



## DEPARTEMENT DU LOIRET

Direction Environnement

Service Nature

BP 2019

45010 ORLEANS CEDEX 1

### PLAN DE GESTION D'UNE POLLUTION AUX HYDROCARBURES ET EVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES (EQRS)



AU DROIT DU PARC DU CHATEAU DE CHATEAUNEUF-SUR-LOIRE (45)

Août 2011

Réf Projet	Réf du rapport	Réf du client
ID100249	IC100193_3	Marché n°10117

Indice	Date	Rédacteur	Visa	Vérificateur	Visa	Pages
A	01/08/2011	B. DECLE R. DEMUYSERE		F. VIOLIN		66

## SOMMAIRE

<b>1. CONTEXTE DU PROJET .....</b>	<b>7</b>
<b>2. SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS DES ÉTUDES ET DIAGNOSTIC RÉALISÉS AU DROIT DU PARC DE CHATEAUNEUF-SUR-LOIRE .....</b>	<b>8</b>
2.1. SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION .....	8
2.2. PROGRAMME D'INVESTIGATIONS.....	8
2.3. RESULTATS DES INVESTIGATIONS DES SOLS.....	9
2.4. RESULTATS DES INVESTIGATIONS DES EAUX SOUTERRAINES .....	11
2.5. RESULTATS DES INVESTIGATIONS DES SEDIMENTS .....	13
2.6. DOCUMENTS DE SYNTHÈSE DES INVESTIGATIONS DE TERRAIN .....	14
<b>3. LA DEMARCHE DE PLAN DE GESTION .....</b>	<b>15</b>
3.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX.....	15
3.2. SOURCES D'INFORMATIONS ET RÉFÉRENTIELS MÉTHODOLOGIQUE .....	16
3.3. CARACTÉRISTIQUES DE LA ZONE .....	17
3.4. GESTION DES SOLS IMPACTÉS AU DROIT DE LA ZONE DE RESURGENCE.....	18
3.4.1. <i>Excavation et évacuation hors site en centre spécialisé</i> .....	18
3.4.2. <i>Pompage des boues et évacuation hors site en centre spécialisé</i> .....	20
3.5. TRAITEMENT DE LA NAPPE EN AMONT DE LA RESURGENCE.....	21
3.5.1. <i>Traitement de la nappe par microémulsion et biostimulation</i> .....	21
3.5.2. <i>Pompage (-écrémage) et traitement de la nappe</i> .....	23
3.6. ÉVALUATION DES OPTIONS DE RÉHABILITATION.....	25
3.7. ANALYSE MULTICRITÈRE.....	34
3.7.1. <i>La grille d'analyse</i> .....	34
3.7.2. <i>Compréhension des critères et des paramètres</i> .....	36
3.7.3. <i>Modalités d'évaluation</i> .....	38
3.7.4. <i>Modalités de notation</i> .....	38
3.7.5. <i>Modalités de hiérarchisation des solutions de réhabilitation</i> .....	39
3.7.6. <i>Résultats de l'analyse multicritère</i> .....	39
3.7.7. <i>Conclusions de l'analyse multicritère</i> .....	41
<b>4. ÉVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES.....</b>	<b>42</b>
4.1. PREAMBULE .....	43
4.1.1. <i>Concept « Source / Vecteur / Cible »</i> .....	43
4.1.2. <i>Distinction entre l'Analyse des Risques Résiduels (ARR) et l'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS)</i> .....	43



4.2. IDENTIFICATION DES DANGERS .....	44
4.2.1. Schéma conceptuel d'exposition.....	44
4.2.2. Caractérisation des sources et du milieu d'exposition des usagers .....	46
4.2.3. Bilan des incertitudes relatives à l'identification des dangers.....	49
4.3. RELATIONS DOSE-REPONSE .....	49
4.3.1. Présentation des effets à seuil et sans seuil.....	49
4.3.2. Méthode de choix des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) .....	51
4.3.3. Bilan des incertitudes relatives aux relations dose-réponse.....	52
4.4. ESTIMATION DES EXPOSITIONS .....	52
4.4.1. Paramètres d'entrée .....	52
4.4.2. Modèles de transfert utilisés.....	54
4.4.3. Calcul des concentrations inhalées à partir des concentrations simulées dans l'air ambiant.....	54
4.4.4. Bilan des incertitudes relatives à l'estimation des expositions .....	55
4.5. CARACTERISATION DES RISQUES SANITAIRES .....	56
4.5.1. Mode de calcul.....	56
4.5.2. Résultats.....	57
4.6. MESURES DE GESTION PROPOSEES .....	60
4.7. ETUDE DE SENSIBILITE ET INCERTITUDES .....	61
4.7.1. Choix des valeurs toxicologiques de référence.....	61
4.7.2. Choix des paramètres de perméabilité des sols aux remontées de vapeur.....	62
4.7.3. Choix des fréquences d'exposition .....	63
4.8. CONCLUSIONS LIEES A L'ÉVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES (EQRS).....	64
<b>5. SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE.....</b>	<b>65</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Localisation du site à l'étude.....	17
Figure 2 :	Excavation et évacuation des matériaux impactés aux hydrocarbures .....	19
Figure 3 :	Pompage des boues et élimination en centre de traitement.....	20
Figure 4 :	Implantation d'aiguilles complémentaires pour traitement in situ de la nappe et de la zone de battement .....	22
Figure 5 :	Schéma de principe du pompage-écrémage .....	24
Figure 6 :	Grille de l'évaluation des solutions de gestion de la pollution par des hydrocarbures au droit du Parc de Châteauneuf-sur-Loire .....	35
Figure 7 :	Résultats de l'analyse multicritère .....	40
Figure 8 :	Les quatre étapes de la démarche d'Analyse des Risques Résiduels.....	42
Figure 9 :	Schéma conceptuel d'exposition.....	44
Figure 10 :	Représentation graphique des QD sommés par organe cible, pour le cumul des 3 voies d'exposition .....	59

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Estimation économique de la solution d'excavation et d'évacuation hors site des matériaux impactés aux hydrocarbures au droit de la zone de résurgence	27
Tableau 2 :	Estimation économique de la solution de pompage des boues et évacuation hors site en centre spécialisé des matériaux impactés aux hydrocarbures au droit de la zone de résurgence .....	29
Tableau 3 :	Estimation économique de la solution de traitement in situ de la nappe en amont de la résurgence par microémulsion et biostimulation.....	31
Tableau 4 :	Estimation économique de la solution de pompage (-écrémage) et traitement de la nappe sur charbon actif.....	33
Tableau 5 :	Justification du choix des voies d'exposition résiduelles.....	45
Tableau 6 :	Voies d'expositions étudiées.....	45
Tableau 7 :	Paramètres d'entrée pour l'inhalation de vapeurs et de poussières au droit du parc .....	53
Tableau 8 :	Paramètres d'entrée pour l'ingestion de sols au droit du parc .....	53
Tableau 9 :	Résultats des calculs de risque et comparaison aux valeurs de référence.....	58
Tableau 10 :	Influence de la prise en compte des VTR sélectionnées selon le choix simplifié de l'INERIS sur le calcul des QD sommés par organe cible .....	61
Tableau 11 :	Etude de sensibilité sur le choix du type du sol - Exposition par inhalation de vapeurs .....	62
Tableau 12 :	Etude de sensibilité sur les fréquences d'exposition au niveau du parc.....	63
Tableau 13 :	Synthèse des estimations économiques des solutions de gestion étudiées.....	65



## LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 : Documents de synthèse des investigations
- Annexe 2 : Analyses multicritères
- Annexe 3 : Définitions
- Annexe 4 : Synthèse des investigations de sols
- Annexe 5 : Synthèse des investigations des eaux souterraines
- Annexe 6 : Concentrations retenues pour les calculs de risque
- Annexe 7 : Valeurs toxicologiques de référence
- Annexe 8 : Paramètres physico-chimiques
- Annexe 9 : Modèles de transfert
- Annexe 10 : Calculs de risque détaillés par scénario
- Annexe 11 : Somme des quotients de danger par organe cible
- Annexe 12 : Calculs de risque pour les scénarios cumulés

Mots clefs			Département		Commune
Plan de gestion	EQRS	Hydrocarbures	Loiret	45	Châteauneuf-sur-Loire

## GLOSSAIRE

ARR	Analyse des Risques Résiduels
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Base de données américaine)
BTEX	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes
CAV	Composés Aromatiques Volatils
CET	Centre d'Enfouissement Technique
COHV	Composés Organo-Halogénés Volatils
COT	Carbone Organique Total
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
EQRS	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
ERI	Excès de Risque Individuel
ERU	Excès de Risque Unitaire
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCT	Hydrocarbures Totaux
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
IRIS	Integrated Risk Information System (Base de données de l'EPA)
LQ	Limite de Quantification
ND	Non détecté
OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment (Base de données californienne)
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
QD	Quotient de Danger
RBCA	Risk-Based Corrective Action
RIVM	National Institute for Public Health and the Environment (Base de données hollandaise)
TCE	Trichloroéthylène
VDSS	Valeur de définition de Source Sol
VTR	Valeurs Toxicologiques de Référence

## **1. CONTEXTE DU PROJET**

Des travaux de drainage réalisés en 2002 dans les coteaux du parc de Châteauneuf-sur-Loire, ont mis en évidence des odeurs d'hydrocarbures. Cette observation a été confirmée les années suivantes, notamment par les promeneurs et l'association *Les Amis du Parc*.

Un pré-diagnostic réalisé en 2007 a permis de confirmer l'impact par des hydrocarbures, probablement du fuel domestique (ou gasoil) dont l'origine n'a pu être définie. Plusieurs hypothèses pourraient expliquer l'origine des hydrocarbures, telles que la fuite d'une cuve de particulier, de la société DISVAL ou de la station-service TOTAL dont les activités ont cessé. En 2006, l'hypothèse d'une origine de l'ancienne station-service située à proximité immédiate de la zone impactée avait été écartée sur la base d'un document de la DRIRE stipulant la conformité de la station.

A ce jour, et dans le but de remédier à la problématique de pollution dans le parc, le Conseil Général du Loiret a souhaité s'adjoindre les compétences d'IDDEA afin de l'assister dans ses démarches de réalisation d'études et de plan de gestion de la zone.

Cette assistance se décompose en 3 phases distinctes :

- **Diagnostic de pollution**

Cette première étape, réalisée à ce jour, comporte :

- ↳ une étude historique et documentaire aboutissant à un programme d'investigations ciblé et proportionné aux enjeux à protéger,
- ↳ un cahier des charges relatif à la mise en œuvre du programme de reconnaissance dans les milieux sol, eaux souterraines et eaux superficielles (sédiments),
- ↳ la synthèse des travaux réalisés, les résultats d'analyses et leur interprétation.

- **Plan de gestion du site**

Cette phase, objet du présent rapport, expose les différentes mesures de gestion de la pollution disponibles et aboutit au choix d'une solution par l'intermédiaire d'un bilan coût/avantage. A l'issue du plan de gestion, en cas de sources et de voies de transfert persistantes, une ARR (Analyse des Risques Résiduels) permettra de valider la compatibilité des teneurs résiduelles avec les usages du site.

- **Elaboration d'un programme de maîtrise d'œuvre pour la dépollution du site**

Cette étape consistera en la rédaction de l'ensemble des éléments techniques en vue d'une consultation par le Conseil Général pour une mission de maîtrise d'œuvre.

**A noter que les mesures de gestion proposées dans le présent document ne seront efficaces et durables que dans la mesure où des moyens de maîtrise de la source de pollution de la nappe du Burdigalien seront mis en œuvre en amont du site à l'étude.**

## **2. SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS DES ÉTUDES ET DIAGNOSTIC RÉALISÉS AU DROIT DU PARC DE CHATEAUNEUF-SUR-LOIRE**

### **2.1. Sources potentielles de pollution**

Les sources potentielles de pollution aux hydrocarbures retenues pour l'impact constaté au droit du parc de Châteauneuf-sur-Loire sont les suivantes :

- 3 stockages de fuel domestique enterrés ou en sous-sol, Route d'Orléans ;
- les sols en place au droit de l'ancienne station-service, 16 Route d'Orléans.

La localisation de ces sources potentielles de pollution aux hydrocarbures est présentée en Annexe 1.

### **2.2. Programme d'investigations**

Le programme d'investigations a été proposé par la société IDDEA (*Rapport IC100193\_1 version B en date du 10/12/10*) au Conseil Général du Loiret et mis en œuvre par la société HPC ENVIROTEC du 12/04/11 au 15/04/11 et du 26/04/11 au 27/04/11 (*Rapport HPC-F 4A/2.11.4078 a version 0 en date du 11/06/11*). Ces investigations de terrains ont été suivies par le bureau d'études IDDEA et ont consisté en la réalisation de :

- 6 sondages de sols (S1 à S6), d'une profondeur de 2 m maximum, pour prélèvements et analyses au droit et à proximité de la zone de résurgence des hydrocarbures ;
- 3 sondages carottés jusqu'à 6 m de profondeur maximum le long de la Route d'Orléans (S7 à S9) pour prélèvements de sols et analyses en laboratoire ;
- 4 prélèvements de sédiments (P1 à P4) pour prélèvements de sols et analyses en laboratoire ;
- 6 piézomètres (PZ1 à PZ6) jusqu'à 10 m de profondeur et prélèvements d'échantillons d'eaux souterraines pour analyses en laboratoire.

Ces investigations ont été réalisées conformément au CCTP rédigé par IDDEA (*Rapport IC100193 version B en date du 11/01/11*).

## **2.3. Résultats des investigations des sols**

### *Investigations réalisées au niveau de la zone de résurgence*

Les objectifs de ces investigations étaient de définir la qualité environnementale des sols dans l'optique d'une dépollution et de délimiter l'impact.

Les sondages S1 à S6 ont été réalisés à l'aide d'un carottier à gouge, particulièrement adapté au vu des conditions d'accès difficiles.

Les observations de terrain ont mis en évidence une coupe lithologique relativement homogène (sables et limons sableux) sur l'ensemble des sondages réalisés au niveau de la zone de résurgence. En termes d'indices organoleptiques, une légère odeur d'hydrocarbures a été relevée entre 0,0 m et 1,0 m de profondeur au droit du sondage S6, et entre 0,0 m et 2,0 m de profondeur au droit du sondage S5. Une forte odeur d'hydrocarbures a été relevée au droit du sondage S2.

Les échantillons de sols prélevés au droit des sondages S1 à S6 ont été analysés pour leurs teneurs en hydrocarbures en C<sub>5</sub>-C<sub>40</sub>, en CAV (Composés Aromatiques Volatils, dont les BTEX) et en COHV (Composés Organo-Halogénés Volatils).

Aucune trace de CAV ni de COHV n'a été détectée au niveau de la résurgence de la nappe du Burdigalien dans les sols. Des traces d'HCT (hydrocarbures totaux C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>) ont cependant été détectées dans les horizons superficiels de ce secteur (teneurs comprises entre 19,6 mg/kg et 56,8 mg/kg jusqu'à 1 m de profondeur maximum). Une teneur maximale de 571 mg/kg a été mesurée au droit du sondage S2 entre 0,0 m et 0,4 m de profondeur (teneur supérieure au critère de l'arrêté du 28 octobre 2011 pour ces composés, soit > 500 mg/kg). Cette valeur apparaît ponctuelle et semble correspondre à un spot d'adsorption des hydrocarbures.

A noter que les fractions carbonées majoritaires identifiées correspondent à des composés lourds, non volatils et peu mobiles (fractions carbonées > C<sub>16</sub>).

**Ainsi, la réalisation de ces sondages de sols pour prélèvements et analyses en laboratoire a permis de limiter l'impact aux hydrocarbures mis en évidence au droit de la zone de résurgence, latéralement et verticalement. Seul un spot d'adsorption des hydrocarbures a été identifié au droit du sondage S2, entre 0,0 m et 0,4 m. Les composés mis en évidence dans les sols sont majoritairement constitués de fractions lourdes, non volatiles et peu mobiles.**

### Investigations réalisées Route d'Orléans

L'objectif de ces sondages était de déterminer si les sols situés à proximité de l'emplacement de l'ancienne station-service Route d'Orléans présentent un impact par des hydrocarbures.

Les sondages S6 à S8 ont été réalisés à l'aide d'un atelier GEOPROBE (carottage tubé), particulièrement adapté pour la caractérisation lithologique et environnementale de la qualité des sols.

Les investigations réalisées ont mis en évidence des terrains de granulométrie relativement homogène (sables à sables limoneux parfois graveleux) sur l'ensemble des sondages réalisés Route d'Orléans. En termes d'indices organoleptiques, une forte odeur d'hydrocarbures a été relevée entre 4,8 m et 5,6 m de profondeur au droit du sondage S8, et entre 4,5 m et 5,6 m de profondeur au droit du sondage S9. Des irisations ont pu être observées au droit de ces mêmes sondages entre respectivement 3,5 m et 5,6 m de profondeur et 3,7 m et 5,6 m.

Les échantillons de sols prélevés au droit des sondages S7 à S9 ont été analysés pour leurs teneurs en hydrocarbures en C<sub>5</sub>-C<sub>40</sub>, en CAV (Composés Aromatiques Volatils, dont les BTEX) et en COHV (Composés Organo-Halogénés Volatils).

Aucune trace de COHV n'a été détectée dans les échantillons de sols prélevés le long de la Route d'Orléans.

Des teneurs en hydrocarbures significatives ont été mises en évidence au droit du sondage S8, réalisé face à l'emplacement d'anciennes cuves de la station-service Route d'Orléans, soit 3 410 mg/kg en hydrocarbures C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> et 1 290 mg/kg en hydrocarbures C<sub>5</sub>-C<sub>10</sub> entre 4,8 m et 5,6 m de profondeur. Des teneurs significatives en BTEX et 1,2,4-Triméthylbenzène ont également été mesurées dans cet échantillon, soit respectivement 688,7 mg/kg et 240 mg/kg. L'échantillon sous-jacent [S8 (5,6-6,0)] ne présente aucune trace d'hydrocarbures C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> (teneurs inférieures à la limite de quantification du laboratoire, < 15 mg/kg).

Les échantillons de sols prélevés au droit des sondages S7 et S9 réalisés de part et d'autre du sondage S8 ne présentent que des traces d'hydrocarbures (soit 73,7 mg/kg en hydrocarbures C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> et 10 mg/kg en hydrocarbures C<sub>5</sub>-C<sub>10</sub> mesurés dans l'échantillon [S9 (4,5-5,6)] voire des teneurs inférieures à la limite de quantification du laboratoire.

#### Remarque :

*Des mesures in-situ semi-quantitatives des hydrocarbures dans les gaz des sols ont été réalisées à l'aide d'un PID (Photo Ionisation Detector) au droit des sondages S7 à S9. Les valeurs mesurées sont de 12,5 ppm en S7, 400 ppm en S8 et 53 ppm en S9. Celles-ci apparaissent cohérentes avec les résultats d'analyses des sols au droit de ces sondages.*

**La réalisation de cette campagne a permis de constater un impact significatif des sols, par des hydrocarbures, à proximité de l'emplacement des anciennes cuves de la station-service Route d'Orléans. Au vu de ces éléments, les sols en place au droit de cette zone constituent une source de pollution secondaire probablement à l'origine de la contamination de la nappe du Burdigalien et du parc de Châteauneuf-sur-Loire.**

## **2.4. Résultats des investigations des eaux souterraines**

Les 6 piézomètres (PZ1 à PZ6) captant la nappe du Burdigalien en aval de l'ancienne station-service et en amont de la zone de résurgence ont été mis en place du 12/04/11 au 15/04/11.

Les coupes lithologiques ont mis en évidence les Sables et Argiles de Sologne jusqu'à une profondeur comprise entre 7,5 m et 10 m. Cette formation correspond globalement à une alternance de sables de granulométrie assez variable (plus ou moins argileux / plus ou moins graveleux), et donc caractérisée par une perméabilité verticale hétérogène. Les Marnes et Sables de l'Orléanais n'ont été rencontrés qu'au droit de deux ouvrages : à partir de 7,5 m de profondeur au droit du piézomètre PZ1, et à partir de 9 m de profondeur au droit de PZ2 (horizon de transition compris entre 6 m et 9 m de profondeur). En termes de lithologie, cette formation correspond à des marnes sableuses beiges.

Les niveaux statiques mesurés au droit des ouvrages PZ1 à PZ6 sont compris entre - 4,77 m et - 5,78 m de profondeur par rapport au haut du tubage. Une esquisse piézométrique au droit de la zone d'étude a pu être dressée à partir des relevés de niveau statique réalisés sur le terrain et du nivellement des ouvrages par un géomètre expert (PZ1 à PZ6 et puits privé de Mme MAKOVEC, d'une profondeur de 8 m environ). Il apparaît ainsi que, dans le secteur d'étude, la nappe du Burdigalien présente un écoulement perpendiculaire au coteau du Parc de Châteauneuf-sur-Loire. Ainsi, l'emplacement des anciennes cuves de la station-service Route d'Orléans est situé en amont hydraulique de la zone de résurgence du Parc et du sondage S8.

Une campagne de prélèvements des eaux souterraines a été réalisée le 27/04/11 au droit des piézomètres PZ1 à PZ6 et du puits privé. Les échantillons prélevés ont été analysés pour leurs concentrations en hydrocarbures en C5-C40, en CAV (Composés Aromatiques Volatils, dont les BTEX) et en COHV (Composés Organo-Halogénés Volatils).

Les analyses réalisées en laboratoire mettent ainsi en évidence les résultats suivants :

- Aucune trace d'hydrocarbures, CAV ni COHV n'a été détectée au droit des ouvrages PZ1, PZ6 et puits privé ;
- Des traces de BTEX (23,69 µg/l) ont été détectées au droit de PZ5 et des concentrations en CAV en PZ3 (situés en aval de l'ancienne station-service) supérieures aux limites de potabilités définies par l'arrêté ministériel du 11 janvier 2007 pour les BTEX ont été mises en évidence, soit :
  - 534 µg/l en Benzène (> 1 µg/l) ;
  - 5 970 µg/l en Toluène (> 700 µg/l) ;
  - 522 µg/l en Ethylbenzène (>300 µg/l) ;
  - 2 617 µg/l en Xylènes totaux (> 500 µg/l).

- Des traces de TCE (Trichloroéthylène) ont été mises en évidence au droit de PZ4, soit 2,6 µg/l. Des teneurs significatives en TCE ont été mises en évidence au droit des ouvrages PZ2, PZ3 et PZ5, valeurs supérieures aux limites de potabilités définies par l'arrêté ministériel du 11 janvier 2007 pour la somme du TCE et du PCE (Tétrachloroéthylène), soit :
  - 29 µg/l en TCE+PCE (> 10 µg/l) en PZ2 ;
  - 34,5 µg/l en TCE+PCE (> 10 µg/l) en PZ3 ;
  - 14,4 µg/l en TCE+PCE (> 10 µg/l) en PZ5.

A noter que l'analyse de ces composés n'était initialement pas requise dans le cahier des charges établi par IDDEA (*Rapport IC100193 version B en date du 11/01/11*). En effet, la problématique identifiée au droit du site à l'étude est initialement une problématique d'hydrocarbures, pour laquelle les sources potentielles identifiées sont des cuves à fioul domestique ou des cuves de carburant. On notera que les COHV sont des composés denses (plongeant au fond de l'aquifère, contrairement aux hydrocarbures flottant sur la surface libre de la nappe), qui ne seront pas retrouvés nécessairement au niveau de la résurgence de la nappe du Burdigalien. Cependant, seule la réalisation de prélèvements d'eau de surface pour analyses des COHV en aval immédiat de la résurgence permettrait de préciser cette hypothèse.

**Ainsi, seul le piézomètre PZ3 présente un impact en hydrocarbures. Les concentrations significatives mises en évidence sur ce piézomètre situé en aval hydraulique immédiat de l'ancienne station-service et l'absence d'impact sur le Puits privé situé en amont, tendent à confirmer la présence d'un spot de pollution à proximité du sondage S8. La présence notable de BTEX est caractéristique d'une pollution par des essences.**

**Enfin, l'origine des COHV présents dans la nappe n'est pas connue et ne peut être directement rattachée aux sources potentielles de pollution identifiées à ce stade.**

## **2.5. Résultats des investigations des sédiments**

Quatre prélèvements de sédiments ont été réalisés le 15/04/11 dans le cours d'eau du Parc de Châteauneuf-sur-Loire, entre 0,0 m et 0,1 m de profondeur.

Les points de prélèvements sont répartis comme suit :

- P1 : aval latéral de la résurgence ;
- P2 : aval de la résurgence ;
- P3 : aval éloigné de la résurgence (avant confluence) ;
- P4 : aval éloigné de la résurgence (après confluence).

Les échantillons prélevés ont été analysés pour leurs teneurs en hydrocarbures en C<sub>5</sub>-C<sub>40</sub>, en CAV (Composés Aromatiques Volatils, dont les BTEX) et en COHV (Composés Organo-Halogénés Volatils).

Les analyses réalisées en laboratoire montrent les résultats suivants :

- Des traces d'hydrocarbures totaux ont été mises en évidence au droit des points P2 (aval) et P4 (aval éloigné, après confluence), soit respectivement 42,1 mg/kg et 61,7 mg/kg ;
- Des teneurs significatives de 1 820 mg/kg et 4 090 mg/kg ont été mesurées dans les sédiments respectivement au droit des points P1 (aval latéral) et P3 (aval éloigné, avant confluence). Ces valeurs sont supérieures au critère de l'arrêté du 28 octobre 2010 pour le paramètre HCT (> 500 mg/kg) ;
- Les hydrocarbures identifiés sont majoritairement des composés lourds, non volatils et peu mobiles (fractions carbonées > C<sub>16</sub>) ;
- Aucune trace de CAV et de COHV n'a été détectée en P3 (unique échantillon analysé pour ces paramètres).

