	59
9. ANNEXES	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résultats d'analyse des échantillons de fond et paroi de fouille.....	16
Tableau 2 : Caractéristiques du piézomètre implanté sur le site le 20 septembre 2012.....	19
Tableau 3 : Résultats des investigations sur les eaux souterraines - Campagne du 24/09/12.....	21
Tableau 4 : Caractéristiques du piézair implanté sur le site le 18 septembre 2012.....	23
Tableau 5 : Caractéristiques des points de mesures des gaz des sols.....	24
Tableau 6 : Résultats des analyses sur les gaz des sols – expression des résultats brut sur charbon actif en $\mu\text{g}/\text{tube}$ de substance.....	24
Tableau 7 : Valeur de référence pour le mercure volatil (source : INERIS).....	25
Tableau 8 : Concentrations en contaminants dans les sols retenues pour les calculs de risques.....	32
Tableau 9 : Concentrations en contaminants dans les eaux souterraines retenues pour les calculs de risques.....	33
Tableau 10 : Classement des effets cancérigènes par organismes reconnus.....	34
Tableau 11 : Paramètres d'exposition pour le résident sénior fréquentant un logement au 1 ^{er} étage.....	37
Tableau 12 : Paramètres d'exposition pour le travailleur permanent fréquentant le local commercial.....	37
Tableau 13 : Paramètres d'exposition pour les cibles familiales fréquentant le parking.....	38
Tableau 14 : Paramètres d'exposition pour les cibles familiales fréquentant un logement au 1 ^{er} étage.....	38
Tableau 15 : Concentrations moyennes de polluants inhalés dans l'air des logements du 1 ^{er} étage pendant l'exposition d'un résident sénior ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	41
Tableau 16 : Concentrations moyennes de polluants inhalés dans le local commercial pendant l'exposition d'un travailleur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	42
Tableau 17 : Concentrations moyennes de polluants inhalés dans le parking en sous-sol pendant l'exposition des cibles familiales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	43
Tableau 18 : Concentrations moyennes de polluants inhalés dans le logement au 1 ^{er} étage pendant l'exposition des cibles familiales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	44
Tableau 19 : Valeurs toxicologiques de référence – Effets toxiques systémiques – RfC (inhalation).....	45
Tableau 20 : Quotient de danger de risque lié à l'inhalation d'air intérieur du logement au 1 ^{er} étage par le résident sénior présent en permanence.....	47
Tableau 21 : Quotient de danger de risque lié à l'inhalation d'air intérieur du local commercial en rez-de-chaussée pour le travailleur permanent.....	47
Tableau 22 : Quotient de danger de risque lié à l'inhalation d'air intérieur du parking en sous-sol pour les cibles familiales.....	48
Tableau 23 : Quotient de danger de risque lié à l'inhalation d'air intérieur du logement au 1 ^{er} étage par pour les cibles familiales.....	48
Tableau 24 : Quotients de danger globaux du premier scenario.....	49
Tableau 25 : Quotients de danger globaux du second scenario.....	49
Tableau 26 : Quotients de danger globaux dans le cas d'une épaisseur de sols contaminés de 2,50 m.....	51
Tableau 27 : Quotients de danger globaux pour l'exposition des cibles liée à la fréquentation du sous-sol....	53
Tableau 28 : Quotients de danger globaux pour différents scénarii non modélisés.....	54

1. RAPPEL DU CONTEXTE

Dans le cadre d'un projet immobilier sur le terrain de l'ancienne imprimerie MAME, située boulevard de Preuilly à TOURS (37), SOCOTEC HSE a été missionnée pour la réalisation d'un diagnostic approfondi afin de caractériser la qualité des sols en place au droit du futur projet immobilier et de définir un plan de terrassement précis en terme de volumes et tonnage à traiter en centre spécifique.

Cette mission a fait l'objet d'un rapport n°E14Q2/12/151 du 25 juillet 2012, affaire EAG 3227/1 qui a permis de délimiter la zone de contamination des sols par des hydrocarbures, solvants et alcools aux abords de la cuve enterrée de stockage d'hydrocarbures et solvants, jusqu'à 6 m de profondeur (par rapport à la dalle existante).

SOCOTEC HSE a ensuite suivi les opérations de terrassement réalisées en juillet 2012 par la société GTTP, où 766,6 tonnes de terres non admissibles en ISDI ont été acheminées vers le centre de traitement biologique BIOTER à Vouvray (37). Les investigations de validation de fond de fouille ont permis de constater la présence d'hydrocarbures volatiles (C6-C16) d'isopropanol et d'Acétone dans des teneurs significatives pour l'échantillon CF7, prélevé dans le fond de la fouille, au Sud.

Une analyse des risques résiduels (ARR) a alors été réalisée pour le projet présenté, mettant en évidence des quotients de danger (QD) inférieurs à 1 pour le résident sénior fréquentant les logements d'habitation du premier étage et le parking en sous-sol de la résidence (mode d'occupation normale), ainsi que pour le travailleur permanent fréquentant le local commercial 8h/j. L'étude a donc conclu, conformément aux circulaires du 8 février 2007, en l'absence de risque inacceptable pour les cibles considérées selon les caractéristiques du projet présenté.

Ces opérations de suivi et de validation ont fait l'objet d'un premier rapport n°E14Q2/12/152 du 02 août 2012 (affaire EAG3227/2).

Sur la base des constats des études initiales menées par ARCADIS en juin 2012, la DREAL vous a demandé de compléter les données sur la connaissance des milieux concernant la qualité des eaux souterraines au droit du site, à proximité de la zone impactée, et l'absence de mercure volatile en zone non saturée liée à la présence de cet éléments dans les sols. La DREAL souhaite également prendre en compte la possibilité d'une occupation résidentielle par l'avenir, outre le projet de résidence sénior présenté ici (usage « dégradé »).

Dans ce contexte, vous avez souhaité être assistés pour :

- l'acquisition de données de terrain complémentaires :
 - prélèvements d'eaux souterraines et analyses en laboratoire,
 - prélèvements de gaz des sols et analyses en laboratoire,
- démontrer l'acceptabilité sanitaire du futur projet avec les contaminations résiduelles présentes au droit du futur projet, en tenant compte des scénarii demandé par la DREAL :
 - réalisation d'une analyse des risques sanitaires sur les pollutions résiduelles afin de valider l'acceptabilité sanitaire du futur projet une fois les mesures de gestion effectuées.

Ainsi, ce rapport reprend l'ensemble de la démarche, à savoir la synthèse des travaux réalisés et des opérations de validation de fond et parois de fouille, en y intégrant les investigations complémentaires demandées et la validation sanitaire de l'état résiduels des milieux vis-à-vis du futur projet pour les scénarii considérés. L'Annexe 1 précise la localisation du site ainsi que la parcelle cadastrale concernée par les travaux cités dans le cadre de ce rapport.

2. REFERENTIELS METHODOLOGIQUES ET DOCUMENTS DE REFERENCE

2.1. REFERENTIELS METHODOLOGIQUES

Cette étude a été réalisée selon les normes NFX 31-620-2 et NFX 31-620-3 « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués » de juin 2011 et correspond aux missions élémentaires :

- B001 : Assistance à maîtrise d'ouvrage dans la phase des travaux
- B330 : Assistance aux opérations de réception
- A210 : Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines
- A230 : Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les gaz du sol
- A320 : Analyse des enjeux sanitaires

Elle se base sur les recommandations des rapports précédents, n°E14Q2/12/151 du 25 juillet 2012 (affaire EAG3227/1) et n°E14Q2/12/152 du 02 août 2012 (affaire EAG3227/2). Elle s'appuie aussi sur les critères de l'arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux « installations de stockage de déchets inertes ».

2.2. DOCUMENTS DE REFERENCE

Les documents de référence ayant servi de référentiel à la mission ont été les suivants :

- Proposition ENV5-3/12/172 de SOCOTEC HSE Agence de TOURS, en date du 19 Juin 2012,
- Le rapport de diagnostic complémentaire de pollution des sols réalisé par SOCOTEC HSE, Rapport n° E14Q2/12/151 du 25 juillet 2012, affaire EAG3227/1,
- Le rapport d'Assistance à maîtrise d'ouvrage concernant le suivi des travaux de dépollution, les opérations de réception et la validation sanitaire, réalisé par SOCOTEC HSE, Rapport n° E14Q2/12/152 du 02 août 2012, affaire EAG3227/2,
- Rapport de la société GINGER CEBTP, « INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES – Pose d'un piézomètre », dossier 2012/OTS2.C.362, rapport du 26/09/2012.

3. ASSISTANCE A MAITRISE D'OUVRAGE POUR LES TRAVAUX DE DEPOLLUTION DES SOLS DE LA ZONE IDENTIFIEE (B320)

Une zone de contamination a été mise en évidence dans le cadre d'études préalables d'ARCADIS et du diagnostic complémentaire réalisé par SOCOTEC HSE. Les pollutions concernent les paramètres hydrocarbures totaux, solvants polaires et alcools. Cette zone est localisée sur le plan fourni en Annexe 2.

3.1. CHOIX DES INTERVENANTS

Le centre de traitement biologique des terres BIOTER - GTTP à Vouvray (37) a été retenu comme filière d'élimination des terres contaminées en hydrocarbures totaux, solvants polaires et alcools dont les teneurs dépassaient les seuils d'admission en ISDI.

Cette même entreprise a pris en charge la réalisation des terrassements à l'aide d'une pelle mécanique montée sur chenilles, et le transport des terres, effectué par 33 semi-remorques en bennes étanches et bâchées.

3.2. REUNION PREALABLE

Préalablement au commencement des travaux, SOCOTEC a exécuté une visite du site le 28 juin 2012 avec des différents intervenants (Mr STEBELSKI de l'entreprise BIOTER - GTTP, Mr GOMES de LA SET et Messieurs COCHER et REMONT de l'agence SOCOTEC HSE de Tours) afin de :

- établir les plans de prévention sécurité sur site ;
- valider les opérations de terrassement et le phasage des travaux ;
- baliser la zone concernée par la problématique de pollution aux hydrocarbures totaux, solvants et alcools.

3.3. LA PHASE D'EXCAVATION

3.3.1. Mesures d'hygiène et de sécurité

SOCOTEC a été averti des consignes et instructions pour les intervenants et a été informée des risques qu'occasionnaient les polluants susceptibles d'être rencontrés et des mesures préventives nécessaires d'hygiène et de sécurité ont été prises.

Seul le représentant de SOCOTEC HSE sur site est intervenu physiquement au droit de la zone contaminée pendant les travaux d'excavation.

3.3.2. Déroulement de la mission

Les 17, 18 et 19 juillet 2012, SOCOTEC a orienté les opérations d'excavation des terres au droit de la zone contaminée par des hydrocarbures, solvants et alcools, aux abords des anciennes cuves enterrées.

La fouille principale avait au final une surface de l'ordre de 350 m² et une profondeur de 5,5 à 7,6 m par rapport à la hauteur de la rue du 501^{ème} Régiment de Chars de Combat. L'emprise de la zone d'excavation réalisée s'est appuyée sur les résultats d'analyse obtenus lors de la réalisation du diagnostic complémentaire, et des caractéristiques organoleptiques des sols, mises en évidence lors des travaux et mesurées à l'aide d'un Photo-ionisateur à Particules (PID).

3.3.3. Terrassement de la zone contaminée

a) Phase de préparation de chantier

Le bâtiment de l'usine MAME initialement présent au droit de la zone de contamination identifié a été préalablement démoli. Seule la dalle de l'ancien sous-sol, située à environ 3 m en dessous du niveau de la rue du 501^{ème} Régiment de Chars de Combat, a été conservée. Les terres situées entre l'ancien bâtiment et la rue, sur environ 3 m de hauteur pour 4 m de large, sur toute la longueur de l'ancien bâtiment, ont été pour partie retirées et acheminées en bordure nord du site. Environ la moitié du volume initial a été conservé sur place afin de constituer un talus entre la future zone d'excavation et la rue. Cette étape a été réalisée préalablement aux travaux, lors de la démolition du bâtiment de l'usine.

b) Démolition de la dalle bétonnée

La zone à excaver se situant sous une dalle bétonnée, à 3 m en dessous du niveau de la rue du 501^{ème} Régiment d'Infanterie, celle-ci a dû être démantelée avant le démarrage des travaux. Les déblais engendrés ont été acheminés par la société GTTP jusqu'à leur plateforme de concassage. Ils serviront par la suite de remblais lors de futurs travaux de la société GTTP.

c) Excavation des terres

Les 17, 18 et 19 juillet 2012, 33 bennes étanches et bâchées, transportant en moyenne 23 tonnes de déblais non inertes, ont permis le tri et l'envoi au centre de traitement biologique BIOTER-GTTP à Vouvray (37) de 766,6 tonnes de terres souillées. Les Bordereaux de Suivi des Déchets (BSD) sont joints en Annexe 3, ainsi que la copie du Certificat d'Acceptation Préalable (CAP) des terres.

Ces travaux ont engendré la réalisation d'une fouille de près de 350 m² pour 5,5 à 7,6 m de profondeur (par rapport au niveau de la rue, la dalle étant initialement déjà 3 m en dessous du niveau de la rue).

Ils se sont basés sur les recommandations de notre diagnostic et ont été adaptés in situ selon les relevés au PID afin d'éliminer les zones de contamination.



Figure 1 : Phase d'excavation des terres souillées

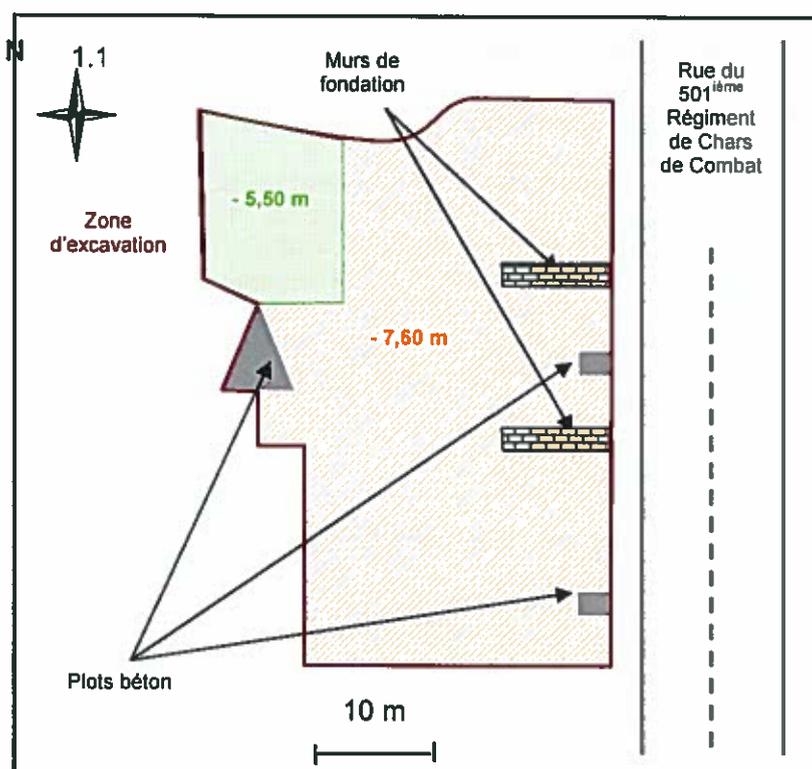


Figure 2 : Plan schématique de l'emprise de la fouille d'excavation

d) Présence de murs enterrés

Lors de l'excavation des terres souillées, deux murs en moellon ainsi que des pieux en béton ont été découverts enterrés, anciennement destinés au soutien des bâtiments. Ils ont été démolis et retirés du site. Tout comme la dalle béton, les matériaux ont été acheminés par la société GTTP jusqu'à une plateforme de concassage.

Au total, ces matériaux représentent 213 tonnes de déblais, actuellement stockés au centre de GTTP de Vouvray (37).



