

ESSO S.A.F.
 =====
LA RICHE (37)
 =====
EVALUATION DETAILLEE DES RISQUES
 =====
RAPPORT D'ETUDE
 =====

Document : 2 3 C . 0 5 . 0 6 0 4 . I / 0 1 / A

		<i>plb</i> V. LEROY		<i>[Signature]</i> C. de LA HONGUE	P. MONIER	-	58
Ind	Date	Etabli par	Modifications	Vérifié par	Approuvé par	Contrôle externe	Nb. pages
				Contrôle interne			

RESUME – CONCLUSIONS

Faisant suite à un arrêté préfectoral, ESSO S.A.F. a consulté ARCADIS ESG pour réaliser une évaluation détaillée des risques du terrain de l'ancienne usine « Bitumes et Emulsions » situé sur la commune de La Riche (37). Dans ce cadre, il a été demandé à ARCADIS ESG de :

- Quantifier sur site et hors site les risques potentiels pour la santé humaine et les ressources en eaux associés aux polluants en présence ;
- Préconiser, le cas échéant, les travaux à réaliser ou les mesures à prendre pour accéder à un risque dit « acceptable », c'est à dire inférieur aux seuils préconisés dans la circulaire du 10/12/99.

Un état des lieux du site a été réalisé par l'intermédiaire de plusieurs campagnes d'investigations des milieux sols et eaux souterraines (sur site et hors site) entre 1998 et 2004.

A ce jour, et après les travaux de dépollution des sols impactés par les hydrocarbures et les travaux de démantèlement de l'usine, les terrains du site apparaissent peu impactés par l'activité antérieure.

Seuls restent dans les sols du site :

- Un point impacté en hydrocarbures, HAP et, dans une moindre mesure en BTEX, en limite Est du site (Paroi Est de la tranchée 3) ;
- Deux points impactés en hydrocarbures et HAP (CB4 et CB1bis) ;
- Un point, proche du Pz8, légèrement impacté en COHV ;
- Des concentrations en métaux de l'ordre de grandeur du bruit de fond.

Au droit du site, 11 piézomètres ont été implantés. Parmi ceux-ci, 3 ouvrages captent les deux nappes (Pz1 à Pz3), 5 captent la nappe alluviale (Pz4, 5, 6, 8 et 10) et 3 captent la nappe de la craie (Pz7, 9 et 11).

La nappe alluviale :

- s'écoule avec un gradient très faible vers l'est ;
- est séparée de la nappe de la craie sous-jacente (qui est en charge) par une couche d'argile d'épaisseur variable située entre 4 et 6 m de profondeur ;
- est drainée par un ruisseau busé situé à 60 m de la limite est du site,
- est impactée en Pz4 et Pz8 par les hydrocarbures et en Pz8 par les COHV (perchloréthylène notamment).

La nappe de la craie n'est pas impactée, en dehors de traces de COHV en Pz9 (à confirmer lors d'une prochaine campagne). Un fort impact en métaux (arsenic et baryum) est également mis en évidence en Pz3, qui capte les deux nappes.

En dehors du site, 5 piézomètres (Pz12 à Pz16), tous situés en amont ou en latéral par rapport aux écoulements provenant du site ont été répertoriés et ont fait l'objet de prélèvements fin 2004. Ces prélèvements ont montré :

- que le Pz12, situé au droit de l'ancienne usine des Constructions Mécaniques Tourangelles (CMT) présente des concentrations en arsenic et plomb nettement supérieures aux limites de qualité eaux potables ;

- que les différentes substances mesurées dans les autres ouvrages, dont les deux puits servant à l'irrigation de parcelles maraîchères (Pz13 et Pz16), restent inférieures ou dans l'ordre de grandeur des limites de qualité eaux potables, lorsque ces limites existent.

La méthodologie de l'EDR s'appuie sur le principe de précaution ; c'est à dire que dans l'état actuel des connaissances, en cas de doute ou d'impossibilité de modéliser tous les transferts complexes qui ont lieu dans le milieu naturel entre une source de pollution et l'homme, l'hypothèse la plus pénalisante est systématiquement retenue. Ainsi :

- Pour chacune des substances, la concentration maximale mesurée sur le site (après dépollution des sols) a été prise en compte pour le calcul du risque ;
- Les sources de pollution sont considérées constantes dans le temps et aucune atténuation naturelle des concentrations n'est prise en compte (par exemple la volatilisation vers l'atmosphère, par dissolution vers le milieu environnant ou par biodégradation) ;
- Les calculs réalisés par modélisation sont majorants par rapport aux mesures réelles sur site et les phénomènes d'interaction entre les substances et les constituants des sols (conduisant à fixer les polluants concernés et donc à limiter les transferts par exemple) ne sont pas pris en compte.

Sur le site, l'EDR santé humaine a été réalisée pour les scénarios résidentiel, industriel de type bureau et industriel extérieur. Les voies d'exposition retenues sont :

- L'inhalation de vapeurs provenant du dégazage des sols et de la nappe superficielle à l'intérieur comme à l'extérieur des bâtiments ;
- L'inhalation de polluants adsorbés sur les poussières ;
- L'ingestion et le contact cutané avec les sols ;
- L'ingestion de légumes auto-produits sur site (dans le cas du scénario résidentiel).

Les calculs effectués ont conduit à des risques supérieurs aux valeurs seuils de la circulaire du 10/12/99 pour les scénarios résidentiel et industriel de type bureau. Les risques sont générés par :

- l'inhalation de vapeurs de tétrachloroéthylène présent dans les sols et les eaux souterraines au droit du Pz8 (pour les deux scénarios) ;
- l'inhalation de vapeurs d'hydrocarbures présents dans les sols dans la zone du Pz4, en limite Est de la parcelle (cas du scénario résidentiel uniquement) ;
- l'ingestion de sols et de légumes cultivés dans des terrains impactés en hydrocarbures dans la zone du Pz4 (cas du scénario résidentiel uniquement).

En revanche, le site, dans son état actuel, est compatible avec un usage de type industriel extérieur (travail salissant).

En dehors du site, il a été montré, sur la base des données hydrogéologiques et du sens d'écoulement des eaux souterraines que les puits de maraîchers répertoriés se trouvent tous à l'amont ou en latéral hydraulique et ne peuvent donc pas être impactés par une pollution en provenance du site ESSO. Par ailleurs, les analyses effectuées sur les puits de maraîchers ont montré que toutes les concentrations mesurées étaient inférieures ou dans l'ordre de grandeur des limites de qualité eaux potables, lorsque ces limites existent.

Un calcul de risque a été effectué pour la santé humaine du personnel intervenant dans les sociétés implantées à l'est du site, sur le trajet d'un éventuel panache qui pourrait exister entre le site et le ruisseau busé situé à 60 m. A défaut d'analyses des eaux souterraines en dehors du site, les calculs ont été effectués avec les concentrations maximales mesurées sur le site, ce qui constitue une approche majorante.

Les calculs effectués pour l'inhalation à l'intérieur de bâtiments de vapeurs provenant du dégazage des eaux souterraines, dans le cadre d'un scénario industriel ou tertiaire (travail de bureau) hors site ont conduit à un risque cancérigène supérieur à la valeur seuil de la circulaire du 10/12/99. Ce risque est lié à la présence du tétrachloroéthylène dans les eaux souterraines.

Il apparaît important de noter l'incertitude suivante qui pèse sur les calculs : si les calculs de risque étaient effectués avec l'autre VTR disponible pour le tétrachloroéthylène (VTR de l'USEPA moins pénalisante que celle de l'OEHHA utilisée), ils conduiraient uniquement à l'existence d'un risque sur site dans le cadre d'un scénario résidentiel. Le site serait compatible avec un usage industriel de type bureau ou extérieur salissant et l'existence d'un éventuel panache en PCE ne serait pas à l'origine d'un risque en scénario industriel de type bureau hors site.

En conclusion, sur la base des données disponibles ayant servi à réaliser cette étude et après calcul des risques par une approche globalement majorante, le site, dans son état actuel :

- ne génère aucun risque pour les puits des maraîchers, tous situés en amont ou en latéral hydraulique ;
- est compatible avec un usage résidentiel si les préconisations suivantes sont respectées :
 - interdire la construction de bâtiments dans la zone située autour du Pz8 (pointe sud-est du site) et dans la zone du Pz4 OU spécifier que les bâtiments situés dans ces zones devront être construits sur vide sanitaire ;
 - prévoir de recouvrir la zone autour du Pz4 :
 - par un minimum de 30 cm de terrain d'apport sain (avec un géotextile à l'interface entre les terrains d'apport et les terrains du site) et interdire la réalisation de potagers sur cette zone ;
 - OU par des voiries ;
 - OU par des bâtiments construits sur vide sanitaires.
- est compatible avec un usage industriel avec travail extérieur salissant.
- est compatible avec un usage industriel ou tertiaire avec travail en bureau si les préconisations suivantes sont respectées :
 - interdire la construction de bâtiments dans la zone située autour du Pz8 (pointe sud-est du site) OU spécifier que les bâtiments situés dans cette zone devront être construits sur vide sanitaire OU spécifier que les bâtiments situés dans cette zone devront être ventilés à un minimum de 2 volumes par heure.

Sur le reste du site, c'est à dire en dehors des zones mentionnées ci-dessus (zone du Pz8 et zone du Pz4), aucune servitude ni restriction d'usage en dehors des servitudes générales mentionnées ci-dessous n'est préconisée.

Ces préconisations sont accompagnées des recommandations et de la pose, en plus des servitudes liées à chacun des scénarios, des servitudes générales suivantes :

- Spécifier l'usage passé du site, rappeler les préconisations ci-dessus et annexer les rapports d'études aux actes de vente ;
- Assujettir l'utilisation de la nappe au droit du site à la réalisation d'une évaluation détaillée des risques (EDR) complémentaire dédiée à l'usage de ces eaux et aux expositions qu'il génère ;
- Respecter certaines prescriptions lors de la pose de canalisations d'amenée d'eau dans les zones impactées restant sur le site.

De plus, ARCADIS ESG préconise de rechercher l'origine de la présence du PCE dans les eaux souterraines du Pz8 par le biais d'investigations complémentaires dans les sols sur le site. Si une source complémentaire de pollution en PCE est alors mise en évidence dans les sols, il sera nécessaire de la traiter.

Enfin, la présence de PCE dans les eaux souterraines est susceptible de générer un risque pour les personnes exerçant leur activité professionnelle dans les locaux situés à l'aval immédiat du site. Dans le cas où la présence du PCE serait liée à l'ancienne activité d'ESSO, ARCADIS ESG préconise :

- de valider la présence de PCE dans les eaux souterraines à l'aval du site par la pose d'un piézomètre complémentaire dans ce secteur ;
- si la présence de PCE dans les eaux à l'aval est avérée, d'aller mesurer les concentrations en PCE dans l'air ambiant des locaux à l'aval afin de vérifier les calculs effectués dans le cadre de l'EDR ;
- si un risque est alors mis en évidence, il pourra être nécessaire de traiter les eaux souterraines afin d'en retirer le PCE.

Dans le cas où il serait nécessaire de traiter les sols et les eaux souterraines afin d'en retirer le PCE et/ou le TCE présents, ARCADIS a calculé des objectifs de réhabilitation pour chacun des scénarios. Ces objectifs sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

Scénario	Résidentiel		Industriel		
	Milieu	Sols (mg/kg)	Eaux (µg/l)	Sols (mg/kg)	Eaux (µg/l)
Tétrachloroéthylène		0,05	1 400	0,05	15 000
Trichloroéthylène		0,056	900	0,056	1 000

ARCADIS ESG attire également l'attention d'ESSO S.A.F. sur les points suivants :

- Toute modification des hypothèses de départ et des usages du site tels que décrits dans le présent document ne pourra être envisagée qu'après réalisation d'une étude complémentaire afin de valider la compatibilité du site avec un projet d'aménagement plus précis ;

- lors d'éventuels travaux d'aménagement, il est recommandé de respecter quelques règles simples et usuelles d'hygiène sur ce type de chantier (lavage des mains, interdiction de manger) ;
- les déblais générés par les travaux d'aménagement et de terrassements sont susceptibles de ne pas être acceptés en CSD inertes. Si tel était le cas, ces déblais devront donc être éliminés en filière agréée, soit réutilisés sur le site après accord de la DRIRE et conformément à ses recommandations.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	12
2. RAPPEL DES DONNEES CONCERNANT LE SITE	13
2.1. Données sur les sols	13
2.1.1. Géologie	13
2.1.2. Niveau de pollution dans les sols.....	13
2.2. Données sur les eaux souterraines	16
2.2.1. Hydrogéologie.....	16
2.2.2. Usages recensés	17
2.2.3. Niveau de pollution dans les eaux souterraines au droit du site	18
2.2.4. Niveau de pollution dans les eaux souterraines hors site	19
2.3. Données sur les eaux superficielles	19
3. EDR SANTE HUMAINE SUR SITE.....	20
3.1. Définition du schéma conceptuel	20
3.1.1. Milieux retenus	20
3.1.2. Scénarii étudiés	20
3.1.3. Cibles potentielles.....	20
3.1.4. Voies d'exposition	20
3.2. Substances retenues pour les calculs de risque	21
3.2.1. Milieu sol	21
3.2.2. Milieu eaux souterraines sur site – nappe superficielle.....	22
3.3. Concentrations utilisées pour les calculs de risque sur site	23
3.4. Toxicité des substances retenues.....	24
3.5. Choix des valeurs toxicologiques de référence	29
3.6. Modélisation des transferts	29
3.6.1. Mode de calcul des transferts eaux et sols => air ambiant	29
3.6.2. Synthèse des paramètres de modélisation des transferts retenus dans la présente étude ...	30
3.7. Calcul de l'exposition	31
3.7.1. Mode de calcul des DJE.....	31
3.7.2. Synthèse des paramètres d'exposition des cibles	31
3.7.3. Budgets espace-temps	32
3.8. Calcul des risques.....	33
3.8.1. Rappel de méthodologie	33
3.8.2. Risques liés au scénario résidentiel sur site.....	34
3.8.3. Risques liés au scénario tertiaire ou industriel sur site.....	40
4. EDR HORS SITE	42
4.1. Sens d'écoulement des eaux et exutoire de la nappe	42
4.2. Localisation des puits répertoriés hors site	42
4.3. Qualité des eaux dans les puits répertoriés hors site.....	42
4.4. Cibles potentielles	43
4.5. Scénario retenu.....	44
4.6. Voies d'exposition	44