**Ainsi, un impact aux hydrocarbures est mis en évidence dans les sédiments situés dans le cours d'eau alimenté par la résurgence de la nappe du Burdigalien dans le Parc de Châteauneuf-sur-Loire. Cependant, il apparaît que cet impact est limité à un seul bras de ce cours d'eau. En effet, après confluence, des hydrocarbures sont retrouvés dans les sédiments (P4), uniquement à l'état de trace. Enfin, les composés mis en évidence dans les sédiments sont lourds, non volatils et peu mobiles, à l'instar de ceux retrouvés dans les sols situés au droit de la résurgence.**



## **2.6. Documents de synthèse des investigations de terrain**

Les documents suivants sont présentés en Annexe 1 :

- Plan de localisation des sources potentielles de pollution ;
- Localisation des investigations réalisées en avril 2011 (milieu sol, sédiments et eaux souterraines) ;
- Fiches de prélèvement de sols, de sédiments et d'eaux souterraines ;
- Coupes lithologiques et techniques des piézomètres ;
- Tableaux de synthèse des résultats d'analyses (milieu sol, sédiments et eaux souterraines) ;
- Esquisse piézométrique de la nappe du Burdigalien dressée au droit et en amont de la zone d'étude avril 2011.

### **3. LA DEMARCHE DE PLAN DE GESTION**

#### **3.1. Principes généraux**

Conformément aux préconisations émises par le Ministère en charge de l'Environnement au travers des annexes 2 et 3 de la note ministérielle « Sites et sols pollués - Modalité de gestion et de réaménagement des sites pollués » du 8 février 2007, notre démarche de gestion vise à faire ressortir la pertinence des scénarios de gestion de la pollution aux hydrocarbures constatée dans le parc du château de Châteauneuf-sur-Loire.

Aucun projet de nouvel aménagement au droit du parc de Châteauneuf-sur-Loire n'a été arrêté par le Conseil Général du Loiret, maître d'ouvrage. L'usage défini à l'heure actuelle est un espace vert accessible au public et fréquenté par des enfants et des adultes. La source de pollution aux hydrocarbures identifiée est localisée en amont et en dehors de l'emprise du parc du château (sols situés au droit des anciennes cuves de la station-service Route d'Orléans). Aussi, le plan de gestion n'a pas pour but de maîtriser cette source de pollution, mais de rendre compatible la qualité des sols et des eaux présents au droit du parc avec les usages actuels. De plus, celui-ci s'attachera à la maîtrise des éventuels indices de pollution (odeurs et aspect de l'eau et des sols) aux hydrocarbures au droit du site à l'étude. La maîtrise de la source ne sera pas traitée dans ce document.

Ce plan de gestion s'attachera à préciser les éventuels risques environnementaux et sanitaires existants au droit du site et à préciser les conditions et solutions de maîtrise des indices de pollution. Les éventuelles contraintes d'aménagement futur et les mesures compensatoires associées (surveillance, servitudes, contraintes géotechniques, ...) sont également développées dans le plan de gestion. Notre démarche de gestion de la pollution aux hydrocarbures au droit du parc de Châteauneuf-sur-Loire s'articulera autour des points suivants :

1. la maîtrise des impacts : sols et eaux impactés présentant des indices organoleptiques ou des teneurs significatives en hydrocarbures ;
2. la maîtrise des vecteurs identifiés et la définition des mesures de surveillance associées ;
3. la détermination et la description des différentes options techniques de réhabilitation du site susceptibles d'être envisagées, en tenant compte des propriétés physico-chimiques des polluants, des spécificités de la zone concernée (topographie, sols saturés en eau) et des mesures à mettre en œuvre lors de la réalisation du chantier ;
4. la hiérarchisation des options techniques de gestion sur la base d'un bilan coûts/avantages au regard des usages éventuellement envisagés, du bilan environnemental global et des aspects économiques.

L'ensemble des éléments collectés lors de l'étude environnementale préalable et lors de la phase d'investigations sera repris dans la détermination et l'évaluation des options techniques de réhabilitation des zones impactées aux hydrocarbures au droit du parc de Châteauneuf-sur-Loire.

### **3.2. Sources d'informations et référentiels méthodologique**

Les éléments suivants ont servi à l'élaboration du plan de gestion :

- La carte topographique au 1/25 000<sup>ème</sup> de Châteauneuf-sur-Loire (carte IGN n°2320 O) ;
- La carte géologique de la France au 1/50 000<sup>ème</sup>, feuille de Châteauneuf-sur-Loire et sa notice explicative (éditées par le BRGM) ;
- Rapports IDDEA :  
IC100193\_1 version C « *Assistance à la maîtrise d'ouvrage pour le diagnostic et le traitement d'une pollution à Châteauneuf-sur-Loire* », Décembre 2010 ;  
IC100193\_2 version B « *Cahier des Clauses Techniques Particulières pour le diagnostic et le traitement d'une pollution à Châteauneuf-sur-Loire* », Janvier 2011 ;
- Rapport HPC ENVIROTEC HPC-F 4A/2.11.4078 a version 0 « *Site du Parc du Château sis Route d'Orléans à CHATEAUNEUF-SUR-LOIRE* », Juin 2011 ;
- Rapport ANTEA n°A 44884/A « *Pré-diagnostic du site et analyses de sols potentiellement pollués dans le parc de Châteauneuf-sur-Loire* », Janvier 2007 ;
- Note ministérielle « Sites et sols pollués - Modalité de gestion et de réaménagement des sites pollués » du 8 février 2007 et ses annexes 2 et 3 (« Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués. Comment identifier un site (potentiellement) pollué. Comment gérer un problème de site pollué » et « Les outils en appui aux démarches de gestion. Les documents utiles pour la gestion des sites pollués ») ;
- Rapport BRGM « *Quelles techniques pour quels traitements – Analyses coûts-bénéfices* » en date de Juin 2010.

### 3.3. Caractéristiques de la zone

La zone de résurgence est située dans le parc du château de Châteauneuf-sur-Loire, à flanc de coteau (environ 10 m de dénivelé sur 50 m), en aval d'une ancienne station-service. Le coteau est végétalisé sur la quasi-totalité de sa surface, et constitue une zone d'observation de la flore.

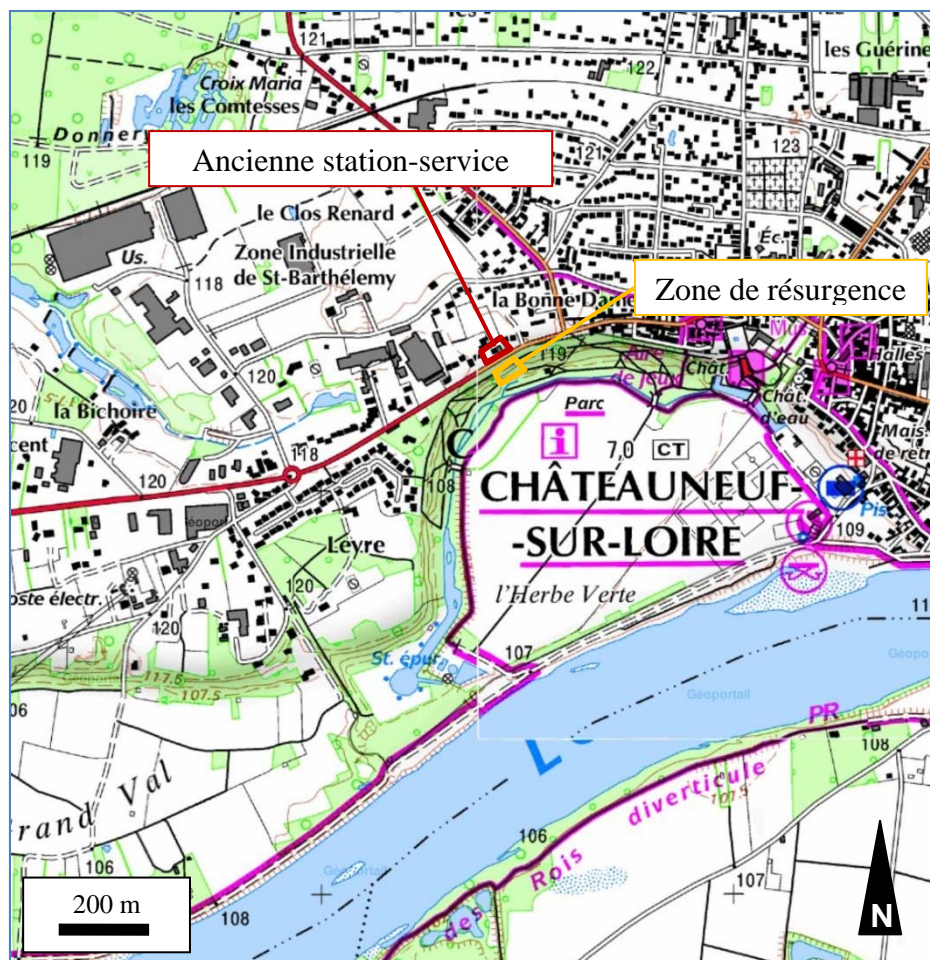


Figure 1 : Localisation du site à l'étude

### **3.4. Gestion des sols impactés au droit de la zone de résurgence**

Compte tenu des propriétés physico-chimiques des composés mis en évidence dans les sols au droit de la zone de résurgence de la nappe du Burdigalien et du contexte géologique, les différentes solutions de gestion envisagées sont :

- Excavation et évacuation hors site des matériaux impactés vers un centre spécialisé ;
- Pompage des boues et élimination vers un centre spécialisé.

#### *3.4.1. Excavation et évacuation hors site en centre spécialisé*

Les opérations à effectuer selon cette solution consistent en l'excavation des matériaux et leur évacuation vers des filières de gestion spécialisées et hors du site.

Les matériaux sont excavés jusqu'à une profondeur de 0,4 m à minima, limite inférieure de l'échantillon présentant une teneur significative de 571 mg/kg au droit du sondage S2.

D'après les coupes lithologiques dressées au droit du sondage S2, les matériaux à excaver correspondent à des sables voire des sables limoneux. A noter que la zone d'excavation est localisée au niveau de la résurgence située sur le coteau du parc. Aussi, les principales contraintes sont les suivantes :

- Terrassement de terres dans une zone humide

La réalisation de pompages en amont de la zone (piézomètres implantés en amont de la zone d'étude équipés en tubage PVC de diamètre 112/125 mm permettant la mise en place de pompes) permettrait de limiter voire de stopper les arrivées d'eau de la nappe du Burdigalien au niveau de la résurgence.

- Difficultés d'accès à la zone pour une pelle mécanique (même une mini-pelle)

Au vu du dénivelé du coteau et de la végétation dense de la zone, l'amenée et l'utilisation d'engin mécanique encombrant (pelle et mini-pelle mécaniques), nécessitera la réalisation d'une rampe d'accès et d'un défrichage voire élagage de la zone. Les dommages sur la végétation risqueraient d'être importants.

Etant donnés les volumes de matériaux (environ 25 m<sup>3</sup>) nécessitant des excavations, celles-ci pourront difficilement être réalisées manuellement.

## ↳ Procédure

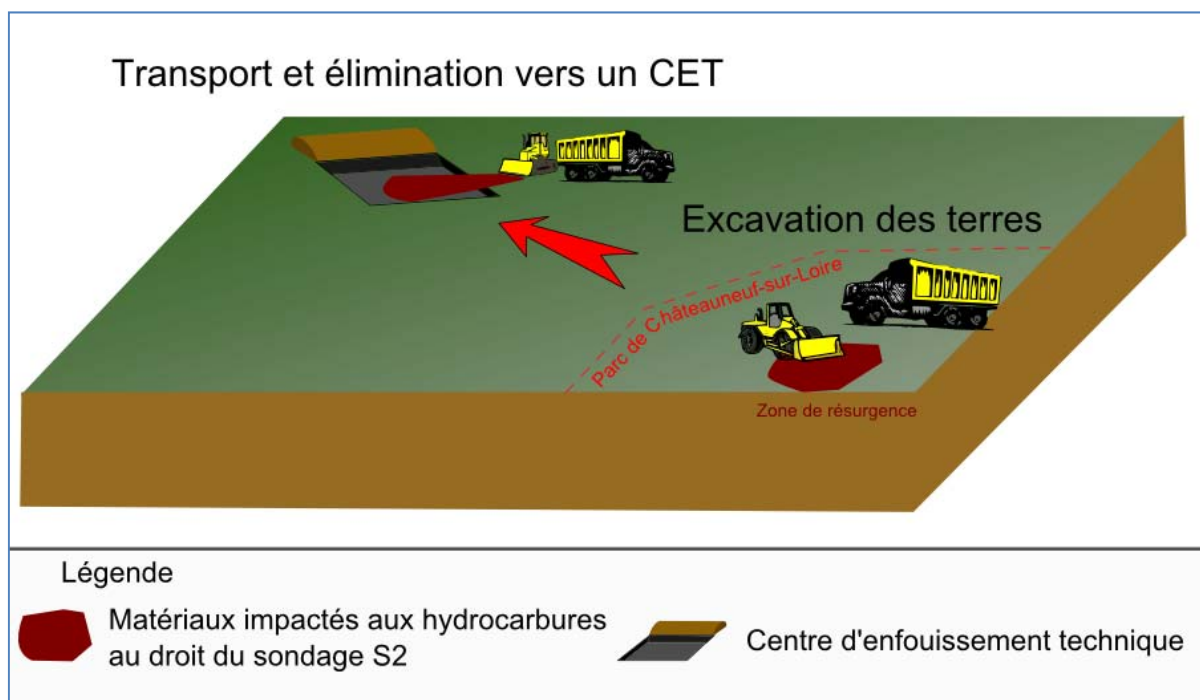
La solution étudiée (excavation et gestion vers une filière adaptée) consiste à extraire l'ensemble des matériaux impactés au moyen d'un engin mécanique. La solution de l'excavation manuelle n'apparaît pas réaliste. Les matériaux excavés sont soit chargés en continu dans des camions ou via des big-bags, soit déposés temporairement sur une aire aménagée avant d'être évacués par poids lourds en centre de stockage (délai nécessaire à l'établissement du CAP).

L'aire de stockage temporaire à réaliser est composée d'un complexe artificiel imperméabilisant disposé sous et sur les matériaux impactés tassés. Cet aménagement protégera les terrains sous-jacents le temps du stockage coupant ainsi tout vecteur de transfert vers les sols et la nappe. Les terres étant saturées en eau, une gestion de celles-ci doit être envisagée en périphérie de la zone de stockage temporaire.

La procédure d'excavation et d'évacuation hors site en filière spécialisée est schématisée dans la Figure 2.

### Remarque :

*Il serait judicieux de planifier un suivi qualitatif des eaux souterraines et superficielles avant et après les travaux afin de préciser l'éventuelle incidence sur les écoulements et la qualité de la nappe et du cours d'eau du parc.*



**Figure 2 : Excavation et évacuation des matériaux impactés aux hydrocarbures**

La détermination du débit de pompage au droit de chaque piézomètre et du nombre d'ouvrage(s) faisant l'objet de pompage devra être définie sur la base d'une étude hydrogéologique à part entière (détermination des paramètres hydrodynamiques de la nappe du Burdigalien via la réalisation de pompages d'essai et de leur interprétation).

### ↳ Identification de la filière d'évacuation

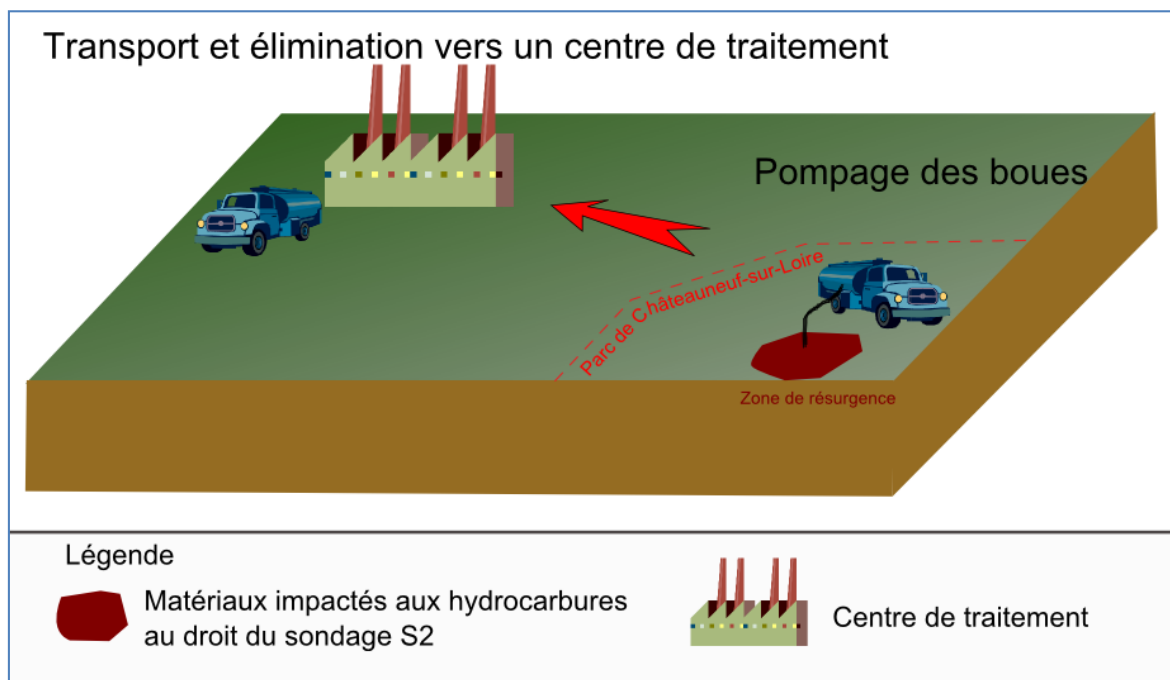
L'arrêté du 28 octobre 2010, définissant la liste des types de déchets inertes acceptables dans les installations de stockage de déchets inertes, fixe le critère réglementaire relatif aux hydrocarbures totaux C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> (500 mg/kg) et aux BTEX (6 mg/kg).

Au vu des teneurs en hydrocarbures dans les sols et dans la mesure où les excavations concerneront principalement ou intégralement des matériaux présentant des indices organoleptiques (couleurs, irisations, odeurs), la filière d'élimination envisagée dans le cadre de ce plan de gestion est l'ISDND. Le centre de stockage le plus proche est le centre BIOGENIE à Echarcon (91), situé à environ 120 km du site de Châteauneuf-sur-Loire. Un CAP (Certificat d'Acceptation Préalable) sera impérativement établi avant élimination des terres impactées.

#### 3.4.2. *Pompage des boues et évacuation hors site en centre spécialisé*

Il s'agit d'extraire les matériaux impactés à l'aide d'un camion hydrocureur spécialisé. Le véhicule stationné sur l'allée de la Princesse de Lamballe pourra pomper directement les boues au niveau de la zone de résurgence. Cette technique a l'avantage de s'affranchir des problématiques d'accès et de mise hors d'eau de la zone de résurgence. A noter que dans ce cas, les boues ne seront pas stockées sur place. Cette solution suppose que la qualité des boues soit compatible avec le pompage.

La procédure de pompage des boues et d'élimination des matériaux est présentée en Figure 3.



**Figure 3 : Pompage des boues et élimination en centre de traitement**

### **3.5. Traitement de la nappe en amont de la résurgence**

Compte tenu des propriétés physico-chimiques des composés mis en évidence dans la nappe du Burdigalien (hydrocarbures dissous) et du contexte hydrogéologique, les différentes solutions de gestion envisagées sont :

- Traitement in situ de la nappe par microémulsion et biostimulation ;
- Pompage et traitement de la nappe.

#### *3.5.1. Traitement de la nappe par microémulsion et biostimulation*

Il s'agit ici de réaliser un traitement in situ de la nappe par ajout de GREENSORB GS320 directement en nappe. Ce composé nutritif facilite le développement rapide des micro-organismes autochtones capables de dégrader les hydrocarbures.

#### ↳ Procédure

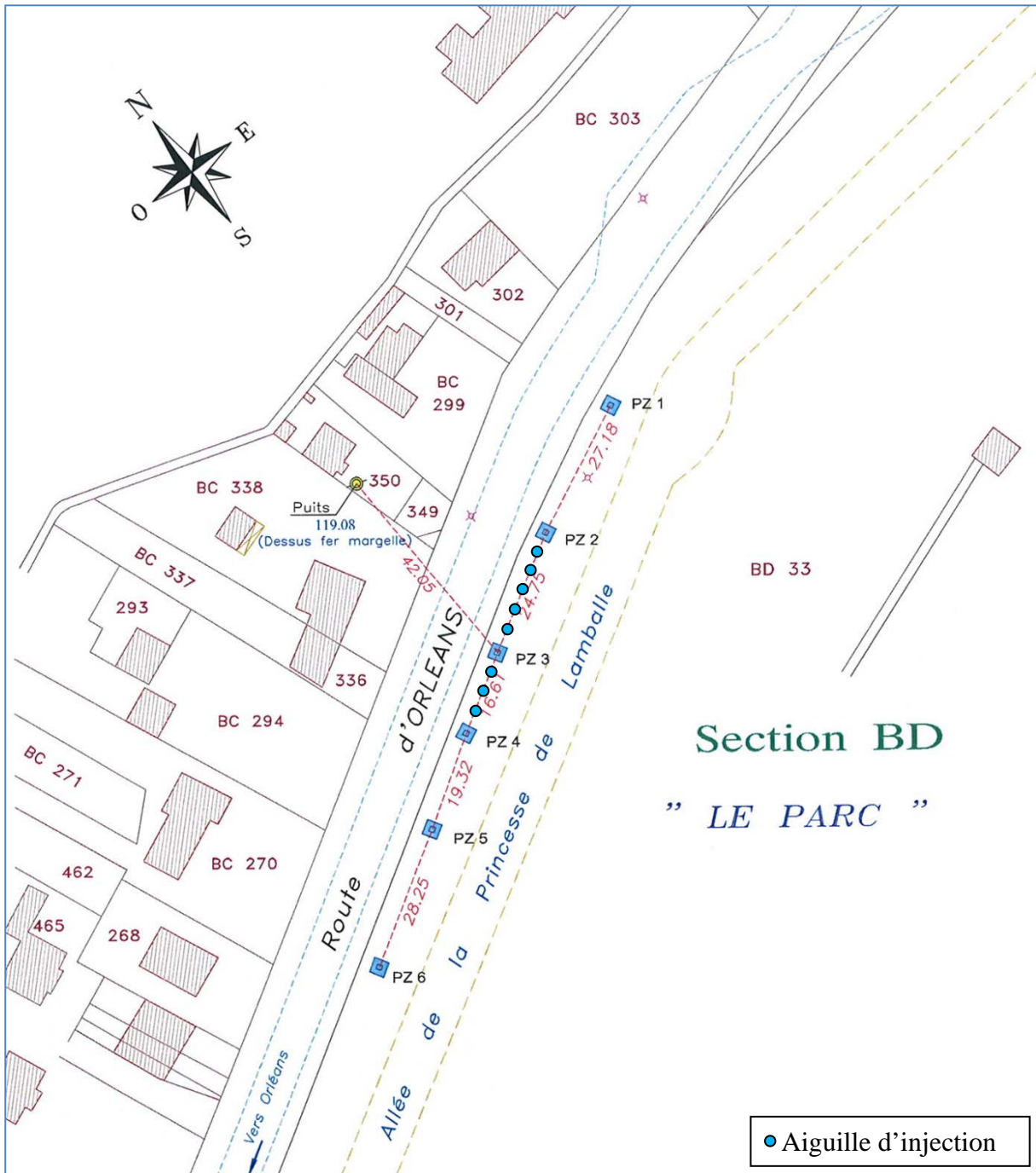
Le réactif est injecté en nappe via des cannes d'injection, dont le rayon d'action est estimé à 2,5 m dans les terrains sableux. Les piézomètres déjà en place PZ2 à PZ4 pourront être utilisés pour le traitement in situ de la nappe.

D'après les résultats d'analyses dans les eaux souterraines, un volume de 30 l devra être injecté en nappe au droit de chaque ouvrage, puis 300 l d'eau claire (10 fois le volume de produit) pour chasser le réactif dans l'aquifère et générer une microémulsion.

Une proposition d'implantation d'ouvrages complémentaires de traitement est présentée en Figure 4.

A noter que la réalisation d'un tel traitement peut, dans de rares cas, générer un relargage ponctuel d'hydrocarbures en nappe. Aussi, au niveau de la résurgence, un barrage flottant pourra être mis en place afin d'adsorber l'éventuelle phase flottante d'hydrocarbures résurgente. Le traitement ou l'excavation des terres en place au droit de la zone de résurgence sera réalisé suite au traitement in situ de la nappe, afin d'éviter d'impacter les terrains sains lors d'éventuels relargages d'hydrocarbures.

Au vu des teneurs présentes dans les eaux souterraines et uniquement sous forme dissoute, un traitement complet sera constitué de 2 injections à raison d'une injection au mois d'octobre (période de basses eaux) et une injection au mois de mars (période de hautes eaux). Cependant, la réalisation d'injections complémentaires ne peut être exclue à ce stade.



**Figure 4 : Implantation d'aiguilles complémentaires pour traitement in situ de la nappe et de la zone de battement**

### 3.5.2. *Pompage (-écrémage) et traitement de la nappe*

Les eaux polluées peuvent être pompées via la mise en place d'ouvrages de dépollution complémentaires ou l'exploitation des ouvrages déjà en place au droit de la zone polluée (PZ2 à PZ4). Les eaux pompées sont traitées sur charbon actif avant rejet. Un monitoring mensuel de la qualité des rejets permettra de s'assurer du niveau de saturation du charbon actif.