Figure 3 : Découverte de murs de fondation enterrés

e) Remblaiement de la zone

Suite aux travaux d'excavation de la zone polluée, la fouille a été remblayée à l'aide des terres stockées au Nord du site, issues de la zone entre la rue du 501^{ème} Régiment de Chars de Combat et l'ancien bâtiment, retirées lors des travaux de démolition. La zone a été égalisée à la côte de l'ancienne dalle (environ 3 m en deçà du niveau de la rue), cette côte correspondant au niveau de la dalle du sous-sol du futur bâtiment.

3.3.4. Gestion des déblais

Un bordereau de suivi de déchets industriels (BSD) conforme à l'arrêté du 29 juillet 2005 pris pour application du décret n°2005-635 du 30 mai 2005 a été émis au départ de chacun des 33 camions pour le centre de traitement biologique.

3.3.5. Acceptation des terres

Les terres excavées ont été acceptées dans la filière d'élimination, elles ont été traitées en biopile. Il a été obtenu l'accord de ce repreneur et un certificat d'acceptation préalable des terres (CAP n°PROJ2012-07-11/001) a été émis à cet effet le 11/07/2012. Celui-ci est consigné en Annexe 3.

NOTA : La procédure d'amission des déchets dans les décharges ou en biocentre impose, en dernier lieu, une vérification sur place du déchet (les phases précédentes sont la caractérisation de base et la vérification de la conformité, validées notamment par le certificat d'acceptation préalable). Lors de cette dernière phase, un contrôle de la non-radioactivité des déchets est notamment effectué.

3.3.6. Gestion des eaux d'exhaure

Aucune venue d'eau n'a été constatée lors des travaux d'excavation.

4. VALIDATION DES FONDS DE FOUILLES (B330)

4.1. DEROULEMENT DE LA MISSION

Une fois les travaux d'excavation effectués, SOCOTEC HSE a procédé à la réalisation de prélèvements en fonds et parois de fouille sur les secteurs présentant les plus forts signaux au PID (DéTECTEUR à Photo-Ionisation), afin de déterminer la présence ou non d'une contamination résiduelle.

Chaque échantillon provient d'une homogénéisation de différents prélèvements réalisés sur chacune des zones de prélèvement en parois et fond de fouille présentées ci-dessous.

4.1.1. Détermination du lieu des prélèvements et échantillonnage

Pour la validation de l'état de dépollution de la fouille, nous avons procédé, le 19 juillet 2012 à la réalisation de 8 prélèvements en parois et fond de fouille :

- CP 1 = prélèvement paroi Est entre -2,20 et -3,20 m
- CP 2 = prélèvement paroi Est entre -3,20 et -6,70 m
- CP 3 = prélèvement paroi Nord entre -2,20 et -3,20 m
- CP 4 = prélèvement paroi Nord entre -3,20 et -6,70 m
- CP 5 = prélèvement paroi Sud entre -2,40 et -5,80 m
- CP 6 = prélèvement paroi Ouest entre -2,40 et -5,80 m
- CF 7 = prélèvement fond de fouille à -7,60m
- CF 8 = prélèvement fond de fouille à -5,50 m

Précisons que les profondeurs indiquées prennent la hauteur de la route comme point 0 de référence.

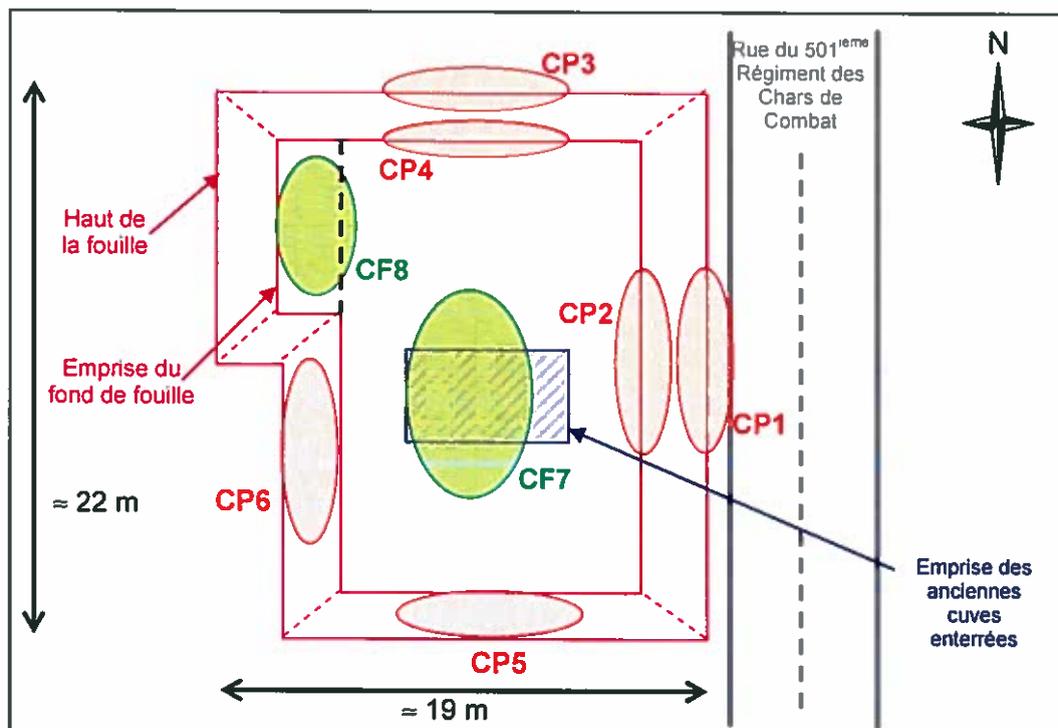


Figure 4 : Localisation des points de prélèvement

4.1.2. Paramètres analysés

Afin de quantifier l'état de contamination résiduelle éventuelle, les analyses ont porté sur les éléments contaminants ayant rendus nécessaire l'excavation de ces zones, à savoir les hydrocarbures totaux, les alcools et autres solvants.

4.1.3. Modalités pratiques

Lors de la phase de prélèvement, une attention particulière a été portée à la quantité prélevée, à la représentativité et à l'homogénéisation.

Les échantillons ont été conditionnés en flacons hermétiques, conservés en glacière à $\pm 4^{\circ}\text{C}$ et adressés au laboratoire AGROLAB de DE DEVENTER dans un délai de 24 h.

4.2. RESULTATS DES ANALYSES

Les résultats d'analyse sont indiqués dans le tableau ci-dessous. Les valeurs sont exprimées en mg/kg de matière sèche (MS), sauf indication contraire.

n.a : Non analysé

LQ : Limite de quantification

Code couleur utilisé :



: Valeur maximale retenue pour chacun des paramètres détectés

Les bulletins d'analyses du laboratoire sont présentés en **Annexe 4**.

Tableau 1 : Résultats d'analyse des échantillons de fond et paroi de fouille

Paramètre	Unité	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CF8	L.Q.
Profondeur		2,2 - 3,2	3,2 - 6,7	2,2 - 3,2	3,2 - 6,7	2,4 - 5,8	2,4 - 5,8	7,6	5,5	
Matière sèche	%	94,0	91,1	92,2	95,7	86,3	87,8	93,6	87,5	0,01
HCT										
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg MS	<20	<20	<20	<20	350	30	743	<20	20,00
Fraction C10-C12	mg/kg MS	<4	<4	<4	<4	270	18	570	<4	4,00
Fraction C12-C16	mg/kg MS	<4	<4	<4	<4	71	10	180	<4	4,00
Fraction C16-C20	mg/kg MS	<2	<2	<2	<2	6,0	<2	2	<2	2,00
Fraction C20-C24	mg/kg MS	<2	<2	<2	<2	4,0	<2	<2	<2	2,00
Fraction C24-C28	mg/kg MS	<2	<2	<2	<2	3,0	<2	3	<2	2,00
Fraction C28-C32	mg/kg MS	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	2,00
Fraction C32-C36	mg/kg MS	<2	<2	<2	<2	<2	<2	3	<2	2,00
Fraction C36-C40	mg/kg MS	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,00
HC Volatiles										
Fraction C6-C8	mg/kg MS	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	17	1,7	310	<1,0	1,00
Fraction C8-C10	mg/kg MS	<1,0	1,9	<1,0	<1,0	160	15	480	<1,0	1,00
Alcools										
Ethanol	mg/kg MS	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	0,50
Isobutanol	mg/kg MS	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10
Isopropanol	mg/kg MS	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	310	<0,20	0,20
Méthanol	mg/kg MS	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	2,00
n-Butanol	mg/kg MS	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10
n-Propanol	mg/kg MS	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,20
Sec-Butanol	mg/kg MS	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,17	<0,10	0,10
tert-Butanol	mg/kg MS	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10
Solvants polaires divers										
Acétonitrile	mg/kg MS	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,20
Acétone	mg/kg MS	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,16	<0,10	55,3	<0,10	0,10
Diéthyléther	mg/kg MS	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10
Méthyl éthyl cétone	mg/kg MS	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10
Tétrahydrofurane	mg/kg MS	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10
1,4-Dioxane	mg/kg MS	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,20
Méthyl isobutyl cétone	mg/kg MS	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10

4.3. INTERPRETATION DES RESULTATS

4.3.1. Valeurs de référence pour l'appréciation de l'impact de la pollution et des risques

Pour les hydrocarbures totaux (HCT, fractions C10-C40), un rapport de l'INERIS¹ de 2004 indique des teneurs moyennes dans les sols urbains en France de l'ordre de 50 mg/kg MS. Pour les autres éléments analysés, les résultats pourront être comparés, en fonction de leur nature, aux limites de quantification des méthodes analytiques utilisées.

4.3.2. Caractérisation des sols au droit de la zone étudiée

4.3.2.1 Caractérisation des sols en hydrocarbures totaux (C10-C40)

La recherche d'hydrocarbures totaux a été effectuée sur tous les échantillons de paroi et fond de fouille prélevés.

On constate que pour six des huit échantillons, les teneurs en HCT sont inférieures à la teneur moyenne des sols urbains français.

En revanche, les échantillons CP5 et CF7 présentent des concentrations plus élevées en HCT, plus particulièrement en fractions volatiles. En effet, seules les fractions dont la chaîne carbonée est inférieure à 16 sont présents de manière significative, en particulier l'échantillon CF7, qui présente une concentration de 730 mg/kg MS en fractions volatiles.

4.3.2.2 Caractérisation des sols en Hydrocarbures volatiles (C6-C10)

De la même manière que pour les HCT, les hydrocarbures les plus volatiles (chaîne carbonée comprise entre C6 et C10) ont été recherchés sur tous les échantillons réalisés.

Au vu des résultats d'analyse, la présence d'éléments volatiles a été détectée pour quatre des huit échantillons.

L'échantillon CF7 présente les plus fortes teneurs avec une concentration de 600 mg/kg MS en fractions C6-C10.

4.3.2.3 Caractérisation des sols en alcools

La présence d'alcools a été détectée pour deux éléments, seulement pour l'échantillon CF7. Celui-ci présente une concentration en Sec-butanol de 0,17 mg/kg MS, proche de la limite de quantification (0,10 mg/kg MS), et un pic de concentration en Isopropanol de 310 mg/kg MS (limite de quantification à 0,20 mg/kg MS).

Les autres échantillons observés présentent des teneurs en alcools inférieures aux limites de quantification de la méthode analytique utilisée.

4.3.2.4 Caractérisation des sols en Solvants polaires divers

La présence de solvants n'a été détectée que dans le cas de l'Acétone chez les échantillons CP5 et CF7. La concentration est proche de la limite de quantification pour l'échantillon CP5 (0,16 pour 0,10 mg/kg MS), en revanche, l'échantillon CF7 présente une concentration plus élevée, de 55,1 mg/kg MS.

¹ Rapport de l'INERIS d'août 2004 sur le retour d'expérience sur la « gestion des sites pollués en France et à l'étranger »

4.3.3. Synthèse des investigations de Validation de fonds et parois de fouille

D'une manière générale, les résultats d'analyse ont montré des teneurs assez proches des limites de quantification en hydrocarbures, alcools et solvants polaires.

Toutefois, on constate la présence de pics de concentration en hydrocarbures volatiles (C6-C16), en isopropanol et en acétone sur l'échantillon CF7, prélevé dans le fond de la fouille, au Sud. On constate également quelques traces sur CP5, en paroi Sud, avec des teneurs plus faibles.

Au vu de ces constats et de la nature du projet au droit de la zone d'étude, la réalisation d'une Analyse des Risques Résiduels est alors nécessaire afin de vérifier la validité sanitaire du projet, en présence de ces résidus polluants volatils.

5. ACQUISITION DE DONNEES DE TERRAIN COMPLEMENTAIRES

5.1. PRELEVEMENTS, MESURES, OBSERVATIONS ET/OU ANALYSES SUR LES EAUX SOUTERRAINES (A210)

5.1.1. Implantation du piézomètre

5.1.1.1 Détermination de l'implantation de l'ouvrage

Sur la base des éléments en notre possession, il a été décidé d'implanter le piézomètre en aval immédiat supposé de la zone de contamination constatée en fond de fouille après travaux de dépollution, secteur CF7. L'ouvrage a donc été implanté sur le secteur du point de prélèvement CF8, en direction Nord-Ouest depuis le secteur CF7. La localisation de l'ouvrage est précisée sur le plan en Annexe 5.

5.1.1.2 Mise en place de l'ouvrage

Le piézomètre a été implanté par la société GINGER CEBTP à l'emplacement indiqué (Annexe 5) le 20 septembre 2012. Cette mission a fait l'objet d'un rapport de la société GINGER CEBTP, dossier 2012/OTS2.C.362, rapport du 26/09/2012.

Lors de l'intervention, la coupe relevée lors de la mise en place de l'ouvrage a montré la présence d'alluvions sableuses à sablo-graveleuses, marron, remaniées en tête sur 3,30 m, surmontant un horizon de tuffeau blanc beige rencontré à 7,50 m (Annexe 6).

La mise en place de l'ouvrage s'est déroulée par rotation au tricône diamètre 125 mm à l'eau claire et tubage type PW jusqu'à 8 m de profondeur. L'ouvrage a été implanté jusqu'à 15 m de profondeur, puis développé à l'air lift en fin de pose.

Il a été équipé d'un tubage PVC (diamètre interne 56 mm), crépiné sur toute la hauteur d'eau avec massif filtrant sur toute la hauteur de la crépine, jusqu'à 3,50 m de profondeur. Les caractéristiques complètes de l'ouvrage sont reprises dans le Tableau 2 suivant.

Tableau 2 : Caractéristiques du piézomètre implanté sur le site le 20 septembre 2012

Piézomètre	PZ1
Positionnement	Aval supposé immédiat du secteur CF7 (CF8)
Nivellement relatif	-2,50 m (bouche à clé) / rue du 501 ^{ème} R.C.C.
Profondeur du piézomètre	-15 m / sol actuel (bouche à clé) (-17,50 m / rue du 501 ^{ème} RCC)
Tubage	PVC (Ø interne 56 mm) Plein de 0 à 4 m Crépiné 4 à 15 m
Matériaux entourant	Ciment : 0 à 2,50 m Expanfor (argile gonflante) : 2,50 m à 3,50 m Massif filtrant (graviers) : 3,50 m à 15 m
Finition / Protection	Bouche à clé (0 m / sol actuel terrain) (-2,50 m / rue du 501 ^{ème} R.C.C.)
Niveau des eaux constaté	Fin de chantier (21/09/2012) : -8,20 m / bouche à clé (-10,70 m / rue 501 ^o RCC) Avant prélèvement ESOU (24/09/2012) : -5,70 m / bouche à clé (-8,20 m / rue 501 ^o RCC)

5.1.2. Prélèvement d'eaux souterraines

Le prélèvement d'eaux souterraines a été réalisé trois jours après la pose, le 24 septembre 2011. Tout d'abord, le niveau piézométrique a été mesuré à l'aide d'une sonde à alarme sonore. L'ouvrage a ensuite été purgé de cinq fois son volume à l'aide d'une pompe immergée HURRICANE PP45. Le prélèvement a eu lieu après nouvelle stabilisation du piézomètre.

Le prélèvement d'eaux a ensuite été effectué avec un échantillonneur polypropylène stérile à usage unique. A cette occasion, il n'a pas été observé de caractère organoleptique suspect sur les eaux prélevées (eaux claires sans odeur notables).