4.7. Substances retenues pour les calculs de risque et concentrations utilisées	44
4.8. Calcul de risque – scénario tertiaire hors site	45
4.8.1. Effets non cancérigènes	45
4.8.2. Effets cancérigènes	46
5. INCERTITUDES.....	46
5.1. Incertitudes entourant la sélection des VTR	46
5.1.1. Généralités sur la sélection des VTR.....	46
5.1.2. VTR contact cutané	47
5.1.3. VTR des HAP	47
5.1.4. VTR du tétrachloroéthylène	47
5.2. Incertitudes liées à la modélisation des transferts.....	48
5.2.1. Incertitudes liées au modèle RISC.....	48
5.2.2. Incertitudes liées aux paramètres de modélisation des transferts vers l'intérieur des bâtiments.....	49
5.2.3. Incertitudes liées aux paramètres de modélisation des transferts vers l'extérieur.....	49
5.2.4. Incertitudes liées à la nature du sol.....	49
5.3. Incertitudes sur les paramètres d'exposition.....	50
6. SYNTHÈSE DES RISQUES LIÉS AU SITE.....	51
6.1. Risques sur site.....	51
6.2. Risques hors site.....	52
7. GESTION DES RISQUES SUR SITE.....	53
7.1. Principes.....	53
7.2. Suppression des sources sur le site ESSO.....	53
7.2.1. Traitement des hydrocarbures.....	53
7.2.2. Traitement du tétrachloroéthylène (PCE).....	53
7.3. Limitation des transferts.....	55
7.3.1. Risques par ingestion de sols et par ingestion de légumes auto-produits.....	55
7.3.2. Risque par inhalation à l'intérieur des bâtiments	55
8. GESTION DES RISQUES HORS SITE	56
9. SERVITUDES générales.....	57
9.1. Conserver la mémoire du site.....	57
9.2. Gestion des déblais.....	57
9.3. Pose des canalisations AEP.....	57
9.4. Usage des eaux de la nappe.....	57
9.5. Risques transitoires liés à la période du chantier	58
10. CONCLUSIONS.....	58

TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des teneurs en substances retrouvées sur le site.....	15
Tableau 2 : Voies d'exposition retenues pour les différents scénarii (EDR santé humaine sur site) ...	21
Tableau 3 : Concentrations retenues pour les calculs de risque sur site	24
Tableau 4 : Paramètres de modélisation des transferts.....	30
Tableau 5 : Paramètres d'exposition des cibles.....	32
Tableau 6 : Budget espace-temps - scénario résidentiel sur site	32
Tableau 7 : Budget espace-temps - scénario tertiaire ou industriel.....	33
Tableau 8 : Indice de risque Adulte – scénario résidentiel sur site	35
Tableau 9 : Indice de risque Enfant – scénario résidentiel sur site	36
Tableau 10 : Excès de risque Individuel Adulte – scénario résidentiel sur site	38
Tableau 11 : Excès de risque Individuel Enfant – scénario résidentiel sur site	39
Tableau 12 : Indice de risque Employé (bureau) – scénario tertiaire ou industriel sur site	40
Tableau 13 : Excès de risque Individuel Employé (bureau) – scénario tertiaire ou industriel sur site ..	41
Tableau 14 : Concentrations maximales dans les eaux hors site et comparaison aux valeurs limites ..	43
Tableau 15 : Indice de risque Employé hors site – scénario tertiaire.....	45
Tableau 16 : Excès de risque individuel Employé hors site – scénario tertiaire.....	46
Tableau 17 : Incertitudes liées à la modélisation	48
Tableau 18 : Synthèse des risques calculés – sur site	51
Tableau 19 : Synthèse des risques calculés	52
Tableau 20 : Objectifs de réhabilitation pour les sols	54
Tableau 21 : Objectifs de réhabilitation pour les eaux souterraines	54

ANNEXES

<i>Annexe 1 : Plan de situation.....</i>	12
<i>Annexe 2 : Méthodologie de calcul des risques</i>	12
<i>Annexe 3 : Plan du site et des investigations réalisées</i>	13
<i>Annexe 4 : Carte géologique du BRGM au 1/50 000°</i>	13
<i>Annexe 5 : Synthèse des données analytiques sur les sols après dépollution</i>	13
<i>Annexe 6 : Carte piézométrique</i>	16
<i>Annexe 7 : Synthèse des données analytiques sur les eaux souterraines au droit du site</i>	18
<i>Annexe 8 : Plan d'implantation des ouvrages hors site</i>	19
<i>Annexe 9 : Synthèse des données analytiques sur les eaux souterraines hors site</i>	19
<i>Annexe 10 : Schéma conceptuel – scénario résidentiel sur site.....</i>	20
<i>Annexe 11 : Schéma conceptuel – scénario tertiaire ou industriel sur site</i>	20
<i>Annexe 12 : Toxicologie détaillée des substances.....</i>	24
<i>Annexe 13 : Tableau de toutes les VTR disponibles dans la littérature.....</i>	29
<i>Annexe 14 : Justification du choix des VTR</i>	29
<i>Annexe 15 : VTR retenues dans le cadre de la présente étude.....</i>	29
<i>Annexe 16: Description du logiciel RISC.....</i>	29
<i>Annexe 17: Equations de transfert</i>	29
<i>Annexe 18: Justification du choix des paramètres de transfert</i>	30
<i>Annexe 19 : Equations de calcul des DJE.....</i>	31
<i>Annexe 20 : Justification du choix des paramètres d'exposition des cibles</i>	31
<i>Annexe 21 : Calculs des risques par voie d'exposition – scénario résidentiel sur site</i>	34
<i>Annexe 22 : Calculs des risques par voie d'exposition – scénario tertiaire ou industriel sur site.....</i>	40
<i>Annexe 23 : Calculs des risques par ingestion – scénario industriel salissant sur site</i>	40
<i>Annexe 24 : Schéma conceptuel – hors site.....</i>	43
<i>Annexe 25 : Calcul des seuils de réhabilitation</i>	53

GLOSSAIRE

BTEX :	Benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes (solvants aromatiques).
COHV :	Composés organo-halogénés volatils (solvants chlorés).
COV :	Composés organo-volatils (BTEX + OHV = solvants).
CR :	Concentration de référence – exprimée en mg/m ³ ou µg/m ³ .
DR _{o,i,c} :	Dose de référence (orale, inhalation, cutanée) – exprimée en mg/kg/jr.
EDR :	Evaluation détaillée des risques.
ERI :	Excès de risque individuel.
ERU _{o,c} :	Excès de risque unitaire (oral,cutané) – exprimé en (mg/kg/jr) ⁻¹
ERU _i :	Excès de risque unitaire (inhalation) – exprimé en (mg/m ³) ⁻¹ ou en (µg/m ³) ⁻¹
GIF :	Facteur d'absorption gastro-intestinale.
HAP :	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (goudrons)
HCT :	Hydrocarbures totaux.
IR :	Indice de risque.
MEDD :	Ministère de l'écologie et du développement durable.
MTBE :	Méthyl tertio butyl éther.
OMS :	Organisation mondiale de la santé.
Pz :	Piézomètre.
SC :	Système cardiovasculaire
SH :	Système hématopoïétique
SI :	Système immunitaire
SNC :	Système nerveux central.
SNP :	Système nerveux périphérique
SR :	Système respiratoire
TEF :	Facteur d'équivalence toxique.
TGI :	Tractus gastro-intestinal
USEPA :	Agence de protection de l'environnement américaine.
VCi :	Valeur de constat d'impact.
VDSS :	Valeur de définition source-sol.
VTR :	Valeur toxicologique de référence.

1. INTRODUCTION

Annexe 1 : Plan de situation

Annexe 2 : Méthodologie de calcul des risques

ESSO S.A.F. a consulté ARCADIS ESG pour réaliser une évaluation détaillée des risques du terrain de l'ancienne usine « Bitumes et Emulsions » situé 60 rue Parmentière sur la commune de La Riche (37). Cette demande fait suite à un arrêté préfectoral qui mentionne la nécessité de réaliser une Evaluation Détaillée des Risques (EDR) concernant les milieux sol et eaux souterraines, « *notamment pour l'alimentation en eau des puits servant à l'irrigation des zones maraîchères proches du site* ».

Dans ce cadre, il a été demandé à ARCADIS ESG de :

- Quantifier sur site et hors site les risques potentiels pour la santé humaine et les ressources en eaux associés aux polluants en présence ;
- Préconiser, le cas échéant, les travaux à réaliser ou les mesures à prendre pour accéder à un risque dit « acceptable », c'est à dire inférieur aux seuils préconisés dans la circulaire du 10/12/99.

Le présent rapport est fondé sur les données présentées dans le rapport de diagnostic approfondi ARCADIS ESG n° 615.04.5170.E en date d'avril 2005.

Dans le cadre de la gestion des sites pollués, l'évaluation détaillée des risques (EDR) vise à caractériser les risques potentiels pour les futurs usagers du site ou pour les personnes habitant sur le trajet d'un éventuel panache en définissant la probabilité de voir apparaître des effets adverses pour la santé de ces populations suite à leur exposition aux substances présentes dans le sol et/ou les eaux souterraines.

L'évaluation des risques comprend classiquement quatre étapes :

- ✓ la **reconnaissance du potentiel dangereux** consistant à rechercher les effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme ;
- ✓ l'**évaluation de la relation dose-réponse** permettant l'estimation de la relation entre la dose, ou le niveau d'exposition à une substance, et l'incidence ou la gravité de cet effet ;
- ✓ l'**évaluation de l'exposition** consistant à déterminer les voies de passage du polluant vers la cible, ainsi qu'à estimer la fréquence, la durée et l'importance de l'exposition ;
- ✓ la **caractérisation du risque** correspondant à la synthèse des informations issues de l'évaluation de l'exposition et de la toxicité sous la forme d'une expression quantitative du risque. Les incertitudes sont évaluées et les résultats interprétés.

Le présent rapport a donc pour objet de fournir les résultats de cette étude et de préconiser, si nécessaire, les mesures à prendre ou les travaux complémentaires à réaliser.

2. RAPPEL DES DONNEES CONCERNANT LE SITE

Annexe 3 : Plan du site et des investigations réalisées

2.1. Données sur les sols

2.1.1. Géologie

Annexe 4 : Carte géologique du BRGM au 1/50 000°

Les investigations menées par ARCADIS ESG ont montré la présence des terrains suivants :

- enrobé ou dalles béton en surface
- remblais sablo graveleux jusqu'à un maximum de 1,50 m de profondeur ;
- sous les remblais et jusqu'à 7,20 m de profondeur : des sables fins beiges à bruns devenant grossiers, argileux et vasards en profondeur ;
- substratum calcaire, à partir d'environ 7 m de profondeur, très altéré en tête et devenant massif à partir de 9,50 m de profondeur.

Sur certains sondages, entre 4 et 6 m de profondeur, un horizon argileux plus ou moins épais a été mis en évidence. Aucune donnée concernant son extension en dehors du site n'est disponible mais il est vraisemblable que cet horizon soit discontinu.

2.1.2. Niveau de pollution dans les sols

Annexe 5 : Synthèse des données analytiques sur les sols après dépollution

Cinq campagnes d'investigations sur les sols ont été réalisées entre 2002 et 2005 par ARCADIS ESG (anciennement GESTER). Au total, 43 échantillons de sols ont été analysés :

- 14 en 2002 prélevés entre 0 et 3 m de profondeur ;
- 9 en 2003 prélevés en flanc et fond de fouilles (après excavation des terres polluées) et 2 échantillons prélevés sur chaque tas de terres polluées stockées temporairement sur site (tas 1 à 3) ;
- 8 prélevés au milieu des 2 tas de terres polluées destinées à être régaliées sur site (tas 2 et 3) en 2004 ;
- 6 prélevés autour des piézomètres Pz3, Pz4 et Pz8 en 2005.

La présente étude a été réalisée à partir des concentrations concernant les terres encore présentes sur le site, c'est à dire toutes les données collectées au cours des investigations menées par ARCADIS ESG sur le site, mis à part :

- 2 échantillons qui se situaient au droit de zones dépolluées (CB12 et CB13) ;
- 2 échantillons provenant du Tas n°1 envoyé en incinération ;

- 1 échantillon fortement impacté en hydrocarbures (CB11). En effet, cet échantillon se trouvait dans les terrains de surface évacués lors du démantèlement du site. La tranchée G, réalisée en 2003, soit après le démantèlement du site, à proximité de CB11 n'a d'ailleurs pas montré d'indices organoleptiques, confirmant l'évacuation de ces terres impactées en hydrocarbures.

Les terres des tas 2 et 3 ont été étalées sur l'ensemble du site.

De même, les concentrations en hydrocarbures totaux mesurées par infrarouge ont été écartées de la suite de cette étude, dans la mesure où des coupes hydrocarbures ont été réalisées par ailleurs.

Le tableau ci-après présente les fréquences de détection et les concentrations minimales et maximales des substances observées sur les terrains actuellement présents sur le site.

Paramètres	Limites de détection	Fréquence de détection	Concentration minimale (mg/kg)	Concentration maximale (mg/kg)	Point maximal
HYDROCARBURES					
HC par IR	-	11/11	112	1 349	CB4
HCT Σ (C6-C10)	<0,6 ou <0,8	2/15	63,5	291,7	T3/PE
HCT Σ (C10-C40)	<10 ou <15	5/25	59	8227	T3/PE
METAUX LOURDS					
Arsenic	-	10/10	8	14	Tas 2.1
Chrome	-	10/10	14	34	Tas 2.2
Cuivre	-	10/10	4	12	Tas 2.2 et 2.3
Nickel	-	10/10	12	23	Tas 2.2
Mercure	<0,05	6/10	0,06	0,12	Tas 2.2
Plomb	-	10/10	6	21	Tas 2.1
Zinc	-	10/10	23	56	Tas 2.2
Baryum	-	10/10	49	130	Tas 2.2
Cobalt	-	10/10	5	11	Tas 2.2
Vanadium	-	10/10	20	42	Tas 2.2
16 HAP	<0,01	19/28	0,01	25,49	CB1bis
OHV					
Trichloroéthylène	<0,05	1/16	0,056		Pz8 (0,6-1 m)
Tétrachloroéthylène	<0,05	2/16	0,085	0,73	Pz8 (0,6-1 m)
CHLOROPHENOLS					
o-Chlorophénol	<0,01	1/10	0,07		Tas 2
p-Chlorophénol	<0,01	1/10	0,03		Tas 2

Paramètres	Limites de détection	Fréquence de détection	Concentration minimale (mg/kg)	Concentration maximale (mg/kg)	Point maximal
HAV					
Ethylbenzène	<0,02	1/24	0,066		T3/PE
Toluène	<0,2	1/24	0,54		T3/PE
Xylènes	<0,1	1/24	1,5		T3/PE
1,3,5-Triméthylbenzène	<0,05	1/10	0,06		Tas 2
PESTICIDES					
4,4-DDE	<0,001	2/11	0,008	0,011	Tas 2.3
4,4-DDT	<0,002	3/11	0,003	0,010	Tas 2.3
4,4-DDD/2,4-DDT	<0,001	2/11	0,003	0,004	Tas 2.1
Biphényl	<0,005	3/10	0,005	1,8	Tas 2

Tableau 1 : Synthèse des teneurs en substances retrouvées sur le site

Sur le site de La Riche et après les travaux de dépollution et de démantèlement de l'usine, les **hydrocarbures** sont peu détectés. En dehors du point T3/PE (Paroi Est de la tranchée T3) qui reste très impacté (8227 mg/kg pour les C10-C40) et 292 mg/kg pour les C6-C12), les concentrations mesurées sont faibles (au maximum 206 mg/kg pour les C10-C40 et 63,5 mg/kg pour les C6-C12). Il reste également sur site les points CB4 et CB1bis, qui présentent des concentrations en HC totaux de 1349 mg/kg et 924 mg/kg et qui n'ont pas fait l'objet d'un traitement.