Une pompe écrémeuse pourra être mise en place dans le cas où une phase flottante apparaîtrait.

Le monitoring des installations de rejets permettra de s'assurer de la qualité des eaux rejetées. Les exutoires identifiés sont les suivants :

- cours d'eau situé en aval de la zone de résurgence ;
- réseau d'eau usée de la commune de Châteauneuf-sur-Loire ;
- réinjection en nappe.

Dans tous les cas, il s'agira de prendre contact avec les autorités compétentes (Mairie, DREAL, etc.) afin de s'assurer de la conformité du rejet.

Au vu des concentrations mises en évidence en nappe, ce type de traitement peut être envisagé sur une durée de 1 an. Cependant sans une maîtrise de la source en amont, la poursuite de ce traitement pourrait se voir prolonger afin de garantir la mise en sécurité environnementale du parc de Châteauneuf-sur-Loire. En effet, sans traitement de la zone source, les hydrocarbures présents dans les sols continueront à migrer vers la nappe.

Le schéma de principe de ce type de traitement est présenté en Figure 5.

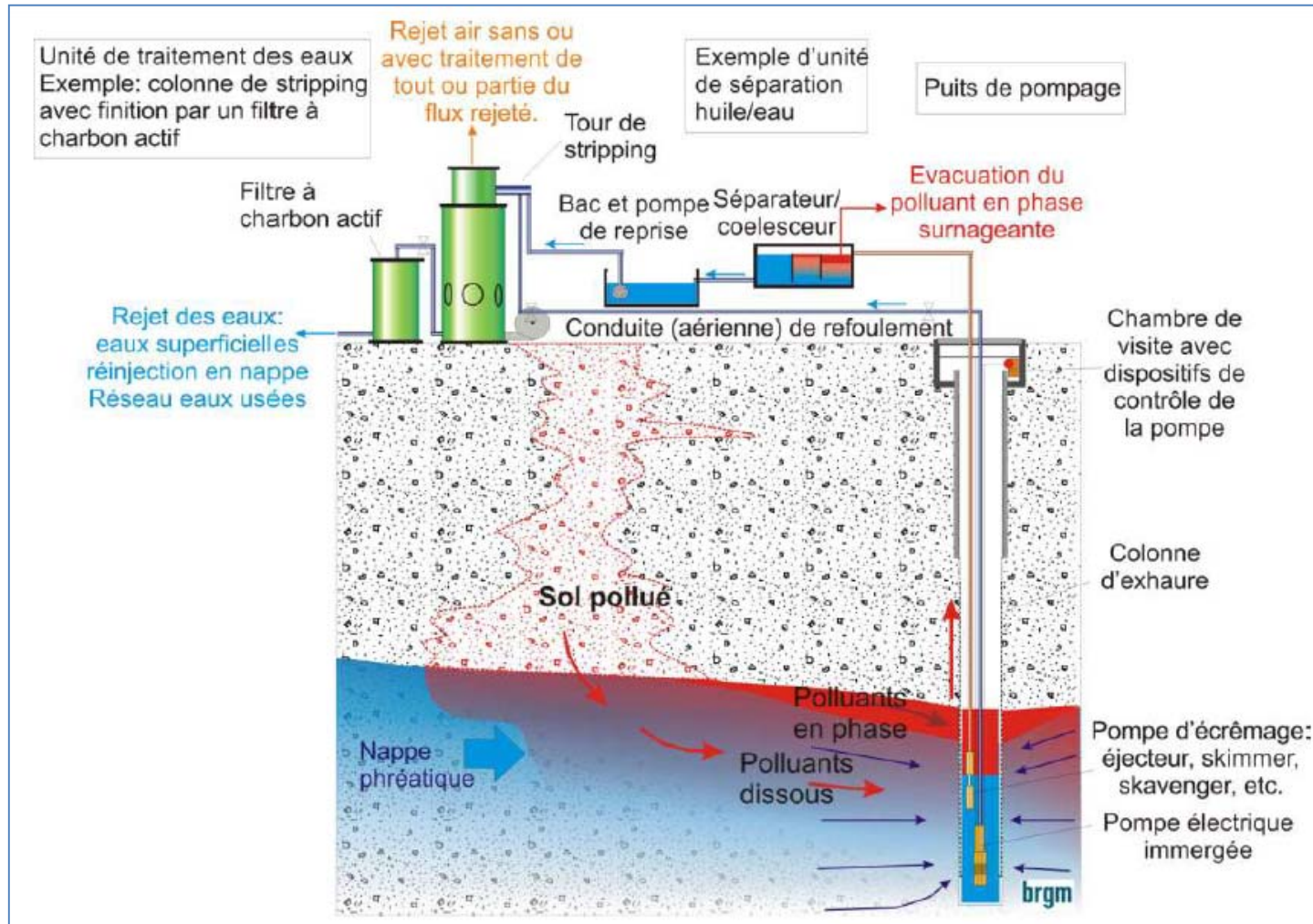


Figure 5 : Schéma de principe du pompage-écrémage



### **3.6. Evaluation des options de réhabilitation**

Les solutions proposées pour la gestion de la pollution des sols au droit de la zone de résurgence sont les suivantes :

- Excavation et évacuation hors site en centre spécialisé ;
- Pompage des boues et évacuation hors site en centre spécialisé.

Les solutions proposées pour la gestion de la pollution de la nappe du Burdigalien sont les suivantes :

- Traitement de la nappe par microémulsion et biostimulation ;
- Pompage (-écrémage) et traitement de la nappe.

↳ Excavation et évacuation hors site vers une filière spécialisée

Les avantages de cette solution sont les suivants :

- ⊕ Pas d'encombrement de surface en dehors du temps d'intervention ;
- ⊕ La mise en œuvre peut être relativement rapide, de l'ordre de quelques semaines pour gérer l'ensemble des matériaux impactés ;
- ⊕ Si l'intégralité des matériaux impactés est excavée, le niveau de sécurité est optimal dans la mesure où l'ensemble des résidus est évacué vers l'extérieur, le risque lié au traitement des matériaux est ainsi complètement externalisé (pas de servitude résiduelle).

Les principaux points faibles de cette solution de gestion sont les suivants :

- ⊗ Risques de déstabilisation du coteau – Nécessité de procéder à une étude géotechnique préalable ;
- ⊗ Impact significatif sur la végétation et le coteau ;
- ⊗ Nécessité de réaliser un pompage de la nappe du Burdigalien, afin d'assécher la zone de résurgence ;
- ⊗ Nécessité de gérer les eaux pompées : rejet vers le milieu superficiel, vers le réseau de la commune ou réinjection en nappe ;
- ⊗ Coût lié au transport et à la TGAP (évolution annuelle à intégrer : + 4 € par tonne entre 2009 et 2010) ;
- ⊗ Surcoût potentiellement important en cas d'augmentation des volumes estimés ;
- ⊗ Difficulté à définir un seuil d'impact (critères visuels et olfactifs) ;
- ⊗ Bilan environnemental de l'opération (bilan carbone) peu satisfaisant en raison du transport. La gestion de ce trafic nécessite d'ailleurs une coordination par rapport à la fréquentation du parc ou la circulation sur la Route d'Orléans (gestion de la coactivité).

Enfin, d'un point de vue financier, l'estimation des coûts peut se décomposer de la manière suivante :

**Tableau 1 : Estimation économique de la solution d'excavation et d'évacuation hors site des matériaux impactés aux hydrocarbures au droit de la zone de résurgence**

Désignation des postes considérés	Quantité estimée	Coût en €HT
Installation du chantier (amenée et repli du matériel, base vie, ...)	Forfait	4 000
Délimitation et balisage de la zone de chantier	150 ml	3 500
Terrassement du coteau, création d'une rampe d'accès	~ 500 m <sup>3</sup>	~ 7 500
Terrassement des terres polluées	~ 25 m <sup>3</sup>	700
Caractérisation des paramètres hydrodynamiques de la nappe du Burdigalien	Forfait	3 800
Rabattement de la nappe du Burdigalien et traitement des eaux avant rejet (sous réserve que les ouvrages actuellement en place soient suffisants)**	2 mois	5 000
Préparation administrative et dossier loi sur l'eau / convention de rejet	Forfait	3 000
Transport et gestion en classe II * (densité de 1,8) – TGAP comprise	45 t	7 000
Amenée de remblai sain et mise en place (hors foisonnement)	25 m <sup>3</sup>	650
Suivi des travaux (établissement des BSD, dossier de récolement, ...)	Forfait	4 000
Contrôle des sols résiduels (HCT et CAV)	5	800
Suivi de la qualité de la nappe et du cours d'eau du Parc avant et après les travaux d'excavations	2	4 500
	<b>TOTAL (€H.T)</b>	<b>~ 45 000</b>

\*Dans le cas où l'intégralité des matériaux serait susceptible d'être dirigée vers une filière de classe III, les coûts du poste principal (transport et gestion) seraient très sensiblement diminués (coût à la tonne de 40 € environ, transport compris, au lieu de 90 €/t pour la classe II). Ce poste pourrait ainsi être considérablement réduit et l'estimation globale serait alors de 55 000 €H.T.

\*\* Ce poste pourra être réduit dans le cas d'un couplage des 2 solutions de gestion suivantes : excavation et évacuation hors site des matériaux impactés aux hydrocarbures au droit de la zone de résurgence / pompage (-écrémage) et traitement de la nappe.

↳ Pompage des boues et évacuation hors site en centre spécialisé

Les avantages de cette solution sont les suivants :

- ⊕ Pas d'encombrement de surface en dehors du temps d'intervention ;
- ⊕ La mise en œuvre peut être simple et rapide, de l'ordre de quelques semaines pour gérer l'ensemble des matériaux impactés ;
- ⊕ Si l'intégralité des matériaux impactés est excavée, le niveau de sécurité est optimal dans la mesure où l'ensemble des résidus est évacué vers l'extérieur, le risque lié au traitement des matériaux est ainsi complètement externalisé (pas de servitudes résiduelles) ;
- ⊕ Préservation de l'aménagement paysager ;
- ⊕ Pas d'étude géotechnique préalable.

Les principaux points faibles de cette solution de gestion sont les suivants :

- ⊗ Coût lié au transport et à la TGAP (évolution annuelle à intégrer : + 4 € par tonne entre 2009 et 2010) ;
- ⊗ Surcoût potentiellement important en cas d'augmentation des volumes estimés ;
- ⊗ Difficulté à définir un seuil d'impact (critères visuels et olfactifs) ;
- ⊗ Bilan environnemental de l'opération (bilan carbone) peu satisfaisant en raison du transport. La gestion de ce trafic nécessite d'ailleurs une coordination par rapport à la fréquentation du parc ou la circulation sur la Route d'Orléans (gestion de la coactivité).

Enfin, d'un point de vue financier, l'estimation des coûts peut se décomposer de la manière suivante, pour une solution de pompage des boues et évacuation hors site en centre spécialisé :

**Tableau 2 : Estimation économique de la solution de pompage des boues et évacuation hors site en centre spécialisé des matériaux impactés aux hydrocarbures au droit de la zone de résurgence**

Désignation des postes considérés	Quantité estimée	Coût en €HT
Transport et gestion des boues hydrocarburées (densité de 1,8) – TGAP comprise	45 t	16 000
Pompage de surface depuis l'allée de la Princesse de Lamballe (intervention forfaitaire basée sur un pompage de 5 m <sup>3</sup> /journée)	5 jours	7 500
Suivi des travaux (établissement des BSD, dossier de récolement, ...)	Forfait	3 000
Contrôle des sols résiduels (HCT et CAV)	5	800
Suivi de la qualité de la nappe et du cours d'eau du Parc avant et après le pompage des boues	2	4 500
	<b>TOTAL (€H.T)</b>	<b>~ 32 000</b>

Remarques :

*Les volumes à gérer sont estimés à 25 m<sup>3</sup>, cependant cette cubature a été établie à partir des données des sondages réalisés par HPC ENVIROTEC en 2011. La réalisation de sondages selon un maillage plus fin pour prélèvements de sols et analyses en laboratoire permettrait d'approcher plus précisément ces volumes. Une caractérisation fine de la zone par un maillage adapté et systématique permettrait d'établir un plan de retrait optimisé.*

↳ Traitement in situ de la nappe en amont de la résurgence par microémulsion et biostimulation

Cette solution présente les avantages suivants :

- ⊕ Pas d'encombrement de surface en dehors du temps d'intervention ;
- ⊕ La mise en œuvre peut être rapide, de l'ordre de quelques semaines pour traiter l'ensemble des matériaux impactés ;
- ⊕ Technique éprouvée ayant déjà démontré des résultats significatifs ;
- ⊕ Compétitivité en termes de coût et de performance ;
- ⊕ Application générant peu de perturbation de sols.

Les principaux points faibles de cette technique sont les suivants :

- ⊗ La performance du procédé est variable suivant les conditions spécifiques du site ;
- ⊗ La biodisponibilité limite l'accès aux polluants et donc leur biodégradation. Cependant, cette biodisponibilité peut être augmentée par l'emploi de tensioactifs, présents dans le GS320, qui augmentent la solubilité des polluants ;
- ⊗ Effet « rebonds » : à l'arrêt du traitement, les concentrations sont faibles mais peuvent significativement augmenter quelques mois plus tard.

Enfin, d'un point de vue financier, l'estimation des coûts peut se décomposer de la manière suivante :

**Tableau 3 : Estimation économique de la solution de traitement in situ de la nappe en amont de la résurgence par microémulsion et biostimulation**

Désignation des postes considérés	Quantité estimée	Coût en €HT
Mise en place de 8 aiguilles supplémentaires jusqu'à 10 m de profondeur	Forfait	10 000
Réalisation de 2 campagnes d'injection	Forfait	3 500
Réactif GS320 (pour 2 campagnes)	660	26 500
Monitoring : 4 campagnes de 6 prélèvements d'échantillons d'eau souterraine et 2 échantillons d'eaux superficielles pour analyses des HCT et CAV	4 campagnes	5 500
Dossier de récolement	Forfait	3 000
	<b>TOTAL (€H.T)</b>	<b>~ 48 500</b>

Remarque :

À noter que dans le cas d'une résurgence d'hydrocarbures en phase pure (phase flottante) il s'agira de mettre en place un barrage flottant avec adsorbant. Cependant, au vu des mesures faites au niveau des piézomètres PZ1 à PZ6 et des observations faites au droit de la zone de résurgence (absence de phase flottante), cette hypothèse reste très peu probable.

↳ Pompage (-écrémage) et traitement de la nappe sur charbon actif

Cette solution présente les avantages suivants :

- ⊕ La mise en œuvre est relativement simple et rapide ;
- ⊕ Technique éprouvée ayant démontré une grande fiabilité et des résultats significatifs ;
- ⊕ Le procédé permet de stopper la migration des polluants en créant des points de fixation de la contamination (confinement hydraulique).

Les principaux points faibles de cette technique sont les suivants :

- ⊗ Encombrement de surface durant le traitement ;
- ⊗ Nécessite une phase de mise en place du système de traitement ;
- ⊗ Dans le cas des aquifères de grandes perméabilités (transmissivité importante), les débits à pomper pour le rabattement sont souvent importants. Il est donc primordial de bien optimiser le nombre et l'emplacement des points d'extraction ;
- ⊗ Sans une maîtrise totale du sens d'écoulement des eaux souterraines, il y a un risque de dissémination de la pollution,
- ⊗ L'écrémage n'est pas possible pour de petites épaisseurs de surnageant (inférieures à 1 cm).

Enfin, d'un point de vue financier, l'estimation des coûts peut se décomposer de la manière suivante :

**Tableau 4 : Estimation économique de la solution de pompage (-écrémage) et traitement de la nappe sur charbon actif**

Désignation des postes considérés	Quantité estimée	Coût en €HT
Préparation administrative et technique du chantier	Forfait	6 000
Mise en place du système (forages, installation aérienne des réseaux, etc.)	Forfait	25 000
Exploitation du dispositif (location des installations, monitoring et entretien)	6 mois	16 000
Suivi, ingénierie et réunions de chantier	Forfait	5 000
Dossier de récolement	Forfait	3 000
	<b>TOTAL (€H.T)</b>	<b>~ 55 000</b>

Remarque :

*A noter que dans le cas de la présence d'hydrocarbures en phase pure surnageant (phase flottante) il s'agira de mettre en place une pompe écrémeuse dans le puits de pompage concerné. Cependant, au vu des mesures faites au niveau des piézomètres PZ1 à PZ6 et des observations faites au droit de la zone de résurgence (absence de phase flottante), cette hypothèse reste très peu probable.*

### 3.7. Analyse multicritère

L'analyse multicritère réalisée constitue un véritable outil d'aide à la décision, visant à comparer et à hiérarchiser les solutions de gestion des sols impactés aux hydrocarbures au droit de la zone de résurgence du parc et de dépollution de la nappe du Burdigalien. L'objectif de cette méthode est de faire ressortir la solution la plus adaptée au contexte, aux usages de la zone et aux attentes du Maître d'ouvrage.

L'outil d'évaluation utilisé est une grille d'analyse permettant de juger indépendamment chaque solution de gestion proposée et la réduction des impacts sur l'environnement, pour chacune d'entre elles.

#### 3.7.1. *La grille d'analyse*

La grille d'analyse utilisée pour évaluer les solutions de réhabilitation est développée sur la base de la méthode WSM (Weight Sum Method). Elle a été adaptée en fonction des spécificités de la zone de résurgence des hydrocarbures, de manière à rendre compte des observations de terrain et à apprécier les contraintes liées au site et aux matériaux à traiter.

La grille d'analyse présentée en Figure 6 se décompose en 7 critères d'évaluation de chaque solution de réhabilitation :

- les paramètres de mise en œuvre,
- les nuisances à maîtriser,
- les impacts environnementaux des travaux,
- le coût,
- les délais,
- les contraintes de communication avec les acteurs du projet,
- les contraintes réglementaires et juridiques.

Les critères d'évaluation ont été sélectionnés sur la base de l'expérience acquise par IDDEA lors de la réalisation de projets analogues. Ils sont représentatifs des 5 grands thèmes : **milieu naturel, aspects sociologiques, aspects réglementaires, aspects techniques et aspects financiers**. Ces critères sont décomposés en sous critères selon l'étendue des champs couverts (par exemple : les nuisances à maîtriser regroupent les aspects visuel, sonore, olfactif, sanitaire et le trafic généré par les travaux lors de la mise en place des solutions de gestion).

L'ensemble des éléments relatifs à l'analyse multicritère réalisée est consultable en Annexe 2.



		Notation	1	2	3	4	5	
			Contrainte très forte	Contrainte forte	Contrainte moyenne	Contrainte faible	Pas de contrainte	
<b>Critères et sous critères</b>								
<b>Paramètres de mise en œuvre</b>	accessibilité et approvisionnement du site							
	compatibilité avec les activités actuelles au droit du site							
	confidentialité des activités							
	moyens mobilisables sur site							
	technicité du projet	extension géographique de la pollution (pollution concentrée ou diffuse)						
		volume d'eau polluée						
		volume de gaz pollué						
		volume de matériau pollué						
		complexité du tri sain/pollué						
		distance site/filière de gestion						
complexité de la solution								
complexité de mise en place d'un réseau de surveillance								
contrainte de surveillance								
<b>Nuisances à maîtriser (pour la faune/flore/riverains)</b>	visuelle							
	sonore							
	olfactive							
	sanitaire							
	trafic							
<b>Bilan environnemental</b>	consommation énergétique globale							
	bilan émission gaz à effet de serre							
	gain de place en centre d'enfouissement technique							
	valorisation de matière et énergie							
	déchets générés							
	importance du risque résiduel							
<b>Coût</b>	coût d'investissement							
	% de sous traitance pour le maître d'ouvrage							
	coût de surveillance et de fonctionnement							
	coût des servitudes	d'exploitation du site (dans la période de retraitement)						
		d'usage du site (dans la cadre d'une reconversion)						
<b>Délais</b>	durée de réhabilitation	délais administratifs et de consultation						
		durée de réalisation et de repli						
		durée de traitement et de servitude						
	durée de surveillance résiduelle							
<b>Acceptation sociale et communication</b>								
<b>Contraintes réglementaires et juridiques</b>								
Somme de l'analyse multicritère								

Figure 6 : Grille de l'évaluation des solutions de gestion de la pollution par des hydrocarbures au droit du Parc de Châteauneuf-sur-Loire

### 3.7.2. Compréhension des critères et des paramètres

Une importance toute particulière a été portée à la définition et à la compréhension des champs couverts par les critères et les sous-critères. De la bonne assimilation de ces champs dépend une notation objective de chacune des solutions de gestion de la pollution par des hydrocarbures au droit du Parc de Châteauneuf-sur-Loire.

➤ Le critère « paramètres de mise en œuvre »

Ce critère vise à évaluer les aspects techniques des solutions de gestion de la pollution par des hydrocarbures au droit du Parc de Châteauneuf-sur-Loire.

Chaque solution de traitement est jugée sur la base :

- de la complexité de réalisation du chantier (extension de la pollution, nature des matériaux concernés, volume de matériaux impactés à traiter, complexité du tri entre matériaux sains et contaminés, complexité de la dépollution) et des facteurs susceptibles de pénaliser sa mise en œuvre (accessibilité du site, distance du site avec les filières de traitement, conformité avec les Meilleures Techniques Disponibles) ;
- de la difficulté à implanter un réseau de surveillance pertinent et des contraintes d'utilisation qui en découlent ;
- des contraintes intrinsèques au site à réhabiliter (compatibilité des usages actuels avec l'intervention de réhabilitation, confidentialité des activités, extension de la pollution, volume de matériaux impliqués).

Remarque :

*Les différentes visites du site montrent que la zone d'étude est particulièrement difficile d'accès. De fait, le paramètre « accessibilité » constitue un élément d'évaluation prépondérant.*

➤ Le critère « nuisances à maîtriser »

L'évaluation des nuisances générées par chacune des solutions de réhabilitation porte sur les aspects :

- visuels,
- sonores,
- olfactifs,
- sanitaires,
- l'excédant de trafic généré.

Les nuisances générées sont susceptibles d'affecter les usagers du Parc et de ces alentours (riverains notamment). Aucune pondération n'est appliquée en fonction de la nature de la nuisance ou de la cible affectée.

➤ Le critère « bilan environnemental »

Ce critère d'évaluation tient compte pour chaque solution :

- du bilan énergétique global des différentes solutions de gestion,
- de la maîtrise de la production et de la gestion des déchets qu'il s'agisse des matériaux impactés à gérer ou des déchets générés lors du chantier de réhabilitation (déchets gazeux : gaz à effet de serre ; déchets solides, recyclage des charbons actifs ayant servi au traitement de la nappe, etc.),
- de l'importance des risques résiduels au terme du chantier de réhabilitation.

➤ Le critère « coût »

Il prend en compte l'ensemble des paramètres financiers depuis l'élaboration de la solution de réhabilitation (sous critère « coût d'investissement »), sa mise en œuvre (sous critère « pourcentage de sous-traitance »), le suivi du chantier et les coûts de son fonctionnement (sous critère « coût de surveillance et de fonctionnement ») et les coûts des servitudes ou de la surveillance pendant et au terme du chantier de dépollution.

➤ Le critère « délais »

L'évaluation du délai global tient compte pour chaque solution de la durée de réalisation du chantier de réhabilitation et du temps de surveillance résiduel au terme de la mise en œuvre du traitement.

L'évaluation des délais administratifs et de consultation des sociétés de sous-traitance, de réalisation du chantier, de traitement et de surveillance résiduelle n'est, à ce stade, qu'indicative (1 an à minima). Cette estimation et sa traduction en termes de contraintes est basée sur l'expérience acquise par IDDEA lors de chantiers analogues. Elle est également basée sur les connaissances actuelles du site et est susceptible d'être modifiée en fonction du nombre d'administrations consultées et des conditions de déroulement du chantier.

➤ Le critère associé aux notions d'« acceptation sociale et de communication »

Le travail de communication et d'acceptabilité sociale s'adresse à l'ensemble des acteurs intervenant, ou susceptible d'intervenir, dans le cadre du chantier de réhabilitation de la zone impactée du Parc de Châteauneuf-sur-Loire. Il s'agit des administrations et services de l'état (Préfecture et services décentralisés : DREAL, DDCSPP,...), des collectivités locales (Mairie de Châteauneuf-sur-Loire), des usagers du site et de ses abords : usagers réguliers (public) et éventuellement des riverains.

➤ Le critère « réglementaire et juridique »

Ce critère prend en compte :

- les engagements réglementaires du maître d'ouvrage qui découlent du choix de la solution de réhabilitation,
- la durée de cet engagement,
- les conditions de transfert de l'engagement à un tiers en cas notamment de cession du site ou de gestion de la source selon des filières externes.

A titre d'exemple, en cas de maintien d'un déchet au droit d'un site la responsabilité du maître d'ouvrage est opposable sans limite de durée. En cas d'envoi des matériaux impactés vers une filière adaptée, le maître d'ouvrage transfère à un tiers ses responsabilités.

### 3.7.3. Modalités d'évaluation

L'ensemble des solutions de réhabilitation a été réalisé en appliquant les principes suivants :

- le même contexte s'applique à l'ensemble des solutions de réhabilitation. L'établissement de ce contexte a fait l'objet du rapport IDDEA IC100193\_1 version C de juillet 2011. De fait, les données recueillies relèvent d'une expertise spécifique et ont été considérées comme neutre au regard de la solution retenue ;
- chaque solution de réhabilitation est jugée indépendamment à l'aide de la même grille d'évaluation ;
- l'ensemble des critères ou sous critères d'évaluation possède le même poids relatif. Cette évaluation n'a fait l'objet d'aucune volonté stratégique de surreprésenter l'un des critères ou sous critère en vue de privilégier les aspects environnementaux ou économiques par exemple.