Les échantillons d'eaux, conditionnés dans des flacons adaptés fournis par le laboratoire d'analyses (flacons prétraités selon les paramètres à analyser), ont été conservés sur le terrain en glacière à faible température ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) avant leur envoi au laboratoire dans les mêmes conditions.

Modalités pratiques

Les échantillons ont été conditionnés en flacons hermétiques adaptés, conservés en glacière à $\pm 4^{\circ}\text{C}$. Ils ont ensuite été adressés au laboratoire EUROFINs Environnement, Site de Saverne (France), dans les plus brefs délais.

Paramètres analysés

Selon la nature des polluants soupçonnés, les analyses ont porté sur :

- les hydrocarbures totaux (fractions C5 à C40) ;
- les solvants aromatiques volatils (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes et naphthalène), BTEXN ;
- les éléments traces métalliques As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), ETM ;
- les Solvants Polaires Divers (dont acétone et isopropanol), SPD ;
- le pH et la température.

5.1.3. Résultats analytiques sur la matrice eaux souterraines

Les résultats d'analyse et les valeurs limites de référence sont indiqués dans le Tableau 3 ci-dessous. Les valeurs de concentrations sont exprimées en $\mu\text{g/L}$ sauf indication contraire. Le bulletin d'analyses du laboratoire est présenté en Annexe 7.

Abréviations utilisées : LQ = Limite de quantification de la méthode analytique utilisée (EN/ISO)
n.d. = non détecté

Tableau 3 : Résultats des investigations sur les eaux souterraines - Campagne du 24/09/12

Paramètres d'analyse sur les eaux souterraines	Unité	PZ1	LQ ¹	Arrêté du 11 janvier 2007 ²
Profondeur de la surface piézométrique / bouche à clé (terrain actuel)	m	- 5,70	-	-
Profondeur de la surface piézométrique / rue du 501 ^e R.C.C.		- 8,20	-	-
pH	-	6,8	-	6,5 à 9 ^(a)
Température	°C	14,5	-	-
Hydrocarbures totaux				
Indice global des fractions C10-C40	mg/l	< 0,030	0,030	1 ^(b)
Fraction C10-C16	mg/l	< 0,008	0,008	-
Fraction C16-C22	mg/l	< 0,008	0,008	-
Fraction C22-C30	mg/l	< 0,008	0,008	-
Fraction C30-C40	mg/l	< 0,008	0,008	-
Hydrocarbures volatils totaux				
> MeC5-C8	µg/l	< 30	30	-
> C8-C10	µg/l	< 30	30	-
Somme MeC5-C10	µg/l	< 60	-	-
Solvants aromatiques monocycliques (BTEX)				
Benzène	µg/l	< 0,5	0,5	1 ^(a)
Toluène	µg/l	8,3	1	-
Ethylbenzène	µg/l	< 1	1	-
m,p-Xylènes	µg/l	< 1	1	-
o-Xylène	µg/l	< 1	1	-
Naphtalène	µg/l	< 0,5	0,5	-
Éléments traces métalliques				
Arsenic	µg/l	17	5	10 ^(a)
Cadmium	µg/l	< 5	5	5 ^(a)
Chrome total	µg/l	< 5	5	50 ^(a)
Cuivre	µg/l	40	10	1 000 ^(a) [2 000]
Mercure	µg/l	< 0,20	0,20	1 ^(a)
Nickel	µg/l	< 5	5	20 ^(a)
Plomb	µg/l	16	5	25 ^(a) [10]
Zinc	µg/l	30	20	5 000 ^(b)
Solvants polaires divers				
Acétone	mg/l	<1,00	1,00	-
Acétate d'éthyle	mg/l	<5,00	5,00	-
Méthanol	mg/l	<5,00	5,00	-
Méthyléthylcétone	mg/l	<1,00	1,00	-
ter-Butanol	mg/l	<1,00	1,00	-
Propanol-2	mg/l	<1,00	1,00	-
Ethanol	mg/l	<1,00	1,00	-
Méthyl iso-buthyl-cétone (MIBK)	mg/l	<1,00	1,00	-
Butanol 2	mg/l	<1,00	1,00	-
Propanol 1	mg/l	<1,00	1,00	-
Isobutanol	mg/l	<1,00	1,00	-
Butanol 1	mg/l	<1,00	1,00	-

¹ LQ : Limite de quantification

² Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de la qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine

^(a) Annexe I : Limites et référence de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux conditionnées

^(b) Annexe II : Limites et référence de qualité des eaux brutes de toute origine utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux de source conditionnées

5.1.4. Interprétation des résultats obtenus sur la matrice eaux souterraines

5.1.4.1 Valeurs de référence

Les teneurs peuvent être comparées en premier lieu aux valeurs indiquées dans l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux « limites et références de la qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine ». Cet arrêté fixe dans ses annexes des valeurs de référence à ne pas dépasser pour certaines substances ou certains paramètres uniquement.

Pour les autres paramètres et substances, ne possédant pas de valeur de référence, les concentrations obtenues pourront être comparées aux limites de quantification respectives.

5.1.4.2 Caractérisation des eaux souterraines en hydrocarbures totaux (C₁₀-C₄₀)

Les hydrocarbures totaux n'ont pas été détectés dans des teneurs supérieures aux limites de quantification du laboratoire (LQ).

5.1.4.3 Caractérisation des eaux souterraines en hydrocarbures volatils (C₅-C₁₀)

Les hydrocarbures volatils C₅-C₁₀ n'ont pas été détectés dans des teneurs supérieures aux limites de quantification du laboratoire (LQ).

5.1.4.4 Caractérisation des eaux souterraines en solvants aromatiques volatils (BTEXN)

Les résultats d'analyse ont mis en évidence la présence de toluène à 8,3 µg/L, teneur qui reste proche de la LQ. Les autres solvants aromatiques volatils ne sont pas apparus dans des teneurs supérieures aux LQ respectives.

Sur sa fiche de synthèse toxicologique (version 3 du 15/10/2009), l'INERIS propose une Norme de Qualité Environnementale pour l'eau de 54 µg/L (NQE_{eau}, moyenne annuelle dans l'eau). On constate ici une teneur dans les eaux souterraines qui est nettement inférieure à cette valeur. On notera également que l'OMS dans ses directives de qualité pour l'eau de boisson (2011) indique une valeur guide en toluène de 700 µg/L.

5.1.4.5 Caractérisation des eaux souterraines en éléments traces métalliques

Les résultats d'analyse montrent la présence d'arsenic, de cuivre, plomb et zinc dans les eaux souterraines, les autres n'ayant pas été détectés.

En comparaison avec les valeurs de référence de l'annexe I de l'arrêté du 11 janvier 2007 précité, on constate un dépassement pour l'arsenic uniquement, rendant l'eau impropre à la consommation humaine directement. Notons également pour le plomb une valeur de référence retenue à 25 µg/L jusqu'au 25 décembre 2013 qui passera ensuite à 10 µg/L, auquel cas la teneur constatée sur site dépassera la valeur de référence pareillement à l'arsenic.

Vis-à-vis de l'annexe II de cet arrêté, indiquant des valeurs de références pour l'utilisation d'eaux brutes en vue de la production d'eau potable, les concentrations en éléments traces métalliques obtenues ici respectent toutes les valeurs de référence visées.

5.1.4.6 Caractérisation des eaux souterraines en solvants polaires divers

Les solvants polaires divers n'ont pas été détectés dans des teneurs supérieures aux limites de quantification du laboratoire (LQ). Plus particulièrement, nous remarquerons l'absence d'acétone et d'isopropanol dans l'échantillon analysé.

5.2. PRELEVEMENTS, MESURES, OBSERVATIONS ET/OU ANALYSES SUR LES GAZ DU SOL (A230)

5.2.1. Mise en place du piézair

Le 18 septembre 2012, SOCOTEC a procédé à la mise en place d'un piézair au niveau du sondage CB6 (mission ARCADIS de juin 2012) qui a présenté la teneur en mercure sur brut la plus importante : 0,38 mg/kg MS. Il s'agit ici de vérifier la présence éventuelle de mercure volatil dans la phase gazeuse existante des sols superficiels. Pour cela, nous nous sommes basés sur le plan des investigations d'ARCADIS, dénommé 12-1254-10006-PTC du 11/06/2012.

La localisation de cet ouvrage figure sur le plan en Annexe 5.

Le piézair a été implanté jusqu'à 2,30 m de profondeur environ, à l'aide d'une sondeuse mécanique SEDIDRILL 80 sur chenille, équipée de tarières emboîtables de 1,50 m de long et de 100 mm de diamètre.

L'ouvrage a été équipé d'un tubage PVC, crépiné sur environ 1,80 m de profondeur et plein sur les derniers 50 cm en surface (la tête de piézair dépassant de 20/25 cm). Un massif filtrant a été placé sur toute la hauteur de la crépine, puis a été remplacé par une argile gonflante sur la couche supérieure (environ 40 cm) afin d'assurer une étanchéité depuis la surface et d'éviter toute migration d'aspiration d'air frais depuis la surface. Enfin, chaque ouvrage a été scellé par du ciment et refermé par un bouchon papillon hermétique.

Le Tableau 4 suivant reprend le détail des caractéristiques des piézairs.

Tableau 4 : Caractéristiques du piézair implanté sur le site le 18 septembre 2012

Piézair	PA1
Cote relative des sols à la base de l'ouvrage*	0 m
Type	Tube PVC emboîté
Longueur tube	Plein 0,50 m, Crépiné 1,80 m
Diamètre tube	Interne 45 mm, externe 50 mm
Cimentation	Oui
Protection	Bouchon étanche (0,40 cm) + bouchon papillon

* Niveau des sols à la base du piézair à la même cote que la rue voisine et le terrain de la station service

5.2.2. Prélèvements

Les prélèvements des gaz des sols ont été réalisés sur le site le 18 septembre 2012, au moyen :

- d'une pompe individuelle ARELCO (n° SOCOTEC 2-16-335) à débit constant, fixé à 0,5L / min,
- de tubes de prélèvement de type HOPCALITE (mesure et contrôle).

Les caractéristiques du point de mesures sont reprises dans le Tableau 5 ci-après. La coupe de sols relevée à l'implantation de l'ouvrage est jointe en Annexe 6.

Tableau 5 : Caractéristiques des points de mesures des gaz des sols

Ouvrage	Date prélèvement	Méthode	Hauteur de prélèvement / niveau sol actuel	Débit pompe (L/mn) Durée prélèvement (mn)	Volume prélevé (L)
PA1	18 septembre 2012	Pompe ARELCO à flux constant	- 1,40 m	0,5 62	31 L

Un échantillon représentatif des sols en place a été confectionné lors de l'implantation de l'ouvrage, nommés PA1.

5.2.3. Conditionnement et analyses

5.2.3.1 Conditionnement des échantillons

Lors de cette phase de prélèvement, une attention particulière est portée à :

- ✓ la quantité prélevée et la représentativité ;
- ✓ l'homogénéisation et les divisions.

Les échantillons ont été conditionnés en flacons hermétiques fournis par le laboratoire d'analyses, conservés en glacière à $\pm 4^{\circ}\text{C}$. Ils ont ensuite été envoyés au laboratoire AL-West BV, groupe AGROLAB, basé à DE DEVENTER (Pays-Bas), dans les plus brefs délais.

5.2.3.2 Analyses sur site

Préalablement au prélèvement de gaz des sols, une mesure directe sur site dans l'ouvrage a été réalisée à l'aide d'un Détecteur à Photo-Ionisation (PID) IBRID MX6 pendant 5 minutes. Cet appareil détecte la présence de composés organiques volatils dans la globalité, sans distinction particulière. Il permet d'avoir une image de la qualité des gaz des sols et de la présence de substances polluantes qui se retrouvent dans de nombreuses pollutions organiques.

5.2.3.3 Analyses en laboratoire

Pour chaque tube de prélèvement de gaz des sols, il a été recherché le mercure volatil. L'échantillon de sol n'a pas fait l'objet d'analyse.

5.2.4. Résultats des analyses

Les résultats d'analyse sont indiqués dans le Tableau 6 ci-après. Les valeurs sont exprimées en $\mu\text{g}/\text{tube CA}$. Le bulletin d'analyses est présenté en Annexes 8.

L'ensemble de ces teneurs seront donc intégrées à l'analyse des risques du plan de gestion.

Tableau 6 : Résultats des analyses sur les gaz des sols – expression des résultats brut sur charbon actif en $\mu\text{g}/\text{tube}$ de substance

Paramètre	Unité	PA1 (Zone de mesure)	LQ
Mesure in situ au PID	ppm	0	-
Elément trace métallique			
Mercure volatil (tube)	$\mu\text{g}/\text{tube}$	< 0,050	0,050
Volume d'air pompé	L	31	-
Calcul de la concentration	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	< 1,61	1,61

5.2.5. Interprétation des résultats obtenus sur la matrice gaz des sols

5.2.5.1 Valeur de référence

Pour se faire une idée de comparaison, nous joignons pour indication les valeurs de référence existante issues de la fiche de données toxicologiques du 20/09/2010 (Tableau 7). Ces valeurs sont ici données à titre indicatif, elles ne sont pas utilisées dans le cadre de la présente évaluation des risques comme référentiel.

Tableau 7 : Valeur de référence pour le mercure volatil (source : INERIS)

Paramètres	Unité	Concentration	Source*
Valeurs utilisées dans le milieu du travail			
Mercure (vapeur)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 (VME ²)	Notes documentaires INRS ED 984 (2008)
Mercure (composés alkylés)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 (VME)	
Mercure (composés arylés et inorganique)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 (VME)	
Qualité de l'air ambiant			
Mercure inorganique (vapeurs)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1	OMS : Directives de qualité pour l'air

* Les sources ont été issues de la fiche de données toxicologiques de l'INERIS « Mercure et ses dérivés » du 20/09/2010

5.2.5.2 Caractérisation des gaz de sols en mercure volatil

Le résultat d'analyse a montré l'absence de mercure volatil détecté dans l'échantillon analysé, la teneur obtenue étant inférieure à la limite de quantification du laboratoire. A fortiori, les valeurs de référence sont respectées.

5.3. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES

Au vu des résultats mis en évidence lors des investigations complémentaires, il ressort la présence de toluène et d'éléments traces métalliques (As, Cu, Pb et Zn) dans les eaux souterraines, globalement dans de faibles teneurs. On notera cependant un dépassement pour l'arsenic de la valeur de référence visant l'eau destinée à la consommation humaine (Annexe I de l'Arrêté du 11 janvier 2007), teneur qui reste cependant inférieure à celle des eaux brutes destinées à la production d'eau potable (Annexe II de l'arrêté).

On relève par ailleurs l'absence de mercure volatil dans le prélèvement de gaz de sols effectué à l'emplacement du point CB6 ayant présenté la plus forte teneur en mercure sur brut lors des investigations d'ARCADIS de juin 2012.

Sur la base de ces constats, la présence de toluène dans les eaux souterraines est donc prise en compte dans la réalisation de l'analyse des risques résiduels (ARR), en tant que substance organique volatile.

² VME : Valeur limite de moyenne d'exposition. Elle est mesurée ou estimée sur la durée d'un poste de travail de 8 heures, elle est destinée à protéger les travailleurs des effets à moyen ou long terme. La VME peut être dépassée sur de courtes périodes, à condition de ne pas dépasser la VLE (si elle existe).

ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS

5.4. METHODOLOGIE DE L'EVALUATION DETAILLEE DES RISQUES

L'évaluation détaillée des risques pour la santé humaine vise à quantifier les risques pour la santé liés à l'exposition chronique des personnes à des substances présentes actuellement, ou potentiellement présentes ultérieurement, dans les sols et eaux souterraines au droit du site.

5.4.1. Etapes de la démarche

La démarche suivie pour réaliser l'évaluation des risques se déroule selon les étapes chronologiques suivantes :

- Collecte de données de terrains après les travaux de dépollution de site et les résultats de réception de fond de fouille
- Elaboration du schéma conceptuel,
- Evaluation des dangers et des relations dose-effets,
- Evaluation des expositions,
- Evaluation des risques,
- Evaluation des incertitudes,
- Conclusions et recommandations.