Les **métaux lourds** ont été quasi systématiquement détectés en concentrations supérieures aux limites de détection sur les 10 échantillons de sols analysés (seul le mercure n'est pas détecté dans tous les échantillons). Néanmoins, les concentrations mesurées restent faibles, et sont très homogènes, ce qui tend à montrer que les métaux détectés sont sans doute liés au bruit de fond du secteur.

Les **HAP** ont été détectés dans 19 échantillons de sol sur les 28 analysés. Néanmoins, en dehors de 4 points (paroi Est de la tranchée 3 ; CB1bis, CB4 et Tas 2), les concentrations mesurées sont très proches des limites de détection.

Les **COHV** ont été recherchés sur 16 échantillons de sols. Seuls le Tétrachloroéthylène et le Trichloroéthylène ont été détectés dans deux échantillons prélevés autour du Pz8, dont les eaux présentent un impact en ces substances.

Des traces de o-Chlorophénol et p-Chlorophénol (concentrations proches des limites de détection) ont été détectées sur un seul échantillon (tas 2) parmi les 10 ayant fait l'objet d'analyses.

Les **BTEX** n'ont été détectés que dans 1 échantillon sur les 24 analysés. Comme dans le cas des hydrocarbures, il s'agit de l'échantillon T3/PE prélevé en flanc de fouille après dépollution en limite Est de la parcelle. Le 1,3,5-Triméthylbenzène est quand à lui détecté dans l'échantillon Tas 2.

Toutefois, la concentration mesurée est très proche de la limite de détection (concentration de 0,06 mg/kg pour une limite de détection à 0,05 mg/kg).

Des traces de **Pesticides** et de **Biphényl** n'ont été retrouvées dans les terres du tas 2

Les **chlorobenzènes**, **phénols**, **PCB**, **chloroanilines**, **chloronitrobenzènes** et **phtalates** n'ont pas été détectés sur les 10 échantillons analysés.

Sur les sols, les résultats analytiques mettent principalement en évidence :

- **Un point impacté en hydrocarbures, HAP et, dans une moindre mesure en BTEX, en limite Est du site (Paroi Est de la tranchée 3) ;**
- **Deux points impactés en hydrocarbures et HAP (CB4 et CB1bis) ;**
- **En dehors de ces points, les BTEX ne sont pas détectés, les concentrations en HCT restent faibles et quelques points sont impactés en HAP ;**
- **Un point, proche du Pz8, légèrement impacté en COHV ;**
- **Des concentrations en métaux de l'ordre de grandeur du bruit de fond.**

2.2. Données sur les eaux souterraines

2.2.1. Hydrogéologie

Annexe 6 : Carte piézométrique

Le site se trouve dans la plaine alluviale entre la Loire et le Cher. Les investigations réalisées sur les eaux souterraines ont mis en évidence la présence d'une nappe divisée localement (au droit du site) en deux parties, du fait de la présence d'une couche argileuse entre 4 et 6 m de profondeur (Cf. description géologique au §2.1.1)

Au cours des différentes phases d'investigations, 11 piézomètres ont été posés :

- Pz1, 2 et 3 interceptent les eaux des deux horizons aquifères ;
- Pz4, 5, 6, 8 et 10 sont des piézomètres courts (arrêtés à 4 m de profondeur, soit avant la couche argileuse), ils captent uniquement l'horizon qui se trouve au-dessus de cette couche argileuse. Cet horizon aquifère superficiel correspond à la nappe alluviale ;
- Pz7, 9 et 11 sont des piézomètres longs, ils captent uniquement l'horizon situé sous la couche argileuse, qui correspond à la nappe de la craie (niveaux supérieurs siliceux).

Comme cela est présenté au §2.1.1 ci-dessus, aucune donnée concernant l'extension de la couche argileuse en dehors du site n'est disponible. Il est vraisemblable qu'elle ne soit pas continue et qu'à l'extérieur du site, les deux horizons aquifères se confondent.

Au droit du site, et sur la base des mesures piézométriques réalisées, la nappe de la craie est en charge du fait de la recharge sur les plateaux latéraux à la vallée, ce qui induit des phénomènes de drainance ascendante depuis la nappe de la craie vers la nappe alluviale. Au droit des piézomètres interceptant

les deux aquifères (Pz1, 2 et 3), ces phénomènes de drainance protègent la nappe de la craie des transferts de polluants provenant de la nappe alluviale.

Par ailleurs, la perméabilité des alluvions est plus importante que celle de la craie silico-argileuse. Les transferts sont donc plus rapides dans la nappe alluviale située en surface que dans la nappe de la craie.

Au droit du site, et sur la base des mesures piézométriques réalisées, les eaux souterraines s'écoulent en direction de l'ancien ruisseau busé situé à l'Est du site. Cet ancien bras joue donc le rôle d'axe de drainage et il collecte les eaux de sa rive droite. De ce fait, **les puits de maraîchers ne sont pas en aval hydrogéologique mais en position latérale voire amont du site ; ils ne sont donc pas vulnérables à une pollution émise par le site.** Par ailleurs, aucun puits n'a été recensé en aval immédiat, c'est à dire entre le site et le ruisseau busé mentionné ci-dessus.

Toutefois, il est envisageable que le sens d'écoulement s'inverse localement en période de forte crue, en raison du très faible gradient mesuré (0,15%). Ce phénomène aura un caractère ponctuel et l'impact pourra être considéré comme négligeable compte tenu de l'utilisation peu probable des eaux souterraines pour l'irrigation des parcelles maraîchères pendant ces périodes de forte pluviosité.

2.2.2. Usages recensés

Les prélèvements d'eaux souterraines recensés dans un rayon de 5 km autour du site sont à usage :

- D'alimentation en eau potable (AEP) ;
- D'irrigation des parcelles maraîchères ;
- Industriel.

Aucun puits n'a été identifié en aval du site ; les puits inventoriés se trouvent en position latérale, voire amont du site.

Pour l'alimentation en eau potable, les deux champs captants répertoriés à proximité du site sont :

- Le champ captant de St Sauveur situé à environ 2000 m au sud-est du site, en rive gauche du Cher. Plusieurs forages pompent dans les Sables du Cénomaniens ;
- Le forage du Grand Carroi à La Riche situé à 1500 m vers l'ouest. Il pompe dans les alternances de marnes, grès et sables du Cénomaniens. Les grès et sables du Cénomaniens se trouvent à une profondeur de 93 m, protégés par une formation marneuse sus-jacente (située entre 58 m et 93 m de profondeur).

La nappe superficielle n'est pas exploitée pour un usage AEP.

Pour l'irrigation des parcelles maraîchères, la nappe superficielle est captée par de nombreux puits. Ces puits sont vraisemblablement équipés de manière à capter le maximum d'eaux souterraines ; ce qui induit un mélange des eaux de la nappe superficielle et la nappe de la craie en charge. Rappelons que ces puits se trouvent en amont hydraulique du site.

Pour l'usage industriel, dix captages ont été identifiés dans un rayon de 5 km autour du site. Les prélèvements s'effectuent dans la nappe alluviale. Aucun de ces captages ne se situe en aval du site.

2.2.3. Niveau de pollution dans les eaux souterraines au droit du site

Annexe 7 : Synthèse des données analytiques sur les eaux souterraines au droit du site

Plusieurs campagnes de prélèvements ont été réalisées sur les différents piézomètres depuis la date de leur mise en place (1998 pour Pz1, 2 et 3 ; 2003 pour les autres). Afin de prendre en compte les phénomènes de biodégradation ainsi que l'impact sur les eaux souterraines des travaux de dépollution des sols menés en 2004, seuls les résultats analytiques les plus récents (décembre 2004) sont retenus dans le cadre de la présente EDR.

Sur la base de ces résultats, il apparaît, **pour la nappe superficielle, différents impacts en Pz4 et Pz8, situés sur le site en position aval :**

- impact important en hydrocarbures C6-C12 en Pz4 et Pz8 ;
- impact en HAV (hors benzène), et en naphthalène en Pz4 ;
- impact important en COHV (PCE et TCE) en Pz8 ;
- léger impact en Arsenic sur ces deux mêmes ouvrages, les concentrations en autres métaux étant homogènes sur tous les ouvrages et vraisemblablement liées au bruit de fond du secteur ;
- L'absence d'impact en HAP et en autres substances analysées dans le cadre du Terratest, hormis le biphényle détecté en Pz4.

Les autres ouvrages captant la nappe superficielle ne sont pas impactés.

Pour la nappe profonde (Pz7, 9 et 11), aucun impact n'est mis en évidence. Les métaux sont retrouvés à des concentrations de l'ordre de grandeur du bruit de fond. Seul Pz9 (doublon « long » de Pz8 « court ») présente un léger impact en COHV fin décembre 2004, alors qu'aucun impact n'avait été mis en évidence début décembre 2004. La réalité de cet impact devra donc être validé lors d'investigations ultérieures.

Dans la mesure où les piézomètres mixtes (Pz1, 2, et 3) captent les deux nappes, aucune interprétation fiable ne peut être effectuée sur ces ouvrages. Néanmoins, il apparaît nécessaire de signaler un très fort impact en métaux lourds (notamment arsenic et baryum) au niveau du Pz3, situé en aval du site. Cet impact est à relier à celui qui est observé pour les mêmes substances en Pz4 et Pz8. En dehors de cet impact en métaux, aucun impact du site n'est mis en évidence sur ces ouvrages (du fait des phénomènes de drainance ascendante existant au niveau de ces puits et décrits ci-avant).

Au vu de ces résultats, seuls Pz4 et Pz8, captant la nappe superficielle sont impactés de manière significative. En conséquence, seules les analyses réalisées sur les échantillons d'eaux souterraines provenant de la nappe superficielle (piézomètres courts) ont été prises en compte dans la présente étude. Les piézomètres longs (Pz7, 9 et 11, captant la nappe inférieure) et mixtes (Pz1, 2 et 3, captant les deux nappes) ont été écartés de l'étude.

2.2.4. Niveau de pollution dans les eaux souterraines hors site

Annexe 8 : Plan d'implantation des ouvrages hors site

Annexe 9 : Synthèse des données analytiques sur les eaux souterraines hors site

Les analyses (TerrAttesT) ont été réalisées sur des échantillons d'eaux souterraines prélevés dans 5 piézomètres situés aux alentours du site (Pz12 à Pz16). Ces ouvrages sont implantés au sein des installations suivantes :

- Pz12 : Ancienne usine CMT (constructions Mécaniques Tourangelles) ;
- Pz13 : Sté Ligner – Maraîcher ;
- Pz14 : Sté Irsa – Bureaux ;
- Pz15 : Mairie – Services techniques ;
- Pz16 : SNCF – Jardins ouvriers.

Tous ces ouvrages se trouvent en amont hydraulique (Pz12, Pz13, Pz14) ou en latéral (Pz15, Pz16) et Pz12 est l'ouvrage le plus proche du site. Les résultats de Pz17 ont été écartés, dans la mesure où Pz17 correspond en fait à une mare dont la qualité des eaux n'est pas représentative de celle des eaux souterraines.

La synthèse des résultats analytiques montre dans les eaux souterraines hors site :

- La présence de métaux (As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Ba, Co, Sn, V) avec des concentrations du même ordre de grandeur que celles mesurées sur site, il s'agit donc probablement du bruit de fond du secteur. Pz12, ouvrage le plus proche du site et implanté sur le site CMT, est l'ouvrage le plus impacté en métaux ;
- La présence de traces de Fluorène, de Trichloroéthylène, de Chlorophénol et de Diéthylphtalate à des concentrations très proches des limites de détection.

Les autres substances recherchées n'ont pas été détectées.

2.3. Données sur les eaux superficielles

Les eaux superficielles identifiées à proximité du site sont : la Loire, le Cher et le ruisseau busé situé à l'est du site, se jetant dans le Cher. Le ruisseau busé est utilisé comme collecteur d'eaux pluviales. Cet ancien bras mort joue un rôle d'axe de drainage des eaux souterraines ; il collecte donc les eaux souterraines provenant du site.

Aucun prélèvement n'a pu être réalisé dans ce ruisseau. Par ailleurs, et dans la mesure où ce ruisseau collecte les eaux pluviales du secteur, il aurait été difficile d'interpréter les résultats des analyses effectuées.

Une prise d'eau AEP est localisée dans le Cher à environ 1500 m au sud-est du site, en amont du pont Saint-Sauveur où se jette le ruisseau busé. Cette prise d'eau est donc située en amont de la zone qui pourrait être impactée par le site.

3. EDR SANTE HUMAINE SUR SITE

3.1. Définition du schéma conceptuel

Annexe 10 : Schéma conceptuel – scénario résidentiel sur site

Annexe 11 : Schéma conceptuel – scénario tertiaire ou industriel sur site

3.1.1. Milieux retenus

Sur la base des résultats analytiques obtenus par ARCADIS ESG, plusieurs familles de substances ont été décelées dans :

- Les sols,
- Les eaux souterraines.

Ces deux milieux sont retenus dans le cadre de l'EDR sur site.

3.1.2. Scénarii étudiés

A la demande d'ESSO SAF, 2 scénarii ont été étudiés :

- Scénario résidentiel sur site ;
- Scénario tertiaire ou industriel sur site

3.1.3. Cibles potentielles

Les cibles susceptibles d'être impactées par la pollution présente sur le site sont :

- Un adulte résidant sur le site ;
- Un enfant résidant sur le site ;
- Un adulte exerçant son activité professionnelle sur le site.

3.1.4. Voies d'exposition

3.1.4.1. Voies d'exposition non retenues

Aucun usage des eaux souterraines n'est prévu au droit du site, les risques liés au contact direct avec ce milieu (ingestion et contact cutané) ne sont donc pas étudiés.

Dans les bâtiments récents, les canalisations d'amenée d'eau potable sont généralement placées au sein de matériau d'apport propre de type sablon afin de conserver l'intégrité de la canalisation et d'éviter le poinçonnement de celle-ci par des cailloux. N'étant pas en contact direct avec les terrains pollués, il est fait l'hypothèse qu'aucun transfert de substances à travers les canalisations n'est possible.

L'inhalation de polluants fixés sur les poussières de sol les plus fines (poussières inhalables) n'a pas fait l'objet d'une étude spécifique. Il est fait l'hypothèse que cette fraction est réduite au regard des quantités de poussières ingérées.

3.1.4.2. Voies d'exposition retenues pour chacun des scénarii

Les composés analysés au sein des sols et de la nappe sont volatilisables à partir de ces deux milieux. Les voies d'exposition « inhalation de polluants sous forme de vapeurs provenant du dégazage des sols et de la nappe » sont donc retenues à l'intérieur comme à l'extérieur des bâtiments.