### 3.7.4. Modalités de notation

Une importance toute particulière a été portée sur le choix des données et leur notation afin qu'elles reflètent aussi objectivement que possible la valeur environnementale, sociologique, réglementaire, technique et financière de chaque solution de réhabilitation. Pour chaque solution de réhabilitation, les critères et/ou sous critères développés dans la grille d'évaluation ont fait l'objet d'une approche purement descriptive sur la base des données à collecter au terme des différentes phases de l'étude, des éléments rassemblés dans le cadre de la rédaction du plan de gestion et de notre expérience acquise lors de la gestion de projets analogues.

Chaque description a fait l'objet d'une traduction chiffrée sur une base de notation sur 5 en fonction de la contrainte générée (contrainte très forte, forte, moyenne, faible et pas de contrainte). Une valeur forte (5) est attribuée à la donnée qui s'avère favorable au projet. A l'inverse une valeur faible (1) caractérise la donnée défavorable à celui-ci.

Pour chaque critère, une valeur moyenne a été calculée sur la base des notations données à chaque sous critère.

De plus, pour chaque solution de réhabilitation, une note globale a été calculée à partir de la somme des notations. Cette note globale est d'autant plus élevée que les contraintes environnementales, techniques, économiques, sociales et réglementaires sont faibles.

### *3.7.5. Modalités de hiérarchisation des solutions de réhabilitation*

La solution de réhabilitation retenue est celle présentant à la fois :

- **la plus faible contrainte globale → note globale la plus forte,**
- **le meilleur compromis entre les aspects techniques, environnementaux, économiques, réglementaires et sociaux → moyenne la plus forte pour chacun des critères évalués.**

La note globale pour chaque solution de réhabilitation est présentée sous la forme d'un tableau de synthèse. Pour juger de la solution conciliant au mieux l'ensemble des aspects retenus, les moyennes sont représentées sous la forme d'un graphique de type radar. La grille d'évaluation de chacune des solutions est présentée en Annexe 2. Cette visualisation permet de faire ressortir de manière très pédagogique les aspects qui pénalisent ou favorisent l'une ou l'autre des solutions.

### *3.7.6. Résultats de l'analyse multicritère*

Les résultats de l'analyse multicritère sont présentés sous la forme de diagramme dans la figure ci-dessous.



Figure 7 : Résultats de l'analyse multicritère

### 3.7.7. Conclusions de l'analyse multicritère

L'analyse multicritère réalisée montre que les solutions qui offrent le meilleur compromis et les plus faibles contraintes sont les solutions suivantes :

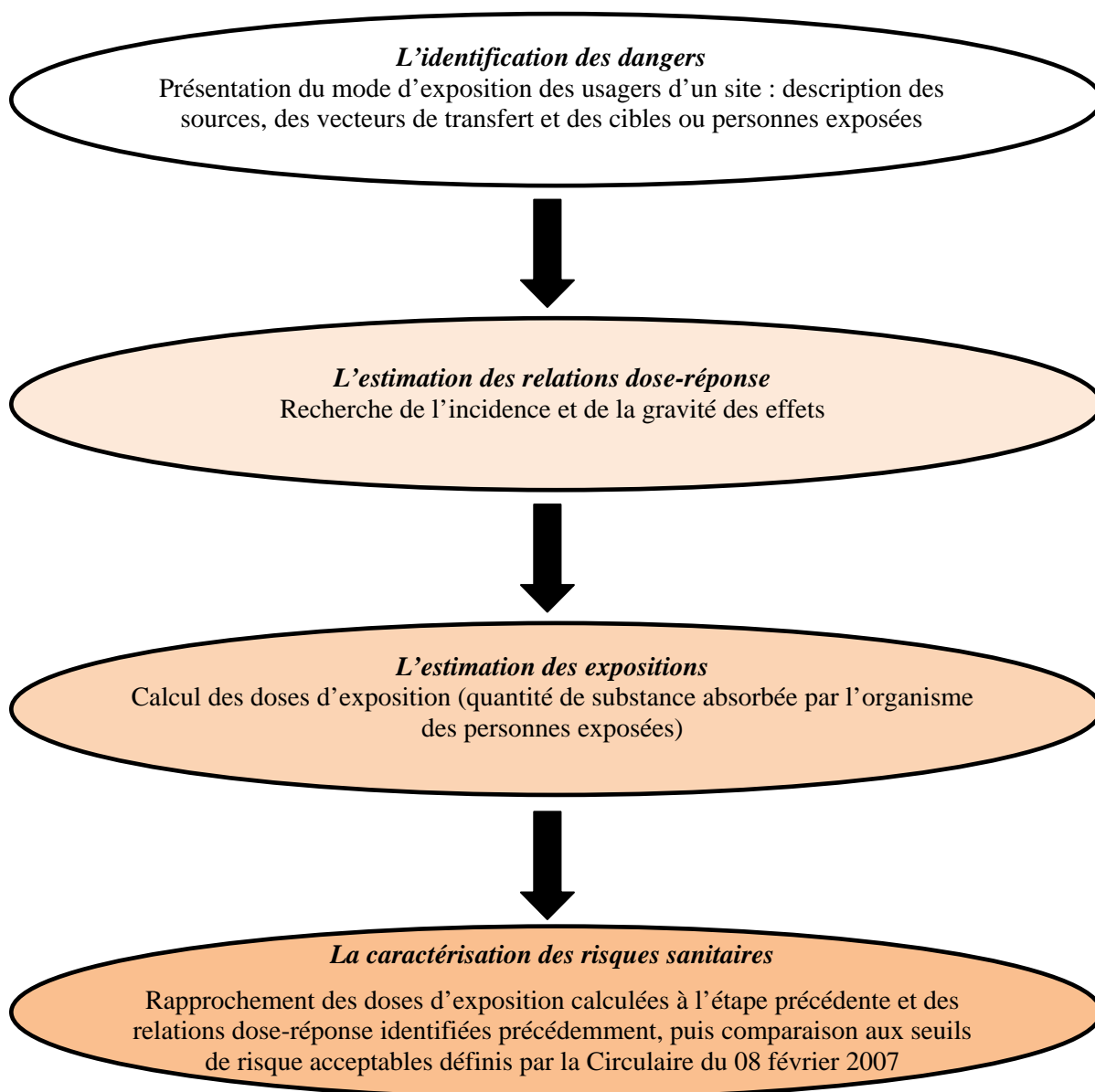
- ↳ Traitement in situ de la nappe en amont de la résurgence par microémulsion et biostimulation
- ↳ Pompage des boues et évacuation hors site en centre spécialisé

La solution d'excavation simple est pénalisée par les difficultés d'accès, la sensibilité du site (lieu d'observation de la flore et fréquenté par des enfants) et l'acceptabilité de la solution. De plus, cette solution peut être couplée à la solution de pompage et traitement de la nappe sur charbon actif (assèchement de la zone de résurgence), cependant, celle-là même est pénalisée par son coût et la nécessité de mettre en place des installations pendant toute la durée du traitement.

De plus, la solution de pompage et traitement de la nappe sur charbon actif est pénalisée par le bilan environnemental négatif (génération de déchets et consommation d'énergie) et les procédures administratives à mettre en place pour réaliser les rejets d'eau traitée.

#### **4. EVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES**

L'étude se compose conventionnellement de quatre étapes :



**Figure 8 : Les quatre étapes de la démarche d'Analyse des Risques Résiduels**

Les paragraphes ci-après détaillent ces différentes étapes et concluent par des recommandations relatives au traitement de la pollution du Parc de Châteauneuf-sur-Loire (dont le plan est rappelé en Annexe 1).

## 4.1. Préambule

### 4.1.1. *Concept « Source / Vecteur / Cible »*

L'exposition résiduelle de populations ne peut avoir lieu que lorsque sont présents simultanément une source, un vecteur et une cible. Ce cas est rencontré dans le parc public de Châteauneuf-sur-Loire. Le parc est en effet un espace accessible au public et fréquenté régulièrement par des adultes et des enfants.

### 4.1.2. *Distinction entre l'Analyse des Risques Résiduels (ARR) et l'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS)*

Lorsque les caractéristiques du plan de gestion ne permettent pas de supprimer tout contact possible entre les impacts constatés et les futurs usagers du site, alors les risques sanitaires potentiels liés aux expositions résiduelles doivent être évalués. Deux types de calculs sont alors définis par les circulaires du 08 février 2007 :

- ✦ L'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) : ce calcul est effectué en amont des travaux. S'il met en évidence une incompatibilité entre la qualité des milieux (sols, gaz des sols et/ou nappe) et l'usage futur, il permettra de définir les objectifs de réhabilitation, préconisations d'aménagement et/ou dispositions constructives à mettre en place. La présente étude se positionne dans ce cas de figure ;
- ✦ L'Analyse des Risques Résiduels : ce calcul intervient après les travaux de dépollution et se base sur les prélèvements et analyses de fin de travaux sur les milieux concernés.

#### Remarques :

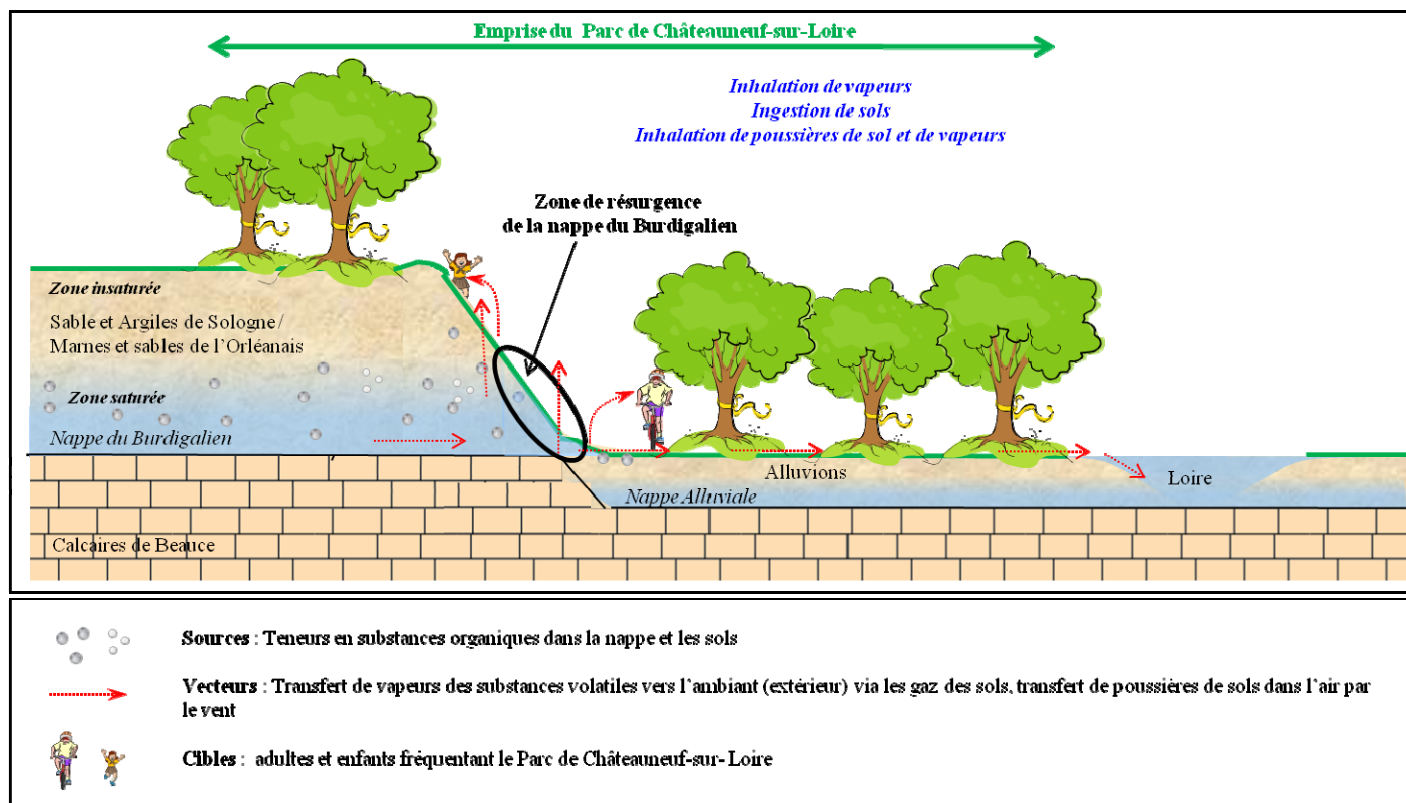
Si l'EQRS aboutit à des niveaux de risque acceptables, l'EQRS tient lieu et place d'ARR.

Si les analyses de fin de travaux correspondent à des niveaux de concentrations inférieurs aux objectifs de réhabilitation fixés par l'EQRS, la réalisation de l'ARR n'est pas nécessaire. Dans ce cas, l'EQRS qui présentait les objectifs de réhabilitation, préconisations d'aménagement et/ou dispositions constructives à mettre en place tient lieu et place d'ARR.

## 4.2. Identification des dangers

### 4.2.1. Schéma conceptuel d'exposition

En relation avec les substances détectées et l'utilisation future du site, la figure suivante schématise les voies d'exposition résiduelles étudiées ci-après (schéma conceptuel).



**Figure 9 : Schéma conceptuel d'exposition**

Le tableau page suivante présente les différentes voies d'exposition envisageables en regard des sources mises en évidence et la justification du choix final des voies d'exposition résiduelles au droit de chaque aménagement.

**Tableau 5 : Justification du choix des voies d'exposition résiduelles**

Source	Vecteur	Cibles	Voies d'exposition potentielle	Retenu / non retenu pour l'étude
Substances volatiles ou non volatiles contenues dans les sols et/ou la nappe	-	Usagers (adultes et enfants) fréquentant le parc de Châteauneuf-sur-Loire	Ingestion de sol	Retenu
	-		Contact cutané avec le sol	Non retenu (cf. remarque ci-dessous)
	-		Inhalation de poussières de sol	Retenu
	Air du sol puis air ambiant		Inhalation de vapeurs de substances volatiles contenues dans les sols et la nappe, au droit du parc	Retenu

*NB : Les sources considérées sont les sols et la nappe qui, lorsqu'ils contiennent des substances volatiles, « dégazent » dans les micro-pores du sol, vers l'air ambiant extérieur.*

Remarques :

- *Selon la Circulaire du 30/05/2006, la voie d'exposition par contact cutané n'est pas à étudier compte tenu de l'incertitude sur les valeurs toxicologiques de référence relatives à cette voie d'exposition.*
- *Etant donné que la zone d'aménagement est un parc public, la zone d'étude a été assimilée dans sa totalité à des espaces verts.*

Dans le cadre de l'étude, les voies d'exposition seront cumulées. Le cumul des voies d'expositions étudié cible les adultes et les enfants fréquentant régulièrement le parc.

**Tableau 6 : Voies d'expositions étudiées**

Zone fréquentée	Inhalation de vapeurs	Ingestion de sol	Inhalation de poussières de sol
Parc (Assimilé à des espaces verts)	X	X	X

#### 4.2.2. Caractérisation des sources et du milieu d'exposition des usagers

Les données d'entrée utilisées sont tirées :

- ✎ Du rapport A44884/A de janvier 2007, réalisé par ANTEA et intitulé « Pré-diagnostic du site et analyses de sols potentiellement pollués dans le parc de Châteauneuf-sur-Loire (Loiret) » ;
- ✎ Du rapport HPC-F 4A/2.11.4078 daté du 10 juin, réalisé par HPC Envirotec et intitulé « Diagnostic de l'état du sol - Site du Parc du Château sis route d'Orléans à Châteauneuf-sur-Loire (45) ».

Concernant les sols, les analyses réalisées au droit même du parc seront retenues pour caractériser cette source.

Pour les eaux souterraines, en l'absence de données au droit même du parc, les analyses réalisées en amont hydraulique du parc ont été considérées représentatives de la qualité des eaux de résurgence (la collecte de ces données devient délicate au droit du parc dans la mesure où les eaux souterraines deviennent affleurantes au niveau des résurgences. La mise en place de piézomètres n'est donc pas pertinente dans ce secteur). Cette hypothèse peut induire une surestimation des concentrations caractérisant la source nappe.

Le plan de localisation des investigations est présenté en Annexe 1. Une synthèse des résultats d'analyses de ces deux campagnes d'analyses de sols (novembre 2006 et avril 2011) est fournie en Annexe 4. Les résultats d'analyses de la nappe d'avril 2011 sont présentés en Annexe 5.

La méthode de sélection des substances et de leurs concentrations est présentée ci-après.

#### ✎ Principes de choix des concentrations

Lorsqu'une substance n'est détectée dans aucun des deux milieux simultanément (les sols et la nappe), celle-ci est considérée **absente**.

Toute concentration supérieure à la limite de quantification analytique est retenue.

Les **concentrations maximales** ont été utilisées pour caractériser chacun des milieux investigués, quelle que soit la profondeur de l'échantillonnage.

L'Annexe 6 présente les maxima des concentrations ainsi que celles retenues dans les calculs pour chacun des scénarios envisagés. Les valeurs en gras correspondent à celles utilisées dans les calculs de risque.

### **Prise en compte des limites de quantification**

Les principes de sélection des substances et des concentrations utilisées dans les calculs sont basés sur le document validé par l'INERIS « Diagnostics et Evaluations détaillées des Risques – Démarche proposée pour la prise en compte des limites de quantification dans les milieux sources ». Il s'agit donc de s'interroger sur la pertinence de retenir les limites de quantification (LQ) de certaines substances.

Le paragraphe suivant, qui décrit la méthodologie générale, est tiré de cette note :

« On distingue dans un premier temps :

- La zone « saturée », dont l'état environnemental sera caractérisé par les analyses pratiquées sur la nappe. Ce milieu sera par conséquent systématiquement retenu dans les calculs de risques,
- La zone « non saturée », qui sera prise en compte à partir de la caractérisation du milieu le plus « pertinent » (sol) pour la prise en compte éventuelle des limites de détection/quantification.

*Dans un second temps, pour la zone « non saturée », la gestion des limites de détection/quantification dans les différents milieux (vis-à-vis de la LD/LQ), vise à réduire l'incertitude liée aux limites de la caractérisation du site apportées par les limites de détection/quantification, et donc à réduire leur « poids » dans le calcul des niveaux de risques. Cette démarche générale peut se décliner comme suit :*

- ✓ *Le calcul, pour le milieu sol, des concentrations équivalentes dans l'air du sol à chaque limite de détection/quantification,*
- ✓ *La comparaison (pour chaque substance) de ces concentrations équivalentes dans les différents milieux caractérisant la zone non saturée,*
- ✓ *Le choix (pour chaque substance) des milieux qui doivent être investigués car jugés représentatifs,*
- ✓ *La possibilité d'abaisser certaines limites de détection/quantification<sup>1</sup>,*
- ✓ *La décision ou non de prendre en compte la limite de détection/quantification dans les calculs de risques à partir de chacun des milieux. »*

La grille suivante, provenant de ce document validé par l'INERIS, indique le mode de sélection des LQ.

---

<sup>1</sup> en agissant au niveau du prélèvement et/ou de l'analyse.

Données de départ – Concentrations mesurées dans les différents milieux			
<i>Valeurs à retenir en gras et italique, sauf remarque</i>			
<u>Nappe</u>	<u>Sol</u>	<u>Gaz du sol</u>	<u>Remarque pour le choix sol / gaz du sol</u>
<i>Valeur</i>	<i>Valeur</i>	<i>Valeur</i>	Retenir la plus élevée des deux valeurs en "concentrations équivalentes" <sup>2</sup> , ou mener le calcul de risque jusqu'au bout avec les deux valeurs.
<i>Valeur</i>	<i>Valeur</i>	< LD/LQ	
< LD/LQ	<i>Valeur</i>	< LD/LQ	
< LD/LQ	<i>Valeur</i>	<i>Valeur</i>	Retenir la plus élevée des deux valeurs en "concentrations équivalentes", ou mener le calcul de risque jusqu'au bout avec les deux valeurs.
< LD/LQ	< LD/LQ	<i>Valeur</i>	
<i>Valeur</i>	< LD/LQ	<i>Valeur</i>	
<i>Valeur</i>	< LD/LQ	< LD/LQ	Retenir celle des deux limites apportant, en "concentrations équivalentes", le plus de précision, donc la plus basse des deux limites.
< LD/LQ	< LD/LQ	< LD/LQ	

Ce principe de sélection des LQ est valide lorsque les données sur la nappe les gaz des sols et les sols correspondent à une même zone. Ici, les données relatives à la nappe proviennent de l'amont hydraulique du parc. Ainsi, pour rester le plus réaliste possible, il a été décidé de ne pas considérer les LQ des sols pour les calculs de risque pour les substances qui n'ont pas été retrouvées dans les sols de la résurgence, mais qui sont présents en nappe.

<sup>2</sup> en première approche. Un approfondissement de la question pourrait conduire à retenir la valeur la moins élevée en "concentration équivalente", moyennant une justification suffisante. Ainsi, le retour d'expérience fait souvent apparaître des teneurs dans l'air du sol au niveau de la source moins élevées qu'attendues par modélisation à partir des teneurs dans les sols. Cela peut résulter d'un sur-conservatisme de la modélisation du transfert entre le sol et l'air du sol dans le cas d'espèce. Si cela est bien documenté, **il est plus pertinent de retenir la teneur dans l'air du sol que la teneur dans le sol, pourtant plus élevée en "concentration équivalente"**.

#### 4.2.3. Bilan des incertitudes relatives à l'identification des dangers

Les concentrations choisies sont les plus élevées mesurées sur l'ensemble de la zone investiguée ou les limites de quantification analytique les plus importantes.

La qualité de la nappe au droit même du parc n'étant pas connue, les concentrations mesurées en amont hydraulique du parc, à proximité de la source supposée (ancienne station-service) ont été considérées présentes au droit du parc. Cette hypothèse peut être à l'origine d'une légère surestimation des concentrations.

Lorsque la nature aliphatique ou aromatique des hydrocarbures n'était pas connue, les deux hypothèses ont été testées et le choix le plus conservatoire, retenu dans le calcul final. L'Annexe 10 qui présente les calculs détaillés par substance et par scénario permet de retrouver le choix final effectué.

La qualité globale des terrains est extrapolée à partir des données ponctuelles recueillies sur chacun des sondages. Le maillage des investigations a été dimensionné en fonction de l'historique et des données disponibles sur le site. Toutefois, la présence d'une anomalie d'extension limitée et non identifiée par la/les campagne(s) réalisée(s) ne peut être exclue sur l'emprise du site.

### 4.3. Relations dose-réponse

#### 4.3.1. Présentation des effets à seuil et sans seuil

Pour les substances sélectionnées lors de l'identification des dangers, il s'agit ici de rechercher, dans la littérature scientifique, les données de toxicologie utiles à la quantification du risque, c'est-à-dire :

##### *Les données de toxicité caractérisant les effets dits « à seuil »*

Un effet à seuil est un effet qui survient au-delà d'une certaine dose administrée de produit. En deçà de cette dose, le risque est considéré comme nul. Ce sont principalement les effets non cancérogènes qui sont classés dans cette famille. Au-delà du seuil, l'intensité de l'effet croît avec l'augmentation de la dose administrée.

La terminologie des données toxicologiques caractérisant les effets à seuil varie suivant les sources consultées. Dans la présente étude, ces données seront appelées Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) à seuil ou encore RfC pour les données fournies en mg/m<sup>3</sup> et RfD pour celles fournies en milligramme de substance par kilogramme de poids corporel de la cible et par jour (mg/kg/j).

Cet effet est caractérisé par le calcul d'un Quotient de Danger (QD) par substance (lorsque la substance présente un effet à seuil), par milieu et par cible (adulte et enfant distinctement).

Pour une même substance présente dans plusieurs milieux (ici les sols et la nappe), seul le QD lié au milieu induisant le niveau de risque le plus important sera conservé dans le résultat final.

Pour chaque cible (adulte ou enfant), les QD des substances présentant le même effet critique sur la santé sont ensuite sommés. Cette somme est comparée au **seuil de risque acceptable de 1** défini dans la Circulaire du 8 février 2007.

#### ✎ *Les données de toxicité caractérisant les effets dits « sans seuil »*

Un effet sans seuil se définit comme un effet qui apparaît quelle que soit la dose absorbée par l'organisme. La probabilité de survenue croît avec la dose, mais l'intensité de l'effet n'en dépend pas. L'hypothèse classiquement retenue est qu'une seule molécule de la substance peut provoquer des changements dans une cellule et être à l'origine de l'effet observé. A l'origine, la notion d'absence de seuil était associée aux effets cancérogènes uniquement. Aujourd'hui, cette notion recouvre également des effets sur la reproduction (reprotoxicité) et les mutations génétiques (mutagénicité).

La terminologie des données toxicologiques caractérisant les effets sans seuil varie suivant les sources consultées. Dans la présente étude, ces données seront appelées Excès de Risque Unitaire (ERU).

Cet effet est caractérisé par le calcul d'un Excès de Risque Individuel (ERI) par substance (lorsque la substance présente un effet sans seuil), par milieu et par cible (adulte et enfant distinctement).

Pour une même substance présente dans plusieurs milieux (ici les sols et la nappe), seul l'ERI lié au milieu induisant le niveau de risque le plus important sera conservé dans le résultat final.