- **Collecte des données de terrain**

Cette phase, qui a pour but de récolter les données nécessaires à la réalisation de la présente ARR, a été réalisée lors de la mission de réception de fin de travaux de dépollution. La synthèse des investigations et résultats obtenus en fond de fouille a été présentée dans la partie « 4. Validation des Fonds de Fouille ».

Les données collectées portent sur l'analyse des sols qui restent en place sur le site.

- **Elaboration du schéma conceptuel**

Afin de déterminer les risques présentés par la présence de traces de résidus pétroliers au sein des sols en fonction de l'usage envisagé du site, l'élaboration d'un schéma conceptuel vise à mettre en évidence :

- les sources,
- les milieux d'exposition,
- les voies de transfert et d'exposition pour les futurs usagers,
- les cibles.

- **Evaluation des dangers et des relations dose-effets**

Cette étape consiste à collecter et analyser des données afin de recenser de manière exhaustive :

- les substances présentes sur le site,
- les voies de transferts potentielles de ces substances vers les cibles,
- les dangers liés à ces substances.

Une sélection des substances à prendre en compte est effectuée en fonction :

- de leur présence constatée sur le site et dans son environnement ou de leur présence potentielle (éventuels produits de dégradation),
- de leurs effets similaires sur la santé,
- des relations doses-effets qui leur sont attribuables,
- de leur comportement dans l'environnement (mobilité, volatilité, dégradabilité...).

Par ailleurs, toutes les caractéristiques toxicologiques et physico-chimiques de ces substances seront recherchées afin de pouvoir quantifier les risques sanitaires.

- **Evaluation des expositions**

Cette phase consiste à déterminer les voies de passage du polluant de la source vers la cible, ainsi qu'à estimer la fréquence, la durée et l'importance de l'exposition.

- **Evaluation des risques**

Cette phase est l'étape finale de l'évaluation quantitative des risques sanitaires. Les informations issues des étapes précédentes sont synthétisées et intégrées sous la forme d'une expression qualitative et quantitative du risque.

- **Evaluation des incertitudes**

Les expressions quantitatives du risque obtenues doivent être discutées en fonction des incertitudes, liées d'une part à l'évaluation de l'exposition et d'autre part à l'évaluation de la toxicité des substances. L'évaluation des incertitudes peut être qualitative ou quantitative suivant les éléments concernés.

5.4.2. Rappel sur les données de terrain

5.4.2.1 Données sur les sols

Au vu des résultats d'analyses obtenus, on constate des concentrations résiduelles en HCT volatils, Isopropanol et Acétone au sud de la zone excavée, en fond de la fouille (-7,60 m par rapport à la rue du 501^{ème} Régiment de Chars de Combat).

Afin de se placer dans le cas le plus défavorable, nous avons choisi de considérer la teneur maximale obtenue lors des analyses de fond de fouille, et de considérer cette concentration comme constante sous l'ensemble de la surface du sous-sol du bâtiment, sur une épaisseur de sol de 1 m environ (entre la côte de fond de terrassement à $\approx 7,50$ m, et la profondeur mesuré de la nappe phréatique, mesurée à 8,20 m et retenue ici à 8,50 m avec battement retenu).

5.4.2.2 Données sur les eaux souterraines

Les investigations complémentaires sur les eaux souterraines ont permis également de mettre en évidence la présence de substances polluantes, et notamment de substances volatiles à prendre en compte dans cette ARR. On retiendra donc la présence de toluène pour les calculs de risque.

5.4.2.3 Données sur les gaz des sols

Les investigations complémentaires sur les gaz des sols ont permis également de mettre en évidence l'absence de mercure volatil dans le prélèvement effectué dans le piézair implanté au niveau du sondage qui avait présenté la plus forte teneur en mercure sur brut. Cet élément ne sera donc pas retenu dans la présente ARR.

5.4.3. Rappels sur les caractéristiques propres au site

D'après la carte géologique n°457 de Tours au 1/50 000, le site est localisé sur une zone d'alluvions récentes.

Il s'agit d'alluvions graveleuses, sableuses et argileuses épaisses de 5 m, présentes sous 5 m de remblais à Tours près de la Cathédrale. Elles se situent 2 ou 3 m au-dessus des alluvions modernes. Elles constituent une « montille » holocène dont la base est probablement wurmienne. Dans le cadre de la campagne d'échantillonnage réalisée pour le diagnostic complémentaire (Affaire EAG3227, Rapport E14Q2/12/151), les sols en présence montraient une texture majoritairement sableuse (85 %).

Par principe de précaution et afin de se placer dans le cas le plus défavorable, la matrice a été considérée comme uniquement sableuse (celle-ci favorisant les phénomènes de convection-diffusion à travers les horizons de sol) pour la réalisation de la présente Analyse des Risques Résiduels.

5.5. SCHEMA CONCEPTUEL (A300)

Afin de déterminer les risques présentés par les différentes pollutions en fonction de l'usage envisagé du site, l'élaboration d'un schéma conceptuel vise à mettre en évidence :

- les sources,
- les milieux d'exposition,
- les voies de transfert et d'exposition pour les futurs usagers,
- les cibles.

5.5.1. Hypothèses de base du projet

Le projet sur le site concerne la construction de logements collectifs et de bureaux sur l'ensemble du projet. Les plans du futur projet sont consignés en **Annexe 9**.

Au niveau de la parcelle n°1 du projet, concernée par la zone de contamination résiduelle identifiée, il sera construit deux résidences de logements : une résidence « étudiants » de 118 chambres (14 à 15 m²) avec services associés sur la moitié Ouest, et une résidence « services seniors » de 78 logements (quasi-exclusivement T2 de 40 à 45 m²) avec pool-house. Ces résidences comprennent plusieurs étages et deux niveaux de parking, un enterré et un en rez-de-chaussée. La zone de contamination résiduelle se situe sur la moitié Est, au droit de la résidence seniors. Les espaces extérieurs seront entièrement recouvert (enrobé bitumeux ou remblais d'apport sain sur au moins 30 cm).

La résidence « services seniors » est destinée à des personnes seniors vivant seules ou en couple, ayant besoin de services associés. Mais la résidence en tant que telle n'accueillera pas de locaux spécifiques destinés à ces services.

De principe, et au vu de la taille des logements, ces locaux d'habitation ne sont pas adaptés pour des familles. On distingue aussi pour ce bâtiment, sur le plan du rez-de-chaussée, un grand local indiqué comme « ERP type M 5^{ème} catégorie » tout au Sud du bâtiment. Selon M. BRASSAC (cabinet d'architecte), il pourrait s'agir d'un local commercial. Celui-ci ne se situe pas au droit du sous-sol, mais sur le terrain directement. Aucun autre local d'activité n'est repéré en rez-de-chaussée : les autres locaux sont uniquement destinés au passage (local poubelles et vélos).

Les zones d'exposition futures retenues dans la cadre de la présente évaluation des risques seront le niveau de parking enterré, le niveau de parking supérieur ainsi que le niveau de logement du premier étage du bâtiment de la résidence. Bien que situé à plus d'une trentaine de mètres plus au Sud de la zone de contamination résiduelle, le local commercial peut être également retenu par principe de précaution, étant à même le sol et non au droit du sous-sol.

5.5.2. Les sources

En fonction des études réalisées jusqu'à présent et des validations de fond de fouille effectuées à l'issue des travaux de dépollution, les sources de contamination prises en considération dans cette analyse ont été les sols souterrains et les eaux souterraines impactés par des polluants de type hydrocarbures, solvants polaires et alcools (substances volatiles). En particulier, nous avons sélectionné les concentrations maximales de chacun des paramètres entrant en compte dans la présente analyse des risques et considérées celles-ci en tant que teneurs constantes pour l'ensemble des milieux souterrains situés sous l'emprise du bâtiment, sur une épaisseur de sol de 1 m en zone non saturée (de la côte de fond de terrassement au toit de la nappe phréatique).

5.5.3. Les voies de transfert et d'exposition

Considérant les aménagements prévus, il ne pourra y avoir de contact direct entre les contaminations mises en évidence au sein des sols et des eaux souterraines. En effet, l'utilisation des eaux souterraines n'est pas prévue, que ce soit pour la copropriété ou à titre individuel (absence de jardin privatif), et les résultats d'analyses obtenues lors de cette mission montre que son utilisation dans le cadre résidentiel est déconseillée. En outre, le projet prévoit un recouvrement de surface de l'ensemble des sols du site :

- au droit des futurs bâtiments : existence d'une dalle béton,
- au droit des futures voiries et zones de circulation : enrobé bitumé,
- au droit des futurs espaces verts et allées piétonnes : apport de terres végétales saines ou de remblais sains (type gravier) sur au moins 30 cm.

Un transfert de polluantes depuis les milieux souterrains vers les milieux d'exposition reste possible par volatilisation des substances volatiles présentes et transfert via la phase gazeuse es des sols.

En théorie, un transfert de substances organiques depuis les sols vers les réseaux d'alimentation en eau potable via l'eau du sol peut être envisagé dans le cas général. Ici, les niveaux impactés des sols et des eaux souterraines sont situés très en profondeur et, par conséquent, ne seront pas en contact avec les réseaux d'alimentation en eau potable.

Ainsi, la voie de d'exposition prise en compte est l'inhalation de composés volatils gazeux provenant de la diffusion et de la convection des milieux souterrains (sols et gaz des sols).

5.5.4. Les milieux d'exposition

Dans le cadre du projet, au vu des sources identifiées et des voies de transfert et d'exposition relevées, le milieu d'exposition retenu dans cette est l'air ambiant intérieur des futurs locaux : parkings, logements et local commercial.

Logiquement, on considèrera l'exposition aux polluants dans l'air extérieur négligeable par rapport à celle en intérieur dans le bâtiment pour des raisons évidentes de temps passés, de dilution des concentrations et de confinement des polluants.

5.5.5. Identification des cibles

La résidence « services seniors » est destinée à accueillir des personnes adultes d'âge avancé (plus de 60 ans). Le local commercial est destiné à accueillir des travailleurs et leurs clients (occupants ou non des résidences). La salle de fitness est destinée à accueillir l'encadrant et les usagers de la salle (occupants ou non des résidences).

Afin de se placer dans le cas le plus défavorable, à la demande de la DREAL (M. MONTASSIER), nous considérerons également la possibilité d'occupation des logements par une famille selon les paramètres d'exposition conventionnels.

Ainsi, nous considérerons les cibles humaines suivantes pour les scénarii retenus :

➤ Scénario 1 : basé sur le projet

- **Résident sénior** : cas défavorable, il est caractérisé par un individu aux facultés de déplacement réduites, demeurant en permanence dans son logement (cas dégradé). Il possède un poids de 70 kg ;
- **Travailleur permanent** : cas défavorable, il occupe un local d'activité (local commercial ou salle fitness) au rez-de-chaussée, non situé au droit du sous-sol, durant toute sa carrière professionnelle, présent en permanence dans ce local durant ses horaires de travail. Il est caractérisé par un individu ayant un poids de 70 kg.

➤ Scénario 2 : alternative dégradé concernant l'occupation des logements

- **Résident enfant vivant sur le site de 0 à 6 ans** : il est assimilé à un individu d'âge inférieur à 6 ans, ayant un poids moyen de 15 kg, et est scolarisé à partir de 3 ans.
- **Résident adulte vivant sur le site de 6 à 30 ans** : il est caractérisé par un individu ayant un poids de 70 kg présent en permanence sur le site.

Ces cibles ainsi que le nombre d'années d'exposition sont celles reprises dans l'annexe I du document INERIS DRC-01-25587/DESP-R01 de novembre 2001 pour un scénario sensible en habitation individuelle. Notons que les deux cibles quittent le domicile familial pour les vacances, soit deux semaines complètes en été et une semaine en hiver. La cible humaine résidente sera donc considérée comme une personne résidant en permanence sur le site depuis sa naissance et quittant sa famille à 30 ans.

Les passants éventuels ou clients ne sont pas considérés du fait de leur très faible exposition, négligeable par rapport à celle des occupants permanents (résidents et travailleurs).

5.5.6. Synthèse

Les calculs de risques ne seront effectués que sur les cibles et secteurs qui ont été identifiés comme les plus sensibles. C'est-à-dire, ceux pour lesquels les concentrations en polluants liés à la contamination des milieux souterrains sont maximales et où les temps d'exposition ne sont pas négligeables. Les résultats qui en découleront proviendront donc d'une démarche conservatrice et pourront être appliqués aux autres secteurs pour lesquels les niveaux de risques seront obligatoirement moindres (cette hypothèse ne pouvant être généralisée à d'autres configurations de projet). Notons qu'à la demande de la DREAL, une alternative résidentielle non sélective aux « séniors » sera également étudiée (bien que les logements situés au niveau le plus bas sont de type 2, non propice à la venue d'une famille).

La représentation du schéma conceptuel est jointe en Annexe 10.

5.6. EVALUATION DES DANGERS

5.6.1. Identification et sélection des substances

5.6.1.1 Milieux Sols

Nous rappelons que les sols sources de contamination sont ceux situés à plus de 7,50 m de profondeur (par rapport à la rue du 501^{ème} RCC), soit 4,50 m sous la dalle béton du sous-sol, sur une profondeur de 1 m (jusqu'au toit de la nappe).

Les substances prises en compte dans la présente Analyse des Risques Résiduels sont toutes celles ayant présenté des concentrations supérieures aux limites de quantification dans les sols.

Par ailleurs, les risques étant liés aux phénomènes de volatilisation, les substances prises en compte ont été les substances dites volatiles, c'est-à-dire celles présentant une pression de vapeur de 0,01 kPa ou plus à une température de 293,15 °K (définition de la directive 1999/13/CE du 11 mars 1999 rectifiée).

Les polluants retenus ont donc été les suivants :

➤ **TPH = Total Petroleum Hydrocarbons (fractions C6 à C10 et C10 à C16)**

Seules les substances ayant un nombre de carbone inférieur à 16 ont été retenues car elles possèdent une pression de vapeur supérieure à 0,01 kPa à 293,15 °K. Au-delà de 16 atomes de carbones, elles ne sont plus considérées comme des substances volatiles par la directive précitée.

➤ **Autres composés aromatiques volatils**

Pour la volatilisation depuis les sols souterrains, l'acétone et l'isopropanol ont été retenus.

En fonction des résultats analytiques, nous avons retenu les concentrations maximales en polluants volatils observées sur les prélèvements en fond et parois de fouille pour effectuer les calculs de risques.

Tableau 8 : Concentrations en contaminants dans les sols retenues pour les calculs de risques

Paramètres	Unité	Concentration Maximale dans les Sols	LQ ³
HCT			
Fraction C6-C8	mg/kg MS	110	1
Fraction C8-C10	mg/kg MS	490	1
Fraction C10-C12	mg/kg MS	570	4
Fraction C12-C16	mg/kg MS	160	4
Autres solvants			
Acétone	mg/kg MS	55,1	0,10
Alcools			
Isopropanol	mg/kg MS	310	0,20

³LQ : Limite de quantification de la méthode analytique utilisée en dessous de laquelle les polluants ne sont pas détectés

5.6.1.2 Milieux Eaux Souterraines

Nous rappelons que les eaux souterraines impactées se situent à 5,70 m de profondeur par rapport aux sols actuels (dalle béton de l'ancien sous-sol), soit 8,20 m sous le niveau de la rue du 501^{ème} R.C.C..

Les substances prises en compte dans la présente Analyse des Risques Résiduels sont toutes celles ayant présenté des concentrations supérieures aux limites de quantification dans les eaux souterraines.

Par ailleurs, les risques étant liés aux phénomènes de volatilisation, les substances prises en compte ont été les substances dites volatiles, c'est-à-dire celles présentant une pression de vapeur de 0,01 kPa ou plus à une température de 293,15 °K (définition de la directive 1999/13/CE du 11 mars 1999 rectifiée).

Ainsi, le polluant retenu pour les calculs de risques est donc le toluène, seule substance organique à la propriété volatile relevée dans les eaux souterraines au droit du site lors du prélèvement du 24 septembre dernier.