Afin de calculer les risques liés au contact direct avec les sols au droit du site (espaces non couverts par des bâtiments ou des voiries), l'ingestion et le contact cutané avec les sols sont retenus. L'inhalation de polluants fixés dans les poussières est prise en compte dans l'ingestion de sol et de poussières contaminées.

L'ingestion de légumes auto-produits sur le site a uniquement été retenue pour le scénario résidentiel sur site.

Le tableau ci-après résume les voies d'exposition retenues pour chacun des scénarii étudiés sur site :

	Scénario résidentiel	Scénario tertiaire ou industriel
Ingestion directe de sols et poussières contaminées au niveau de la zone source et inhalation de polluants sous forme de poussières	×	×
Contact cutané avec les sols contaminés au niveau de la zone source	×	×
Ingestion de légumes auto-produits sur le site	×	
Inhalation de polluants sous forme de vapeurs provenant des sols à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments	×	×
Inhalation de polluants sous forme de vapeurs provenant de la nappe à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments	×	×

Tableau 2 : Voies d'exposition retenues pour les différents scénarii (EDR santé humaine sur site)

3.2. Substances retenues pour les calculs de risque

3.2.1. Milieu sol

Seules les substances présentes en concentrations supérieures aux limites de quantification dans les sols au droit du site sont retenues dans le cadre de cette étude.

Les composés dont les concentrations sont proches ou égales aux limites de détection sont écartés (cas des chlorophénols et du 4,4-DDD/2,4-DDT).

De même, les composés ne disposant pas de valeurs toxicologiques de référence n'ont pas été retenus dans le cadre de cette étude, dans la mesure où il n'est alors pas possible de quantifier le risque lié à ces substances (cas du 1,3,5-triméthylbenzène également appelé mésitylène)

Une étude réalisée par l'INRA sur les métaux lourds, intitulée programme ASPITET¹, a permis de définir des gammes de valeurs couramment observées dans les sols « ordinaires » de toutes granulométries. Comme le montre le tableau ci-dessous, les concentrations en métaux décelées dans les sols du site sont de l'ordre de grandeur des concentrations couramment rencontrées dans les sols français.

Substance	Concentration maximale mesurée dans les sols sur site (mg/kg)	gammes de valeurs couramment observées dans les sols « ordinaires » de toutes granulométries (mg/kg)
Arsenic	14	1-25
Baryum	130	Pas de valeur
Cadmium	<0,3	0,05-0,45
Chrome	34	10-90
Cobalt	11	2-23
Cuivre	12	2-20
Mercure	0,12	0,02-0,1
Nickel	23	2-60
Plomb	21	9-50
Vanadium	42	Pas de valeur
Zinc	56	10-100

En conséquence, parmi les métaux, seuls le Baryum et le Vanadium non présents dans l'étude ASPITET, ont été pris en compte dans les calculs de risque.

3.2.2. Milieu eaux souterraines sur site – nappe superficielle

Seules les substances présentes en concentrations supérieures aux limites de quantification dans les eaux de la nappe superficielle (piézomètres courts Pz4, Pz5, Pz6, Pz8 et Pz10) au droit du site sont retenues dans le cadre de cette étude.

Les composés dont les concentrations sont proches ou égales aux limites de détection sont écartés (cas du 2,4,6 trichlorophénol).

Dans la mesure où il n'est pas envisagé d'usage des eaux sur le site, les seuls risques liés à la nappe sont liés à l'inhalation de vapeurs provenant du dégazage des eaux souterraines. Les composés considérés comme non volatils (métaux) ont donc été écartés des calculs de risque liés à la nappe.

¹ Denis BAIZE – Teneurs totales en « métaux lourds » dans les sols français – résultats généraux du programme ASPITET.

De même, les composés ne disposant pas de valeurs toxicologiques de référence pour l'inhalation n'ont pas été retenus dans le cadre de cette étude, dans la mesure où il n'est alors pas possible de quantifier le risque lié à la présence de ces substances (cas du 1,2,4 et du 1,3,5-triméthylbenzène également appelé mésitylène, du 1,2,3-Trichloropropane, du biphenyl, du n-propylbenzène, du sec et du ter-butylbenzène et du p-isopropyltoluène)

3.3. Concentrations utilisées pour les calculs de risque sur site

Dans la mesure où le nombre de résultats analytiques disponibles est limité, et en application du principe de prudence, les calculs de risque sont effectués à partir des concentrations maximales mesurées pour les substances retenues dans chacun des milieux. Ces concentrations sont fournies dans le tableau ci-dessous :

Substances	Concentrations	
	Sols (mg/kg)	Eaux souterraines (mg/l)
Huiles minérales		
Huiles minérales C6-C8	8,5	0,51
Huiles minérales C8-C10	58	6,7
Huiles minérales C10-C12	230	0,95
Huiles minérales C10-C16	4100	0,98
Huiles minérales C16-C22	3200	0,053
Huiles minérales C22-C30	900	0,031
Huiles minérales C30-C40	150	Non détecté
Métaux complémentaires		
Baryum	130	Non retenus car pas d'usage direct des eaux souterraines
Vanadium	42	
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)		
Acénaphène	5,6	Non détecté
Acénaphthylène	0,73	Non détecté
Anthracène	0,65	Non détecté
Benzo (a) anthracène	1,7	Non détecté
Benzo (a) pyrène	1,9	Non détecté
Benzo (b) fluoranthène	1,9	Non détecté
Benzo (g,h,i) pérylène	1,1	Non détecté
Benzo (k) fluoranthène	0,99	Non détecté
Chrysène	1,9	Non détecté
Dibenzo (a,h) anthracène	0,02	Non détecté
Fluoranthène	11	0,0007
Fluorène	3,7	Non détecté
Indeno (1,2,3-c,d) pyrène	2	Non détecté
Naphtalène	2,4	0,034
Phénanthrène	3,3	Non détecté
Pyrène	4,2	Non détecté

Substances	Concentrations	
	Sols (mg/kg)	Eaux souterraines (mg/l)
Hydrocarbures Aromatiques Volatils (HAV)		
Ethylbenzène	0,066	0,010
Toluène	0,54	Non détecté
Xylènes	1,5	0,020
Styrène	-	0,0003
Cumène (Isopropylbenzène)	-	0,040
Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV)		
Tétrachloroéthylène	0,73	41
Trichloroéthylène	0,056	2,3
Cis1,2-Dichloroéthylène	-	0,74
Pesticides chlorés		
Biphényle	1,8	Non détecté
DDE	0,011	Non détecté
DDT	0,01	Non détecté

Tableau 3 : Concentrations retenues pour les calculs de risque sur site

Afin de corréliser les concentrations des coupes hydrocarbures analysées avec les fractions TPH et les VTR associées du modèle RISC utilisé pour la modélisation des transferts et de l'exposition, les concentrations sont recalculées pour les fractions suivantes :

- TPH C12 à C16 = TPH C10-C16 – TPH C10-C12 = 0,03 mg/l et 3870 mg/kg
- TPH Aliphatiques C16 à C35 = TPH C16-C22 + TPH C22-C30 + TPH C30-C40 = 0,084 mg/l et 4250 mg/kg ;
- TPH Aromatiques C21 à C35 = TPH C22-C30 + TPH C30-C40 = 0,031 mg/l et 1050 mg/kg.

3.4. Toxicité des substances retenues

Annexe 12 : Toxicologie détaillée des substances

Les tableaux suivants présentent les informations disponibles sur la toxicologie des substances détectées sur le site.

Légende : Classification des substances cancérogènes

	USEPA	CIRC
Cancérogène : données suffisantes	A	1
Probablement cancérogène (connaissances limitées chez l'homme)	B1	2A
Probablement cancérogène (données uniquement chez l'animal)	B2	
Cancérogène possible	C	2B
Inclassable	D	3
Probablement non cancérogène	E	4

Composés	Voie d'absorption		Effets systémiques			Effets cancérigènes	
	principale	secondaire	Organes cibles			Classification	
			Ingestion	Inhalation	Contact cutané	CIRC	EPA
Métaux							
Baryum	Ingestion		Fonction musculaire			3	D
Vanadium	Ingestion					-	-
HAP							
Acénaphthène	Inhalation, Ingestion, Contact cutané		Foie	Foie	Foie		
Acénaphthylène						-	-
Anthracène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané		Pas d'organe cible	Pas d'organe cible	Pas d'organe cible	3	D
Benzo(a)anthracène	Ingestion	Inhalation	Systèmes hémato-poïétique et lymphoïtique	Système respiratoire		2A	B2
Benzo(a)pyrène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané					2A	B2
Benzo(b)fluoranthène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané			Système immunologique		2B	B2
Benzo(g,h,i)perylene			Pas d'information sur la toxicité pour l'homme			3	D
Benzo(k)fluoranthène			Pas d'information sur la toxicité pour l'homme			2B	B2
Chrysène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané		Tissus adipeux, foie, poumon, peau			3	B2
Dibenz(a,h)anthracène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané			Système immunologique		2B	B2
Fluoranthène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané		Foie, rein, sang	Foie, rein, sang	Foie, rein, sang	3	D
Fluorène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané		Foie, sang	Foie, sang	Foie, sang	3	D
Indeno(1,2,3-c,d)pyrène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané					2B	B2
Naphtalène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané		SS, yeux	Yeux, SS, SGI, SNC, foie, rein		2B	C
Phénanthrène	Inhalation	Contact cutané		TGI, poumons		3	D
Pyrène			Pas d'information sur la toxicité pour l'homme			3	D

Composés	Voie d'absorption		Effets systémiques			Effets cancérigènes			
	principale	secondaire	Ingestion	Organes cibles		Classification			
				Inhalation	Contact cutané	CIRC	EPA	Type cancer	
HAV (BTEX)									
Ethylbenzène	Ingestion, Inhalation,	Contact cutané		Foie, rein, SH			2B	D	
Styrène							3/2B	-	
Toluène	Inhalation	Ingestion	Foie, rein, SN	SNC, yeux (vision)			3	D	
Cumène							-	D	
Xylène	Inhalation	Ingestion, Contact cutané		SNC, foie, sang, poumon	Yeux, SNC, peau, foie		3	D	
COHV									
Dichloroéthylène-1,2 Cis	Inhalation	Ingestion					3	D	
Tétrachloroéthylène	Inhalation	Ingestion, Contact cutané	Foie, rein	SNC, foie, rein	Pas d'information		2A	B/C	Rénal (Inhalation)
Trichloroéthylène	Inhalation	Ingestion	SN, SR, TGI, SI, SC	SNC, foie, rein	Irritation locale		2A	B2/C	Pas de conclusion possible
Hydrocarbures totaux									
Aliphatiques									
C6-C8	Ingestion, Inhalation,	Contact cutané		Reins, foie			3	D	
C8-C10	Ingestion, Inhalation,	Contact cutané		Reins, foie			3	D	
C10-C12	Ingestion, Inhalation,	Contact cutané		Foie, système hématologique			3	D	
C12-C16	Ingestion, Inhalation,	Contact cutané		Foie, système hématologique			3	D	
C16-C21	Ingestion, Contact cutané			Foie			3	D	
C21-C35	Ingestion, Contact cutané			Foie			3	D	

3.5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

Annexe 13 : Tableau de toutes les VTR disponibles dans la littérature

Annexe 14 : Justification du choix des VTR

Annexe 15 : VTR retenues dans le cadre de la présente étude

Le tableau en annexe présente les VTR des substances retenues dans le cadre de l'étude. Le choix de ces dernières est également explicité en annexe.

3.6. Modélisation des transferts

3.6.1. Mode de calcul des transferts eaux et sols => air ambiant

Annexe 16: Description du logiciel RISC

Annexe 17: Equations de transfert

Les transferts des polluants des milieux sols et eaux vers l'air ambiant ont été estimés à partir des modèles mathématiques intégrés au logiciel RISC développé par Lynn R.Spence et BP Oil International.

Les modèles mathématiques exploités sont :

- le modèle de Johnson et Ettinger pour les transferts et la dispersion dans l'air ambiant à l'intérieur de bâtiments ;
- le modèle dit « boîte » pour la dispersion dans l'air ambiant en extérieur.

Ces deux modèles sont des modèles dits « de première approche » car simplifiés.

Les modèles mathématiques « dominant layer model » et « oxygen limited model » n'ont pas été retenus pour le calcul des concentrations dans l'air. En effet, lors du diagnostic, les teneurs en oxygène dans les sols n'ont pas été mesurées et les données recueillies n'ont pas permis de mettre en évidence de dégradation des composés organiques dans les sols ni même de milieu favorable à ce phénomène.

Les équations permettant d'accéder aux concentrations dans l'air à l'intérieur des bâtiments comme à l'extérieur sont données en annexe.

3.6.2. Synthèse des paramètres de modélisation des transferts retenus dans la présente étude

Annexe 18: Justification du choix des paramètres de transfert

Les paramètres relatifs au transfert des composés depuis les sols ou les eaux souterraines vers l'air ambiant sont présentés dans le tableau ci-après.

Paramètres	Quantité	Unités	Source
Paramètres liés à la modélisation des émissions gazeuses du sol dans le bâtiment			
Différence de pression entre le bâtiment et l'extérieur	40	g/c m ² .s	Johnson & Ettinger
Taux de fissuration	0,001	/	USEPA
Porosité de la dalle	0,25	/	Porosité du sol sous la dalle
Epaisseur de la dalle	15	cm	USEPA
Profondeur des fondations	15	cm	Equivalent à l'épaisseur de la dalle
Profondeur de la source sol	15	cm	Source subsurface
Paramètres liés au calcul de la concentration dans un logement ou dans un bureau en RdC de bâtiment			
Périmètre du logement/du bureau	18	m	scénario retenu : pièce de 4 x 5 m
Surface du logement/du bureau	20	m ²	scénario retenu : pièce de 4 x 5 m
Hauteur du logement/du bureau	2,5	m	scénario retenu : pièce de 4 x 5 m
Volume du logement/du bureau	50	m ³	scénario retenu : pièce de 4 x 5 m
Taux de renouvellement d'air dans le logement/du bureau	12	j ⁻¹	Valeur de 0.5 v/h retenue
Paramètres liés au modèle d'émission gazeuse à l'extérieur			
Hauteur de la boîte	2	m	Hauteur d'homme
Longueur de la boîte	10	m	Valeur arbitraire
Vitesse du vent	2	m/s	Plus petite vitesse de vent enregistrée par Météo France
Paramètres liés au site			
Profondeur de la nappe/terrain naturel	1,82	m	Profondeur la plus faible relevée sur le site lors des prélèvements d'eau en décembre 2004 (en Pz5)
Nature des terrains dans la ZNS	Sables limoneux	/	Liée au site
Teneur en carbone organique dans les sols	5	%	Valeurs par défaut liées à la nature du sol sélectionnée
Teneur en eau dans les sols	0,15	%	
Perméabilité du sol aux vapeurs	1.10 ⁻¹⁰	cm ²	

Tableau 4 : Paramètres de modélisation des transferts

3.7. Calcul de l'exposition

3.7.1. Mode de calcul des DJE

Annexe 19 : Equations de calcul des DJE

Les doses journalières d'exposition (D.J.E) ont été calculées à l'aide du logiciel RISC.