Pour chaque cible (adulte ou enfant), les ERI de l'ensemble des substances sont ensuite sommés, quel que soit l'effet critique observé sur la santé. L'ERI adulte et l'ERI enfant sont également sommés puisque la probabilité d'apparition de l'effet sans seuil s'exerce sur la vie entière. Cette somme est comparée au **seuil de risque acceptable de  $10^{-5}$**  défini dans la Circulaire du 8 février 2007. La valeur de  $10^{-5}$  correspond à l'apparition d'un cancer (ou autre effet sans seuil étudié) sur une population de 100 000 personnes.

#### 4.3.2. Méthode de choix des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)

La Circulaire du 8 février 2007 recommande de s'appuyer sur les préconisations de la Circulaire DGS du 30 mai 2006 pour choisir les VTR.

Cette dernière indique que « Par mesure de simplification, plutôt qu'un choix portant sur des éléments toxicologiques pointus, il est recommandé au pétitionnaire de sélectionner la VTR dans la première base dans laquelle elle est retrouvée en respectant la hiérarchisation suivante :

- pour les substances à effets à seuil successivement US EPA puis ATSDR puis OMS/IPCS puis Health Canada puis RIVM et en dernier lieu OEHHA ;
- pour les substances à effets sans seuil successivement US EPA puis OMS/IPCS puis RIVM puis OEHHA. »

De plus, le MEDDTL recommande de faire primer les choix de VTR effectués par l'INERIS, lorsqu'ils existent, avant de respecter la hiérarchisation de ces bases. Aussi, le document « Point sur les valeurs Toxicologiques de Référence – mars 2009 », INERIS a été retenu en premier lieu lorsque pertinent.

Les VTR ont donc été sélectionnées selon cette méthode. L'Annexe 7 présente les VTR disponibles auprès des différentes bases de données ainsi que les VTR sélectionnées.

L'étude de sensibilité présente un calcul effectué selon une méthode de sélection des VTR différente : le choix simplifié du document INERIS « Pratiques INERIS de choix des valeurs toxicologiques de référence dans les évaluations de risque sanitaire », de mars 2006. En effet, la méthode INERIS étant plus conservatoire que celle proposée par la circulaire du 30 mai 2006, un calcul effectué selon ces principes de sélection des VTR est un élément de mise en perspective des résultats.

Les principes appliqués successivement pour choisir les VTR selon la méthode de choix simplifié de l'INERIS sont les suivants :

- L'INERIS propose ou préconise une VTR : cette VTR est retenue,
- A défaut, pour la voie d'exposition étudiée (inhalation ou ingestion), la valeur la plus pénalisante, y compris les valeurs provisoires (drafts), parmi les bases de données suivantes est retenue : IRIS de l'EPA, ATSDR et OMS,
- A défaut, la valeur la plus pénalisante parmi les bases de données suivantes est retenue : RIVM, Health Canada et OEHHA,
- A défaut de valeur pour la voie d'exposition étudiée, une VTR pour une voie d'exposition autre que celle étudiée est recherchée suivant le cheminement ci-dessus (3 premières bases de données puis les 3 suivantes).

L'Annexe 7 présente les VTR disponibles auprès des différentes bases de données ainsi que les VTR sélectionnées selon la méthode de choix INERIS. Les substances concernées par une modification du choix des VTR sont :

- ↪ Pour les effets à seuil par inhalation : le benzène, le toluène et le trichloroéthylène (TCE) ;
- ↪ Pour les effets à seuil par ingestion : le benzène, l'éthylbenzène et le xylène.

#### 4.3.3. Bilan des incertitudes relatives aux relations dose-réponse

Les VTR à seuil sont établies sur la base de facteurs d'incertitude tels que :

- La variabilité inter-individuelle (individus plus ou moins sensibles au sein d'une population),
- L'extrapolation inter-espèces (marge de sécurité appliquée à des données toxicologiques fondée sur une espèce animale pour estimer les données relatives à l'espèce humaine,
- La durée ayant servi à l'élaboration de la donnée toxicologique,
- ...

Ainsi, les valeurs utilisées considèrent déjà une marge de sécurité par rapport à la dose réellement nocive pour la santé humaine pour les effets à seuil. De plus, les **populations sensibles** telles que les enfants, les personnes âgées ou malades sont incluses dans la présente étude.

## 4.4. Estimation des expositions

### 4.4.1. Paramètres d'entrée

Différents paramètres d'entrée sont nécessaires à l'estimation des concentrations en substances dans l'air ambiant :

- Paramètres liés aux aménagements,
- Paramètres liés au sol au travers desquels les vapeurs de substances remontent,
- Paramètres physico-chimiques des substances étudiées (Annexe 8),
- Paramètres d'exposition des populations.

Les tableaux suivants présentent ces données, en fonction de la voie d'exposition étudiée.

**Tableau 7 : Paramètres d'entrée pour l'inhalation de vapeurs et de poussières au droit du parc**

<i>Paramètres d'exposition</i>	Valeur	Unité	Source
Fréquence d'exposition extérieure – Adultes	1	h/jour	Hypothèse conservatoire
	365	j/an	
Fréquence d'exposition extérieure - Enfants	1	h/jour	Hypothèse conservatoire
	365	j/an	
Durée d'exposition / effets à seuil - Adultes	30	ans	Méthode de calcul des VCI, INERIS 2001 Usage sensible
Durée d'exposition / effets sans seuil - Adultes	70	ans	
Durée d'exposition / effets à seuil – Enfants	6	ans	Méthode de calcul des VCI, INERIS 2001 Usage sensible
Durée d'exposition / effets sans seuil - Enfants	70	ans	

<i>Paramètres liés aux aménagements</i>	Valeur	Unité	Source
Longueur de la zone polluée	100	m	Caractéristique du site - longueur de la zone de résurgence possible

<i>Paramètres liés au sol</i>	Valeur	Unité	Source
Teneur en air du sol	0,321	-	Correspond aux caractéristiques des sols en place de type sableux d'après les coupes des sondages HPC selon Johnson & Ettinger (hypothèse conservatoire). Selon les coupes lithologiques des sondages HPC, les sols sont de type sableux ou sablo-limoneux.
Teneur en eau du sol	0,054	-	
foc	0,002	-	Valeur par défaut du modèle Johnson & Ettinger

<i>Profondeurs des sources</i>	Valeur	Unité	Source
Profondeur de la source sol	0,1	m	Hypothèse conservatoire d'une source affleurante
Profondeur de la source nappe	0,1	m	Hypothèse conservatoire d'une source sub-affleurante – Cela correspond au niveau de nappe dans la zone de résurgence.

**Tableau 8 : Paramètres d'entrée pour l'ingestion de sols au droit du parc**

<i>Paramètres d'exposition</i>	Valeur	Unité	Source
Fréquence d'exposition – Adultes	365	j/an	Nombre de jours de passage sur le site (Hypothèse conservatoire)
Fréquence d'exposition – Enfants	365	j/an	Nombre de jours de passage sur le site (Hypothèse conservatoire)
Durée d'exposition / effets à seuil – Adultes	30	ans	Méthode de calcul des VCI, INERIS 2001 Usage sensible
Durée d'exposition / effets sans seuil – Adultes	70	ans	
Durée d'exposition / effets à seuil – Enfants	6	ans	Méthode de calcul des VCI, INERIS 2001 Usage sensible
Durée d'exposition / effets sans seuil - Enfants	70	ans	

#### 4.4.2. Modèles de transfert utilisés

Pour estimer les concentrations en substances dans l'air ambiant, des modèles de transfert, utilisant les paramètres présentés au paragraphe 4.4.1, sont mis en œuvre :

- ↪ Le modèle « Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites » a été utilisé pour simuler les concentrations en vapeurs dans l'air ambiant extérieur,
- ↪ La concentration mesurée dans les sols est directement utilisée pour caractériser les concentrations dans les sols ingérés,
- ↪ Les équations 48 et 49 du document de travail sur la « Méthode de calcul des VCI - Version 1 du groupe de travail sols pollués – santé publique », INERIS, basées sur le modèle HESP permettent de simuler les concentrations en poussières dans l'air extérieur.

L'Annexe 9 détaille les équations mathématiques utilisées.

#### 4.4.3. Calcul des concentrations inhalées à partir des concentrations simulées dans l'air ambiant

Il faut pondérer les concentrations estimées par modélisation dans l'air ambiant avec les fréquences et durées d'exposition des populations amenées à fréquenter les différents aménagements. La concentration ainsi pondérée est appelée « Concentration inhalée » (CI).

Le calcul est le suivant :

- ↪ Pour les scénarios d'inhalation de vapeurs et de poussières :

$$CI = C_i \times FE \times T/T_m$$

Avec :

- CI Concentration moyenne inhalée (mg/m<sup>3</sup>)
- C<sub>i</sub> Concentration de substance dans l'air inhalé pendant la durée d'exposition c'est-à-dire la concentration obtenue par modélisation (mg/m<sup>3</sup>)
- FE Fréquence d'exposition, soit le nombre annuel de jours d'exposition (jours/an)
- T Durée d'exposition (années)
- T<sub>m</sub> Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

✚ *Pour l'ingestion de sols :*

Les concentrations mesurées dans les sols doivent être pondérées par les fréquences et durées d'exposition des populations. La concentration ainsi pondérée est appelée « Dose Journalière d'Exposition » (DJE). Le calcul est le suivant :

$$\text{DJE} = (\text{Ci} \times \text{Qi} \times \text{FE} \times \text{T}) / (\text{P} \times \text{Tm})$$

Avec :

DJE	Dose Journalière d'Exposition (mg/kg de poids corporel/jour)
Ci	Concentration de substance mesurée dans le sol (mg/kg/jour)
Qi	Quantité de sol ingérée journalièrement (kg/jour)
FE	Fréquence d'exposition, soit le nombre annuel de jours d'exposition (jours/an)
T	Durée d'exposition (années)
P	Poids corporel de la cible (kg)
T <sub>m</sub>	Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

L'Annexe 10 présente les calculs des CI et DJE pour chaque substance, chaque milieu source et chaque type d'effet.

#### 4.4.4. Bilan des incertitudes relatives à l'estimation des expositions

Cette étape d'évaluation des expositions est dépendante de nombreux paramètres entachés eux-mêmes d'une incertitude difficile à quantifier :

- prélèvements et échantillonnage,
- analyses,
- paramètres relatifs au type de sol traversé par les vapeurs,
- pression atmosphérique et météorologie le jour des prélèvements de sol et de gaz,
- saison de prélèvement...

Le retour d'expérience sur les modèles de transfert est variable et ne permet pas d'affirmer que les concentrations modélisées surestiment les concentrations d'exposition. Toutefois, la méthodologie indique que lorsqu'une même substance est présente dans plusieurs milieux (ici sols et nappe), les calculs doivent être menés pour ces différents milieux et seul le milieu fournissant les concentrations les plus importantes dans l'air ambiant doit être retenu pour l'appréciation finale du risque.

En ce qui concerne la longueur de zone polluée (longueur de résurgence considérée : 100 m), elle correspond à la longueur de dégazage pour les concentrations retenues, c'est-à-dire les concentrations maximales en nappe et dans les sols. Or, en réalité, les maxima sont observés ponctuellement et des concentrations moindres peuvent être mesurées à proximité. L'hypothèse d'une source continue de 100 m caractérisée, dans les sols et en nappe, par les maxima mesurés, est donc une hypothèse conservatoire, étant donné que visuellement sur le site cette zone de résurgence pourrait n'être que d'une vingtaine de mètres.

Quant aux autres paramètres d'entrée du modèle, ils sont globalement conservatoires et tendent à correspondre à une surestimation des niveaux de risque.

## 4.5. Caractérisation des risques sanitaires

### 4.5.1. Mode de calcul

A partir du calcul des concentrations inhalées, réalisé à l'étape précédente, il s'agit ici de rapprocher ces CI des données toxicologiques recueillies à l'étape des relations dose-réponse (paragraphe 4.3) par le calcul :

- ↳ du quotient de danger adulte et enfant (QD adulte et QD enfant),
- ↳ de l'excès de risque individuel adulte + enfant (ERI adulte + enfant).

Le QD se calcule de la façon suivante :

$$\mathbf{QD = CI / RfC \text{ ou } QD = DJE / RfD}$$

Avec :

QD	Quotient de Danger (sans unité)
CI	Concentration moyenne inhalée (mg/m <sup>3</sup> )
DJE	Doses Journalières d'Exposition (mg/kg/jour)
RfC	Valeur Toxicologique de Référence pour les effets à seuil par inhalation (mg/m <sup>3</sup> )
RfD	Valeur Toxicologique de Référence pour les effets à seuil par ingestion (mg/kg/jour)

L'excès de risque individuel se calcule de la façon suivante :

$$\mathbf{ERI = CI \text{ ou } DJE \times ERU}$$

Avec :

ERI	Excès de Risque Individuel (sans unité)
CI	Concentration moyenne inhalée (mg/m <sup>3</sup> )
DJE	Doses Journalières d'Exposition (mg/kg/jour)
ERU	Valeur Toxicologique de Référence pour les effets sans seuil par inhalation ((mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> ) ou par ingestion ((mg/kg/jour) <sup>-1</sup> )



#### 4.5.2. Résultats

Le tableau ci-après présente les QD adulte et enfant et ERI adulte + enfant, calculés pour une exposition par inhalation de vapeurs, d'inhalation de poussières de sol et d'ingestion de sols au niveau du parc à partir des données sur la nappe et les sols. La figure suivante représente graphiquement les QD sommés par organe cible.

L'Annexe 10 présente les calculs de risque détaillés par substance et par type d'aménagement, l'Annexe 11 la somme des Quotients de Danger (QD) par organe cible et l'Annexe 12 les calculs de risque cumulés.



**Tableau 9 : Résultats des calculs de risque et comparaison aux valeurs de référence**

Paramètres calculés	Organes cibles	Inhalation de substances volatiles		Ingestion de sol		Inhalation de poussières de sols		Cumul des voies d'exposition	
		QD adulte	QD enfant	QD adulte	QD enfant	QD adulte	QD enfant	QD adulte	QD enfant
Quotients de danger	Coordination motrice	8,2E-02	1,2E-01	NC	NC	NC	NC	8,2E-02	1,2E-01
	Développement	8,2E-04	1,2E-03	NC	NC	NC	NC	8,2E-04	1,2E-03
	Foie	5,8E-01	8,7E-01	1,4E-05	2,0E-04	2,9E-09	2,9E-09	5,8E-01	8,7E-01
	Glandes surrénales	3,8E-04	5,7E-04	NC	NC	NC	NC	3,8E-04	5,7E-04
	Organe cible indéterminé ou multiple	1,3E-04	2,0E-04	NC	NC	NC	NC	1,3E-04	2,0E-04
	Poids (variations)	1,9E-01	2,9E-01	1,8E-02	2,6E-01	1,5E-06	1,5E-06	2,1E-01	5,4E-01
	Reins	3,8E-04	5,7E-04	NC	NC	NC	NC	3,8E-04	5,7E-04
	Sang	5,8E-01	8,7E-01	1,4E-05	2,0E-04	2,9E-09	2,9E-09	5,8E-01	8,7E-01
	Système immunitaire	3,3E-02	5,0E-02	NC	NC	NC	NC	3,3E-02	5,0E-02
	Système nerveux	1,4E-02	2,0E-02	7,1E-07	1,0E-05	1,6E-10	1,6E-10	1,4E-02	2,0E-02
	<b>Valeur de référence</b>	<b>1,0E+00</b>	<b>1,0E+00</b>	<b>1,0E+00</b>	<b>1,0E+00</b>	<b>1,0E+00</b>	<b>1,0E+00</b>	<b>1,0E+00</b>	<b>1,0E+00</b>
ERI (effets sans seuil)	ERI adulte + enfant	5,7E-06		NC		NC		5,7E-06	
	<b>Valeur de référence</b>	<b>1,0E-05</b>		<b>1,0E-05</b>		<b>1,0E-05</b>		<b>1,0E-05</b>	

NC : Non Concerné

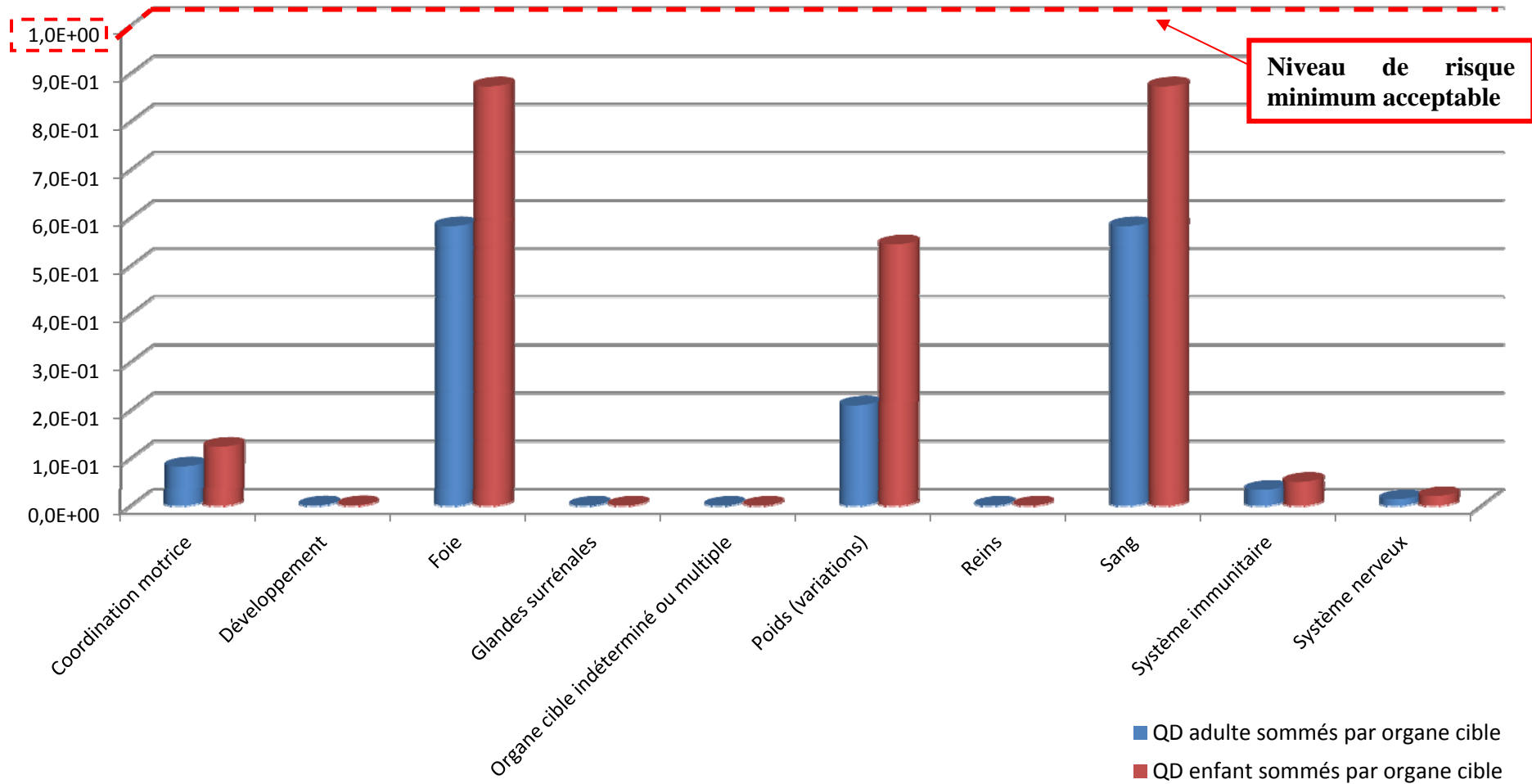


Figure 10 : Représentation graphique des QD sommés par organe cible, pour le cumul des 3 voies d'exposition

**Au regard des valeurs de référence fixées par la Circulaire du 08 février 2007, les niveaux de risque calculés en scénarios individuels ainsi qu'en cumul indiquent que la qualité du sous-sol est compatible avec l'aménagement en parc public de la zone d'étude.**

La voie d'exposition prédominante est l'inhalation de vapeurs au niveau du parc.

Les hydrocarbures mesurés dans la nappe, assimilés aux aliphatiques, et principalement la coupe des C>8-C10 avec un maxima mesuré de 4,8 mg/l au droit du piézomètre PZ3, sont responsables des niveaux de risque les plus importants en termes d'effets à seuil. Les organes cibles impliqués sont le foie et le sang.

Remarque :

*La saturation des gaz des sols pour les coupes d'aliphatiques en C>8-C10 est atteinte à partir d'une concentration en nappe égale à la solubilité de cette famille de composés, soit 0,43 mg/L. Le fait de mesurer une concentration de 4,8 mg/L dans les eaux souterraines, en phase dissoute, tend à indiquer une présence majoritaire de composés aromatiques et non pas aliphatiques. Toutefois, les calculs restent conservatoires avec les hypothèses retenues et les conclusions restent donc inchangées. Des analyses TPH permettraient de préciser la nature aliphatique ou aromatique des composés en présence.*

En ce qui concerne les effets sans seuil, le benzène mesuré dans la nappe est responsable de l'essentiel de l'ERI adulte + enfant calculé (jusqu'à 76 % de l'ERI total pour l'inhalation au niveau des espaces verts).

**Notons que les conclusions présentées ci-avant restent valables pour les hypothèses d'entrée considérées.**

#### **4.6. Mesures de gestion proposées**

Bien que les niveaux de risque acceptables soient respectés, au vu de l'usage sensible (parc public), la mise en place de mesures de gestion, au droit même de la source de pollution, est préconisée afin de supprimer les résurgences d'hydrocarbures et éviter la dégradation de la qualité des sols et des eaux souterraines.

A défaut de pouvoir agir sur la source de pollution, située a priori à l'extérieur des limites du parc et sur laquelle le département du Loiret ne peut donc agir, il s'agirait de mettre en place des mesures de gestion permettant de limiter les résurgences d'hydrocarbures (cf. § précédents, relatifs à l'évaluation des mesures de gestion) et de limiter l'accès de cette zone aux populations dans l'attente de la mise en œuvre de ces mesures.

## 4.7. Etude de sensibilité et incertitudes

### 4.7.1. Choix des valeurs toxicologiques de référence

L'étude de sensibilité a été menée pour toutes les voies d'exposition.

Les substances concernées par une modification du choix de VTR, si l'on applique les règles de sélection du choix simplifié de l'INERIS, sont :

- ↳ Pour les effets à seuil par inhalation : le benzène, le toluène et le trichloroéthylène (TCE).
- ↳ Pour les effets à seuil par ingestion : le benzène, l'éthylbenzène et le xylène.

Pour chacune de ces substances, les organes cibles impliqués ne sont pas les mêmes selon la méthode de sélection des VTR.

Le tableau suivant présente les résultats des calculs de risque, pour une sélection des VTR selon le choix simplifié de l'INERIS. L'ERI ne faisant l'objet d'aucune modification, il ne figure pas dans le tableau suivant.

**Tableau 10 : Influence de la prise en compte des VTR sélectionnées selon le choix simplifié de l'INERIS sur le calcul des QD sommés par organe cible**

Paramètres calculés	Organes cibles	Cumul des voies d'exposition - VTR Circulaire		Cumul des voies d'exposition - VTR INERIS	
		QD adulte	QD enfant	QD adulte	QD enfant
Quotients de danger (QD)	Coordination motrice	8,2E-02	1,2E-01	8,2E-02	1,2E-01
	Développement	8,2E-04	1,2E-03	8,2E-04	1,2E-03
	Foie	5,8E-01	8,7E-01	5,8E-01	8,7E-01
	Glandes surrénales	3,8E-04	5,7E-04	3,8E-04	5,7E-04
	Organe cible indéterminé ou multiple	1,3E-04	2,0E-04	-	-
	Poids (variations)	1,9E-01	2,9E-01	2,1E-01	5,4E-01
	Reins	3,8E-04	5,7E-04	7,9E-04	1,2E-03
	Sang	5,8E-01	8,7E-01	5,8E-01	8,7E-01
	Système immunitaire	3,3E-02	5,0E-02	1,0E-01	1,6E-01
	Système nerveux	1,4E-02	2,0E-02	1,1E-02	1,7E-02
	Yeux	-	-	4,2E-02	6,4E-02
	<i>Valeur de référence</i>	<i>1,0E+00</i>	<i>1,0E+00</i>	<i>1,0E+00</i>	<i>1,0E+00</i>

Les organes cibles les plus impactés restent le foie et le sang, mais aucune augmentation des QD adultes et enfant n'est constatée. Un nouvel organe cible apparaît avec cette méthode de sélection des VTR (les yeux) et un autre disparaît (organe cible indéterminé ou multiple). Les conclusions de l'étude restent inchangées que l'on considère une sélection des VTR selon les prescriptions de la Circulaire du 30/05/2006 ou de l'INERIS (choix simplifié).

#### 4.7.2. Choix des paramètres de perméabilité des sols aux remontées de vapeur

Les paramètres caractérisant la perméabilité des sols aux vapeurs (teneurs volumiques en air et en eau) ont été choisis en relation avec les observations sur le terrain (sol de type sableux ou sablo limoneux) et les données bibliographiques. Pour le calcul de risque, le type de sol le plus conservatoire a été retenu : les caractéristiques d'un sol sableux. Les niveaux de risque calculés sont donc probablement légèrement surestimés.

Les calculs ont été réalisés ci-après avec les caractéristiques d'un sable limoneux afin d'étudier l'influence du choix du type de sol sur les résultats des calculs de risque.

Le tableau suivant présente les niveaux de risque sanitaire pour la voie d'exposition d'inhalation de vapeur. Les calculs de risque sont en effet inchangés pour les deux autres scénarios : inhalation de poussières de sol et ingestion de sols au niveau des espaces verts, en modifiant les paramètres du type de sol.