Tableau 9 : Concentrations en contaminants dans les eaux souterraines retenues pour les calculs de risques

Paramètres	Unité	Concentration dans les Eaux Souterraines
Solvants aromatiques volatils		
Toluène	µg/L	8,3

5.6.2. Evaluation des dangers des substances

L'évaluation du potentiel danger des substances consiste à identifier les effets néfastes qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme.

Pour évaluer ces dangers, il est nécessaire de connaître, pour chaque substance :

- ses caractéristiques physico-chimiques, qui permettent de déterminer son comportement dans l'environnement (mobilité, volatilité, solubilité...),
- ses effets sur la santé (dangers associés, relations dose/effets, organes-cibles, voies d'exposition...) : effets systémiques, cancérigènes, tératogènes, mutagènes, effets sur la reproduction et le développement,
- ses produits de dégradation et leurs caractéristiques.

Les effets des substances sont quantifiés selon deux approches :

- l'approche déterministe ou toxicologique, qui considère des effets à seuil : effets pour lesquels on peut définir une dose journalière tolérable ou admissible (DJT ou DJA) ou une concentration maximale tolérable ou admissible (CMT ou CMA) correspondant aux niveaux maximums d'exposition sans risque appréciable d'effets néfastes pour l'homme. Cette approche est appliquée pour les effets systémiques des substances.
- l'approche stochastique, qui considère des effets sans seuil : effets susceptibles de survenir quel que soit le niveau d'exposition (aucun niveau d'exposition sans risque). On définit alors des excès de risque unitaire correspondant à la probabilité d'occurrence supplémentaire de l'effet pour un individu exposé au polluant attribuable au site par rapport à un individu exposé au bruit de fond. Les méthodes utilisées pour déterminer ces excès de risque unitaire visent à protéger les populations, y compris les plus sensibles. Les effets cancérigènes doivent être traités dans l'évaluation détaillée des risques comme des effets sans seuil.

Les données collectées sur les substances et leurs produits de dégradation sont synthétisées ci-après. Elles sont issues de la consultation des bases de données suivantes : FURETOX (INVS), ATSDR, IRIS (US-EPA), HSDB, INERIS, INRS, TERA, INCHEM, JRC/ECB (classement CE des substances dangereuses).

5.6.3. Caractéristiques physico-chimiques

Les particularités des éléments sélectionnés pour la présente évaluation détaillée des risques sont reprises dans le tableau de l'Annexe 7.

5.6.4. Effet sur la Santé – Toxicité des substances

Les effets sur la santé et la toxicité des éléments sélectionnés pour la présente évaluation des risques sont repris dans les tableaux de l'Annexe 8.

Notons qu'aucune valeur toxicologique de référence (VTR) n'existe pour l'Isopropanol. Cette molécule ne sera donc pas prise en compte dans la réalisation de l'Analyse des Risques Résiduels. En effet, la circulaire DGS/SD 7B n° 2006-234 du 30/05/06 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact, précise que dans le cas d'une inexistence de VTR « la quantification du risque est bien évidemment impossible ».

5.6.5. Effets cancérigènes

Le tableau 3 ci-dessous reprend les classements des substances rencontrées en concentrations supérieures à la limite de quantification pour les organismes CIRC, UE et USEPA.

Tableau 10 : Classement des effets cancérigènes par organismes reconnus

SUBSTANCES	CE	CIRC-IARC	US-EPA
Hydrocarbures totaux			
Heptane (n-)	Pas classé	Pas classé	Classification : D non classifiable pour l'homme – 01/12/1996
Octane (n-)	Pas classé	Pas classé	Pas classé
Nonane (n-)	Pas classé	Pas classé	Pas classé
Décane (n-)	Pas classé	Pas classé	Pas classé
Undécane (n-)	Pas classé	Pas classé	Pas classé
Dodécane (n-)	Pas classé	Pas classé	Pas classé
Chaîne carbonée C13-C16	Pas classé	Pas classé	Pas classé
Solvants aromatiques volatils			
Acétone	Pas classé	Pas classé	Groupe D : non classifiable quant à sa cancérogénicité pour l'homme
Toluène	Pas classé	Groupe 3 (1999)	NC (2005)
Alcools			
Isopropanol	Pas classé	Pas classé	Groupe D : non classifiable quant à sa cancérogénicité pour l'homme

Légende :

Classement du Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC) :

- Groupe 1 : L'agent ou le mélange est cancérogène pour l'homme. Le mode d'exposition à cet agent entraîne des expositions qui sont cancérogènes pour l'homme.
- Groupe 2A : L'agent ou le mélange est probablement cancérogène pour l'homme. Le mode d'exposition à cet agent entraîne des expositions qui sont probablement cancérogènes pour l'homme.
- Groupe 2B : L'agent ou le mélange est peut-être cancérogène pour l'homme. Le mode d'exposition à cet agent entraîne des expositions qui sont peut-être cancérogènes pour l'homme.
- Groupe 3 : L'agent, le mélange ou le mode d'exposition est inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme.
- Groupe 4 : L'agent, le mélange ou le mode d'exposition n'est probablement pas cancérogène pour l'homme.

Classement de l'Union Européenne (UE) :

- Catégorie 1 : Substances que l'on sait être cancérogène pour l'homme
Phrases de risque :
R45 : Peut causer le cancer
R49 : Peut causer le cancer par inhalation
- Catégorie 2 : Substances devant être assimilées à des substances cancérogènes pour l'homme.
Phrases de risque :
R45 : Peut causer le cancer
R49 : Peut causer le cancer par inhalation
- Catégorie 3 : Substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles.
Phrases de risque : R40 : Effet cancérogène suspecté. Preuves insuffisantes.

Classement de l'US EPA (base de données IRIS) :

- Groupe A : cancérogène pour l'homme
- Groupe B (B1/B2) : cancérogène probable pour l'homme
- Groupe C : cancérogène possible pour l'homme
- Groupe D : non classifiable quant à sa cancérogénicité pour l'homme

Au vu de ces classements, aucune substance n'est retenue dans cette étude pour ses effets cancérogènes.

5.7. EVALUATION DES EXPOSITIONS

5.7.1. Paramètres d'exposition

Les valeurs des différents paramètres pris en considération pour établir les scénarii d'exposition sont issues de :

- « Méthode de calcul des valeurs de constat d'impact », Outils méthodologiques de l'INERIS ;
- « Méthode de calcul des valeurs de constat d'impact dans les sols » Version 1, Groupe de travail Sols pollués et Santé Publique (22/04/1999) ;
- « Synthèse des travaux du Département Santé Environnement de l'Institut de Veille Sanitaire sur les variables humaines d'exposition », Institut de Veille Sanitaire (InVS), juillet 2012 ;
- « Exposure Factors Handbook » publié par Office of Research and Development – National Center for Environmental Assessment – U.S. EPA – Washington, DC 20460 (document n°EPA/600/R-09/052F, Septembre 2011).

Les paramètres d'exposition retenus en fonction des cibles considérées sont détaillés dans cette partie. Les scénarii d'exposition détaillés ci-après ont été pris en considération afin de déterminer les quantités moyennes de polluants inhalées dans l'air ambiant intérieur du bâtiment pour les différentes cibles étudiées et substances retenues.

5.7.2. Scénarii d'exposition retenus

Les scénarii d'exposition détaillés ci-après ont été pris en considération afin de déterminer les quantités moyennes de polluants inhalées dans l'air ambiant intérieur pour les cibles étudiées au droit des lieux d'exposition retenus (parking souterrain, logement T2 au R+1, local commercial au RDC). Plusieurs scénarii peuvent être étudiés (bureaux, logements, étudiants et résidents permanents, travailleurs, ...). Nous avons retenu par défaut deux scénarii mettant en œuvre les plus forts taux d'exposition et de fréquentation des lieux au droit du site et de la zone de contamination résiduelle (cas le plus défavorable), soit au droit de la résidence « séniors » :

- **Scénario 1 : Résident sénior et Travailleur permanent**
 - Le résident sénior, à mobilité réduite (cas dégradé), est considéré comme restant en permanence dans son logement 24h / 24h. Il ne fréquente pas le parking en sous-sol, ni le local commercial au rdc ;
 - Le travailleur fréquentait chaque jour le local commercial situé à même le sol au rdc (non au droit du sous-sol) où il demeure en permanence durant ses horaires de travail pour toute sa vie professionnelle.
- **Scénario 2 : Résident naissant sur site et quittant le domicile familial à 30 ans**
 - Les parkings des niveaux inférieurs sont destinés aux résidents des logements situés aux étages supérieurs. Afin de prendre en compte le cas le plus défavorable, nous avons considéré que les cibles fréquentaient chaque jour le parking du sous-sol et leur logement situé au premier étage (logement situé au plus proche de la source de contamination des milieux souterrains).
 - Cette cible se caractérise par :
 - Résident « enfant » 0 à 6 ans allant à l'école à partir de 3 ans,
 - Résident « adulte » 6 à 30 ans.

5.7.2.1 Inhalation d'air ambiant intérieur dans un logement du 1^{er} étage pour le résident sénior

Tableau 11 : Paramètres d'exposition pour le résident sénior fréquentant un logement au 1^{er} étage

Paramètres d'exposition	Résident sénior sédentaire
Durée d'exposition T (années)	24,8*
Fréquence d'exposition réelle annuelle F (j/an)	365
Durée de vie moyenne TM (jours)	25 550
Quantité journalière moyenne d'air inhalée sur site (m ³ /j)	20
Masse corporelle moyenne (kg)	70

* 24,8 ans ont été considérés comme la différence entre l'espérance de vie d'une femme (84,8 ans en France en 2010) et l'âge d'entrée des pensionnaires les plus jeunes, à savoir 60 ans. Ce scénario est le plus majorant.

Les durées d'exposition réelles annuelles ont été déterminées sur la base des temps d'exposition de 365 j / an, 24h / 24h, soit une durée d'exposition totale annuelle : **365 j (24h/24h) /an.**

Nous rappelons que le résident sénior est considéré dans le cas dégradé d'une perte de mobilité, contraignant l'individu à rester en permanence dans son logement.

5.7.2.2 Inhalation d'air ambiant intérieur dans local commercial en rdc pour le travailleur permanent

Tableau 12 : Paramètres d'exposition pour le travailleur permanent fréquentant le local commercial

Paramètres d'exposition	Travailleur permanent
Durée d'exposition T (années)	40
Fréquence d'exposition réelle annuelle F (j/an)	78,3
Durée de vie moyenne TM (jours)	25 550
Quantité journalière moyenne d'air inhalée sur site (m ³ /j)	20
Masse corporelle moyenne (kg)	70

Les durées d'exposition réelles annuelles ont été déterminées sur la base des temps d'exposition suivants :

- 8 h/jour – 5 jours/semaine – 47 semaines/an, soit 1 880 h/an

Durée d'exposition totale annuelle : 1 880 h/an soit **78, 33 j (24h/24h) / an.**

5.7.2.3 Inhalation d'air ambiant intérieur dans le parking en sous-sol pour les cibles familiales

Tableau 13 : Paramètres d'exposition pour les cibles familiales fréquentant le parking

Paramètres d'exposition	Résident enfant 0-6 ans	Résident adulte 6-30 ans
Durée d'exposition T (années)	6	24
Fréquence d'exposition réelle annuelle F (j/an)	7,2	7,2
Durée de vie moyenne TM (jours)	25 550	25 550
Quantité journalière moyenne d'air inhalée sur site (m ³ /j)	20	20
Masse corporelle moyenne (kg)	15	70

Les durées d'exposition réelles annuelles ont été déterminées sur la base des temps d'exposition suivants :

- 0,5 h/jour – 7 jours/semaine – 49 semaines/an, soit 171,5 h/an,
=> Durée d'exposition totale annuelle : 171,5 h/an soit environ 7,2 j (24h/24h) /an.

Chaque cible utilise le sous-sol ¼ h le matin et ¼ h le soir. Notons que ces cibles quittent le domicile familial pour les vacances, soit deux semaines complètes en été et une semaine en hiver.

5.7.2.4 Inhalation d'air ambiant intérieur dans un logement du 1^{er} étage pour les cibles familiales

Tableau 14 : Paramètres d'exposition pour les cibles familiales fréquentant un logement au 1^{er} étage

Paramètres d'exposition	Résident enfant 0-6 ans	Résident adulte 6-30 ans
Durée d'exposition T (années)	6	24
Fréquence d'exposition réelle annuelle F (j/an)	267,5	280
Durée de vie moyenne TM (jours)	25 550	25 550
Quantité journalière moyenne d'air inhalée sur site (m ³ /j)	20	20
Masse corporelle moyenne (kg)	15	70

Les durées d'exposition réelles annuelles ont été déterminées sur la base des temps d'exposition suivants :

- > Pour le résident adulte sédentaire :
 - Hiver : 23 h/jour – 7 jours/semaine – 25 semaines/an, soit 4025 h/an
 - Été : 16 h/jour – 7 jours/semaine – 24 semaines/an, soit 2688 h/an
- => Durée d'exposition totale annuelle : 6713 h/an soit environ 280 j (24h/24h) /an.

Nous rappelons que le résident adulte est considéré comme étant présent en permanence sur le site sauf trois semaines par an (vacances hors site).

- > Pour le résident enfant de 0 à 6 ans :

Il est considéré comme sédentaire de 0 à 3 ans et allant à l'école de 3 à 6 ans. Sa durée d'exposition annuelle moyenne sera donc de 267,5 j (24h/24h) /an (moyenne de 280 j/an entre 0 à 3 ans et de 255 j/an entre 3 à 6 ans).

5.7.3. Niveaux d'exposition

5.7.3.1 Hypothèses retenues

Afin de modéliser les concentrations de polluants dans l'air ambiant intérieur du sous-sol, d'un logement au 1^{er} étage et d'un local commercial (ou de services) au rez-de-chaussée, nous avons pris en compte plusieurs hypothèses :

- ✓ Hypothèse 1 : pour les hydrocarbures, afin de caractériser les fractions C₆-C₁₆, les caractéristiques définies par TPH ont été prises en compte,
- ✓ Hypothèse 2 : la source « sol » est une source finie. Les concentrations en polluants mesurées au droit des futurs bâtiments, qui ont été mises en évidence à l'issue des validations de fond de fouille ont été prises en compte,
- ✓ Hypothèse 3 : la source « eaux souterraines » est une source infinie. Les concentrations en substances volatiles prises en compte sont celles qui ont été mesurées au droit du piézomètre lors des investigations complémentaires, supérieures aux limites de quantification,
- ✓ Hypothèse 4 sur les dispositions constructives :
 - les sous-sols ne reposent pas sur un vide sanitaire,
 - afin de calculer la surface possible « d'ouvertures » au sein de la dalle, les hypothèses suivantes ont été retenues :

Présence d'un retrait au sein du béton de 2.10^{-4} . Le retrait est une caractéristique du béton. Il correspond à un coefficient de rétraction de l'ordre de 2.10^{-4} en France, sauf dans le sud où sa valeur peut atteindre 3.10^{-4} . Cela revient à étudier l'effet d'une variation de température de -20 ou -30 degrés. L'article 7-3-1 du DTU 14.1 permet de ne retenir qu'une fraction de ce coefficient en fonction des jours écoulés entre la réalisation de la zone coulée et le clouage des joints. Cependant par mesure de précaution, nous retiendrons la valeur de 2.10^{-4} pour le secteur de Tours.