Les équations utilisées pour le calcul des DJE, issues du document "Risk Assessment guidance for superfund volume I Human Health Evaluation Manual - Part A - décembre 1989" publié par "Office of Emergency and Remedial Response" – USEPA, sont présentées en annexe.

3.7.2. Synthèse des paramètres d'exposition des cibles

Annexe 20 : Justification du choix des paramètres d'exposition des cibles

Les paramètres relatifs à l'exposition des cibles sont présentés dans le tableau ci-après.

Paramètres	Quantité	Unités	Source
Paramètres liés à la cible adulte			
Masse corporelle moyenne	70	kg	USEPA
Durée de vie	70	an	USEPA
Volume d'air inhalé	20	m3/j	CIBLEX
Quantité de sol ingérée (résident)	50	mg/jr	
Quantité de sol ingérée (employé en bureau)	33,3	mg/jr	50 mg en 12 h, pondéré sur 8 h de présence sur le site
Quantité de sol ingérée (travail salissant)	105	mg/jr	
Surface de peau exposée	5700	cm ²	USEPA (cohérent avec CIBLEX)
Quantité de légumes racines auto-produits ingérés	15	g/j	INERIS 2001
Quantité de légumes feuilles auto-produits ingérés	35	g/j	INERIS 2001
Fréquence de la conso de légumes autoproduits	175	j/an	6 mois par an
Fraction de légumes autoproduits	1		
Facteur d'adhérence du sol sur la peau	0,07	mg/cm ²	USEPA

Paramètres	Quantité	Unités	Source
Paramètres liés à la cible enfant			
Masse corporelle moyenne (0-6 ans)	15	kg	USEPA
Durée de vie	70	an	USEPA
Volume d'air inhalé	8,3	m ³ /j	CIBLEX (moyenne pondérée entre 0 et 7 ans)
Quantité de sol ingérée (résident)	150	mg/jr	
Surface de peau exposée	2800	cm ²	USEPA (légèrement majorant par rapport à CIBLEX)
Quantité de légumes racines auto-produits ingérés	7,6	g/j	INERIS 2001
Quantité de légumes feuilles auto-produits ingérés	15	g/j	INERIS 2001
Fréquence de la conso de légumes autoproduits	175	j/an	6 mois par an
Fraction de légumes autoproduits	0,5		
Facteur d'adhérence du sol sur la peau	0,2	mg/cm ²	USEPA

Tableau 5 : Paramètres d'exposition des cibles

3.7.3. Budgets espace-temps

3.7.3.1. Scénario résidentiel sur site

Le budget espace-temps des cibles dans le cas du scénario résidentiel sur site est présenté dans le tableau ci-après.

Budget espace-temps	Quantité	Unités	Source
Budget espace-temps lié à la cible adulte			
Temps de présence sur le site (à l'intérieur)	20	h/j	Scénario retenu
Temps de présence sur le site (à l'extérieur)	2	h/j	Scénario retenu
Temps d'absence du site	2	h/j	Scénario retenu
Fréquence d'exposition	350	j/an	Scénario retenu
Durée d'exposition	30	ans	Durée moyenne de résidence en France
Budget espace-temps lié à la cible enfant			
Temps de présence sur le site (à l'intérieur)	20	h/j	Scénario retenu
Temps de présence sur le site (à l'extérieur)	2	h/j	Scénario retenu
Temps d'absence du site	2	h/j	Scénario retenu
Fréquence d'exposition	350	j/an	Scénario retenu
Durée d'exposition	6	ans	Scénario retenu

Tableau 6 : Budget espace-temps - scénario résidentiel sur site

3.7.3.2. Scénario tertiaire ou industriel

Le budget espace-temps des cibles dans le cas du scénario tertiaire ou industriel sur site est présenté dans le tableau ci-après.

Budget espace-temps	Quantité	Unités	Source
Budget espace-temps lié à la cible employé			
Temps de présence sur le site (à l'intérieur)	7,5	h/j	Durée légale du travail en France
Temps de présence sur le site (à l'extérieur)	0,5	h/j	Durée légale du travail en France
Temps d'absence du site	16	h/j	Durée légale du travail en France
Fréquence d'exposition (employé)	220	j/an	Durée légale du travail en France
Durée d'exposition (employé)	40	ans	Durée légale du travail en France

Tableau 7 : Budget espace-temps - scénario tertiaire ou industriel

3.8. Calcul des risques

3.8.1. Rappel de méthodologie

Le risque a été calculé respectivement pour les effets cancérigènes (effets dits sans seuil) et les effets non cancérigènes (effets dits à seuil).

Les effets à seuil

L'indice de risque est défini comme :

$$IR = DJE \text{ (Dose Journalière d'Exposition)}/DR \text{ (Dose de Référence)}$$

Les effets sans seuil

L'excès de risque unitaire (ERU) est défini pour une durée de 70 ans. L'excès de risque individuel (ERI) est défini comme suit :

$$ERI = DJE \times ERU$$

La circulaire du 10 décembre 1999 relative aux sites et sols pollués et aux principes de fixation des objectifs de réhabilitation définit comme **risque acceptable** :

- pour les effets à seuil, l'indice de risque (IR), qui est comparé à la valeur 1 ;
- pour les effets cancérigènes, l'excès de risque individuel (ERI), qui est comparé à la valeur 10^{-5} .

3.8.2. Risques liés au scénario résidentiel sur site

Annexe 21 : Calculs des risques par voie d'exposition – scénario résidentiel sur site

3.8.2.1. Effets non cancérigènes

Les tableaux des pages suivantes résument les indices de risques (adultes puis enfants) calculés pour le scénario résidentiel sur le site.

Dans le cas du scénario résidentiel sur site, les indices de risque (IR) calculés pour les adultes et enfants résidents sont supérieurs à la valeur seuil de la circulaire du 10/12/99 ($IR > 1$).

Ces risques sont générés à 85 % en moyenne par la présence d'hydrocarbures dans les sols (C8-C12 pour l'inhalation ; C12-C21 pour l'ingestion de sols et de légumes).

Les risques sont liés à l'inhalation dans les bâtiments de vapeurs provenant du dégazage des sols et à l'ingestion de sols et de légumes auto-produits sur le site.

Si les hydrocarbures sont aliphatiques, l'inhalation génère environ 75 % du risque global et l'ingestion de sols et de légumes environ 15 % ; si les hydrocarbures sont aromatiques, l'ingestion de sols et de légumes génère environ 60 % du risque global et l'inhalation environ 33 %.

NB : Les tableaux et résultats présentés ci-après résultent de logiciels scientifiques dont l'écriture suit la règle suivante : $2 \cdot 10^3$ s'écrit 2.00E-03. Il faut donc comparer les résultats des ERI à 1.00E-05 et ceux des IR à 1.00E+00.

Substances	Ingestion de sols	Ingestion de légumes	Contact cutané avec les sols	Inhalation vapeurs sols		Inhalation vapeurs nappe	
				Logement	Extérieur	Logement	Extérieur
Métaux Lourds	1,27E-03	1,4E-02	-	-	-	-	-
HAP's	5,80E-04	4,00E-03	1,50E-03	2,60E-02	9,40E-05	1,80E-03	3,70E-07
HAV (BTEX)	7,40E-06	2,40E-04	7,30E-07	2,20E-02	8,30E-05	6,80E-05	6,40E-09
OHV	1,80E-04	2,00E-02	7,20E-05	5,40E-02	2,00E-04	1,30E-01	1,20E-05
Pesticides	2,90E-05	2,10E-05	1,60E-04	-	-	-	-
Biphényl	2,50E-05	3,00E-04	3,90E-06	-	-	-	-
Hydrocarbures aliphatiques	3,00E-02	1,10E-02	3,00E-03	9,10E-01	3,40E-03	1,60E-02	1,40E-06
Hydrocarbures aromatiques	1,70E-01	1,20E-00	1,70E-02	9,40E-01	3,60E-03	2,50E-02	2,30E-06
Total par voie avec hypothèse HC aliphatiques	3,21E-02	4,96E-02	4,74E-03	1,01E+00	3,78E-03	1,48E-01	1,38E-05
Total général avec hypothèse HC aliphatiques				1,25			
Total par voie avec hypothèse HC aromatiques	1,72E-01	1,24E-00	1,87E-02	1,04E+00	3,98E-03	1,57E-01	1,47E-05
Total général avec hypothèse HC aromatiques				2,63			

Les valeurs supérieures au seuil de 1 fixé par la circulaire du 10/12/99 sont indiquées en gras

Tableau 8 : Indice de risque Adulte – scénario résidentiel sur site

Substances	Ingestion de sols	Ingestion de légumes	Contact cutané avec les sols	Inhalation vapeurs sols		Inhalation vapeurs nappes	
				Logement	Extérieur	Logement	Extérieur
Métaux Lourds	1,80E-02	3,00E-02	-	-	-	-	-
HAPs	8,10E-03	8,00E-03	9,80E-03	5,10E-02	1,80E-04	3,60E-03	7,30E-07
HAV (BTEX)	1,00E-04	4,90E-04	4,80E-06	4,40E-02	1,60E-04	1,30E-04	1,20E-08
OHV	2,50E-03	2,00E-02	4,70E-04	1,10E-01	3,80E-04	2,40E-01	2,30E-05
Pesticides	4,00E-04	4,50E-05	1,00E-03	-	-	-	-
Biphényl	3,50E-04	6,20E-04	2,60E-05	-	-	-	-
Hydrocarbures aliphatiques	4,20E-01	2,20E-02	2,00E-02	1,80E+00	6,60E-03	3,10E-02	2,70E-06
Hydrocarbures aromatiques	2,40E+00	2,40E+00	1,10E-01	1,80E+00	6,90E-03	4,80E-02	4,50E-06
Total par voie avec hypothèse HC aliphatiques	4,49E-01	8,11E-02	3,13E-02	2,00E+00	7,32E-03	2,75E-01	2,64E-05
Total général avec hypothèse HC aliphatiques	2,84						
Total par voie avec hypothèse HC aromatiques	2,43E+00	2,46E+00	1,21E-01	2,00E+00	7,62E-03	2,92E-01	2,82E-05
Total général avec hypothèse HC aromatiques	7,31						

Les valeurs supérieures au seuil de 1 fixé par la circulaire du 10/12/99 sont indiquées en gras

Tableau 9 : Indice de risque Enfant – scénario résidentiel sur site

3.8.2.2. Effets cancérigènes

Les tableaux des pages suivantes résument les excès de risque individuels calculés pour le scénario résidentiel sur site.

Dans le cas du scénario résidentiel sur site, les excès de risque individuels (ERI) calculés pour les adultes et enfants résidents sont supérieurs à la valeur seuil de la circulaire du 10/12/99 ($ERI > 10^{-5}$).

Ce risque est lié à plus de 95 % à l'inhalation dans les bâtiments de vapeurs provenant du dégazage des sols et de la nappe.

Ce risque est généré à plus de 92 % par la présence de tétrachloroéthylène dans les sols et les eaux souterraines.

Substances	Ingestion de sols	Ingestion de légumes	Contact cutané avec les sols	Inhalation vapeurs sols		Inhalation vapeurs nappe	
				Logement	Extérieur	Logement	Extérieur
Métaux Lourds	-	-	-	-	-	-	-
HAPs	1,60E-07	1,10E-07	5,20E-07	3,70E-06	1,40E-08	2,10E-07	4,20E-11
HAV (BTEX)	-	-	-	-	-	-	-
OHV	1,80E-08	2,00E-06	4,40E-09	2,90E-05	1,10E-07	5,60E-05	5,10E-09
Pesticides	2,10E-09	1,60E-09	1,20E-08	3,10E-10	3,30E-12	-	-
Biphényl	-	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures aliphatiques ou aromatiques	-	-	-	-	-	-	-
Total par voie	1,80E-07	2,11E-06	5,36E-07	3,27E-05	1,24E-07	5,62E-05	5,14E-09
Total général				9,18E-05			

Tableau 10 : Excès de risque Individuel Adulte – scénario résidentiel sur site

Les valeurs supérieures au seuil de 1.10^{-5} fixé par la circulaire du 10/12/99 sont indiquées en gras

Substances	Ingestion de sols	Ingestion de légumes	Contact cutané avec les sols	Inhalation vapeurs sols		Inhalation vapeurs nappe	
				Logement	Extérieur	Logement	Extérieur
Métaux Lourds	-	-	-	-	-	-	-
HAPs	4,40E-07	4,60E-08	6,80E-07	1,40E-06	5,40E-09	8,00E-08	1,60E-11
HAV (BTEX)	-	-	-	-	-	-	-
OHV	5,00E-08	4,00E-07	5,80E-09	1,10E-05	4,10E-08	2,20E-05	2,00E-09
Pesticides	5,90E-09	6,60E-10	1,50E-08	1,20E-10	1,30E-12	-	-
Biphényl	-	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures aliphatiques ou aromatiques	-	-	-	-	-	-	-
Total par voie	4,96E-07	4,46E-07	7,00E-07	1,24E-05	4,64E-08	2,21E-05	2,02E-09
Total général	3,62E-05						

Les valeurs supérieures au seuil de 1.10^{-5} fixé par la circulaire du 10/12/99 sont indiquées en gras

Tableau 11 : Excès de risque Individuel Enfant – scénario résidentiel sur site

3.8.3. Risques liés au scénario tertiaire ou industriel sur site

Annexe 22 : Calculs des risques par voie d'exposition – scénario tertiaire ou industriel sur site

Annexe 23 : Calculs des risques par ingestion – scénario industriel salissant sur site

3.8.3.1. Effets non cancérogènes

Le tableau ci-après résume les indices de risques (employés de bureau) calculés pour le scénario tertiaire ou industriel sur le site.

Substances	Ingestion de sols	Contact cutané avec les sols	Inhalation vapeurs sols		Inhalation vapeurs nappe	
			Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur
Métaux Lourds	5,30E-04	-	-	-	-	-
HAPs	2,40E-04	9,40E-04	6,50E-03	1,50E-05	4,60E-04	5,90E-08
HAV (BTEX)	3,10E-06	4,60E-07	5,70E-03	1,30E-05	1,70E-05	1,00E-09
OHV	7,40E-05	4,50E-05	1,40E-02	3,10E-05	3,10E-02	1,80E-06
Pesticides	1,20E-05	9,90E-05	-	-	-	-
Biphényl	1,00E-05	2,50E-06	-	-	-	-
Hydrocarbures aliphatiques	1,30E-02	1,90E-03	2,30E-01	5,40E-04	4,00E-03	2,20E-07
Hydrocarbures aromatiques	7,00E-02	1,10E-02	2,40E-01	5,60E-04	6,30E-03	3,60E-07
Total par voie avec hypothèse HC aliphatiques	1,39E-02	2,99E-03	2,56E-01	5,99E-04	3,55E-02	2,08E-06
Total général avec hypothèse HC aliphatiques	0,31					
Total par voie avec hypothèse HC aromatiques	7,09E-02	1,21E-02	2,66E-01	6,19E-04	3,77E-02	2,22E-06
Total général avec hypothèse HC aromatiques	0,39					

Les valeurs supérieures au seuil de 1 fixé par la circulaire du 10/12/99 sont indiquées en gras

Tableau 12 : Indice de risque Employé (bureau) – scénario tertiaire ou industriel sur site

Dans le cas du scénario tertiaire ou industrie sur site, les indices de risque (IR) calculés pour les employés (en bureau) sont inférieurs à la valeur seuil de la circulaire du 10/12/99 (IR < 1).