**Tableau 11 : Etude de sensibilité sur le choix du type du sol - Exposition par inhalation de vapeurs**

Type de sol	Sable	Sable limoneux
Teneur en air	0,321	0,314
Teneur en eau	0,054	0,076
QD max adulte	5,8E-01 (foie et sang)	5,0E-01 (foie et sang)
QD max enfant	8,7E-01 (foie et sang)	7,5E-01 (foie et sang)
Valeur de référence	<b>1</b>	<b>1</b>
ERI (enfant + adulte)	<b>5,7E-06</b>	<b>4,9E-06</b>
Valeur de référence	<b>1.0E-05</b>	<b>1.0E-05</b>

Ainsi, les calculs de risque indiquent que les caractéristiques d'un sable limoneux (hypothèse moins conservatoire qu'un sol sableux) diminuent la perméabilité des sols aux vapeurs et donc les niveaux de risques (effets à seuil et sans seuil) liés à l'inhalation de vapeurs au droit des espaces verts. Le cas considéré (terrains sableux) est bien le plus conservatoire.

#### 4.7.3. Choix des fréquences d'exposition

Pour les calculs de risque, le choix des fréquences d'exposition est basé sur une hypothèse très conservatoire : il considère en effet une exposition annuelle des enfants et des adultes à raison de 1 heure par jour durant 6 ans pour les enfants et 30 ans pour les adultes. D'autant plus que l'étude sanitaire caractérise en particulier l'exposition au niveau de la zone de résurgence du parc, alors que toute l'emprise du parc n'est pas concernée.

Le tableau suivant présente les résultats du cumul des trois voies d'exposition, dans le cas où la fréquence journalière d'exposition ait augmenté ou diminué.

**Tableau 12 : Etude de sensibilité sur les fréquences d'exposition au niveau du parc**

Fréquence d'exposition	1h par jour 365 jours par an	2h par jour 365 jours par an	30 min par jour 365 jours par an
<b>QD max adulte</b> (organe cible)	5,8E-01 (foie et sang)	1,2 (foie et sang)	2,9E-01 (foie et sang)
<b>QD max enfant</b> (organe cible)	8,7E-01 (foie et sang)	1,7 (foie et sang)	4,4E-01 (foie et sang)
<b>Valeur de référence</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>ERI (enfant + adulte)</b>	<b>5,7E-06</b>	<b>1,1E-05</b>	<b>2,8E-06</b>
<b>Valeur de référence</b>	<b>1.0E-05</b>	<b>1.0E-05</b>	<b>1.0E-05</b>

Toute variation dans les fréquences d'exposition induit une variation linéaire des résultats des calculs de risque.

Ainsi, avec une exposition journalière de 2 h, le niveau de risque acceptable est dépassé pour les effets à seuil et sans seuil. Toutefois au vu de l'usage (parc public) et de la zone visée par les calculs de risque (principalement la zone de résurgence où les teneurs en substances organiques ont été mesurées), cette fréquence d'exposition est particulièrement élevée. Cela induirait en effet une exposition, en continu, à proximité de la zone de résurgence. Cette zone de résurgence est la zone principalement impactée par la pollution et elle n'est pas représentative de l'ensemble du parc.

Avec une exposition journalière de 30 min, les niveaux de risque sont diminués.

#### **4.8. Conclusions liées à l'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS)**

D'après les résultats des analyses réalisées sur la nappe et les sols, des calculs de risque sanitaire ont été effectués pour vérifier la compatibilité sanitaire de la zone de résurgence, zone impactée par des hydrocarbures, à une exposition des usagers fréquentant le parc public. Pour les calculs, des hypothèses globalement conservatoires ont été utilisées : une fréquence d'exposition journalière de 1 h toute l'année aux teneurs maximales mesurées dans les sols et la nappe en amont hydraulique du parc.

**En considérant les teneurs mesurées dans les sols au niveau de la zone de résurgence et la nappe en amont hydraulique du parc, au regard de la circulaire du 08/02/2007 fixant les niveaux de risque sanitaire dits « acceptables », la qualité du sous-sol est compatible avec l'usage du site (parc public).**

Bien que les niveaux de risque acceptables soient respectés, au vu de l'usage sensible (parc public), la mise en place de mesures de gestion, au droit même de la source de pollution, en amont hydraulique du parc, est préconisée afin de supprimer les résurgences d'hydrocarbures et éviter la dégradation de la qualité des sols et des eaux souterraines au droit du parc.

A défaut de pouvoir agir sur la source de pollution, située, a priori, à l'extérieur des limites du parc et sur laquelle le Département du Loiret ne peut donc agir, il s'agirait de mettre en place des mesures de gestion permettant de limiter les résurgences d'hydrocarbures (cf. § précédents, relatifs à l'évaluation des mesures de gestion) et de limiter l'accès de cette zone aux populations dans l'attente de ces mesures.

Toute modification des aménagements et des données d'entrée utilisées nécessiterait une reprise des calculs présentés ici.

Les remarques et préconisations suivantes sont à prendre en compte :

- ↪ L'utilisation de l'eau souterraine (ingestion d'eau, arrosage d'un potager) n'a pas été prise en compte dans cette étude. Si ces usages étaient à prendre en compte, une reprise des calculs serait également à effectuer ;
- ↪ Dans le cas de la réhabilitation au niveau des zones impactées par la pollution, les personnes amenées à travailler sur le chantier devront veiller à porter les équipements de protection individuelle adaptés aux substances détectées dans le sous-sol ;
- ↪ Une conservation de la mémoire du site doit être effectuée ;
- ↪ Surveillance de la qualité des eaux souterraines à partir des ouvrages existants en amont hydraulique du parc.

## 5. SYNTHESE ET CONCLUSIONS DE L'ETUDE

Sur la base du constat d'impact par des hydrocarbures mis en évidence en 2011 lors de la réalisation des investigations des milieux sols, eaux souterraines et sédiments au droit et à proximité du Parc de Châteauneuf-sur-Loire, IDDEA a été missionnée par le Conseil Général du Loiret pour réaliser un plan de gestion de cette pollution et une EQRS.

**Dans ce cadre, différentes solutions de gestion ont été étudiées. Ces solutions visent à maîtriser les risques sanitaires et les impacts olfactifs et visuels au droit de la zone de résurgence. Cependant, les mesures de gestion proposées ne seront efficaces et durables que dans la mesure où des moyens de maîtrise de la source de pollution de la nappe du Burdigalien seront mises en œuvre en amont du site à l'étude.**

**En termes de risques sanitaires, en considérant les teneurs mesurées dans les sols au niveau de la zone de résurgence et la nappe en amont hydraulique du parc, au regard de la circulaire du 08/02/2007 fixant les niveaux de risque sanitaire dits « acceptables », la qualité du sous-sol est compatible avec l'usage du site (parc public).**

**L'analyse multicritère réalisée montre que les solutions qui offrent le meilleur compromis technique, économique et environnemental, et les plus faibles contraintes sont les solutions suivantes :**

- ↳ **Traitement in situ de la nappe en amont de la résurgence par microémulsion et biostimulation**
- ↳ **Pompage des boues et évacuation hors site en centre spécialisé**

Dans tous les cas, il sera élaboré un rapport de fin de travaux (dossier de récolement) qui reprendra l'ensemble des opérations effectuées et présentera les différents justificatifs des opérations réalisées (BSD, résultats d'analyses de contrôle de la qualité des sols résiduels et de la nappe du Burdigalien, etc.).

Ce document sera envoyé à la DREAL – UT du Loiret pour examen. D'un point de vue économique, les estimations financières associées s'élèvent à :

**Tableau 13 : Synthèse des estimations économiques des solutions de gestion étudiées**

Désignation de la solution de gestion étudiée	Estimation économique (k€H.T) – Juillet 2011
Excavation et élimination vers une filière spécialisée	44,5
Pompage des boues et élimination vers une filière spécialisée	32,0
Traitement in situ de la nappe par microémulsion et biostimulation	48,5
Pompage (-écrémage) et traitement de la nappe sur charbon actif	55,0



### **Restriction d'usage du rapport**

Ces informations sont soumises à l'exhaustivité et la fiabilité des documents disponibles et consultables, l'existence d'une information « cachée » ou « erronée » est toujours possible. L'exhaustivité et la véracité absolue ne peuvent donc être garanties.

Tous les éléments de ce rapport (cartes, photos, pièces et documents divers,...) constituent une seule et même entité indissociable. La responsabilité d'IDDEA ne saurait être engagée par une utilisation, une communication ou une reproduction partielle de ce rapport et annexes sans l'accord préalable d'IDDEA.

Nous restons à la disposition du client pour lui fournir tout renseignement complémentaire qu'il pourrait juger utile concernant les résultats et les conclusions de notre étude.

**ANNEXE 1 : DOCUMENTS DE SYNTHÈSE DES INVESTIGATIONS**

**ANNEXE 2 : ANALYSES MULTICRITERES**

Notation	1	2	3	4	5
	Contrainte très forte	Contrainte forte	Contrainte moyenne	Contrainte faible	Pas de contrainte
Critères et sous critères					

Paramètres de mise en œuvre	accessibilité et approvisionnement du site		↔					
	compatibilité avec les activités actuelles au droit du site		↔					
	confidentialité des activités						↔	
	moyens mobilisables sur site		↔					
	technicité du projet	extension géographique de la pollution (pollution concentrée ou diffuse)			↔			
		volume d'eau polluée			↔			
		volume de gaz pollué						↔
		volume de matériau pollué			↔			
		complexité du tri sain/pollué				↔		
		distance site/filière de gestion				↔		
complexité de la solution			↔					
complexité de mise en place d'un réseau de surveillance					↔			
contrainte de surveillance (sécurité et environnement)			↔					

Nuisances à maîtriser (pour la faune/flore/riverains)	visuelle		↔				
	sonore		↔				
	olfactive				↔		
	sanitaire						↔
	trafic			↔			

Bilan environnemental	consommation énergétique globale				↔		
	bilan émission gaz à effet de serre				↔		
	gain de place en centre d'enfouissement technique				↔		
	valorisation de matière et énergie				↔		
	déchets générés					↔	
importance du risque résiduel					↔		

Coût	coût d'investissement		↔				
	% de sous traitance pour le maître d'ouvrage			↔			
	coût de surveillance et de fonctionnement				↔		
	coût des servitudes	d'exploitation du site (dans la période de traitement)					↔
d'usage du site (dans la cadre d'une reconversion)						↔	

Délais	durée de réhabilitation	délais administratifs et de consultation			↔		
		durée de réalisation et de repli			↔		
		durée de traitement et de servitude			↔		
	durée de surveillance résiduelle					↔	

Acceptation sociale et communication		↔				
--------------------------------------	--	---	--	--	--	--

Contraintes réglementaires et juridiques			↔			
Somme de l'analyse multicritère						97

Solution de réhabilitation évaluée

Pompage des boues et élimination vers une filière spécialisée

Notation	1	2	3	4	5
	Contrainte très forte	Contrainte forte	Contrainte moyenne	Contrainte faible	Pas de contrainte
Critères et sous critères					

Paramètres de mise en œuvre	accessibilité et approvisionnement du site				↔			
	compatibilité avec les activités actuelles au droit du site					↔		
	confidentialité des activités						↔	
	moyens mobilisables sur site					↔		
	technicité du projet	extension géographique de la pollution (pollution concentrée ou diffuse)				↔		
		volume d'eau polluée				↔		
		volume de gaz pollué						↔
		volume de matériau pollué				↔		
		complexité du tri sain/pollué			↔			
		distance site/filière de gestion				↔		
complexité de la solution					↔			
complexité de mise en place d'un réseau de surveillance					↔			
contrainte de surveillance (sécurité et environnement)					↔			

Nuisances à maîtriser (pour la faune/flore/riverains)	visuelle					↔	
	sonore					↔	
	olfactive					↔	
	sanitaire						↔
	trafic					↔	

Bilan environnemental	consommation énergétique globale					↔	
	bilan émission gaz à effet de serre					↔	
	gain de place en centre d'enfouissement technique				↔		
	valorisation de matière et énergie				↔		
	déchets générés					↔	
importance du risque résiduel					↔		

Coût	coût d'investissement				↔		
	% de sous traitance pour le maître d'ouvrage			↔			
	coût de surveillance et de fonctionnement				↔		
	coût des servitudes	d'exploitation du site (dans la période de traitement)					↔
		d'usage du site (dans la cadre d'une reconversion)					↔

Délais	durée de réhabilitation	délais administratifs et de consultation				↔	
		durée de réalisation et de repli				↔	
		durée de traitement et de servitude				↔	
	durée de surveillance résiduelle					↔	

Acceptation sociale et communication			↔		
--------------------------------------	--	--	---	--	--

Contraintes réglementaires et juridiques				↔	
				Somme de l'analyse multicritère	119

Solution de réhabilitation évaluée

Traitement in situ de la nappe par microémulsion et biostimulation

Notation	1	2	3	4	5
	Contrainte très forte	Contrainte forte	Contrainte moyenne	Contrainte faible	Pas de contrainte
Critères et sous critères					

Paramètres de mise en œuvre	accessibilité et approvisionnement du site					↔		
	compatibilité avec les activités actuelles au droit du site					↔		
	confidentialité des activités						↔	
	moyens mobilisables sur site					↔		
	technicité du projet	extension géographique de la pollution (pollution concentrée ou diffuse)				↔		
		volume d'eau polluée				↔		
		volume de gaz pollué						↔
		volume de matériau pollué				↔		
		complexité du tri sain/pollué						↔
		distance site/filière de gestion						↔
complexité de la solution					↔			
complexité de mise en place d'un réseau de surveillance					↔			
contrainte de surveillance (sécurité et environnement)				↔				

Nuisances à maîtriser (pour la faune/flore/riverains)	visuelle					↔	
	sonore					↔	
	olfactive					↔	
	sanitaire						↔
	trafic					↔	

Bilan environnemental	consommation énergétique globale					↔	
	bilan émission gaz à effet de serre					↔	
	gain de place en centre d'enfouissement technique						↔
	valorisation de matière et énergie					↔	
	déchets générés					↔	
importance du risque résiduel				↔			

Coût	coût d'investissement			↔			
	% de sous traitance pour le maître d'ouvrage			↔			
	coût de surveillance et de fonctionnement				↔		
	coût des servitudes	d'exploitation du site (dans la période de traitement)					↔
		d'usage du site (dans la cadre d'une reconversion)					↔

Délais	durée de réhabilitation	délais administratifs et de consultation				↔	
		durée de réalisation et de repli				↔	
		durée de traitement et de servitude				↔	
	durée de surveillance résiduelle				↔		

Acceptation sociale et communication				↔	
--------------------------------------	--	--	--	---	--

Contraintes réglementaires et juridiques				↔	
				Somme de l'analyse multicritère	126

Solution de réhabilitation évaluée

Pompage (-écrémage) et traitement de la nappe sur charbon actif

Notation	1	2	3	4	5
	Contrainte très forte	Contrainte forte	Contrainte moyenne	Contrainte faible	Pas de contrainte
Critères et sous critères					

Paramètres de mise en œuvre	accessibilité et approvisionnement du site			↔			
	compatibilité avec les activités actuelles au droit du site			↔			
	confidentialité des activités					↔	
	moyens mobilisables sur site			↔			
	technicité du projet	extension géographique de la pollution (pollution concentrée ou diffuse)			↔		
		volume d'eau polluée			↔		
		volume de gaz pollué					↔
		volume de matériau pollué			↔		
		complexité du tri sain/pollué					↔
		distance site/filière de gestion					↔
complexité de la solution				↔			
complexité de mise en place d'un réseau de surveillance				↔			
contrainte de surveillance (sécurité et environnement)			↔				

Nuisances à maîtriser (pour la faune/flore/riverains)	visuelle			↔		
	sonore				↔	
	olfactive				↔	
	sanitaire					↔
	trafic				↔	

Bilan environnemental	consommation énergétique globale			↔		
	bilan émission gaz à effet de serre			↔		
	gain de place en centre d'enfouissement technique					↔
	valorisation de matière et énergie				↔	
	déchets générés			↔		
importance du risque résiduel			↔			

Coût	coût d'investissement			↔		
	% de sous traitance pour le maître d'ouvrage			↔		
	coût de surveillance et de fonctionnement			↔		
	coût des servitudes	d'exploitation du site (dans la période de traitement)				↔
		d'usage du site (dans la cadre d'une reconversion)				↔

Délais	durée de réhabilitation	délais administratifs et de consultation			↔	
		durée de réalisation et de repli			↔	
		durée de traitement et de servitude			↔	
	durée de surveillance résiduelle				↔	

Acceptation sociale et communication				↔	
--------------------------------------	--	--	--	---	--

Contraintes réglementaires et juridiques			↔		
				Somme de l'analyse multicritère	110

**ANNEXE 3 : DEFINITIONS**

**Caractérisation du risque :**

Expression qualitative et quantitative du risque. Elle doit fournir aux décideurs l'ensemble des éléments permettant de comprendre ce que représente le risque évalué. Elle doit faire la part entre ce qui est connu et ce qui est incertain.

**Concentration inhalée (CI) :**

Concentration par inhalation, à laquelle la cible est exposée en moyenne sur la durée d'exposition. Elle s'exprime en masse (mg ou  $\mu\text{g}$ ) par unité de volume d'air ( $\text{m}^3$ ).

**Concentration tolérable (CT) :**

Concentration à laquelle peut être exposée en permanence une cible par inhalation, sans apparition d'un effet néfaste. Elle s'exprime comme la concentration inhalée : CT : RfC pour l'EPA, MRL pour l'ASTSDR, CAA pour l'OMS.

**Danger :**

Effet sanitaire indésirable comme le changement d'une fonction ou d'une valeur biologique, de l'aspect ou de la morphologie d'un organe, une malformation fœtale, une maladie transitoire ou définitive, une invalidité ou une incapacité, un décès.

**Dose externe (ou administrée) :**

Quantité de polluant qui entre en contact avec les barrières de l'organisme humain par voie d'exposition (inhalation, ingestion, contact cutané).

**Dose interne (ou absorbée) :**

Quantité de polluants qui pénètrent dans les milieux biologiques, une fois passés les tissus séparant les espaces intérieurs et le milieu extérieur : c'est la dose externe corrigée des taux d'absorption.

**Dose Journalière d'Exposition (DJE) :**

Quantité de polluant ingérée ou absorbée par la peau rapportée à la masse corporelle et moyennée sur la durée d'exposition. Elle s'exprime en mg ou  $\mu\text{g}$  de polluant par kilogramme de masse corporelle et par jour ( $\text{mg}/\text{kg}/\text{j}$  ou  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$ ).

**Dose Journalière Tolérable (DJT ou DJA pour admissible) :**

Niveau d'exposition sans risque appréciable pour l'homme. Pour l'EPA, cette dose de référence correspond à la RfD. Pour l'ATSDR, elle correspond au MRL.

**Effet cancérigène :**

Toxicité qui se manifeste par l'apparition de cancers.

**Effet systémique :**

Effet résultant de l'action du toxique après absorption et distribution dans différentes parties de l'organisme humain.

**Equivalent Toxique (T.E.Q.) :**

Somme des concentrations de différents toxiques de la même famille, pondéré par le facteur d'équivalence toxique (FET) affecté à chacun, exprimée par rapport à la substance de référence. Par exemple, équivalent TCDD pour les dioxines ou équivalent BAP pour les HAP.

**Excès de Risque Collectif (ERC) :**

Appelé aussi « impact », il représente une estimation du nombre de cancers en excès, lié à l'exposition étudiée, qui devrait survenir au cours de la vie d'un groupe d'individus.

**Excès de Risque Individuel (ERI) :**

Probabilité que la cible a de développer l'effet associé à une substance cancérigène pendant sa vie du fait de l'exposition considérée.

**Excès de Risque Unitaire (ERU) :**

Probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu contracte un cancer s'il est exposé pendant sa vie entière à une unité de dose (ou de concentration) d'une substance cancérogène. L'ERU s'exprime en  $(\text{mg}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$  pour la voie orale ou en  $(\text{mg}/\text{m}^3)^{-1}$  pour la voie inhalation.

**Evaluation de l'exposition :**

Détermination ou estimation des voies d'exposition, de la fréquence, de la durée et de l'importance de l'exposition.

**Evaluation de la relation dose-effet :**

Définit une relation quantitative entre la dose ou concentration administrée ou absorbée et l'incidence de l'effet délétère.

**Evaluation de risque sanitaire :**

Processus en quatre étapes qui comprend l'identification du potentiel dangereux des substances, l'évaluation de la relation dose-effet, l'évaluation de l'exposition et la caractérisation des risques.

**Exposition aiguë :**

De quelques secondes à quelques jours.

**Exposition chronique :**

De quelques années à vie entière.

**Exposition subchronique :**

De quelques jours à quelques années.

**Facteurs d'incertitude :**

Facteurs multiplicatifs appliqués à des données toxicologiques expérimentales ou à des résultats d'études épidémiologiques pour construire une valeur toxicologique de référence.

**Génotoxique :**

Substance pouvant induire des effets potentiellement défavorables sur le matériel génétique.

**Identification du potentiel dangereux des substances :**

Consiste à identifier les effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme en s'attachant à la nature et à la force des preuves de causalité relevées entre la substance et l'effet induit.

**Indice de Risque (IR) :**

Utilisé pour caractériser le risque lié aux toxiques systémiques. Il correspond à la dose (ou concentration) journalière d'exposition divisée par la dose (ou concentration) de référence.

**Mutagène :**

Agent susceptible d'induire des mutations de l'ADN, du gène, du chromosome ; ce qui constitue l'étape initiale de la cancérogenèse, à condition que la mutation porte sur des gènes impliqués dans le processus de cancérogenèse.

**Non-génotoxique (agent cancérigène) :**

L'action toxique consiste à interférer avec les mécanismes de régulation de la division cellulaire, de la différenciation et de l'expression des gènes mais sans altération directe du patrimoine génétique.

**Organe cible :**

Organe ou système présentant une sensibilité particulière à une substance donnée.

**Principe de précaution :**

Principe juridique de haut niveau selon lequel « l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable ». Intégré dans la Loi Barnier 1995.

**Principe de prudence scientifique :**

Consiste à adopter, en cas d'absence de données reconnues, des hypothèses raisonnablement majorantes définies pour chaque cas à prendre en compte.

**Principe de proportionnalité :**

Implique une cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude et l'importance de la pollution et son incidence prévisible.

**Principe de spécificité :**

Assure la pertinence de l'étude par rapport à l'usage et aux caractéristiques du site et de son environnement.

**Principe de transparence :**

Les choix des hypothèses, des outils à utiliser et du degré d'approfondissement d'une évaluation du risque sanitaire doivent systématiquement être présentés et expliqués, leurs conséquences sur la quantification du risque doivent être évaluées. Ces choix doivent être cohérents.

**Risque :**

Probabilité d'apparition d'un effet néfaste dans des conditions d'exposition données.

**Seuil d'effet :**

Niveau d'exposition au-dessous duquel aucun effet n'est attendu.

**Slope factor :**

Voir « Excès de Risque Unitaire (ERU) ».

**Valeur repère de risque :**

Niveau de risque défini comme acceptable par différentes instances, auquel peut être comparé le niveau de risque évalué sur un site.