Nous avons également considéré :

- Un sous-sol au droit de la zone de contamination, sous la résidence « services seniors », de surface de plancher de $\approx 59 \text{ m} \times 16 \text{ m}$, soit $\approx 950 \text{ m}^2$ ayant une dalle de 20 cm d'épaisseur et une hauteur sous plafond de 2,50 m. Le volume global du sous-sol a donc été estimé à 2375 m^3 . Nous considérons ici l'aile Est du sous-sol comme zone indépendante malgré la voie de communication existante avec les autres parties du parking souterrain (phénomène de dilution moindre, cas majorant)
- En termes de taux de renouvellement d'air du sous-sol, les volumes avancés dans les documents du CCTP fournis concernent les cas de désenfumage des locaux (cas extrême). Toutefois, le document du Carré Preuilly indique un taux de renouvellement d'air minimum de 2 volumes / heure, assuré par ventilation mécanique en petite vitesse, asservie aux sondes de détection de CO₂ et en parallèle sur minuterie ;
- Pour les différents niveaux de parking et les logements du premier étage, nous avons pris en compte un facteur de dilution de 1/10 entre les concentrations moyennes en polluant à l'intérieur de chaque étage. En effet, compte tenu du modèle de structure du bâtiment (construit sur sous-sol), la modélisation des transferts de vapeurs dans l'air intérieur est conduite sur la base des équations de Johnson & Ettinger (1991). En prenant en compte les équations du logiciel (répertoriées dans la norme ASTM E 1739-95) et les phénomènes de convection et diffusion par la mise en dépression du bâtiment (effet de la ventilation), les teneurs de vapeur dans l'air intérieur du rez-de-chaussée, sont ainsi obtenues à partir de celles modélisées dans l'air intérieur du parking en sous-sol avec l'application d'un facteur d'abattement de 10 et de la même manière pour les logements du premier étage par rapport au parking du rez-de-chaussée.

- Pour le local commercial, le plan en rdc indique des dimensions de 11,48 x 9,35 m, soit une surface de 107 m². En l'absence de coupe au droit de ce local, on considérera 2,50 m sous plafond, bien que des hauteurs supérieures soient souvent mise en œuvre (cas majorant), soit 268 m³.
- En terme de ventilation, nous avons considéré des bureaux ventilés suivant le règlement sanitaire départemental relatif à l'aération des bureaux et locaux assimilés, à savoir 18 m³/h / occupant. En considérant 66 employés au maximum dans le local, le taux de renouvellement obtenu est de 1 188 m³/h, soit 4,42 vol/h. On retiendra a minima dans un local commercial un taux de renouvellement volumique horaire de 4 vol / h.

5.7.3.2 Modélisation des transferts

La modélisation des transferts a été réalisée pour les différentes sources à partir de :

- modélisation des flux de transfert de substances volatiles au droit des bâtiments provenant de sols souterrains à partir du modèle JOHNSON et ETTINGER (SL-ADV version 3.1 ; 02/04) ;
- modélisation des flux de transfert de substances volatiles au droit des bâtiments provenant de eaux souterraines à partir du modèle JOHNSON et ETTINGER (GW-ADV version 3.1 ; 02/04).

En Annexe 9 sont précisés les paramètres utilisés pour le modèle.

5.7.3.3 Détermination des concentrations moyennes inhalées aux lieux d'exposition

Pour la voie respiratoire, on calcule la dose journalière qui est caractérisée par la concentration inhalée. Les concentrations inhalées correspondant à l'inhalation d'air ambiant intérieur sont déterminées de la manière suivante :

$$CI_{int} = (\sum (Cm_{int} \times T \times F)) / TM$$

- Avec :
- CI_{int} : concentration moyenne inhalée à l'intérieur du lieu d'exposition (µg/m³)
 - Cm_{int} : concentration moyenne de polluants dans l'air inhalé pendant l'exposition (µg/m³)
 - T : durée d'exposition réelle pendant la vie de l'individu (années), selon la cible
 - F : fréquence d'exposition réelle (jours/an), selon la cible
 - TM : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée en jours
 - TM = T x 365 jours pour les substances à seuil
 - TM = 70 x 365 = 25 550 jours pour les substances sans seuil

Cette formule est basée sur un volume inhalé moyen VM de 20 m³/jour. Sur la base des données collectées dans « Exposure Factors Handbook », publié par Office of Research and Development – National Center for Environmental Assessment – U.S. EPA – Washington, DC 20460 (document n°EPA/600/P-65/002Fa, Août 1997).

On a alors la formule suivante pour le calcul des concentrations inhalées :

$$CI_{int} = (\sum (Cm_{int} \times T \times F)) \times V_m / (TM \times VM)$$

- Avec : V_m = 20 m³/jour pour une activité standard

5.7.3.3.1 Détermination des concentrations moyennes inhalées par le résident sénior à l'intérieur des logements du premier étage (CI_{L-S})

En ce qui concerne les logements du premier étage, nous prenons en compte un facteur de dilution de 1/10 entre les concentrations moyennes de polluant dans l'air inhalé de deux étages successifs. On considère donc un facteur de dilution de 1/100 ($1/10 \times 1/10$) entre les concentrations dans l'air inhalé des logements (premier étage) et les concentrations dans l'air inhalé du parking en sous-sol, ceux-ci étant séparés de deux étages. Les concentrations inhalées dans les logements correspondant à l'inhalation d'air ambiant intérieur sont déterminées de la manière suivante :

$$CI_{L-S} = (\sum (Cm_L \times T \times F_{L-S})) \times V_m / (TM \times VM)$$

Avec : CI_{L-S} : concentration moyenne de polluants inhalée à l'intérieur du logement ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Cm_L : concentration moyenne de polluants dans l'air inhalé du logement pendant l'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

F_{L-S} : Fréquence d'exposition réelle annuelle (365 j (24h/24h) /an pour le résident sénior)

Le tableau ci-après reprend les concentrations moyennes de polluants dans l'air inhalé pendant l'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les différentes hypothèses considérées.

Tableau 15 : Concentrations moyennes de polluants inhalés dans l'air des logements du 1^{er} étage pendant l'exposition d'un résident sénior ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Air intérieur	Concentrations moyennes dans l'air provenant du dégazage depuis les sols profonds $Cm_{\text{Sols}} (\mu\text{g}/\text{m}^3)$		Concentrations moyennes dans l'air provenant du dégazage les eaux souterraines $Cm_{\text{Eau}} (\mu\text{g}/\text{m}^3)$		Concentrations moyennes inhalées $CI_{L-S} (\mu\text{g}/\text{m}^3)$
	Sous-sol	Logement 1 ^{er} étage	Sous-sol	Logement 1 ^{er} étage	Logement 1 ^{er} étage
Résident sénior					
HCT					
Fraction C6-C8	2,35E+02	2,35E+00	-	-	2,35E+00
Fraction C8-C10	2,75E+02	2,75E+00	-	-	2,75E+00
Fraction C10-C12	2,75E+02	2,75E+00	-	-	2,75E+00
Fraction C12-C16	1,04E-02	1,04E-04	-	-	1,04E-04
BTEX					
Toluène	-	-	1,20E-01	1,20E-03	1,20E-03
Autres solvants					
Acétone	1,18E+02	1,18E+00	-	-	1,18E+00

5.7.3.3.2 Détermination des concentrations moyennes inhalées par le travailleur permanent à l'intérieur du local commercial en rez-de-chaussée (CI_{LC-T})

Le tableau ci-après reprend les concentrations moyennes de polluants dans l'air inhalé pendant l'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les différentes hypothèses considérées. Ces concentrations ont été obtenues grâce au logiciel de modélisation JOHNSON et ETTINGER. Dans le cas du local commercial, nous avons, pour le calcul des concentrations inhalées :

$$CI_{LC-T} = (\sum (Cm_{LC} \times T \times F_{LC-T})) \times V_m / (TM \times VM)$$

Avec : CI_{LC-T} : concentration moyenne de polluants inhalée à l'intérieur du local ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 Cm_{LC-T} : concentration moyenne de polluants dans l'air inhalé du local pendant l'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 F_{LC-T} : Fréquence d'exposition réelle annuelle (78,3 j (24h/24h) /an pour le travailleur permanent)

Tableau 16 : Concentrations moyennes de polluants inhalés dans le local commercial pendant l'exposition d'un travailleur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Air intérieur	Concentrations moyennes dans l'air provenant du dégazage depuis les sols profonds Cm _{Sols} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentrations moyennes dans l'air provenant du dégazage les eaux souterraines Cm _{Eau} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentrations moyennes inhalées CI _{LC-T} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Travailleur permanent	Local commercial	Local commercial	Local commercial
HCT			
Fraction C6-C8	5,21E+01	-	1,12E+01
Fraction C8-C10	6,10E+01	-	1,31E+01
Fraction C10-C12	1,02E+02	-	2,20E+01
Fraction C12-C16	3,80E-03	-	8,15E-04
BTEX			
Toluène	-	5,29E-02	1,14E-02
Autres solvants			
Acétone	2,61E+01	-	5,60E+00

5.7.3.3.3 Détermination des concentrations moyennes inhalées par les cibles familiales à l'intérieur du parking en sous-sol (CI_{SS-F})

Le tableau ci-après reprend les concentrations moyennes de polluants dans l'air inhalé pendant l'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les différentes hypothèses considérées. Ces concentrations ont été obtenues grâce au logiciel de modélisation JOHNSON et ETTINGER.

Dans le cas du parking en sous-sol, nous avons, pour le calcul des concentrations inhalées :

$$CI_{SS-F} = (\sum (Cm_{SS-F} \times T \times F_{SS-F})) \times V_m / (TM \times VM)$$

- Avec :
- CI_{SS-F} : concentration moyenne de polluants inhalée à l'intérieur du sous-sol ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 - Cm_{SS-F} : concentration moyenne de polluants dans l'air inhalé du sous-sol pendant l'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 - F_{SS-F} : Fréquence d'exposition réelle annuelle (7,2 j (24h/24h) /an pour les cibles familiales)

Tableau 17 : Concentrations moyennes de polluants inhalés dans le parking en sous-sol pendant l'exposition des cibles familiales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Air intérieur	Concentrations moyennes dans l'air provenant du dégazage depuis les sols profonds Cm _{Sols} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Concentrations moyennes dans l'air provenant du dégazage les eaux souterraines Cm _{Eau} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Concentrations moyennes inhalées CI _{SS-F} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Parking Sous-sol Enfant	Parking Sous-sol Adulte	Parking Sous-sol Enfant	Parking Sous-sol Adulte	Parking Sous-sol Enfant	Parking Sous-sol Adulte
HCT						
Fraction C6-C8	9,71E+02	2,43E+02	-	-	1,92E+01	4,79E+00
Fraction C8-C10	1,11E+03	2,84E+02	-	-	2,18E+01	5,61E+00
Fraction C10-C12	2,81E+02	2,75E+02	-	-	5,54E+00	5,43E+00
Fraction C12-C16	1,04E-02	1,04E-02	-	-	2,04E-04	2,04E-04
BTEX						
Toluène	-	-	1,20E-01	1,20E-01	2,36E-03	2,36E-03
Autres solvants						
Acétone	1,99E+02	1,22E+02	-	-	3,93E+00	2,40E+00

5.7.3.3.4 Détermination des concentrations moyennes inhalées par les cibles familiales à l'intérieur du logement au 1^{er} étage (CI_{L-F})

En ce qui concerne les logements du premier étage, comme indiqué précédemment, nous prenons en compte un facteur de dilution de 1/10 entre les concentrations moyennes de polluant dans l'air inhalé de deux étages successifs. On considère donc un facteur de dilution de 1/100 (1/10*1/10) entre les concentrations dans l'air inhalée des logements (premier étage) et les concentrations dans l'air inhalé du parking en sous-sol, ceux-ci étant séparés de deux étages. Les concentrations inhalées dans les logements correspondant à l'inhalation d'air ambiant intérieur sont déterminées de la manière suivante :

$$CI_{L-F} = (\sum (Cm_{L-F} \times T \times F_{L-F})) \times V_m / (TM \times VM)$$

Avec : CI_{L-F} : concentration moyenne de polluants inhalée à l'intérieur du logement ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 Cm_{L-F} : concentration moyenne de polluants dans l'air inhalé du logement pendant l'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 F_{L-F} : Fréquence d'exposition réelle annuelle (267,5 et 280 j (24h/24h) /an pour les cibles familiales)

Le tableau ci-après reprend les concentrations moyennes de polluants dans l'air inhalé pendant l'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les différentes hypothèses considérées.

Tableau 18 : Concentrations moyennes de polluants inhalés dans le logement au 1^{er} étage pendant l'exposition des cibles familiales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Air intérieur	Concentrations moyennes dans l'air provenant du dégazage depuis les sols profonds Cm_{Sols} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Concentrations moyennes dans l'air provenant du dégazage les eaux souterraines Cm_{Eau} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Concentrations moyennes inhalées CI_{L-F} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Logement Enfant	Logement Adulte	Logement Enfant	Logement Adulte	Logement Enfant	Logement Adulte
HCT						
Fraction C6-C8	9,71E+00	2,43E+00	-	-	7,12E+00	1,86E+00
Fraction C8-C10	1,11E+01	2,84E+00	-	-	8,11E+00	2,18E+00
Fraction C10-C12	2,81E+00	2,75E+00	-	-	2,08E+00	2,11E+00
Fraction C12-C16	1,04E-04	1,04E-04	-	-	7,60E-05	7,95E-05
BTEX						
Toluène	-	-	1,20E-03	1,20E-03	8,78E-04	9,19E-04
Autres solvants						
Acétone	1,99E+00	1,22E+00	-	-	1,46E+00	9,33E-01

5.8. EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

5.8.1. Relations dose-effets et valeurs toxicologiques de référence

Les risques liés aux polluants présents s'apprécient en comparant les doses journalières moyennes inhalées aux doses de référence par inhalation définies dans la littérature.

Deux types de substances sont pris en compte :

- les substances à seuil, non cancérigènes,
- les substances sans seuil, cancérigènes, absentes de notre étude.

Les concentrations de référence pour l'inhalation des composés non cancérigènes sont les concentrations maximales tolérables (CMT) ou RfC (Reference concentration), exprimées en mg/m³ ou µg/m³.

Dans le cas des substances pour lesquelles plusieurs valeurs de RfC ont été trouvées dans les différentes bibliographies deux approches ont été prises en compte :

- Tout d'abord sélection de ces dernières conformément à la circulaire du 30 mai 2006,
- Sinon pour une même voie d'exposition et pour une durée d'exposition chronique, les valeurs les plus pénalisantes ont été privilégiées. Si celles-ci ont été déterminées à partir d'une durée d'exposition sub-chronique, un facteur de 100 de sécurité a été apporté afin de transposer la valeur pour une exposition chronique.

En ce qui concerne les hydrocarbures totaux, il a été considéré que les fractions C₆ à C₁₆, étaient constituées de chaînes aromatiques, dans la mesure où ceux-ci sont les plus toxiques pour la santé humaine.

Ainsi, les banques de données suivantes ont été consultées : ATSDR, IRIS (US-EPA), RIVM, OEHHA, Santé Canada, HSDB, INERIS, INRS, TERA, INCHEM, OMS (Guidelines for air quality, Guidelines for drinking water quality).

Le tableau ci-dessous indique les valeurs toxicologiques de référence qui ont été retenues pour chaque substance, à chaque fois qu'il en a été trouvé dans les différentes bibliographies consultées : INERIS, US EPA, OMS, ATSDR, TPH.

Tableau 19 : Valeurs toxicologiques de référence – Effets toxiques systémiques – RfC (inhalation)

Substances	Toxicité systémique par Inhalation (RfC)	
	Valeur de référence µg/m ³	Source et Année d'évaluation
Hydrocarbures		
Fraction aromatique C8-C8	4,00E+02	TPHCWG (1997)
Fraction aromatique C8-C10	2,00E+02	TPHCWG (1997)
Fraction aromatique C10-C12	2,00E+02	TPHCWG (1997)
Fraction aromatique C12-C16	2,00E+02	TPHCWG (1997)
BTEX		
Toluène	3,00E+03	ANSES 2011
Autres solvants		
Acétone	3,09E+04	ATSDR (1994)

Nous rappelons qu'aucune valeur toxicologique de référence (VTR) n'existe pour l'isopropanol. Cette molécule ne sera donc pas prise en compte dans la réalisation de l'Analyse des Risques Résiduels. En effet, la circulaire DGS/SD 7B n° 2006-234 du 30/05/06 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact, précise que dans le cas d'une inexistence de VTR « la quantification du risque est bien évidemment impossible ».

5.8.2. Calcul des risques sanitaires

Les risques sanitaires calculés dans cette partie se limitent aux polluants volatils localisés dans les sols au droit du bâtiment du projet.