Dans le cas où il serait envisagé d'affecter le site à un usage industriel avec travail dit « salissant » pendant lequel l'ingestion potentielle de sols pollués est plus importante (105 mg en 8 heures au lieu de 33.3 mg en 8 heures dans le cas d'un travail en bureau), le risque par ingestion s'élèverait à 4,28 E-02 dans le cas des hydrocarbures aliphatiques et 2,23 E-01 dans le cas des hydrocarbures aromatiques.

Dans la mesure où, parallèlement, les employés seraient moins présents à l'intérieur des bureaux (environ 1 h par jour au lieu de 8 dans le scénario « travail de bureau »), les risques par inhalation à l'intérieur (majorants) diminueraient d'un facteur 8. De ce fait, l'indice de risque global pour un scénario industriel extérieur (travail salissant) serait inférieur à la valeur seuil de 1 préconisée par la circulaire du 10/12/99.

3.8.3.2. Effets cancérigènes

Le tableau ci-après résume les excès de risques individuels (employé de bureau) calculés pour le scénario tertiaire ou industriel sur le site.

Substances	Ingestion de sols	Contact cutané avec les sols	Inhalation vapeurs sols		Inhalation vapeurs nappe	
			Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur
Métaux Lourds	-	-	-	-	-	-
HAPs	8,70E-08	4,30E-07	1,20E-06	2,90E-09	6,90E-08	8,80E-12
HAV (BTEX)	-	-	-	-	-	-
OHV	9,90E-09	3,70E-09	9,80E-06	2,20E-08	1,90E-05	1,10E-09
Pesticides	1,20E-09	9,60E-09	1,00E-10	6,90E-13	-	-
Biphényle	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures aliphatiques ou aromatiques	-	-	-	-	-	-
Total par voie	9,81E-08	4,43E-07	1,10E-05	2,49E-08	1,91E-05	1,11E-09
Total général	3,07E-05					

Les valeurs supérieures au seuil de 1.10^{-5} fixé par la circulaire du 10/12/99 sont indiquées en gras

Tableau 13 : Excès de risque Individuel Employé (bureau) – scénario tertiaire ou industriel sur site

Dans le cas du scénario tertiaire ou industriel avec travail en bureau, l'excès de risque individuel (ERI) calculé pour les employés (en bureau) est supérieur à la valeur seuil de la circulaire du 10/12/99 ($ERI > 10^{-5}$).

Ce risque est lié à plus de 98 % à l'inhalation dans les bâtiments de vapeurs provenant du dégazage des sols et de la nappe.

Ce risque est généré à plus de 95 % par la présence de tétrachloroéthylène dans les sols et les eaux souterraines.

Dans le cas où il serait envisagé d'affecter le site à un usage industriel avec travail dit « salissant » pendant lequel l'ingestion potentielle de sols pollués est plus importante (105 mg en 8 heures au lieu de 33,3 mg en 8 heures dans le cas d'un travail en bureau), le risque par ingestion s'élèverait à $3,05 \times 10^{-7}$.

Dans la mesure où, parallèlement, les employés seraient moins présents à l'intérieur des bureaux (environ 1 h par jour au lieu de 8 dans le scénario « travail de bureau ») et plus longtemps à l'extérieur (8 h/j au lieu de 0,5 h/j), les risques par inhalation à l'intérieur diminueraient d'un facteur 8, et s'élèveraient alors à $3,74 \text{ E-}06$ et les risques par inhalation à l'extérieur augmenteraient d'un facteur 16.

De ce fait, l'excès de risque individuel global pour un scénario industriel extérieur (travail salissant) s'élèverait à $4,92 \text{ E-}06$ et deviendrait de ce fait inférieur à la valeur seuil de 10^{-5} préconisée par la circulaire du 10/12/99.

4. EDR HORS SITE

4.1. Sens d'écoulement des eaux et exutoire de la nappe

Comme cela est expliqué au paragraphe 2.2.1 ci-avant, au droit du site, et sur la base des mesures piézométriques réalisées, les eaux souterraines s'écoulent en direction de l'ancien ruisseau busé situé à l'Est du site. Cet ancien bras joue donc le rôle d'axe de drainage en collectant les eaux souterraines provenant du site.

4.2. Localisation des puits répertoriés hors site

Cinq piézomètres situés aux alentours du site (Pz12 à Pz16) et utilisés pour certains (Pz13 et Pz16) à des fins d'arrosage de cultures maraîchères ont été répertoriés et investigués. Sur la base du sens d'écoulement des eaux mis en évidence lors des investigations, tous ces ouvrages se trouvent en amont hydraulique (Pz12, Pz13, Pz14) ou en latéral (Pz15, Pz16) et Pz12 est l'ouvrage le plus proche du site.

Ces puits ainsi que les autres, non répertoriés et qui pourraient se trouver à l'ouest du site ne sont donc pas vulnérables à une pollution émise par le site. Par ailleurs, aucun puits n'a été recensé en aval immédiat, c'est à dire entre le site et le ruisseau busé mentionné dans le paragraphe précédent.

4.3. Qualité des eaux dans les puits répertoriés hors site

Comme cela est présenté au paragraphe 2.2.4 ci-avant, des analyses (TerrAttesT) ont été réalisées sur des échantillons d'eaux souterraines prélevés dans les 5 ouvrages répertoriés à l'extérieur du site.

Les substances détectées lors de ces analyses et les concentrations maximales relevées sont rappelées dans le tableau ci-dessous. Ces concentrations maximales à l'extérieur du site sont comparées aux limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (annexe 13-1 du décret 2003-462 du 21 mai 2003).

Substances détectées dans les eaux souterraines hors site	Concentration maximale mesurée dans les eaux souterraines hors site (µg/l)	Limites de qualité des eaux de consommation (décret 2003-462) – (µg/l)
Arsenic	51	10
Cadmium	4	5
Cuivre	48	2000
Mercure	0,08	1
Nickel	17	20
Plomb	42	10
Zinc	92	Pas de valeur
Baryum	530	700
Etain	24	Pas de valeur
Vanadium	32	Pas de valeur
Fluorène	0,01	Pas de valeur
Trichloréthylène	0,2	10 ²
4-Chloro-3-méthylphénol	0,03	Pas de valeur
Diéthylphtalate	1,6	Pas de valeur

Tableau 14 : Concentrations maximales dans les eaux hors site et comparaison aux valeurs limites

Les concentrations maximales en plomb et en arsenic, supérieures aux limites de qualité eaux potables, sont mesurées dans Pz12, situé à l'amont immédiat au niveau du site CMT (Constructions Mécaniques Tourangelles, actuellement en friche).

Au niveau des 2 puits de maraîchers (Pz13 et Pz16), seule la concentration en Arsenic en Pz16 (puits utilisé pour l'arrosage de jardins ouvriers) est dans l'ordre de grandeur de la limite de qualité eaux potables (12 µg/l pour une limite à 10 µg/l). Les autres substances détectées sur Pz13 et Pz16 sont inférieures aux limites de qualité eaux potables, lorsque ces limites existent.

En dehors du Pz12, toutes les substances détectées à l'extérieur du site présentent des concentrations inférieures ou dans l'ordre de grandeur des limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, lorsque ces limites existent.

4.4. Cibles potentielles

Annexe 24 : Schéma conceptuel – hors site

Les maraîchers et consommateurs de légumes arrosés par l'eau de la nappe souterraine ne constituent pas des cibles susceptibles d'être impactées par la pollution mise en évidence dans les eaux souterraines au droit du site. En effet, les puits utilisés pour les activités de maraîchage se trouvent à l'amont ou en latéral des écoulements provenant du site.

² Valeur s'appliquant à la somme TCE + PCE

Les cibles hors site susceptibles d'être impactées par la pollution des eaux souterraines provenant du site sont donc uniquement **les adultes exerçant une activité professionnelle dans les locaux situés en aval hydrogéologique**, sur le trajet d'un éventuel panache de pollution provenant du site. Les locaux concernés sont ceux qui sont implantés entre la limite Est du site ESSO et le ruisseau busé, qui se trouve à une soixantaine de mètres. Ces locaux sont :

- un commerce (jardinerie, animalerie),
- un centre d'hébergement d'urgence temporaire pour hiver et été,
- des bureaux (associations de réinsertion),
- une usine de traitement des métaux (mécanique, usinage, réparation de vérins hydrauliques).

Aucun puits n'est répertorié au niveau de ces parcelles, situées à l'aval du site ESSO.

Par ailleurs, les eaux du ruisseau busé qui draine vraisemblablement les eaux souterraines ne font l'objet d'aucun usage et sont fortement diluées à leur arrivée dans le Cher. Les usagers des eaux superficielles du Cher ne sont donc pas considérés comme cibles potentielles.

4.5. Scénario retenu

Compte tenu des activités répertoriées sur les parcelles situées à l'aval du site, le scénario étudié hors site correspond à un scénario industriel de type bureau.

4.6. Voies d'exposition

Les composés analysés dans les eaux souterraines et potentiellement présents dans un panache qui sortirait du site sont volatilisables à partir de ce milieu. La voie d'exposition « inhalation de polluants sous forme de vapeur provenant du dégazage de la nappe » est donc retenue à l'intérieur comme à l'extérieur des bâtiments situés sur le trajet du panache.

En revanche, aucun usage des eaux souterraines n'a été identifié sur la zone en aval immédiat du site (aucun puits recensé). Les risques liés au contact direct avec les eaux souterraines (ingestion et contact cutané) ou à la consommation de légumes arrosés par les eaux souterraines ne sont donc pas étudiés.

4.7. Substances retenues pour les calculs de risque et concentrations utilisées

L'évaluation détaillée des risques hors site devrait être réalisée grâce aux résultats d'analyses des prélèvements effectués hors site. Les ouvrages accessibles répertoriés au voisinage se sont avérés en position latérale, voire amont du site, suite aux investigations menées dans le but de caractériser plus précisément le contexte hydrogéologique du site (recensement des ouvrages, essais de perméabilité, mesures de niveaux d'eau).

En vertu du principe de précaution et dans la mesure où aucun prélèvement n'a pu être effectué en aval hydrogéologique du site, les substances et concentrations retenues pour le calcul de risque hors site sont celles mesurées sur site dans la nappe superficielle. Ces concentrations sont présentées au paragraphe 3.3 ci-avant.

4.8. Calcul de risque – scénario tertiaire hors site

Dans la mesure où les concentrations utilisées pour les calculs sont les mêmes que sur le site ESSO, le risque correspond donc au calcul effectué sur site pour la voie d'exposition inhalation de vapeurs provenant de la nappe dans le cas du scénario tertiaire ou industriel (cf. § 3.8.3).

4.8.1. Effets non cancérogènes

Le tableau suivant fournit les indices de risques calculés dans le cadre du scénario tertiaire hors site :

Substances	Inhalation vapeurs nappe	
	Intérieur	Extérieur
HAPs	4,60E-04	5,30E-08
HAV (BTEX)	1,70E-05	1,00E-09
OHV	3,10E-02	1,80E-06
Hydrocarbures aliphatiques	4,00E-03	2,20E-07
Hydrocarbures aromatiques	6,20E-03	3,60E-07
Total par voie avec hypothèse HC aliphatiques	3,55E-02	2,08E-06
Total général avec hypothèse HC aliphatiques	3,55E-02	
Total par voie avec hypothèse HC aromatiques	3,77E-02	2,21E-06
Total général avec hypothèse HC aromatiques	3,77E-02	

Les valeurs supérieures au seuil de 1 fixé par la circulaire du 10/12/99 sont indiquées en gras

Tableau 15 : Indice de risque Employé hors site – scénario tertiaire

Dans le cas du scénario tertiaire, les indices de risque (IR) calculés pour les employés hors site sont inférieurs à la valeur seuil de la circulaire du 10/12/99 ($IR < 1$).

4.8.2. Effets cancérogènes

Le tableau suivant fournit les excès de risque individuel calculés dans le cadre du scénario tertiaire hors site :

Substances	Inhalation vapeurs nappe	
	Intérieur	Extérieur
HAPs	6,90E-08	8,80E-12
HAV (BTEX)	-	-
OHV	1,90E-05	1,10E-09
Hydrocarbures aliphatiques ou aromatiques	-	-
Total par voie	1,91E-05	1,11E-09
Total général	1,91E-05	

Les valeurs supérieures au seuil de 1.10^{-5} fixé par la circulaire du 10/12/99 sont indiquées en gras

Tableau 16 : Excès de risque individuel Employé hors site – scénario tertiaire

Dans le cas du scénario tertiaire, l'excès de risque individuel (ERI) calculé pour les employés hors site est supérieur à la valeur seuil de la circulaire du 10/12/99 ($ERI > 10^{-5}$). Ce risque est à 99 % lié à l'inhalation dans les bâtiments d'OHV (principalement Tétrachloroéthylène) provenant du dégazage de la nappe.

5. INCERTITUDES

Les incertitudes associées aux calculs des risques sont liées d'une part aux incertitudes quant aux données de toxicité (choix de la VTR) et d'autre part aux incertitudes quant aux calculs des doses d'exposition (conception et données d'entrée des modèles de transfert et d'exposition).

Les incertitudes principales sont détaillées dans les paragraphes ci-après.

5.1. Incertitudes entourant la sélection des VTR

5.1.1. Généralités sur la sélection des VTR

Il n'existe pas à l'heure actuelle une méthodologie universelle pour la détermination d'une VTR. Aussi, un composé peut présenter plusieurs valeurs de référence, déterminées par chaque organisme créateur.

Pour chaque étude, ARCADIS choisit la valeur la plus adaptée et réalise une analyse des méthodes de construction pour chaque valeur. Cependant, il est parfois difficile de trouver des explications quant à la construction des valeurs : certains organismes comme l'USEPA présentent de façon transparente leurs conclusions, mais tous ne le font pas.

5.1.2. VTR contact cutané

Les VTR pour la voie cutanée sont inexistantes principalement car les données toxicologiques disponibles ne permettent pas toujours d'établir des valeurs de référence pour cette voie sur le plan sanitaire (études toxicologiques par exposition cutanée non-systématiques et difficultés de transposition de l'animal à l'homme).

Cependant, il existe des méthodes d'extrapolation de la VTR orale pour construire une VTR cutanée (ces méthodes ont été utilisées dans la présente étude). Les incertitudes de ce calcul portent sur :

- les différences toxicologiques entre les voies d'exposition (absorption, métabolisme...);
- le fait que les VTR cutanées soient des doses internes (absorbées) et non externes comme les VTR orales.