**ANNEXE 4 : SYNTHÈSE DES INVESTIGATIONS DE SOLS**

Tableau de synthèse des investigations de sols - Parc du Châteauneuf-sur-Loire (45)

Sondage	Campagne - ANTEA - Novembre 2006					Campagne - HPC Envirotec - Avril 2011										Concentration max dans les sols (mg/kg MS)	Sondage	Profondeur	Campagne	LQ>valeur détectée
	S1	S2	S3	S5	S6	S1	S1	S2	S2	S2	S3	S3	S4	S4	S5					
Profondeur	4,8 - 4,5 m	4,5 - 4,8 m	0 - 1 m	0 - 1 m	0 - 1 m	0,1 - 1,4 m	1,4 - 2 m	0 - 0,4 m	0,4 - 1 m	1 - 2 m	0 - 0,7 m	0,7 - 2 m	0 - 1 m	1 - 2 m	0 - 1 m	1 - 2 m	0 - 0,8 m	0,8 - 2 m		
Matières Sèches (%)	90,6	91,5	83,2	78,6	83,8	81,8	82,2	84,2	83,4	83,4	79,3	84,1	80,7	81,8	81,2	84,9	78,1	80,5		
Concentrations en mg/kg																				
<b>HYDROCARBURES</b>																				
HC C5-C10						< 2,0			<2,0		<2,0		<2,0		<2,0	<2,0	<2,0			
HC C5-C8																				
HC C8-C10																				
HC C10-C40	450	< 10	< 10		< 10	< 15	< 15	571	21,9	24,4	43,5	< 15	19,6	< 15	56,8	< 15	46,4	20,8		
HC C10-C12	69	< 10	< 10	< 10	< 10			1,03	0,60	0,63	0,66555		0,48216		0,59072		0,50112	0,48672		
HC C12-C16	130	< 10	< 10		37	< 10			53,16	2,64	4,84	2,6013		0,98588		1,40296		1,20176	0,73216	
HC C16-C20								38,14	1,93	2,50	10,17465		0,99372		1,9028		1,15072	0,62608		
HC C16-C21	160	< 10	< 10		64	< 10														
HC C20-C24								91,53	3,54	5,30	9,40905		2,24812		3,8908		2,66336	1,33952		
HC C21-C35	86	< 10	< 10		26	< 10														
HC C24-C28								56,81	2,70	3,42	5,481		3,0282		12,07		7,16416	3,08048		
HC C28-C32								43,57	3,65	2,53	6,11175		4,87452		15,8472		8,41696	4,264		
HC C32-C36								272,60	5,61	4,20	6,699		4,94312		16,12552		21,91472	8,5072		
HC C35-C40	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10															
HC C36-C40								14,10	1,24	0,98	2,35335		2,04624		4,97		3,3872	1,76384		
<b>BTEX</b>																				
Benzène						< 0,05			< 0,05		< 0,05		< 0,05		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05		
Ethylbenzène						< 0,05			< 0,05		< 0,05		< 0,05		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05		
Cumène						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Toluène						< 0,05			< 0,05		< 0,05		< 0,05		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05		
Xylènes totaux						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
<b>CHLORES</b>																				
Monochlorobenzène						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Dichlorobenzène, 1,2-						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Dichlorobenzène, 1,4-						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Dichloroéthène, 1,1-						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Dichloroéthène, 1,2cis-						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Dichloroéthène, 1,2trans-						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Tétrachloroéthène (PCE)						< 0,05			< 0,05		< 0,05		< 0,05		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05		
Trichlorobenzène, 1,2,3-						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Trichlorobenzène, 1,2,4-						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Trichloroéthène (TCE)						< 0,05			< 0,05		< 0,05		< 0,05		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05		
Dichlorobenzène, 1,3						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
<b>ORGANIQUES</b>																				
Styrène						< 0,05			< 0,05		< 0,05		< 0,05		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05		
n-propylbenzène						< 0,01			< 0,01		< 0,01		< 0,01		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
Mésitylène						< 0,01			< 0,01		< 0,01		< 0,01		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
Tert-butylbenzène						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
1,2,4-Triméthylbenzène						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
sec-butylbenzène						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
p-isopropyltoluène						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
n-butylbenzène						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Bromobenzène						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
2-chlorotoluène						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
4-chlorotoluène						< 0,1			< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		

**ANNEXE 5 : SYNTHÈSE DES INVESTIGATIONS DES EAUX  
SOUTERRAINES**

**Tableau de synthèse des investigations dans les eaux souterraines en amont du Parc de Châteauneuf-sur-Loire (45)**

		Campagne - HPC Envirotec - Avril 2011										
Piezomètre		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6	Puits privé	Concentration max en nappe (mg/L)	Piezomètre	Campagne	LQ>valeur détectée
Profondeur eau		5,64 m	5,43 m	5,33 m	5,18 m	4,86 m	4,77 m	5,78 m				
Concentrations en mg/l												
<b>HYDROCARBURES</b>												
HC C5-C10		<0,06	<0,06	5,8	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	5,8	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
HC C5-C8		-/-	-/-	0,0986	-/-	-/-	-/-	-/-	0,0986	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
HC C8-C10		-/-	-/-	4,814	-/-	-/-	-/-	-/-	4,814	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
HC C10-C40		<0,03	<0,03	1,2	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	1,2	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
HC C10-C12		-/-	-/-	0,69348	-/-	-/-	-/-	-/-	0,69348	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
HC C12-C16		-/-	-/-	0,26868	-/-	-/-	-/-	-/-	0,26868	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
HC C16-C20		-/-	-/-	0,15156	-/-	-/-	-/-	-/-	0,15156	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
HC C16-C21												
HC C20-C24		-/-	-/-	0,06384	-/-	-/-	-/-	-/-	0,06384	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
HC C21-C35												
HC C24-C28		-/-	-/-	0,01428	-/-	-/-	-/-	-/-	0,01428	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
HC C28-C32		-/-	-/-	0,00396	-/-	-/-	-/-	-/-	0,00396	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
HC C32-C36		-/-	-/-	0,00288	-/-	-/-	-/-	-/-	0,00288	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
HC C35-C40												
HC C36-C40		-/-	-/-	0,00132	-/-	-/-	-/-	-/-	0,00132	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
<b>BTEX</b>												
Benzène		<0,0005	<0,0005	0,534	<0,0005	0,00139	<0,0005	<0,0005	0,534	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
Ethylbenzène		<0,001	<0,001	0,522	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,522	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
Cumène		<0,001	<0,001	0,0265	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0265	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
Toluène		<0,001	1,8	5,97	<0,001	0,0181	<0,001	<0,001	5,97	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
Xylènes totaux		<0,002	<0,002	2,617	<0,002	0,0042	<0,002	<0,002	2,617	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
<b>CHLORES</b>												
Monochlorobenzène		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011	
Dichlorobenzène, 1,2-		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011	
Dichlorobenzène, 1,4-		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011	
Dichloroéthène, 1,1-		<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	tous	HPC Envirotec - Avril 2011	
Dichloroéthène, 1,2cis-		<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	tous	HPC Envirotec - Avril 2011	
Dichloroéthène, 1,2trans-		<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	tous	HPC Envirotec - Avril 2011	
Tétrachloroéthène (PCE)		<0,001	0,0039	0,005	0,0026	0,0118	<0,001	<0,001	0,0118	Pz5	HPC Envirotec - Avril 2011	
Trichlorobenzène, 1,2,3-		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	tous	HPC Envirotec - Avril 2011	
Trichlorobenzène, 1,2,4-		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	tous	HPC Envirotec - Avril 2011	
Trichloroéthène (TCE)		<0,001	0,0251	0,0295	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0295	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
Dichlorobenzène, 1,3		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011	
<b>ORGANIQUES</b>												
Styrène		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011	
n-propylbenzène		<0,001	<0,001	0,0889	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0889	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
Mésitylène		<0,001	<0,001	0,185	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,185	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
Tert-butylbenzène		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011	
1,2,4-Triméthylbenzène		<0,001	<0,001	0,423	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,423	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
sec-butylbenzène		<0,001	<0,001	0,0037	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0037	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
p-isopropyltoluène		<0,001	<0,001	0,0067	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0067	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
n-butylbenzène		<0,001	<0,001	0,0067	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0067	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011	
Bromobenzène												
2-chlorotoluène		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011	
4-chlorotoluène		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011	

**ANNEXE 6 : CONCENTRATIONS RETENUES POUR LES CALCULS**

**DE RISQUE**

**Justification et choix des substances**

Substances	Concentration max dans les sols (mg/kg MS)	Sondage	Profondeur	Campagne	LQ>valeur détectée	Concentration max en nappe (mg/L)	Piézomètre	Campagne	LQ>valeur détectée	Choix des substances et justification	
<b>HYDROCARBURES</b>											
HC C5-C10	< 2,0	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		5,8	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Retenu et étudié via la décomposition des coupes.	
HC C5-C8						<b>0,0986</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Retenu et assimilé aux aliphatiques C>5-C6 et C>6-C8. L'hypothèse la plus conservatoire est retenue pour le calcul.	
HC C8-C10						<b>4,814</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Retenu et assimilé successivement aux aliphatiques et aromatiques en C>8-C10. L'hypothèse la plus conservatoire est retenue pour le calcul.	
HC C10-C40	571	S1	4,8 - 4,5 m	ANTEA - Novembre 2006		1,2	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Retenu et étudié via la décomposition des coupes.	
HC C10-C12	<b>69</b>	S1	4,8 - 4,5 m	ANTEA - Novembre 2006		<b>0,69348</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Retenu et assimilé successivement aux aliphatiques et aromatiques en C>10-C12. L'hypothèse la plus conservatoire est retenue pour le calcul.	
HC C12-C16	<b>130</b>	S1	4,8 - 4,5 m	ANTEA - Novembre 2006		<b>0,26868</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Retenu et assimilé successivement aux aliphatiques et aromatiques en C>12-C16. L'hypothèse la plus conservatoire est retenue pour le calcul.	
HC C16-C20	38,14	S2	0 - 0,4 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<b>0,15156</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Retenu pour la nappe uniquement et assimilé successivement aux aliphatiques et aromatiques en C>16-C20. L'hypothèse la plus conservatoire est retenue pour le calcul. Non retenu pour les sols, car la coupe C>16-C21 est plus conservatoire.	
HC C16-C21	<b>160</b>	S1	4,8 - 4,5 m	ANTEA - Novembre 2006						Retenu pour les sols uniquement et assimilé successivement aux aliphatiques et aromatiques en C>16-C20. L'hypothèse la plus conservatoire est retenue pour le calcul.	
HC C21-C35	86,00	S1	4,8 - 4,5 m	ANTEA - Novembre 2006						Non retenu, car la somme des coupes C>20-C24, C>24-C28, C>28-C32 et C>32-C36 est plus conservatoire.	
HC C20-C24	<b>91,53</b>	S2	0 - 0,4 m	HPC Envirotec - Avril 2011		0,06384	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Retenu pour la somme des coupes C>20-C24, C>24-C28, C>28-C32, C>32-C36 et assimilé successivement aux HC aliphatiques ou aromatiques en C>21-C35. L'hypothèse la plus conservatoire est retenue pour les calculs.	
HC C24-C28	<b>56,81</b>	S2	0 - 0,4 m	HPC Envirotec - Avril 2011		0,01428	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011			
HC C28-C32	<b>43,57</b>	S2	0 - 0,4 m	HPC Envirotec - Avril 2011		0,00396	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011			
HC C32-C36	<b>272,60</b>	S2	0 - 0,4 m	HPC Envirotec - Avril 2011		0,00288	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011			
HC C35-C40	< 10	tous	0 - 4,8 m	ANTEA - Novembre 2006							
HC C36-C40	14,10	S2	0 - 0,4 m	HPC Envirotec - Avril 2011		0,00132	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Non retenus, car absence de VTR.	
<b>BTEX</b>											
Benzène	< 0,05	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<b>0,534</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Retenu	
Ethylbenzène	< 0,05	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<b>0,522</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Retenu	
Cumène	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<b>0,0265</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Retenu	
Toluène	< 0,05	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<b>5,97</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Retenu	
Xylènes totaux	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<b>2,617</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Retenu	
<b>CHLORES</b>											
Monochlorobenzène	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011		Non retenus. Jamais détectés donc considéré absents.	
Dichlorobenzène, 1,2-	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011			
Dichlorobenzène, 1,4-	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011			
Dichloroéthène, 1,1-	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<0,002	tous	HPC Envirotec - Avril 2011			
Dichloroéthène, 1,2cis-	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<0,002	tous	HPC Envirotec - Avril 2011			
Dichloroéthène, 1,2trans-	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<0,002	tous	HPC Envirotec - Avril 2011			
Tétrachloroéthène (PCE)	< 0,05	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<b>0,0118</b>	Pz5	HPC Envirotec - Avril 2011			
Trichlorobenzène, 1,2,3-	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<0,005	tous	HPC Envirotec - Avril 2011			
Trichlorobenzène, 1,2,4-	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<0,005	tous	HPC Envirotec - Avril 2011			
Trichloroéthène (TCE)	< 0,05	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<b>0,0295</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011			
Dichlorobenzène, 1,3	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011			
<b>ORGANIQUES</b>											
Styrène	< 0,05	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011			Non retenu. Jamais détecté donc considéré absents.
n-propylbenzène	< 0,01	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<b>0,0889</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011			Retenus pour la somme du n-propylbenzène, mésitylène, 1,2,4-triméthylbenzène et sec-butylbenzène et assimilés aux hydrocarbures aromatiques en C>8-C10 à défaut de VTR propre.
Mésitylène	< 0,01	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<b>0,185</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011			
1,2,4-Triméthylbenzène	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<b>0,423</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011			
sec-butylbenzène	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<b>0,0037</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011			
p-isopropyltoluène	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<b>0,0067</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011			
n-butylbenzène	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<b>0,0067</b>	Pz3	HPC Envirotec - Avril 2011		Retenus pour la somme du p-isopropyltoluène et n-butylbenzène et assimilés aux hydrocarbures aromatiques en C>10-C12 à défaut de VTR	
Tert-butylbenzène	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011			
Bromobenzène	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011						Non retenu. Jamais détecté donc considéré absents.	
2-chlorotoluène	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011		Non retenu. Jamais détecté donc considéré absents.	
4-chlorotoluène	< 0,1	tous	0 - 2 m	HPC Envirotec - Avril 2011		<0,001	tous	HPC Envirotec - Avril 2011		Non retenu. Jamais détecté donc considéré absents.	

**ANNEXE 7 : VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE**

VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE - Choix selon la Circulaire du 30 mai 2006

		Valeurs transposées	Valeurs retenues	INHALATION A SEUIL						INGESTION A SEUIL						
CAS	Substances	Classement UE	Classement US-EPA	Classement IARC	mg/m3 adulte	mg/m3 enfant	Facteur d'incertitude	Date	Organe cible / effet critique	Commentaire	mg/kg/j adulte	mg/kg/j enfant	Facteur d'incertitude	Date	Organe cible / effet critique	Commentaire
<b>COUPES D'HYDROCARBURES</b>																
-	Aliphatiques C5-C6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	18,4	18,4	-	1999	Système nerveux		2	2	-	1999	Système nerveux	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	18,4	18,4	-	1997	Système nerveux		5	5	-	1997	Système nerveux	
-	Aliphatiques C>6-C8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	18,4	18,4	-	1999	Système nerveux		2	2	-	1999	Système nerveux	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	18,4	18,4	-	1997	Système nerveux		5	5	-	1997	Système nerveux	
-	Aliphatiques C>8-C10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	1	1	-	1999	Foie et sang		0,1	0,1	-	1999	Foie et sang	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	1	1	-	1997	Foie et sang		0,1	0,1	-	1997	Foie et sang	
-	Aliphatiques C>10-C12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	1	1	-	1999	Foie et sang		0,1	0,1	-	1999	Foie et sang	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	1	1	-	1997	Foie et sang		0,1	0,1	-	1997	Foie et sang	
-	Aliphatiques C>12-C16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	1	1	-	1999	Foie et sang		0,1	0,1	-	1999	Foie et sang	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	1	1	-	1997	Foie et sang		0,1	0,1	-	1997	Foie et sang	
-	Aromatiques C>8-C10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	0,2	0,2	-	1999	Poids		0,04	0,04	-	1999	Perte de poids	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	0,2	0,2	-	1997	Poids		0,04	0,04	-	1997	Perte de poids	
-	Aromatiques C>10-C12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	0,2	0,2	-	1999	Poids		0,04	0,04	-	1999	Perte de poids	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	0,2	0,2	-	1997	Poids		0,04	0,04	-	1997	Perte de poids	
-	Aromatiques C>12-C16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	0,2	0,2	-	1999	Poids		0,04	0,04	-	1999	Perte de poids	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	0,2	0,2	-	1997	Poids		0,04	0,04	-	1997	Perte de poids	
-	Aromatiques C>16-C21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	-	-	-	-	-	Volatilité extrêmement faible	0,03	0,03	-	1999	Perte de poids	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03	-	1999	Perte de poids	
-	Aromatiques C>21-C35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	-	-	-	-	-	Volatilité extrêmement faible	0,03	0,03	-	1999	Perte de poids	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03	-	1999	Perte de poids	





VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE - Choix selon la Circulaire du 30 mai 2006

CAS	Substances	Classement UE	Classement US-EPA	Classement IARC	INHALATION SANS SEUIL					INGESTION SANS SEUIL								
					(mg/m3)-1 adulte	(mg/m3)-1 enfant	Date	Organe cible / effet critique	Commentaire	(mg/kg/j)-1 adulte	(mg/kg/j)-1 enfant	Date	Organe cible / effet critique	Commentaire				
<b>BTEX</b>																		
71-43-2	Benzène	CARC 1 MUTA 2	A	1	IRIS ATSDR OMS RIVM OEHHHA Health Canada CSHPF	0,0078 - 0,006 0,0005 0,029 0,0033 0,003	0,0078 - 0,006 0,0005 0,029 0,0033 0,003	2000 - 2000 2000 2004 2006 1998	Sang		0,055 - - 0,003 0,1 0,31 -	0,055 - - 0,003 0,1 0,31 -	2000 - - 2000 2004 2006 -		Provisoire			
100-41-4	Ethylbenzène	-	D	2B	IRIS ATSDR OMS RIVM OEHHHA Health Canada	- - - - 2,50E-03 -	- - - - 2,50E-03 -	- - - - 2008 -			- - - - 1,10E-02 -	- - - - 1,10E-02 -	- - - - 2008 -					
98-82-8	Cumène	-	D	-	IRIS ATSDR OMS RIVM OEHHHA Health Canada	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -			- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -					
108-88-3	Toluène	REPRO 3	D	3	IRIS ATSDR OMS RIVM OEHHHA Health Canada	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -			- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -					
1330-20-7	Xylènes totaux	-	-	-	IRIS ATSDR OMS RIVM OEHHHA Health Canada	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -			- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -					
<b>CHLORES</b>																		
127-18-4	Tétrachloroéthène (PCE)	CARC 3	B2	2A	IRIS ATSDR OMS RIVM OEHHHA Health Canada	- - - - 0,0059 -	- - - - 0,0059 -	- - - - 2004 -			- - - - 0,54 -	- - - - 0,54 -	- - - - juil-09 -					
79-01-6	Trichloroéthène	CARC 2 MUTA 3	-	2A	IRIS ATSDR OMS RIVM OEHHHA Health Canada	- - 0,00043 - 0,002 0,00061	- - 0,00043 - 0,002 0,00061	1999 - 1999 - 2004 1992			- - - - 0,0059 0,00025	- - - - 0,0059 0,00025	- - - - 21/07/2009 1992					

Définitions de la classification US-EPA

<b>Classe A</b>	Substance cancérigène pour l'homme.
<b>Classe B1</b>	Substance probablement cancérigène pour l'homme. Des données limitées chez l'homme sont disponibles.
<b>Classe B2</b>	Substance probablement cancérigène pour l'homme. Il existe des preuves suffisantes chez l'animal et des preuves non adéquates ou pas de preuve chez l'homme.
<b>Classe C</b>	Cancérigène possible pour l'homme.
<b>Classe D</b>	Substance non classable quant à sa cancérigénicité pour l'homme.
<b>Classe E</b>	Substance pour laquelle il existe des preuves de non cancérigénicité pour l'homme.

Définitions des classifications CIRC/IARC/OMS

<b>Groupe 1</b>	L'agent (ou le mélange) est cancérigène pour l'homme.
<b>Groupe 2A</b>	L'agent (ou le mélange) est probablement cancérigène pour l'homme. Il existe des indices limités de cancérigénicité chez l'homme et des indices suffisants de cancérigénicité pour l'animal de laboratoire.
<b>Groupe 2B</b>	L'agent (ou le mélange) pourrait être cancérigène pour l'homme.
<b>Groupe 3</b>	L'agent (ou le mélange) ne peut être classé pour sa cancérigénicité pour l'homme.
<b>Groupe 4</b>	L'agent (ou le mélange) n'est probablement pas cancérigène pour l'homme.

VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE - CHOIX SIMPLIFIE DE L'INERIS

		Valeurs transposées	Valeurs retenues	INHALATION A SEUIL							INGESTION A SEUIL					
CAS	Substances	Classement UE	Classement US-EPA	Classement IARC	mg/m3 adulte	mg/m3 enfant	Facteur d'incertitude	Date	Organe cible / effet critique	Commentaire	mg/kg/j adulte	mg/kg/j enfant	Facteur d'incertitude	Date	Organe cible / effet critique	Commentaire
<b>COUPES D'HYDROCARBURES</b>																
-	Aliphatiques C5-C6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	18,4	18,4	-	1999	Système nerveux		2	2	-	1999	Système nerveux	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	18,4	18,4	-	1997	Système nerveux		5	5	-	1997	Système nerveux	
-	Aliphatiques C>6-C8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	18,4	18,4	-	1999	Système nerveux		2	2	-	1999	Système nerveux	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	18,4	18,4	-	1997	Système nerveux		5	5	-	1997	Système nerveux	
-	Aliphatiques C>8-C10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	1	1	-	1999	Foie et sang		0,1	0,1	-	1999	Foie et sang	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	1	1	-	1997	Foie et sang		0,1	0,1	-	1997	Foie et sang	
-	Aliphatiques C>10-C12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	1	1	-	1999	Foie et sang		0,1	0,1	-	1999	Foie et sang	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	1	1	-	1997	Foie et sang		0,1	0,1	-	1997	Foie et sang	
-	Aliphatiques C>12-C16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	1	1	-	1999	Foie et sang		0,1	0,1	-	1999	Foie et sang	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	1	1	-	1997	Foie et sang		0,1	0,1	-	1997	Foie et sang	
-	Aromatiques C>8-C10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	0,2	0,2	-	1999	Poids		0,04	0,04	-	1999	Perte de poids	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	0,2	0,2	-	1997	Poids		0,04	0,04	-	1997	Perte de poids	
-	Aromatiques C>10-C12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	0,2	0,2	-	1999	Poids		0,04	0,04	-	1999	Perte de poids	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	0,2	0,2	-	1997	Poids		0,04	0,04	-	1997	Perte de poids	
-	Aromatiques C>12-C16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	0,2	0,2	-	1999	Poids		0,04	0,04	-	1999	Perte de poids	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	0,2	0,2	-	1997	Poids		0,04	0,04	-	1997	Perte de poids	
-	Aromatiques C>16-C21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	-	-	-	-	-	Volatilité extrêmement faible	0,03	0,03	-	1999	Perte de poids	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03	-	1999	Perte de poids	
-	Aromatiques C>21-C35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				ATSDR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				OMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				RIVM	-	-	-	-	-	Volatilité extrêmement faible	0,03	0,03	-	1999	Perte de poids	
				OEHHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Health Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				TPHWG	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03	-	1999	Perte de poids	



VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE - CHOIX SIMPLIFIE DE L'INERIS

		Valeurs transposées		Valeurs retenues		INHALATION SANS SEUIL					INGESTION SANS SEUIL				
CAS	Substances	Classement UE	Classement US-EPA	Classement IARC	(mg/m3)-1 adulte	(mg/m3)-1 enfant	Date	Organe cible / effet critique	Commentaire	(mg/kg/j)-1 adulte	(mg/kg/j)-1 enfant	Date	Organe cible / effet critique	Commentaire	
<b>COUPES D'HYDROCARBURES</b>															
-	Aliphatiques C5-C6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				IRIS	-	-	-			-	-	-			
				ATSDR	-	-	-			-	-	-			
				OMS	-	-	-			-	-	-			
				RIVM	-	-	-			-	-	-			
				OEHHA	-	-	-			-	-	-			
				Health Canada	-	-	-			-	-	-			
				TPHWG	-	-	-			-	-	-			
-	Aliphatiques C>6-C8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				IRIS	-	-	-			-	-	-			
				ATSDR	-	-	-			-	-	-			
				OMS	-	-	-			-	-	-			
				RIVM	-	-	-			-	-	-			
				OEHHA	-	-	-			-	-	-			
				Health Canada	-	-	-			-	-	-			
				TPHWG	-	-	-			-	-	-			
-	Aliphatiques C>8-C10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				IRIS	-	-	-			-	-	-			
				ATSDR	-	-	-			-	-	-			
				OMS	-	-	-			-	-	-			
				RIVM	-	-	-			-	-	-			
				OEHHA	-	-	-			-	-	-			
				Health Canada	-	-	-			-	-	-			
				TPHWG	-	-	-			-	-	-			
-	Aliphatiques C>10-C12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				IRIS	-	-	-			-	-	-			
				ATSDR	-	-	-			-	-	-			
				OMS	-	-	-			-	-	-			
				RIVM	-	-	-			-	-	-			
				OEHHA	-	-	-			-	-	-			
				Health Canada	-	-	-			-	-	-			
				TPHWG	-	-	-			-	-	-			
-	Aliphatiques C>12-C16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				IRIS	-	-	-			-	-	-			
				ATSDR	-	-	-			-	-	-			
				OMS	-	-	-			-	-	-			
				RIVM	-	-	-			-	-	-			
				OEHHA	-	-	-			-	-	-			
				Health Canada	-	-	-			-	-	-			
				TPHWG	-	-	-			-	-	-			
-	Aromatiques C>8-C10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				IRIS	-	-	-			-	-	-			
				ATSDR	-	-	-			-	-	-			
				OMS	-	-	-			-	-	-			
				RIVM	-	-	-			-	-	-			
				OEHHA	-	-	-			-	-	-			
				Health Canada	-	-	-			-	-	-			
				TPHWG	-	-	-			-	-	-			
-	Aromatiques C>10-C12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				IRIS	-	-	-			-	-	-			
				ATSDR	-	-	-			-	-	-			
				OMS	-	-	-			-	-	-			
				RIVM	-	-	-			-	-	-			
				OEHHA	-	-	-			-	-	-			
				Health Canada	-	-	-			-	-	-			
				TPHWG	-	-	-			-	-	-			
-	Aromatiques C>12-C16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				IRIS	-	-	-			-	-	-			
				ATSDR	-	-	-			-	-	-			
				OMS	-	-	-			-	-	-			
				RIVM	-	-	-			-	-	-			
				OEHHA	-	-	-			-	-	-			
				Health Canada	-	-	-			-	-	-			
				TPHWG	-	-	-			-	-	-			
-	Aromatiques C>16-C21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				IRIS	-	-	-			-	-	-			
				ATSDR	-	-	-			-	-	-			
				OMS	-	-	-			-	-	-			
				RIVM	-	-	-			-	-	-			
				OEHHA	-	-	-			-	-	-			
				Health Canada	-	-	-			-	-	-			
				TPHWG	-	-	-			-	-	-			
-	Aromatiques C>21-C35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				IRIS	-	-	-			-	-	-			
				ATSDR	-	-	-			-	-	-			
				OMS	-	-	-			-	-	-			
				RIVM	-	-	-			-	-	-			
				OEHHA	-	-	-			-	-	-			
				Health Canada	-	-	-			-	-	-			
				TPHWG	-	-	-			-	-	-			

VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE - CHOIX SIMPLIFIE DE L'INERIS

		Valeurs transposées	Valeurs retenues	INHALATION SANS SEUIL						INGESTION SANS SEUIL					
CAS	Substances	Classement UE	Classement US-EPA	Classement IARC	(mg/m3)-1 adulte	(mg/m3)-1 enfant	Date	Organe cible / effet critique	Commentaire	(mg/kg/j)-1 adulte	(mg/kg/j)-1 enfant	Date	Organe cible / effet critique	Commentaire	
<b>BTEX</b>															
71-43-2	Benzène	CARC 1 MUTA 2	A	1	IRIS ATSDR OMS RIVM OEHHHA Health Canada CSHPF	0,0078 - 0,006 0,0005 0,029 0,0033 0,003	0,0078 - 0,006 0,0005 0,029 0,0033 0,003	2000 - 2000 2000 2004 2006 1998	Sang		0,055 - - 0,003 0,1 0,31 -	0,055 - - 0,003 0,1 0,31 -	2000 - - 2000 2004 2006 -		Provisoire
100-41-4	Ethylbenzène	-	D	2B	IRIS ATSDR OMS RIVM OEHHHA Health Canada	- - - 2,50E-03 -	- - - 2,50E-03 -	- - - 2008 -			1,10E-02 - - -	1,10E-02 - - -	2008 - - -		
98-82-8	Cumène	-	D	-	IRIS ATSDR OMS RIVM OEHHHA Health Canada	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -			- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -		
108-88-3	Toluène	REPRO 3	D	3	IRIS ATSDR OMS RIVM OEHHHA Health Canada	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -			- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -		
1330-20-7	Xylènes totaux	-	-	-	IRIS ATSDR OMS RIVM OEHHHA Health Canada	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -			- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -		
<b>CHLORES</b>															
127-18-4	Tétrachloroéthène (PCE)	CARC 3	B2	2A	IRIS ATSDR OMS RIVM OEHHHA Health Canada	- - - - 0,0059 -	- - - - 0,0059 -	- - - - 2004 -			0,54 - - -	0,54 - - -	juil-09 - - -		
79-01-6	Trichloroéthène	CARC 2 MUTA 3	-	2A	IRIS ATSDR OMS RIVM OEHHHA Health Canada	- - 0,00043 - 0,002 0,00061	- - 0,00043 - 0,002 0,00061	- - 1999 - 2004 1992			- - - - 0,0059 0,00025	- - - - 0,0059 0,00025	- - - - 21/07/2009 1992		

Définitions de la classification US-EPA

<b>Classe A</b>	Substance cancérigène pour l'homme.
<b>Classe B1</b>	Substance probablement cancérigène pour l'homme. Des données limitées chez l'homme sont disponibles.
<b>Classe B2</b>	Substance probablement cancérigène pour l'homme. Il existe des preuves suffisantes chez l'animal et des preuves non adéquates ou pas de preuve chez l'homme.
<b>Classe C</b>	Cancérigène possible pour l'homme.
<b>Classe D</b>	Substance non classable quant à sa cancérigénicité pour l'homme.
<b>Classe E</b>	Substance pour laquelle il existe des preuves de non cancérigénicité pour l'homme.