Afin d'évaluer le risque lié à la toxicité non cancérigène d'une substance, on calcule un quotient de danger :

$$QD = CI \text{ (mg/m}^3\text{)} / CMT \text{ (Rfc) (mg/m}^3\text{)}$$

Avec :

CI : Concentration inhalée en mg/m³

CMT : Concentration maximale tolérable en mg/m³

Conformément aux circulaires du 8 février 2007, le risque est considéré comme inacceptable si $QD > 1$ ou si la somme des QD (QD global) > 1 .

Pour les effets à seuils, la possibilité de survenue d'un effet toxique chez la cible s'exprime par un quotient de danger QD, défini tel que :

⇒ pour l'inhalation :

$$QD_{inh} = \frac{CI}{RfC}$$

Lorsque ce quotient de danger, pour le même effet, pour le même organe cible et le même mécanisme d'action, est inférieur à 1, la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable (terme utilisé dans la terminologie de l'INERIS, dans son sens non statistique). Au-delà de 1, la possibilité d'apparition d'un effet toxique ne peut plus être exclue.

Bien que le quotient de danger ne représente pas une probabilité, il faudra considérer que la possibilité de survenue d'un effet toxique sera fonction de la somme des quotients de danger liés aux différentes voies d'administration du polluant et aux différentes substances à seuil d'effet.

Par principe de précaution, SOCOTEC Agence Environnement a additionné les risques toxiques systémiques de toutes les substances, même si l'effet, l'organe cible et le mécanisme d'action étaient différents.

Les résultats des quotients de dangers sont présentés dans les tableaux ci-après.

5.8.2.1 Scénario 1

Tableau 20 : Quotient de danger de risque lié à l'inhalation d'air intérieur du logement au 1^{er} étage par le résident sénior présent en permanence

Inhalation d'air intérieur	Risque toxique/ Quotient de danger
Logement au 1 ^{er} étage	Résident sénior permanent
HCT	
Fraction C6-C8	5,87E-03
Fraction C8-C10	1,38E-02
Fraction C10-C12	1,37E-02
Fraction C12-C16	5,18E-07
BTEX	
Toluène	3,99E-07
Autres solvants	
Acétone	3,81E-05
TOTAL	3,34E-02

On constate que le quotient de danger lié à l'exposition dans les logements du premier étage pour un individu sénior résident en permanence dans son logement est très inférieurs à 1 (30 fois).

Tableau 21 : Quotient de danger de risque lié à l'inhalation d'air intérieur du local commercial en rez-de-chaussée pour le travailleur permanent

Inhalation d'air intérieur	Risque toxique/ Quotient de danger
Local commercial en rdc	Travailleur permanent
HCT	
Fraction C6-C8	2,79E-02
Fraction C8-C10	6,55E-02
Fraction C10-C12	1,10E-01
Fraction C12-C16	4,07E-06
BTEX	
Toluène	3,79E-06
Autres solvants	
Acétone	1,81E-04
TOTAL	2,03E-01

On constate que le quotient de danger lié à l'exposition dans le local commercial situé au rdc pour un travailleur présent en permanence dans le local durant toute sa carrière professionnel est inférieurs à 1.

5.8.2.2 Scénario 2

Tableau 22 : Quotient de danger de risque lié à l'inhalation d'air intérieur du parking en sous-sol pour les cibles familiales

Inhalation d'air intérieur	Risque toxique/ Quotient de danger	
	Enfant 0-6 ans	Adulte 6-30 ans
Parking en sous-sol		
HCT		
Fraction C6-C8	4,79E-02	1,20E-02
Fraction C8-C10	1,09E-01	2,80E-02
Fraction C10-C12	2,77E-02	2,71E-02
Fraction C12-C16	1,02E-06	1,02E-06
BTEX		
Toluène	7,88E-07	7,88E-07
Autres solvants		
Acétone	1,27E-04	7,76E-05
TOTAL	1,85E-01	6,72E-02

On constate que les quotients de danger de l'exposition des cibles familiales dans le parking en sous-sol sont tous inférieurs à 1.

Tableau 23 : Quotient de danger de risque lié à l'inhalation d'air intérieur du logement au 1^{er} étage par pour les cibles familiales

Inhalation d'air Intérieur	Risque toxique/ Quotient de danger	
	Enfant 0-6 ans	Adulte 6-30 ans
Logement au 1^{er} étage		
HCT		
Fraction C6-C8	1,78E-02	4,65E-03
Fraction C8-C10	4,06E-02	1,09E-02
Fraction C10-C12	1,03E-02	1,06E-02
Fraction C12-C16	3,80E-07	3,98E-07
BTEX		
Toluène	2,93E-07	3,06E-07
Autres solvants		
Acétone	4,73E-05	3,02E-05
TOTAL	6,87E-02	2,61E-02

On constate que les quotients de danger de l'exposition des cibles familiales dans un logement au rdc sont tous très inférieurs à 1.

5.8.2.3 Synthèse

Globalement, pour les différentes expositions dans les cas les plus majorants, les quotients de dangers sont de 5 à 38 fois inférieurs au seuil fixé par l'INERIS. Nous avons pu remarquer que ce sont les fractions d'hydrocarbures les plus légères (C6 à C12), qui participent pour plus de 99% à la valeur du QD total.

En particulier, les fractions C₈-C₁₀ et C₁₀-C₁₂ représentent chacune entre 40 et 55 % de la part de risque pour les cibles considérées.

5.8.3. Compilation des résultats

Afin de quantifier l'ensemble des risques encourus par les usagers du site fréquentant différents lieux d'exposition, représenté les quotients de dangers (QD) globaux pour chacun des scénarii retenus :

- Scénario 1 :

Tableau 24 : Quotients de danger globaux du premier scénario

TOTAL RISQUES SANITAIRE PAR INHALATION	Risques toxiques/ QD
Résident sénior occupant de manière permanente un logement au 1 ^{er} étage (365 j/an, 24h/24h)	3,34E-02
Travailleur fréquentant de manière permanente et exclusive le local commercial situé au rdc de la résidence (sans sous-sol)	2,03E-01
SEUIL	1

- Scénario 2 :

Tableau 25 : Quotients de danger globaux du second scénario

TOTAL RISQUES SANITAIRE PAR INHALATION	Risques toxiques/ QD
Résident enfant occupant un logement au 1 ^{er} étage de la résidence et utilisant quotidiennement le sous-sol pour accéder au véhicule familial	2,54E-01
Résident adulte occupant un logement au 1 ^{er} étage de la résidence et utilisant quotidiennement le sous-sol pour accéder au véhicule familial	9,34E-02
SEUIL	1

D'après les circulaires 8 février 2007, le risque est considéré comme inacceptable si $QD > 1$ pour une voie d'exposition ou si la somme des QD (QD global) > 1 .

Comme le montre les tableaux ci-dessus, les valeurs de QD totaux restent **INFÉRIEURS** à 1 quelque soit le scénario et la cible considérée.

Les quotients de danger globaux liés à la présence des substances identifiées dans les sols et eaux souterraines au droit du bâtiment de la résidence « services seniors » ne sont donc pas considérés comme inacceptables pour le projet présenté, pour chaque cible dans les locaux fréquentés.

Nous rappelons que les scénarii utilisés sont très majorants et sécuritaires.

6. EVALUATION DES INCERTITUDES

Au vu des nombreuses hypothèses nécessairement effectuées dans le cadre des investigations de terrain pour la validation des fonds de fouille et de l'analyse des risques résiduels, des imprécisions et incertitudes existent. Celles-ci doivent également faire l'objet d'une évaluation qualitative ou quantitative afin de pouvoir conclure.

6.1. INCERTITUDES LIEES A LA VALIDATION DES FONDS DE FOUILLE

6.1.1. Incertitudes liées à la phase d'investigations

Nos investigations ont été ciblées sur l'ensemble de la zone identifiée comme polluée à l'issue du diagnostic complémentaire réalisé en juillet 2012 (Rapport E14Q/12/137, Affaire EAG3227/1). Huit échantillons de paroi et fond de fouille ont été réalisés jusqu'à 7,6 m de profondeur, ils ont ensuite été analysés en hydrocarbures, alcools et solvants polaires.

En fonction de la fiabilité des informations initiales obtenues et en tenant compte de la ponctualité des prélèvements réalisés autour de la zone d'excavation, la présence d'anomalies ponctuelles sur le reste du site d'étude ne peut pas être totalement exclue.

6.1.2. Incertitude liée à l'analyse par le laboratoire

Tout résultat d'analyse présente une incertitude liée aux conditions de mise en œuvre de cette analyse par le laboratoire. Cependant, les analyses d'échantillons de sols effectuées dans le cadre de cette mission ont été réalisées par un laboratoire reconnu par le COFRAC (comité français d'accréditation), AL-West B.V. du groupe AGROLAB, et selon des méthodes normées internationales (normes ISO et EN).

Il est à noter que cette incertitude ne prend en compte que la mesure analytique de l'échantillon. Lors de l'estimation de l'incertitude d'un sol, la plus grande part d'incertitude provient de l'échantillonnage qui, ici, n'est pas pris en compte.

6.1.3. Incertitude liée au choix du programme analytique

Le programme analytique a été élaboré sur la base des précédentes études de pollution des sols et des observations organoleptiques éventuelles de terrain. Cependant, le nombre d'analyses en fine reste limité et adapté à la zone d'investigation.

6.2. INCERTITUDES LIEES AUX PARAMETRES D'ENTREE DE L'ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS

6.2.1. Incertitude liée à l'échantillonnage

Les concentrations en polluants dans les sols ont été déterminées à partir des résultats d'analyses des échantillons prélevés par SOCOTEC.

Les prélèvements réalisés sont des prélèvements ponctuels, effectués à un moment donné en un point donné, pour une épaisseur de sol déterminée, et présentent donc une incertitude quant à leur représentativité.

Les modalités de conditionnement et conservation des échantillons sont susceptibles d'induire une incertitude liée à la perte de composé par volatilisation ou transformation.

Afin de réduire ces pertes, les échantillons ont été conditionnés en flaconnage adapté et conservés à température optimale (4°C).

6.2.2. Caractéristiques intrinsèques des substances

Les transferts de contaminants d'un compartiment de l'environnement à l'autre dépendent de leurs caractéristiques intrinsèques. Celles-ci sont susceptibles de varier d'une base de données à l'autre et d'une étude à l'autre.

Pour les substances dont les caractéristiques étaient disponibles dans la base de données du modèle de Johnson et Ettinger, ce sont ces caractéristiques qui ont été considérées. Elles ont été toutefois recoupées avec les données disponibles dans les différentes bases de données consultées (fiches toxicologiques de l'INERIS, HSDB, US EPA, Chemfinder, NIST). Les valeurs utilisées sont globalement cohérentes pour l'ensemble des bases.

Impact sur les résultats de l'EQRS : conservatoire à majorant

6.2.3. Choix de la concentration en polluant

Nous avons choisi de représenter sous le bâtiment, des concentrations homogènes en polluants égales aux valeurs maximales obtenues lors des analyses de sols et d'eaux souterraines pour chaque élément pris en compte dans l'analyse des risques.

Cette concentration a été appliquée à une épaisseur de sol de 1 m, soit depuis le toit de la nappe phréatique (mesuré à 8,20 m) jusqu'à la côte de fond de fouille en prenant une marge de battement (-0,30 cm, considérant qu'on se situe déjà en période de basses eaux). Même en retenant une épaisseur de sols de 2,50 m (cas de la précédente ARR, rapport n°E14Q2/12/152 du 02 août 2012, affaire EAG3227/2), les conclusions de cette ARR ne changent pas. On obtiendrait pour les différents scénarii les résultats suivants :

Tableau 26 : Quotients de danger globaux dans le cas d'une épaisseur de sols contaminés de 2,50 m

TOTAL RISQUES SANITAIRES PAR INHALATION	Risques toxiques/ QD
Résident sénior occupant de manière permanente un logement au 1 ^{er} étage (365 j/an, 24h/24h)	6,29E-02
Travailleur fréquentant de manière permanente et exclusive le local commercial situé au rdc de la résidence (sans sous-sol)	3,44E-01
Résident enfant occupant un logement au 1 ^{er} étage de la résidence et utilisant quotidiennement le sous-sol pour accéder au véhicule familial	3,52E-01
Résident adulte occupant un logement au 1 ^{er} étage de la résidence et utilisant quotidiennement le sous-sol pour accéder au véhicule familial	1,77E-01
SEUIL	1

Impact sur les résultats de l'EQRS : conservatoire

6.3. INCERTITUDES LIEES A L'UTILISATION DE MODELES

6.3.1. Modèle Johnson et Ettinger

Le modèle de Johnson et Ettinger (version 3.1, 02/04) permet normalement de déterminer des concentrations dans l'air ambiant à l'intérieur des bâtiments à partir des concentrations dans les sols ou dans les gaz des sols.

Dans le cas où la concentration initiale dans le sol entrée par l'utilisateur est supérieure à la concentration de saturation du sol ou si la concentration dans les eaux souterraines est supérieure à la solubilité, le modèle va prendre en considération pour les calculs la concentration de saturation du sol et la solubilité.

Cette démarche exclut l'influence de polluants multiples sur les concentrations de saturation et les solubilités de chaque polluant, puisque chaque polluant est considéré l'un après l'autre. Les valeurs ainsi obtenues sont surestimées du fait de la possibilité d'avoir une phase résiduelle à de faibles concentrations.

Le modèle considère le sol comme homogène. Il ne prend pas en compte les transferts préférentiels de vapeur via d'éventuelles fissures du sol ou le long d'éventuelles racines.

Concernant la remontée et la diffusion à travers la zone capillaire, le modèle assimile les interstices entre les particules à un tube capillaire de diamètre constant. Il considère les conditions de drainage du sol comme constantes et ne tient pas compte des variations du niveau de la nappe. La diffusion à travers la zone capillaire est évaluée à partir d'un coefficient de diffusion effective calculé par le modèle, qui prend en considération la diffusion en phase aqueuse et en phase vapeur. Ce coefficient de diffusion effective est surestimé par le modèle puisqu'il considère que l'ensemble des pores est connecté pour permettre la diffusion.

Enfin, le modèle considère que l'ensemble des transferts de vapeur depuis les sols vers l'intérieur du bâtiment se fait à travers des fissures et ouvertures existantes dans les murs, les dalles et les fondations, ces fissures et ouvertures demeurant identiques au cours du temps. Il est basé sur un différentiel de pression constant entre le sol et l'intérieur du bâtiment. Cette hypothèse est conservatrice car elle néglige les périodes où ce différentiel est nul, par exemple pendant les périodes de temps doux où les ouvertures du sous-sol demeurent ouvertes. Les propriétés du sol au niveau de la zone contaminée sont considérées comme identiques à celles de la couche de sol directement au-dessus et sont étendues jusqu'à une profondeur infinie. Le transport de soluté par convection et la dispersion mécanique sont négligés. Les processus de transformation (biodégradation, hydrolyse,...) ne sont pas pris en compte.

Les études expérimentales indiquent que le modèle Johnson et Ettinger est conservateur pour les composés non chlorés. La surestimation est principalement liée à l'existence d'une biodégradation significative des composés.

Le modèle considère le bâtiment comme un seul espace avec une dispersion instantanée et homogène de la vapeur.

Impact sur les résultats de l'EQRS : conservatoire à majorant

6.4. INCERTITUDES LIEES AUX SCENARIOS D'EXPOSITION

6.4.1. Exposition

Les expositions des différentes cibles sont évaluées à partir de données statistiques moyennes pour les différentes cibles considérées ainsi que les caractéristiques de ces cibles (poids, taille). Elles sont ici très majorantes, retenant le cas extrême (cas du travailleur restant 8 h / j dans le local commercial pendant 40 ans, prise en compte d'une pollution étendue à l'ensemble du site, bien que localisée, et qui serait au droit du local).

Pour les résidents seniors, même en doublant la durée de vie du résident senior dans le logement de la résidence, les indices de risques calculés ne dépassent pas le seuil de référence.

Tableau 27 : Quotients de danger globaux pour l'exposition des cibles liée à la fréquentation du sous-sol

TOTAL RISQUES SANITAIRE PAR INHALATION	Risques toxiques/ QD
Résident senior habitant un logement au 1 ^{er} étage et utilisant quotidiennement le sous-sol pour accéder à son véhicule (état non dégradé, absent pour vacances seulement 3 semaines / an)	9,15 ^E -02
Travailleur fréquentant de manière permanente et exclusive le local commercial situé au rdc de la résidence (sans sous-sol) et qui aurait une place de parking en sous-sol	2,39 ^E -01
SEUIL	1

Les indices de risques pour des expositions associant la fréquentation du parking en sous-sol ne dépassent pas le seuil de référence.