5.1.3. VTR des HAP

Les valeurs toxicologiques de référence des HAP ont été élaborées à partir de Facteurs d'Equivalence Toxique (TEF). Ces derniers expriment la toxicité relative d'une substance de la famille par rapport à la substance de référence de cette famille qui est le plus souvent la plus toxique et la plus étudiée. Pour les HAP, il s'agit du benzo(a)pyrène.

Les TEF sont utilisés afin de définir les relations dose-réponse pour des substances chimiques issues de la même famille. Le concept TEF est fondé sur les hypothèses que l'organe cible et l'activité toxique sont identiques pour toute molécule apparentée.

La valeur de 1 est attribuée au TEF du chef de file du groupe (le benzo(a)pyrène pour les HAP) et une valeur exprimant leur potentiel toxique relatif est donnée au TEF des autres congénères.

Le produit du facteur d'équivalence toxique d'un composé par l'excès de risque unitaire de la substance prise en référence fournit alors la relation dose-réponse.

La confiance que l'on peut accorder aux TEF n'est certes pas totale ; ils ont néanmoins le mérite d'éviter l'exclusion de composés potentiellement cancérigènes des calculs de risque alors que leur présence dans l'environnement humain est attestée par les analyses de laboratoire.

5.1.4. VTR du tétrachloroéthylène

Concernant ses effets cancérigènes, le tétrachloroéthylène est un composé :

- Classé Groupe 2A (probablement cancérigène pour l'homme) par l'IARC (1995)
- Classé B/C (intermédiaire entre un cancérigène probable et possible pour l'homme) par l'USEPA.

Les connaissances sur les effets cancérigènes du tétrachloroéthylène restent toutefois parcellaires.

Deux valeurs sont aujourd'hui proposées pour le risque cancérigène par inhalation ; elles sont issues d'une même étude menée en 1986 chez la souris ayant conduit à l'observation de tumeurs hépatiques. L'US-EPA proposait en 1998 un excès de risque unitaire égal à $7,1 \cdot 10^{-7} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (rapport d'études « Cleaner Technologies Substitutes Assessment »). Sur des bases de calculs différentes, l'OEHHA (Official Environmental Health Hazard Assessment – Agence pour la protection de l'environnement de l'état de Californie) a proposé, en 2002, un excès de risque unitaire égal à $5,9 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$.

Actuellement ce composé fait l'objet de discussions au sein de l'US-EPA, le NCEA a mis en place un groupe de travail afin que des propositions soient faites sur cette problématique.

La VTR retenue dans le calcul du risque pour les effets sans seuil est celle issue de la base de données de l'OEHHA (la plus pénalisante).

Si les calculs d'ERI liés au tétrachloroéthylène avaient été effectués avec la VTR la moins pénalisante (celle de l'US-EPA), les ERI globaux auraient varié de la façon suivante :

- Résidentiel sur site – adultes : ERI global restant supérieur à la valeur seuil de 10^{-5} ; risque généré à 60 % par la présence de tétrachloroéthylène dans les sols et les eaux souterraines ;
- Résidentiel sur site – enfant : ERI global devenant inférieur à la valeur seuil de 10^{-5} ;
- Industriel sur site – employé adulte : ERI global devenant inférieur à la valeur seuil de 10^{-5} ;
- Industriel hors site – employé adulte : ERI global devenant inférieur à la valeur seuil de 10^{-5} .

Les valeurs d'ERI sont donc comprises entre ces deux résultats.

5.2. Incertitudes liées à la modélisation des transferts

5.2.1. Incertitudes liées au modèle RISC

Un modèle est un outil construit pour reproduire « un système réel » en le simplifiant. En d'autres termes, il s'agit de rendre abordables des phénomènes trop complexes à décrire dans leur intégralité. Ces solutions analytiques sont donc des outils qui restent limités dans leur utilisation.

Les incertitudes du logiciel de calculs de risque RISC sont résumées dans le tableau suivant :

Modélisation dans l'air intérieur	Modélisation dans l'air extérieur	Autres limites de la solution analytique
Le modèle ne tient compte que de la diffusion du polluant par les fissures des fondations.	RISC utilise dans l'air extérieur un modèle de dispersivité (latérale et transversale) qui n'utilise que trois paramètres, la distance de la source à la cible, la vitesse du vent et la hauteur de la zone de respiration d'un adulte (2m).	La concentration est considérée infinie (recharge constante de la pollution dans le sol ou dans la nappe)
Le calcul de concentrations à l'intérieur d'un bâtiment fictif est nécessairement entaché d'une très forte incertitude (attribution de valeurs par défaut à un grand nombre de paramètres non quantifiables compte tenu des connaissances du moment).	La concentration dans l'air est constante sur toute la hauteur de la « boîte » Néanmoins, dès que l'utilisateur sort des dimensions de celle-ci, elle devient nulle. La représentation de la réalité est donc erronée.	

Tableau 17 : Incertitudes liées à la modélisation

Les calculs réalisés avec les équations de ce modèle sont majorants. En effet, la source de pollution est considérée comme constante dans le temps, il n'y a pas d'atténuation naturelle des concentrations dans les sols ni de biodégradation.

Le modèle mathématique considère que les polluants se répartissent uniformément dans l'ensemble du volume du bâtiment, le cloisonnement du volume et le mouvement spécifique des masses d'air à l'intérieur de celui-ci ne sont pas pris en compte.

5.2.2. Incertitudes liées aux paramètres de modélisation des transferts vers l'intérieur des bâtiments

La modélisation des transferts de polluants à travers les parois du bâtiment et les calculs de risques reposent sur le choix de valeurs pour un certain nombre de paramètres. Il s'agit notamment:

- De la porosité du béton ;
- Du taux de ventilation.
- Des paramètres liés aux fondations du bâtiment.

En faisant varier les valeurs de porosité du béton dans les calculs, on se rend compte que ce paramètre influe peu sur les risques sanitaires induits.

Le taux de ventilation pris en compte dans la modélisation est de 12 j^{-1} . Les valeurs trouvées dans la littérature sont très disparates (entre 0.72 j^{-1} à 177.6 j^{-1}). Il existe donc une grande incertitude par rapport à ce paramètre, qui influe de façon linéaire sur le résultat du risque.

Les paramètres utilisés par défaut pour décrire les fondations du bâtiment sont l'épaisseur des fondations ainsi que le taux de fissuration de ces dernières. Néanmoins, en faisant varier ces deux paramètres dans les calculs, on se rend compte que le premier a peu d'influence sur les risques sanitaires induits. En revanche, le taux de fissuration des fondations a un impact quasiment linéaire sur le résultat. La valeur utilisée (0.001) correspond à un taux de fissuration moyen sur une dalle récente.

5.2.3. Incertitudes liées aux paramètres de modélisation des transferts vers l'extérieur

Les calculs réalisés avec le modèle dit « boîte » sont majorants. En effet, la source de pollution est considérée comme constante dans le temps, il n'y a pas d'atténuation naturelle des concentrations dans les sols ni de biodégradation.

5.2.4. Incertitudes liées à la nature du sol

Il est reconnu que la nature du sol influence directement les phénomènes de transfert des polluants.

Le modèle RISC distingue plusieurs natures de sol.

La nature de sol la plus représentative définie à partir des observations réalisées sur le terrain serait sable limoneux.

C'est cette nature du sol qui a été utilisée dans le modèle mathématique pour le calcul de l'exposition. Ce type de sol tend plutôt à favoriser les phénomènes de transfert, il serait donc majorant.

5.3. Incertitudes sur les paramètres d'exposition

La plupart des modèles multimédias possèdent une base interne équipée de paramètres standard (quantité de sol ingéré, poids de l'individu, volume d'air inhalé...).

Cependant, ces données dépendent d'un certain nombre de facteurs comme l'usage du site ; les caractéristiques physiques du récepteur ; les habitudes hygiéniques des personnes (consommation de terre...); mais également de bien d'autres paramètres. Aussi, afin de minimiser l'incertitude qui existe sur les données d'entrée, ARCADIS ESG s'est référé aux organismes comme l'USEPA qui disposent d'un certain nombre de données sur le sujet.

Néanmoins, chaque individu est unique et sa morphologie également. Il faut donc garder à l'esprit que tous ces paramètres sont moyennés et ne représentent qu'une vision simpliste et généralement majorante de la réalité.

6. SYNTHÈSE DES RISQUES LIÉS AU SITE

6.1. Risques sur site

Scénario	Cibles	IR global	Voie d'exposition et substance générant le risque	ERI global	Voie d'exposition et substance générant le risque
Scénario I résidentiel sur site	Adulte	1,25 à 2,63	Inhalation de vapeur à l'intérieur des bâtiments (HCT dans les sols) Ingestion de légumes cultivés sur terrain contenant des HCT	$9,18.10^{-5}$	Inhalation de vapeurs à l'intérieur des bâtiments (tétrachloroéthylène présent dans les sols et les eaux souterraines)
	Enfant	2,84 à 7,31	Ingestion sol et de légumes cultivés sur terrain contenant des HCT et inhalation de vapeur à l'intérieur des bâtiments (HCT dans les sols)		Inhalation de vapeurs à l'intérieur des bâtiments (tétrachloroéthylène présent dans les sols et les eaux souterraines)
Scénario II tertiaire ou industriel	Employés (bureau)	0,31 à 0,39	-	$3,06.10^{-5}$	Inhalation de vapeurs à l'intérieur des bâtiments (tétrachloroéthylène présent dans les sols et les eaux souterraines)
	Employés (travail extérieur salissant)	<1	-		$4,92.10^{-6}$

Tableau 18 : Synthèse des risques calculés – sur site

Dans le cas du scénario résidentiel sur site, les risques mis en évidence sont liés :

- à l'inhalation à l'intérieur des bâtiments de vapeurs provenant du dégazage des sols et des eaux souterraines. Les substances à l'origine du risque sont les hydrocarbures, détectés en profondeur en limite Est du site (dans la zone de Pz4) et le tétrachloroéthylène détecté dans les sols et les eaux souterraines dans le secteur de Pz8, en pointe sud-est du site ;
- à l'ingestion de sols et de légumes cultivés sur le site. Les substances à l'origine du risque sont les hydrocarbures, détectés en profondeur en limite Est du site (dans la zone de Pz4).

Dans le cas du scénario industriel ou tertiaire sur site (travail de bureau), les risques mis en évidence sont liés :

- à l'inhalation à l'intérieur des bâtiments de vapeurs provenant du dégazage des sols et des eaux souterraines. La substance à l'origine du risque est le tétrachloroéthylène détecté dans les sols et les eaux souterraines dans le secteur de Pz8, en pointe sud-est du site.

Remarque : Il convient de rappeler que dans le cas de l'utilisation de la 2^{ème} VTR disponible pour le tétrachloroéthylène (VTR de l'USEPA moins pénalisante – Cf. § 5.1.4), seul le scénario résidentiel sur site conduit à un IR et un ERI supérieurs aux seuils de la circulaire du 10/12/99. Le scénario industriel sur site présente, avec la VTR de l'USEPA, un risque inférieur aux seuils.

Dans le cas du scénario industriel sur site (travail salissant à l'extérieur), les risques calculés sont inférieurs aux valeurs-seuils de la circulaire du 10/12/99.

6.2. Risques hors site

Scénario	Cibles	IR global	Voie d'exposition et substance générant le risque	ERI global	Voie d'exposition et substance générant le risque
Tertiaire ou industriel hors site	Employés hors site	0,035 à 0,038	-	1,91.10-5	Inhalation de vapeurs à l'intérieur des bâtiments (tétrachloroéthylène présent dans les eaux souterraines – extrapolation des données sur site)

Tableau 19 : Synthèse des risques calculés

Les puits de maraîchers sont situés en amont ou en latéral du site ESSO et ne sont donc pas des cibles potentielles d'une pollution des eaux souterraines qui proviendrait du site.

Pour le scénario tertiaire ou industriel hors site (employé de bureau), sur la base des calculs effectués avec les concentrations mesurées sur le site (approche majorante à défaut de disposer de piézomètres à l'aval du site), un risque est généré par inhalation à l'intérieur des bâtiments de vapeurs de tétrachloroéthylène présent dans les eaux souterraines. Il convient de rappeler que dans le cas de l'utilisation de la 2^{ème} VTR disponible pour le tétrachloroéthylène (VTR de l'USEPA moins pénalisante – Cf. § 5.1.4), le scénario industriel hors site présente un risque inférieur aux seuils.

7. GESTION DES RISQUES SUR SITE

7.1. Principes

L'existence d'un risque sur l'ancien site ESSO est liée à la présence **simultanée** d'une :

- **source de pollution** (sols et eaux souterraines) ;
- **voie de transfert** (inhalation à l'intérieur des bâtiments, ingestion de sols et de légumes auto-produits) ;
- **cible** (résidents – adultes et enfants – employés sur site).

La suppression de l'un de ces trois facteurs entraîne la suppression du risque.

7.2. Suppression des sources sur le site ESSO

Les calculs effectués mettent en évidence l'existence de risques liés à la présence d'hydrocarbures dans les sols du site (ingestion de sols et de légumes et inhalation dans les bâtiments) et à la présence de tétrachloroéthylène dans les sols et les eaux souterraines. La première solution de gestion des risques consiste à traiter ces zones sources.

7.2.1. Traitement des hydrocarbures

Sur le site ESSO, les hydrocarbures sont encore détectés à des concentrations importantes au niveau de la paroi Est de la tranchée T3. En effet, lors de l'excavation de terrains pollués dans la tranchée T3 en 2003, et malgré la présence d'indices organoleptiques importants, les travaux de terrassement ont été arrêtés côté Est à 2,50 m de la clôture du site afin de préserver le Pz4 et la clôture. Les analyses en laboratoire ont confirmé en ce point la présence d'hydrocarbures.

Compte tenu de la proximité de la clôture et de Pz4, il n'apparaît pas opportun de procéder à une excavation complémentaire des sols dans cette zone. La solution de supprimer cette source en hydrocarbures n'est donc pas retenue et la gestion des risques liés à leur présence en ce point sera traitée par le biais de la limitation des transferts (Cf. ci-après).

7.2.2. Traitement du tétrachloroéthylène (PCE)

Annexe 25 : Calcul des seuils de réhabilitation

Le PCE n'a été identifié, dans les eaux souterraines comme dans les sols, qu'en un seul point du site (au droit du piézomètre Pz8 à l'angle sud-est du site). Il n'a pas été détecté dans les terres des tas 1, 2 et 3 ni dans les sondages effectués autour des piézomètres Pz4 et Pz3, mais n'a pas été recherché de façon systématique dans les sols en divers points du site.

Les deux concentrations relevées dans les sols sont faibles (0,085 et 0,73 mg/kg) mais génèrent néanmoins un risque pour les scénarios résidentiel et industriel. Celles mesurées dans les eaux souterraines en Pz8 en décembre 2004 sont relativement élevées (20 et 43 mg/l) et génèrent un risque sur et hors site.