Impact sur les résultats de l'ARR : conservatoire

6.4.2. Scénario non modélisé

Par expérience, on sait que les niveaux d'exposition (aux risques toxiques et cancérigènes) dans des espaces extérieurs ouverts (plain air) sont très nettement inférieurs à ceux en espaces clos (intérieur d'habitation). Ces indices de risques pour l'extérieur n'ont pas été calculés ici, prenant en compte aussi le fait que les espaces verts extérieurs sont situés au-delà de la zone de pollution identifiée et très aérés. Les temps d'exposition sont aussi nettement réduits vis-à-vis des expositions en intérieur.

De plus, aucune zone de jardin individuel n'est prévue au droit de la zone contaminée et l'ensemble des sols du site seront recouverts in fine. Les voies d'exposition par inhalation de particules du sol (poussières), par ingestion de sol, par contact cutané et par consommation de production potagères et fruitières n'ont donc pas été considérées dans cette étude pour les polluants considérés dans la configuration retenue.

Au niveau de la résidence « Etudiante », on recense un petit local Fitness au rdc, en façade Ouest, à même le sol. Sur le plan du rdc, la salle de fitness présente des dimensions de 9 x 2,96 m (soit 26,64 m²). En considérant 2,50 m sous plafond, il possède un volume de 66,60 m³. Suivant le règlement sanitaire départemental, l'aération des locaux à pollution non spécifique (locaux à usage sportif) doivent être ventilés de 25 à 30 m³/h / occupant. En considérant une capacité minimale de 10 personnes dans ce local, le taux de renouvellement obtenu est de 250 m³/h, soit de 3,75 à 4,50 vol/h. On retiendra dans ce local un taux de renouvellement volumique horaire de 4 vol / h. Les résultats des calculs sont donnés en dessous.

On peut alors considérer deux cibles amenées à fréquenter ce local de manière régulière : l'encadrant présent en permanence dans la salle de fitness et l'étudiant usager régulier de la salle de fitness, occupant un logement en rdc de la résidence « Etudiante » et fréquentant le parking en sous-sol.

Tableau 28 : Quotients de danger globaux pour différents scénarii non modélisés

TOTAL RISQUES SANITAIRE PAR INHALATION	Risques toxiques/ QD
Cas d'un encadrant de la salle de fitness, fréquentant en permanence chaque jour de travail la salle durant 20 ans (6h/j, 6j/s, 47s/an soit 70,5 j [24/24]/an ; volume respiratoire à 20 m ³ /j (90 %) et 60 m ³ /j (10%))	4,11 ^{E-01}
Cas d'un étudiant restant 5 ans dans un logement au 1 ^{er} étage de la résidence « Etudiante » (42 sem/an, 120 hv/sem, soit 210 j [24/24]/an, volume respiratoire à 20 m ³ /j), fréquentant chaque jour le parking souterrain pour accéder à son véhicule (1/2 h/j, soit 6,13 j [24/24]/an, volume respiratoire à 20 m ³ /j) et fréquentant 3 fois / semaine la salle de fitness pour s'entretenir pendant 2h (6h/semaine, soit 10,5 j [24/24]/an, volume respiratoire à 60 m ³ /j)	5,55 ^{E-01}
SEUIL	1

On constate également que les quotients de danger globaux ne dépassent pas la valeur seuil. Il s'agit là de scénarii d'exposition extrême, très majorants. Ainsi, même en prenant les cas les plus défavorables avec des expositions surcotées, on respecte les valeurs de référence.

6.5. INCERTITUDE LIEE A L'ABSORPTION DES POLLUANTS

SOCOTEC HSE a pris pour hypothèse de départ le principe que tous les polluants inhalés sont absorbés par l'organisme. Cette hypothèse est majorante du fait de la non prise en compte d'un éventuel facteur d'absorption.

Impact sur les résultats de l'EQRS : majorant

6.6. INCERTITUDES LIEES AUX VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE

L'évaluation de la toxicité des substances a été réalisée à partir des valeurs toxicologiques de référence (VTR) disponibles dans les bases de données consultées. Ces VTR sont données :

- pour une voie d'exposition (inhalation, ingestion, contact cutané) ;
- pour une durée d'exposition (aiguë, sub-chronique, chronique).

Ces valeurs sont susceptibles de varier suivant l'origine des données. Lorsque pour une substance donnée, plusieurs VTR étaient disponibles dans les différentes bibliographies, la hiérarchisation préconisée par la circulaire DGS/SD, 7B n° 2006-234 du 30/05/06 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaire dans le cadre d'études d'impact a été privilégiée.

Impact sur les résultats de l'EQRS : conservatoire à majorant

6.7. INCERTITUDES LIEES AUX CALCULS DES RISQUES

Les valeurs seuils définissant les risques acceptables, issues des circulaires du 8 février 2007, sont à considérer pour un même effet pour la santé et un même organe cible.

Dans le cadre de la présente étude, les risques ont été cumulés quel que soit l'effet et l'organe cible correspondant. Cette approche, menée sur la base du principe de précaution, est extrêmement conservatrice.

Impact sur les résultats de l'EQRS : conservatoire à majorant

6.8. CONCLUSION CONCERNANT LES INCERTITUDES

Notre approche a été une approche basée sur des hypothèses réalistes ou sécuritaires. La situation la plus pénalisante a été prise en considération chaque fois que c'était possible. L'étude réalisée est donc globalement conservatrice et majorante.

7. CONCLUSION

Dans le cadre d'un projet immobilier sur le terrain de l'ancienne imprimerie MAME, située boulevard de Preuilly à TOURS (37), vous avez sollicité SOCOTEC HSE en vue de la réalisation des prestations suivantes :

- Assistance à maîtrise d'ouvrage durant la phase de travaux ;
- Assistance aux opérations de réception de fin de travaux ;
- Investigations complémentaires sur les eaux souterraines et les gaz des sols ;
- Analyse des risques résiduels (ARR) pour la santé humaine.

7.1. SUIVI DE L'EXECUTION DES TRAVAUX ET VALIDATION DES FONDS DE FOUILLE

Les 17, 18 et 19 juillet 2012, SOCOTEC HSE a suivi les opérations de terrassement afin d'excaver et d'évacuer une zone contaminée située le long de la rue du 501^{ème} Régiment de Chars de Combat, au droit d'anciennes cuves de stockage de carburants et solvants aujourd'hui retirées.

Au total, 766,6 tonnes de terres non inertes ont été acheminées vers le centre de traitement biologique BIOTER – GTTP à Vouvray (37).

Les teneurs résiduelles en hydrocarbures totaux, hydrocarbures volatiles, alcools et solvants polaires ont été mesurées au droit de la fouille réalisée (huit échantillons prélevés en paroi et fond de fouille). D'une manière générale, les résultats d'analyse ont montré des teneurs assez proches des limites de quantification en hydrocarbures, alcools et solvants polaires.

Toutefois, on a constaté une présence résiduelle d'hydrocarbures volatiles (C6-C16) d'Isopropanol et d'Acétone dans des teneurs significatives pour l'échantillon CF7, prélevé dans le fond de la fouille, au Sud.

Ainsi, étant donné la présence de ces résidus polluant en fond de fouille d'excavation, la réalisation d'une Analyse des Risques Résiduels est apparue nécessaire afin d'évaluer les risques liés à l'exposition des futurs usagers du site vis-à-vis des contaminants encore présents dans les sols. Afin de compléter la connaissance de la qualité des milieux, il a été décidé, sur demande de la DREAL, de procéder à des investigations complémentaires sur les eaux souterraines et sur les gaz des sols afin d'acquérir des données complémentaires sur les substances polluantes potentiellement présentes dans ces milieux.

7.2. ACQUISITION DE DONNEES COMPLEMENTAIRES

Au vu des résultats mis en évidence lors des investigations complémentaires, il ressort la présence de toluène et d'éléments traces métalliques (As, Cu, Pb et Zn) dans les eaux souterraines, globalement dans de faibles teneurs. On notera cependant un dépassement pour l'arsenic de la valeur de référence visant l'eau destinée à la consommation humaine (Annexe I de l'Arrêté du 11 janvier 2007), mais teneur qui reste inférieure à celle de l'Annexe II (eaux brutes destinées à la production d'eau potable).

On relève par ailleurs l'absence de mercure volatil dans le prélèvement de gaz de sols effectué à l'emplacement du point CB6 ayant présenté la plus forte teneur en mercure sur brut lors des investigations d'ARCADIS de juin 2012.

Sur la base de ces constats, la présence de toluène est donc prise en compte dans la réalisation de l'analyse des risques résiduels (ARR), en tant que substance organique volatile.

7.3. ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS

Cette étude a pris en considération les usagers futurs du site en tant que cibles, en fonction des aménagements projetés et de la localisation des points de contamination :

➤ Futurs aménagements :

- Construction de bâtiments résidentiels pour séniors et étudiants comprenant un niveau de parking en sous-sol, un niveau de parking et un local commercial en rez-de-chaussée et des logements sur les étages supérieurs ;
- Aucun vide sanitaire n'est prévu au droit du futur bâtiment,
- Ensemble de la surface du site sera recouvert (dalle béton, enrobé bitumé, apport de terres végétales ou remblais de carrière sains).

➤ Cibles : premier scénario retenant les cibles prévues par la destination des locaux,

- Résident sénior ayant des facultés de déplacement réduites, occupant en permanence son logement durant l'année,
- Travailleur présent en permanence dans le local commercial.

A la demande de M. MONTASSIER (DREAL 37), il a été considéré un second usage dit « dégradé », second scénario qui prendrait en compte l'occupation des logements du 1^{er} étage de la résidence « séniors » par des familles. Il a donc été considéré un résident naissant sur site et quittant le domicile familial à 30 ans, fréquentant le sous-sol pour l'utilisation du véhicule familial, défini de la manière suivante :

- Résident enfant de 0 à 6 ans, poids moyen de 15 kg,
- Résident adulte de 6 à 30 ans, poids moyen de 70 kg.

Compte tenu des diverses caractéristiques du site et du projet d'aménagement, la voie principale d'exposition considérée a été l'inhalation d'air ambiant à l'intérieur du parking en sous-sol, du local commercial au rez-de-chaussée et d'un logement type au premier étage. Les calculs de risques ont été réalisés au droit de la zone de contamination à partir des sources « Sols » et « Eaux souterraines ». Les résultats obtenus pour les différents scénarii considérés sont les suivants :

Sur les bases du projet présenté et prenant en considération des facteurs d'exposition majorants, les risques calculés, concernant les cibles cotées en fonction des connaissances et des données disponibles lors de l'élaboration de cette ARR, mettent en évidence des quotients de danger (QD) inférieurs à 1 pour le résident sénior fréquentant en permanence un logement au premier étage, pour le travailleur permanent fréquentant le local commercial, ainsi que la cible familiale occupant un logement au premier étage et fréquentant quotidiennement le parking en sous-sol.

Conformément aux circulaires du 8 février 2007, le risque n'est pas considéré comme inacceptable si $QD < 1$ pour une voie d'exposition ou si la somme des QD (QD global) < 1 . Cette étude n'a montré l'absence de risque inacceptable pour les scénarii les plus majorants retenus.

L'évaluation des incertitudes a montré que la démarche adoptée était globalement conservatrice et majorante. Cette étude a été menée sur les bases des connaissances actuelles de l'état du site, de l'état de l'art en la matière d'étude de risques pour la santé, des données toxicologiques actuellement disponibles, du projet d'aménagement tel que nous le connaissons et des hypothèses sur les usagers futurs.

7.4. RESTRICTIONS D'USAGES, SERVITUDES PROPOSEES

7.4.1. Conditions de ventilation des locaux

Cette étude a considéré des taux de renouvellement d'air de 2 volumes / heure dans le parking en sous-sol et 4 volumes / heure dans le local commercial. Ces taux de renouvellement d'air devront être pris en compte dans l'exploitation future.

7.4.2. Aménagements extérieurs

L'ensemble des aménagements extérieurs disposeront d'un recouvrement de surface, supprimant toute voie de transfert et d'exposition directe de sols potentiellement impactés avec les futurs occupants. Ce recouvrement pourra être de type dalle béton ou enrobé bitumé au droit des voies de circulation et voiries, d'un apport de terres végétales saines au droit des futurs espaces herbés (a minima 30 cm) ou remblais d'apport sain au droit d'allées piétonnes (30 cm également).

7.4.3. Utilisation des eaux de la nappe

Le projet de logements collectifs avec sous-sol ne prévoit pas l'utilisation des eaux de la nappe sur site. La présente étude n'a donc considéré aucun usage de cette ressource dans les usages liés au site.

Compte tenu des résultats d'analyse obtenus sur le prélèvement d'eaux souterraines réalisé le 24 septembre dernier sur site, et des constats de validation de fond de fouille après dépollution, nous déconseillons l'utilisation de cette ressource sans étude complémentaire préalable démontrant la compatibilité sanitaire avec l'usage projeté. Sur la base des éléments en notre possession, il n'apparaît cependant pas nécessaire de mettre en place une surveillance pérenne de la nappe au droit du site (absence ou teneurs faibles en substances recherchées).

7.4.4. Conservation de la mémoire

Les futurs acquéreurs devront donc être informés de l'état des sols et des mesures de gestion prises : ils devront garantir à leur tour le maintien des mesures mises en place.

Plus généralement, la mémoire sur la localisation des contaminations qui restent en place et leurs caractéristiques devront être conservées de manière pérenne dans les documents d'urbanisme et de copropriété.

Saint Herblain, le 1^{er} octobre 2012

Guillaume GENDREAU
Chef de projet Site et Sols Pollués

8. GLOSSAIRE

AEP :	Alimentation en Eau Potable
BASIAS :	Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Services
BASOL :	Base de données des Sites et Sols Pollués
BRGM :	Bureau des Recherches Géologiques et Minières
BSS :	Banque du Sous-Sol
BTEX :	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes
DDASS :	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
ETM :	Eléments Traces Métalliques
HAP :	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCT :	Hydrocarbures Totaux
ICPE :	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IGN :	Institut Géographique National
ISDD :	Installation de Stockage de Déchets Dangereux
ISDND :	Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux
ISDI :	Installation de Stockage de Déchets Inertes
LQ :	Limite de quantification
MEDD :	Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable
PID :	Détecteur à Photo-Ionisation

9. ANNEXES

- Annexe 1 :** Plan de localisation du site et de la zone d'étude
- Annexe 2 :** Plan de localisation de la zone de contamination
- Annexe 3 :** Certificat d'Acceptation Préalable du centre de traitement des terres contaminées et Bordereaux de Suivi des Déchets (BSD) des terres impactées évacuées
- Annexe 4 :** Bulletins d'analyses du laboratoire des sols prélevés en parois et fonds de fouille
- Annexe 5 :** Localisation du piézomètre et du piézair implanté sur le site
- Annexe 6 :** Coupes de sols relevées lors de la mise en place du piézomètre (extrait du dossier GINGER n°2012/OTS2.C.362, rapport du 26/09/2012) et du piézair (SOCOTEC)
- Annexe 7 :** Bulletin d'analyses du laboratoire de l'échantillon d'eaux souterraines prélevé dans le piézomètre complémentaire implanté sur site par GINGER le 20 septembre 2012
- Annexe 8 :** Bulletin d'analyses du laboratoire de l'échantillon de gaz des sols prélevé dans le piézair complémentaire implanté sur site par SOCOTEC le 18 septembre 2012
- Annexe 9 :** Plans du futur projet (sous-sol, rdc, R+1, coupes)
- Annexe 10 :** Schéma conceptuel du site
- Annexe 11 :** Particularités physico-chimiques des substances sélectionnées pour l'Analyse des Risques Résiduels
- Annexe 12 :** Risques pour la santé des substances considérées
- Annexe 13 :** Paramètre utilisé pour les modèles de JOHNSON et ETTINGER