La première question qui se pose est liée à l'origine de ces niveaux de concentration en PCE dans les eaux souterraines en un seul point du site, et il n'est pas exclu que son origine soit extérieure au site ESSO. En conséquence, ARCADIS préconise la démarche d'investigations suivante :

1. procéder à un nouveau prélèvement des eaux souterraines + analyse des COHV dans Pz8 afin de confirmer la présence du PCE ;
2. procéder à quelques investigations complémentaires à la pelle mécanique sur le site ESSO, en amont du Pz8, avec analyses des terrains en cas d'indices organoleptiques pour rechercher la présence d'une éventuelle zone source sur le site ;
3. Si aucune zone source sol en PCE n'est mise en évidence sur le site ESSO, la présence d'une source de pollution extérieure au site pourrait être envisagée.

Dans le cas où l'origine de la présence du PCE dans les eaux souterraines serait liée à l'ancienne activité d'ESSO, et où une source sol serait trouvée sur le site, il conviendrait de retirer les terrains impactés et de traiter les eaux souterraines.

Pour le impactés, des objectifs de réhabilitation ont été calculés.

Pour le traitement des sols et des eaux souterraines, des objectifs de réhabilitation ont été calculés. Ils correspondent aux concentrations en OHV (Tétrachloroéthylène et Trichloréthylène) à ne pas dépasser dans les sols et les eaux souterraines pour que l'ERI lié à l'inhalation de vapeurs provenant des sols eaux souterraines à l'intérieur des bâtiments pour chacun des scénarios soit inférieur à 10^{-5} . Les concentrations permettant d'atteindre cet objectif sont fournies dans le tableau ci-dessous.

Substance	Concentration initiale dans les sols (mg/kg)	Objectif de réhabilitation (mg/kg)	
		Scénario résidentiel	Scénario industriel
Tétrachloroéthylène	0,73	0,05	0,05
Trichloroéthylène	0,056	0,056	0,056

Tableau 20 : Objectifs de réhabilitation pour les sols

Substance	Concentration initiale dans les eaux souterraines (µg/l)	Objectif de réhabilitation (µg/l)	
		Scénario résidentiel	Scénario industriel
Tétrachloroéthylène	41 000	1 400	15 000
Trichloroéthylène	2 300	900	1 000

Tableau 21 : Objectifs de réhabilitation pour les eaux souterraines

Il est rappelé que ces objectifs doivent faire l'objet d'une validation par la DRIRE avant application sur site.

7.3. Limitation des transferts

Les calculs effectués mettent en évidence l'existence de risques liés :

- au contact direct avec les sols (ingestion de sols) et à l'ingestion de légumes auto-produits dans les zones où la présence d'hydrocarbures C12-C21 est reconnue (zone autour du Pz4)
- à l'inhalation dans les bâtiments dans les zones où des hydrocarbures C8-C12 sont présents dans les sols (zone autour du Pz4) et où du tétrachloroéthylène est détecté dans les sols et les eaux souterraines (zone du Pz8 + éventuelle zone source qui serait reconnue ultérieurement).

La deuxième solution de gestion des risques consiste à limiter, voire supprimer, les transferts des polluants vers les cibles.

7.3.1. Risques par ingestion de sols et par ingestion de légumes auto-produits

Les calculs liés à l'ingestion de sols et de légumes cultivés sur site dans des jardins potagers privés mettent en évidence un risque lié à la présence d'hydrocarbures C12-C21.

La zone concernée par ces risques se trouve autour du Pz4.

Afin de s'affranchir des risques par ingestion de sols et de légumes auto-produits sur la zone autour de Pz4, ARCADIS ESG propose :

- Soit de restreindre le site à un usage de type industriel ou tertiaire (car pas de risque par contact direct avec les terrains pour cet usage), usage réservé par la pose d'une servitude ;
- Soit de prévoir, lors d'un éventuel projet d'aménagement résidentiel, de recouvrir la zone concernée par un minimum de 30 cm de terrain d'apport sain (avec un géotextile à l'interface entre les terrains d'apport et les terrains du site) et d'interdire la réalisation de potagers sur cette zone ;
- Soit de prévoir, lors d'un éventuel projet d'aménagement résidentiel, de recouvrir la zone concernée par des maisons (qui devront être construites sur vide sanitaire afin de gérer le risque par inhalation – cf. ci-dessous) ou des voiries.

Sur le reste du site, c'est à dire en dehors de la zone autour du Pz4, aucune servitude ni restriction d'usage en dehors des servitudes générales mentionnées au paragraphe 9 ci-dessous n'est préconisée.

7.3.2. Risque par inhalation à l'intérieur des bâtiments

Les calculs liés à l'inhalation à l'intérieur des bâtiments mettent en évidence un risque lié à la présence de perchloréthylène (PCE) dans les sols et les eaux souterraines et d'hydrocarbures C8-C12 dans les sols.

Les zones concernées par ces risques sont les suivantes :

- Zone autour du Pz8 (PCE) ;
- Zone autour du Pz4 (hydrocarbures C8-C12).

Afin de s'affranchir des risques par inhalation sur ces zones, ARCADIS ESG propose :

- soit de construire les bâtiments (maisons individuelles ou bâtiment de logement collectif ou bâtiment de bureau sur vides sanitaires ventilés³. En effet, la présence de vides sanitaires ventilés sous les dalles du rez-de-chaussée permet d'évacuer directement les polluants provenant du sol ou des eaux souterraines au niveau des dalles avant transfert dans le bâtiment. Il est couramment reconnu que la présence d'un vide sanitaire permet d'abaisser d'un facteur 10 les concentrations dans les habitations ;
- Soit de réserver le site pour un usage de type industriel ou tertiaire en spécifiant que les locaux doivent être surventilés à un minimum de 2 volumes/heure, par la pose d'une servitude ;
- soit d'interdire, par le biais d'une servitude, la construction de bâtiments sur les zones mentionnées ci-dessus.

Sur le reste du site, c'est à dire en dehors des zones mentionnées ci-dessus, aucune servitude ni restriction d'usage en dehors des servitudes générales mentionnées au paragraphe 9 ci-dessous n'est préconisée.

8. GESTION DES RISQUES HORS SITE

Les calculs effectués hors site, à l'aval, mettent en évidence l'existence d'un risque par inhalation dans les bâtiments sont l'usage est de type tertiaire.

Ce risque est lié à la présence de tétrachloroéthylène (PCE) dans les eaux souterraines. Il faut tout d'abord rappeler qu'en l'absence d'ouvrages à l'aval du site, les calculs de risque ont été effectués, par mesure de précaution, avec les concentrations maximales mesurées sur le site. Ensuite, et comme cela est exposé au paragraphe 7.2.2 ci-dessus, aucune source sol en PCE n'a été décelée sur le site.

Après investigations complémentaires sur le site, et dans le cas où la présence du PCE serait liée à l'ancienne activité d'ESSO, il pourrait être nécessaire :

1. de valider la présence de PCE dans les eaux souterraines à l'aval du site par la pose d'un piézomètre complémentaire dans ce secteur ;
2. et si la présence de PCE dans les eaux à l'aval est avérée, d'aller mesurer les concentrations en PCE dans l'air ambiant des locaux à l'aval afin de vérifier les calculs effectués dans le cadre de l'EDR. En effet, comme cela est expliqué dans le paragraphe ci-avant sur les incertitudes, les modèles de transfert sont très majorants et il n'est pas exclu que les concentrations en PCE dans l'air ambiant soient nettement plus faibles que celles calculées par le modèle.

³ Un vide sanitaire ventilé est un vide sanitaire possédant des ouvertures à deux extrémités opposées du bâtiment permettant une ventilation naturelle de ce vide sanitaire. Il ne s'agit en aucun cas de ventilation mécanique.

9. SERVITUDES GENERALES

9.1. Conserver la mémoire du site

Dans la mesure où des terrains pollués resteront sur certaines zones du site (décrites au paragraphe 7), il sera nécessaire de garder la mémoire des zones polluées ainsi que de la nature des polluants présents.

9.2. Gestion des déblais

Tous les déblais provenant des zones impactées décrites au paragraphe 7 ainsi que ceux générés par d'éventuels travaux de nivellement ou d'excavation sur le reste du site devront faire l'objet d'une gestion adaptée.

Leur maintien sur site (sous couverture par terrain d'apport propre et hors emprise des bâtiments) sera privilégié à tout évacuation, après accord de la DRIRE.

Si ces terrains doivent être évacués du site, ils devront être évacués du site et orientés vers des filières de traitement agréées (centre de stockage de classe 1 ou 2 ou 3 au centre de traitement biologique selon la nature de la pollution et le niveau de concentration).

Cette prescription devra faire l'objet d'une servitude.

9.3. Pose des canalisations AEP

Pour effectuer les calculs de risque, ARCADIS est parti du principe qu'aucun transfert ne pourrait avoir lieu entre les sols pollués et les canalisations AEP mises en place au sein de ces terrains.

Afin de respecter cette hypothèse, les canalisations AEP mises en place dans les zones impactées décrites au paragraphe 7 afin d'alimenter les bâtiments à construire devront donc satisfaire, au choix, à l'une des trois prescriptions suivantes :

- canalisation PEHD mise en place au sein de remblai d'apport propre (de type sablon) ;
- canalisation PEHD placée dans un caniveau technique béton ;
- équipement en canalisations métalliques.

9.4. Usage des eaux de la nappe

Pour effectuer les calculs de risque, ARCADIS est parti du principe que l'eau de la nappe ne faisait l'objet d'aucune utilisation.

Il sera donc nécessaire de poser une servitude interdisant, au droit du site, l'usage des eaux de la nappe, et ce, quel que soit l'usage projeté (y compris pour l'arrosage des espaces verts, la climatisation, le remplissage de piscine ou de bassins d'agrément...) ou à défaut, d'assujettir l'utilisation de la nappe au droit du site à la réalisation d'une évaluation détaillée des risques (EDR) complémentaire dédiée à cette nouvelle voie d'exposition (cette voie n'a pas été étudiée sciemment

dans la présente EDR en raison de l'absence d'usage actuel et de l'improbabilité de l'usage futur de l'eau souterraine)

9.5. Risques transitoires liés à la période du chantier

Lors des travaux de terrassement liés à l'aménagement du site ou à des travaux ultérieurs, il est conseillé de respecter quelques règles d'hygiène simples :

- Ne pas boire ni manger sur le chantier dans les zones de travail (manger dans une zone aménagée en conséquence est néanmoins possible) ;
- Se laver les mains et le visage en fin de poste.

Le port de gants, et éventuellement la mise à disposition du personnel de masques respiratoires à cartouches lors des terrassements dans les zones où la présence de substances volatiles est mise en évidence sont également recommandés. Ces préconisations devront apparaître dans le PGCSPS⁴ établi par le coordonnateur sécurité.

10. CONCLUSIONS

En conclusion, sur la base des données disponibles ayant servi à réaliser cette étude et après calcul des risques par une approche globalement majorante, le site, dans son état actuel :

- ne génère aucun risque pour les puits des maraîchers, tous situés en amont ou en latéral hydraulique ;
- est compatible avec un usage résidentiel si les préconisations suivantes sont respectées :
 - interdire la construction de bâtiments dans la zone située autour du Pz8 (pointe sud-est du site) et dans la zone du Pz4 OU spécifier que les bâtiments situés dans ces zones devront être construits sur vide sanitaire ;
 - prévoir de recouvrir la zone autour du Pz4 :
 - par un minimum de 30 cm de terrain d'apport sain (avec un géotextile à l'interface entre les terrains d'apport et les terrains du site) et interdire la réalisation de potagers sur cette zone ;
 - OU par des voiries ;
 - OU par des bâtiments construits sur vide sanitaires.
- est compatible avec un usage industriel avec travail extérieur salissant.
- est compatible avec un usage industriel ou tertiaire avec travail en bureau si les préconisations suivantes sont respectées :
 - interdire la construction de bâtiments dans la zone située autour du Pz8 (pointe sud-est du site) OU spécifier que les bâtiments situés dans cette zone devront être construits sur vide sanitaire OU spécifier que les bâtiments situés dans cette zone devront être ventilés à un minimum de 2 volumes par heure.

⁴ plan général de coordination en matière de sécurité et de protection de la santé

Sur le reste du site, c'est à dire en dehors des zones mentionnées ci-dessus (zone du Pz8 et zone du Pz4), aucune servitude ni restriction d'usage en dehors des servitudes générales mentionnées ci-dessous n'est préconisée.

Ces préconisations sont accompagnées des recommandations et de la pose, en plus des servitudes liées à chacun des scénarios, des servitudes générales suivantes :

- Spécifier l'usage passé du site, rappeler les préconisations ci-dessus et annexer les rapports d'études aux actes de vente ;
- Interdire l'utilisation des eaux souterraines sur site (y compris pour l'arrosage des espaces verts) ou à défaut, assujettir l'utilisation de la nappe au droit du site à la réalisation d'une évaluation détaillée des risques (EDR) complémentaire dédiée à cette nouvelle voie d'exposition (cette voie n'a pas été étudiée sciemment dans la présente EDR en raison de l'absence d'usage actuel et de l'improbabilité de l'usage futur de l'eau souterraine) ;
- Respecter certaines prescriptions lors de la pose de canalisations d'amenée d'eau dans les zones impactées restant sur le site.

De plus, ARCADIS ESG préconise de rechercher l'origine de la présence du PCE dans les eaux souterraines du Pz8 par le biais d'investigations complémentaires sur le site. Si une source complémentaire de pollution en PCE est alors mise en évidence, il sera nécessaire de la traiter.

Enfin, la présence de PCE dans les eaux souterraines est susceptible de générer un risque pour les personnes exerçant leur activité professionnelle dans les locaux situés à l'aval immédiat du site. Dans le cas où la présence du PCE serait liée à l'ancienne activité d'ESSO, ARCADIS ESG préconise :

- de valider la présence de PCE dans les eaux souterraines à l'aval du site par la pose d'un piézomètre complémentaire dans ce secteur ;
- si la présence de PCE dans les eaux à l'aval est avérée, d'aller mesurer les concentrations en PCE dans l'air ambiant des locaux à l'aval afin de vérifier les calculs effectués dans le cadre de l'EDR. En effet, comme cela est expliqué dans le paragraphe ci-avant sur les incertitudes, les modèles de transfert sont très majorants et il n'est pas exclu que les concentrations en PCE dans l'air ambiant soient nettement plus faibles que celles calculées par le modèle ;
- si un risque est alors mis en évidence, il pourra être nécessaire de traiter les eaux souterraines afin d'en retirer le PCE.

ARCADIS ESG attire également l'attention d'ESSO S.A.F. sur les points suivants :

- Toute modification des hypothèses de départ et des usages du site tels que décrits dans le présent document ne pourra être envisagée qu'après réalisation d'une étude complémentaire afin de valider la compatibilité du site avec un projet d'aménagement plus précis ;
- lors d'éventuels travaux d'aménagement, il est recommandé de respecter quelques règles simples et usuelles d'hygiène sur ce type de chantier (lavage des mains, interdiction de manger) ;
- les déblais générés par les travaux d'aménagement et de terrassements sont susceptibles de ne pas être acceptés en CSD inertes. Si tel était le cas, ces déblais devront donc être éliminés en filière agréée, soit réutilisés sur le site après accord de la DRIRE et conformément à ses recommandations.

* * *