Définitions des classifications CIRC/IARC/OMS

<b>Groupe 1</b>	L'agent (ou le mélange) est cancérigène pour l'homme.
<b>Groupe 2A</b>	L'agent (ou le mélange) est probablement cancérigène pour l'homme. Il existe des indices limités de cancérigénicité chez l'homme et des indices suffisants de cancérigénicité pour l'animal de laboratoire.
<b>Groupe 2B</b>	L'agent (ou le mélange) pourrait être cancérigène pour l'homme.
<b>Groupe 3</b>	L'agent (ou le mélange) ne peut être classé pour sa cancérigénicité pour l'homme.
<b>Groupe 4</b>	L'agent (ou le mélange) n'est probablement pas cancérigène pour l'homme.

**ANNEXE 8 : PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES**

## PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Substances	Solubilité (mg/L)	Constante de Henry (-)	Coefficient de diffusion dans l'air (cm <sup>2</sup> /s)	Coefficient de diffusion dans l'eau (cm <sup>2</sup> /s)	Coefficient de diffusion effectif sol (m <sup>2</sup> /s)	Koc	Masse molaire (g/mol)
<b>COUPES D'HYDROCARBURES</b>							
<b>Aliphatiques C5-C6</b>	36	33	0,1	0,00001	1,62E-06	794	81
	TPHWG	TPHWG	TPHWG	TPHWG	Calculé	TPHWG	TPHWG
<b>Aliphatiques C&gt;6-C8</b>	5,4	50	0,1	0,00001	1,62E-06	3981	100
	TPHWG	TPHWG	TPHWG	TPHWG	Calculé	TPHWG	TPHWG
<b>Aliphatiques C&gt;8-C10</b>	0,43	80	0,1	0,00001	1,62E-06	31623	130
	TPHWG	TPHWG	TPHWG	TPHWG	Calculé	TPHWG	TPHWG
<b>Aliphatiques C&gt;10-C12</b>	0,034	120	0,1	0,00001	1,62E-06	251189	160
	TPHWG	TPHWG	TPHWG	TPHWG	Calculé	TPHWG	TPHWG
<b>Aliphatiques C&gt;12-C16</b>	0,0007	520	0,1	0,00001	1,62E-06	5011873	200
	TPHWG	TPHWG	TPHWG	TPHWG	Calculé	TPHWG	TPHWG
<b>Aromatiques C&gt;8-C10</b>	65	0,48	0,1	0,00001	1,62E-06	1585	120
	TPHWG	TPHWG	TPHWG	TPHWG	Calculé	TPHWG	TPHWG
<b>Aromatiques C&gt;10-C12</b>	25	0,14	0,1	0,00001	1,62E-06	2511	130
	TPHWG	TPHWG	TPHWG	TPHWG	Calculé	TPHWG	BP RISC
<b>Aromatiques C&gt;12-C16</b>	5,8	0,053	0,1	0,00001	1,62E-06	5012	150
	TPHWG	TPHWG	TPHWG	TPHWG	Calculé	TPHWG	TPHWG
<b>Aromatiques C&gt;16-C21</b>	0,65	0,013	0,1	0,00001	NC	15849	190
	TPHWG	TPHWG	TPHWG	TPHWG		TPHWG	TPHWG
<b>Aromatiques C&gt;21-C35</b>	0,0066	0,00067	0,1	0,00001	NC	125893	240
	TPHWG	TPHWG	TPHWG	TPHWG		TPHWG	TPHWG
<b>BTEX</b>							
<b>Benzène</b>	1830	0,142	0,088	0,0000098	1,42E-06	60	78,11
	Fiche toxico INERIS	Soil Vapor Extraction Technology	Fiche toxico INERIS	Fiche toxico INERIS	Calculé	Fiche toxico INERIS	Fiche toxico INERIS
<b>Ethylbenzène</b>	155	0,1403	0,075	0,0000078	1,21E-06	241,9	106,16
	Fiche toxico INERIS	Soil Vapor Extraction Technology	Fiche toxico INERIS	Fiche toxico INERIS	Calculé	Fiche toxico INERIS	Fiche toxico INERIS
<b>Cumène</b>	50	0,592	0,065	0,0000071	1,05E-06	1380	120,19
	TPHWG	TPHWG	TPHWG	TPHWG	Calculé	TPHWG	HSDB
<b>Toluène</b>	515	0,16397	0,087	0,0000086	1,41E-06	100	92,14
	Fiche toxico INERIS	Soil Vapor Extraction Technology	Fiche toxico INERIS	Fiche toxico INERIS	Calculé	Fiche toxico INERIS	Fiche toxico INERIS
<b>Xylènes totaux</b>	175	0,29	0,0722	0,00000887	1,17E-06	240	106,16
	Fiche toxico INERIS	BP RISC	CALTOX	CALTOX	Calculé	TPHWG	HSDB
<b>CHLORES</b>							
<b>Tétrachloroéthène (PCE)</b>	150	0,3641	0,072	0,0000082	1,16E-06	247	165,8
	Fiche toxico INERIS	Soil Vapor Extraction Technology	Fiche toxico INERIS	Fiche toxico INERIS	Calculé	Fiche toxico INERIS	Fiche toxico INERIS
<b>Trichloroéthène</b>	1070	0,2315	0,079	0,0000091	1,28E-06	111	131,39
	Fiche toxico INERIS	Soil Vapor Extraction Technology	Fiche toxico INERIS	Fiche toxico INERIS	Calculé	Fiche toxico INERIS	Fiche toxico INERIS

**ANNEXE 9 : MODELES DE TRANSFERT**

## **MODELISATION DE LA REMONTEE DE VAPEURS A L'EXTERIEUR, SUR TERRAIN DU PARC**

**Modèle utilisé :** « Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites ». Les équations correspondent principalement à l'équation CM-3a du modèle RBCA, décomposée en 2 parties pour une meilleure compréhension.

Les différentes étapes modélisées sont les suivantes :

- ① A partir des concentrations en nappe ou dans les sols, estimation des concentrations en substances volatiles dans l'air du sol,
- ② A partir des concentrations estimées dans l'air du sol, calcul des concentrations dans l'air ambiant.

## A partir des concentrations mesurées dans les sols

La concentration dans les gaz du sol se calcule de la façon suivante (tiré de la première partie de l'équation CM-3a) :

Le **minimum** entre les deux termes suivants doit être retenu :

**$C_{\text{air du sol}} - 1$**

$$\frac{H \times \rho \times 1000}{\theta_{\text{eau du sol}} + K_{oc} \times f_{oc} \times \rho + H \times \theta_{\text{air du sol}}} \times C_{\text{sol}}$$

**$C_{\text{air du sol}} - 2$**

$$H \times S \times 1000$$

(Correspond à la saturation de l'air du sol par la substance)

Avec :

$C_{\text{air du sol}}$	Concentration dans l'air du sol (en mg/m <sup>3</sup> )
$C_{\text{sol}}$	Concentration mesurée dans les sols (mg/kg)
H	Constante de Henry adimensionnelle (-)
$\rho$	Densité du sol (en g/cm <sup>3</sup> )
$\theta_{\text{eau du sol}}$	Teneur en eau du sol (-)
$\theta_{\text{air du sol}}$	Teneur en air du sol (-)
$K_{oc}$	Coefficient de partage carbone organique/eau du sol (en cm <sup>3</sup> /g)
$f_{oc}$	Fraction de carbone organique dans le sol (-)
S	Solubilité (mg/L)

## A partir des concentrations mesurées en nappe

$$C_{\text{air du sol}} = H \times C_{\text{nappe}} \times 1000$$

(Equation 15 – Johnson & Ettinger)

Avec :

$C_{\text{nappe}}$	Concentration mesurée dans la nappe (mg/L)
--------------------	--

①

Concentrations mesurées en  
nappe ou dans les sols



Concentrations dans l'air du sol

②

Concentrations dans l'air du sol



Concentration dans l'air ambiant

Le calcul de la concentration dans l'air ambiant à partir de la concentration dans l'air du sol est le suivant (principe de l'équation CM-3a de RBCA) :

$$C_{air\ ambiant} = C_{air\ du\ sol} \times FA$$

Avec :

$C_{air\ ambiant}$	Concentration dans l'air ambiant (en mg/m <sup>3</sup> )
$C_{air\ du\ sol}$	Concentration dans l'air du sol (en mg/m <sup>3</sup> )
FA	Facteur d'atténuation (sans unité)

Le facteur d'atténuation est calculé ainsi (2<sup>ème</sup> partie de l'équation CM - 3a) :

$$FA = \frac{1}{1 + \frac{v \times h_{mel} \times Prof_{source}}{D_{eff\ sol} \times L_{zp\ sol\ nu}}}$$

Avec (le calcul de certains des paramètres suivants est présenté ci-après) :

v	Vitesse du vent (m/s)
$h_{mel}$	Hauteur de la zone de mélange dans l'air ambiant (m). Cette valeur diffère pour l'adulte et pour l'enfant, c'est la hauteur de la « boîte de mélange » des gaz dans l'air ambiant.
$Prof_{source}$	Profondeur qui sépare le bâtiment de la source (m)
$L_{zp\ sol\ nu}$	Longueur de la zone d'émission (m), c'est-à-dire la longueur de la zone polluée
$D_{eff\ sol}$	Coefficient de diffusion effectif équivalent du sol (m <sup>2</sup> /s)

### Calcul des paramètres de calcul intermédiaires

↪ Calcul du **coefficient de diffusion effectif équivalent à travers le sol** ( $D_{eff\_sol}$ ) selon la 1<sup>ère</sup> équation A13 du Tier 2 de RBCA :

$$D_{eff\_sol} = D_{air} \cdot \frac{\theta_{as,int}^{3.33}}{(\theta_{as,int} + \theta_{es,int})^2} + \frac{D_{eau}}{H} \cdot \frac{\theta_{es,int}^{3.33}}{(\theta_{as,int} + \theta_{es,int})^2}$$

Avec :

$D_{eff\_sol}$	Coefficient de diffusion effectif équivalent du sol (m <sup>2</sup> /s)
$D_{air}$	Diffusivité dans l'air, pour la substance considérée (m <sup>2</sup> /s)
$D_{eau}$	Diffusivité dans l'eau, pour la substance considérée (m <sup>2</sup> /s)
$\theta_{as,int}$	Teneur en air volumique de la couche de sol (sans dimension)
$\theta_{es,int}$	Teneur en eau volumique de la couche de sol (sans dimension)
H	Constante de Henry, pour la substance considérée (sans dimension)

Les valeurs numériques utilisées sont les suivantes :

<i>Paramètres calculés ou par défaut</i>	<b>Acronyme</b>	<b>Valeur</b>	<b>Unité</b>	<b>Source</b>
Densité	Dens_sol_nu	1.7	g/cm3	BP RISC
Hauteur de la zone de mélange - Adulte	h_mel_ad	1.5	m	HESP
Hauteur de la zone de mélange - Enfant	h_mel_enf	1	m	HESP
Vitesse moyenne du vent	v	3	m/s	Valeur sécuritaire

# INHALATION DE POUSSIÈRES DE SOL MISES EN SUSPENSION DANS L'AIR

**Modèle utilisé :** Equations 48 et 49 du document de travail sur la « Méthode de calcul des VCI - Version 1 du groupe de travail sols pollués – santé publique », INERIS, basées sur le modèle HESP.

***Remarque :***

*Il est considéré que la totalité des poussières inhalées est absorbé dans les poumons.*

La concentration en poussières dans l'air se calcule selon la formule suivante :

$$C = C_{sol} \times TSP \times frs$$

Avec :

- C Concentration en poussières dans l'air (mg/m<sup>3</sup>)
- Csol Concentration en substance dans les sols (mg/kg)
- TSPe Concentration de particules de sol en suspension dans l'air extérieur (kg/m<sup>3</sup>)
- frse Fraction de sol dans les particules en suspension en extérieur (sans unité)

Les valeurs numériques utilisées sont les suivantes :

<i>Paramètres calculés ou par défaut</i>	Acronyme	Valeur	Unité	Source
Fraction de poussières de sol dans l'air extérieur	frse	0.5	-	HESP
Concentration en particules en suspension dans l'air extérieur	TSPe	7.00E-08	kg/m <sup>3</sup>	HESP

## INGESTION DE SOL

**Modèle utilisé :** Aucun. Utilisation directe de la concentration mesurée dans les sols

$$DJE = \frac{C_{sol} \times Q_{sol\ ing} \times FE_{ing\ sol} \times T_{ing\ sol}}{P \times Tm_{ing\ sol}}$$

où :

- DJE Dose journalière d'exposition (mg/kg.jour) ;
- $C_{sol}$  Concentration au point d'exposition dans le le sol (mg/kg) ;
- $Q_{sol\ ing}$  Quantité journalière ingérée de sol (kg/jour) ;
- $FE_{ing\ sol}$  Fréquence d'exposition (jours/an) ;
- $T_{ing\ sol}$  Durée d'exposition (années) ;
- P Poids corporel de la cible (kg) ;
- $Tm_{ing\ sol}$  Temps moyenné (jours) :  
Tm = DE \*365 pour les substances à seuil,  
Tm = 70\*365 pour les substances sans seuil.

Les valeurs numériques utilisées sont les suivantes :

<i>Paramètres calculés ou par défaut</i>	Acronyme	Valeur	Unité	Source
Quantité de sol ingérée - Adulte	Qsol_ing_ad	0.00005	kg/j	Méthode de calcul des VCI, INERIS 2001
Quantité de sol ingérée -Enfant	Qsol_ing_enf	0.00015	kg/j	Méthode de calcul des VCI, INERIS 2001

**ANNEXE 10 : CALCULS DE RISQUE DETAILLES PAR SCENARIO**

## INHALATION DE VAPEURS DE SUBSTANCES VOLATILES DANS LE PARC

Substances	SOURCE		Concentrations (mg/m3)				Concentrations (mg/m3) - Adulte				Concentrations (mg/m3) - Enfant				CIA SEUIL				CI SANS SEUIL			
	Concentrations		Concentrations (mg/m3)		Concentrations (mg/m3) - Adulte		Concentrations (mg/m3) - Enfant		Adulte (mg/m3)		Enfant (mg/m3)		Adulte (mg/m3)		Enfant (mg/m3)							
	Sol (mg/kg MS)	Nappe (mg/L)	Simulée source sol	Simulée source nappe	Source sol	Source nappe	Source sol	Source nappe	Source sol	Source nappe	Source sol	Source nappe	Source sol	Source nappe	Source sol	Source nappe	Source sol	Source nappe				
Aliphatiques C5-C6	2,00E+00		8,41E+03		3,02E+00		4,53E+00		1,26E-01		1,89E-01											
Aliphatiques C>6-C8		9,86E-02		4,93E+03		1,77E+00		2,66E+00		7,38E-02		1,11E-01										
Aliphatiques C>8-C10	2,00E+00	4,81E+00	2,04E+03	3,44E+04	7,33E-01	1,24E+01	1,10E+00	1,85E+01	3,05E-02	5,15E-01	4,58E-02	7,72E-01										
Aliphatiques C>10-C12		6,93E-01		4,08E+03		1,47E+00		2,20E+00		6,10E-02		9,16E-02										
Aliphatiques C>12-C16		2,69E-01		3,64E+02		1,31E-01		1,96E-01		5,45E-03		8,17E-03										
Aromatiques C>8-C10	2,20E-01	7,01E-01	3,21E+01	3,36E+02	1,15E-02	1,21E-01	1,73E-02	1,81E-01	4,80E-04	5,03E-03	7,20E-04	7,55E-03										
Aromatiques C>10-C12	6,90E+01	1,34E-02	1,90E+03	1,88E+00	6,83E-01	6,74E-04	1,02E+00	1,01E-03	2,85E-02	2,81E-05	4,27E-02	4,21E-05										
Aromatiques C>12-C16	1,30E+02		3,07E+02		1,10E-01		1,66E-01		4,60E-03		6,90E-03											
Aromatiques C>16-C21	1,60E+02	1,52E-01																				
Aromatiques C>21-C35	4,65E+02	8,50E-02																				
Benzène		5,34E-01		7,58E+01		2,40E-02		3,59E-02		9,99E-04		1,50E-03			4,28E-04			1,28E-04				
Ethylbenzène		5,22E-01		7,32E+01		1,97E-02		2,96E-02		8,22E-04		1,23E-03			3,52E-04			1,06E-04				
Cumène		2,65E-02		1,57E+01		3,66E-03		5,49E-03		1,53E-04		2,29E-04										
Toluène		5,97E+00		9,79E+02		3,06E-01		4,59E-01		1,27E-02		1,91E-02										
Xylènes totaux		2,62E+00		7,59E+02		1,97E-01		2,95E-01		8,20E-03		1,23E-02										
Tétrachloroéthène (PCE)		1,18E-02		4,30E+00		1,11E-03		1,67E-03		4,63E-05		6,94E-05			1,98E-05			5,95E-06				
Trichloroéthène (TCE)		2,95E-02		6,83E+00		1,94E-03		2,91E-03		8,07E-05		1,21E-04			3,46E-05			1,04E-05				

Substances	QD ADULTE				QD ENFANT				ERI ADULTE		ERI ENFANT		ERI ADULTE + ENFANT		SOMME GLOBALE	SOMME MILIEU CONTRIBUTEUR PRINCIPAL
	Source sol	Source nappe	SOMME GLOBALE	SOMME MILIEU CONTRIBUTEUR PRINCIPAL	Source sol	Source nappe	SOMME GLOBALE	SOMME MILIEU CONTRIBUTEUR PRINCIPAL	Source sol	Source nappe	Source sol	Source nappe	Source sol	Source nappe		
Aliphatiques C5-C6	6,84E-03		6,84E-03	6,84E-03	1,03E-02		1,03E-02	1,03E-02								
Aliphatiques C>6-C8		4,01E-03	4,01E-03	4,01E-03		6,01E-03	6,01E-03	6,01E-03								
Aliphatiques C>8-C10	3,05E-02	5,15E-01	5,45E-01	5,15E-01	4,58E-02	7,72E-01	8,18E-01	7,72E-01								
Aliphatiques C>10-C12		6,10E-02	6,10E-02	6,10E-02		9,16E-02	9,16E-02	9,16E-02								
Aliphatiques C>12-C16		5,45E-03	5,45E-03	5,45E-03		8,17E-03	8,17E-03	8,17E-03								
Aromatiques C>8-C10	2,40E-03	2,52E-02	2,76E-02	2,52E-02	3,60E-03	3,77E-02	4,13E-02	3,77E-02								
Aromatiques C>10-C12	1,42E-01	1,40E-04	1,42E-01	1,42E-01	2,13E-01	2,10E-04	2,14E-01	2,13E-01								
Aromatiques C>12-C16	2,30E-02		2,30E-02	2,30E-02	3,45E-02		3,45E-02	3,45E-02								
Aromatiques C>16-C21																
Aromatiques C>21-C35																
Benzène		1,04E-01	1,04E-01	1,04E-01		1,56E-01	1,56E-01	1,56E-01		3,34E-06		1,00E-06		4,34E-06	4,34E-06	4,34E-06
Ethylbenzène		8,22E-04	8,22E-04	8,22E-04		1,23E-03	1,23E-03	1,23E-03		8,81E-07		2,64E-07		1,14E-06	1,14E-06	1,14E-06
Cumène		3,82E-04	3,82E-04	3,82E-04		5,72E-04	5,72E-04	5,72E-04								
Toluène		4,25E-02	4,25E-02	4,25E-02		6,37E-02	6,37E-02	6,37E-02								
Xylènes totaux		8,20E-02	8,20E-02	8,20E-02		1,23E-01	1,23E-01	1,23E-01								
Tétrachloroéthène (PCE)		1,71E-04	1,71E-04	1,71E-04		2,57E-04	2,57E-04	2,57E-04		1,17E-07		3,51E-08		1,52E-07	1,52E-07	1,52E-07
Trichloroéthène (TCE)		4,04E-04	4,04E-04	4,04E-04		6,05E-04	6,05E-04	6,05E-04		1,49E-08		4,46E-09		1,93E-08	1,93E-08	1,93E-08

## INHALATION DE POUSSIÈRES DE SOL

Substances	SOURCE	AIR AMBIANT EXT	CI A SEUIL		CI SANS SEUIL	
	Sol (mg/kg MS)	Concentration (mg/m3)	Adulte (mg/m3)		Enfant (mg/m3)	
			Extérieur	Extérieur	Extérieur	Extérieur
Aliphatiques C5-C6	2,00E+00	7,00E-08	2,92E-09	2,92E-09	NC	NC
Aliphatiques C>8-C10	2,00E+00	7,00E-08	2,92E-09	2,92E-09	NC	NC
Aromatiques C>8-C10	2,20E-01	7,70E-09	3,21E-10	3,21E-10	NC	NC
Aromatiques C>10-C12	6,90E+01	2,42E-06	1,01E-07	1,01E-07	NC	NC
Aromatiques C>12-C16	1,30E+02	4,55E-06	1,90E-07	1,90E-07	NC	NC

Substances	QD ADULTE	QD ENFANT	ERI ADULTE	ERI ENFANT	ERI ADULTE + ENFANT
	Aliphatiques C5-C6	1,59E-10	1,59E-10	NC	NC
Aliphatiques C>8-C10	2,92E-09	2,92E-09	NC	NC	NC
Aromatiques C>8-C10	1,60E-09	1,60E-09	NC	NC	NC
Aromatiques C>10-C12	5,03E-07	5,03E-07	NC	NC	NC
Aromatiques C>12-C16	9,48E-07	9,48E-07	NC	NC	NC

# INGESTION DE SOL

Substances	SOL	DJE A SEUIL		DJE SANS SEUIL	
	Concentrations (mg/kg)	Adulte (mg/kg/j)	Enfant (mg/kg/j)	Adulte (mg/kg/j)	Enfant (mg/kg/j)
Aliphatiques C5-C6	2,00E+00	1,43E-06	2,00E-05	NC	NC
Aliphatiques C>8-C10	2,00E+00	1,43E-06	2,00E-05	NC	NC
Aromatiques C>8-C10	2,20E-01	1,57E-07	2,20E-06	NC	NC
Aromatiques C>10-C12	6,90E+01	4,93E-05	6,90E-04	NC	NC
Aromatiques C>12-C16	1,30E+02	9,29E-05	1,30E-03	NC	NC
Aromatiques C>16-C21	1,60E+02	1,14E-04	1,60E-03	NC	NC
Aromatiques C>21-C35	4,65E+02	3,32E-04	4,65E-03	NC	NC

Substances	QD ADULTE	QD ENFANT	ERI ADULTE	ERI ENFANT	ERI ADULTE + ENFANT
	Aliphatiques C5-C6	7,14E-07	1,00E-05	NC	NC
Aliphatiques C>8-C10	1,43E-05	2,00E-04	NC	NC	NC
Aromatiques C>8-C10	3,93E-06	5,50E-05	NC	NC	NC
Aromatiques C>10-C12	1,23E-03	1,73E-02	NC	NC	NC
Aromatiques C>12-C16	2,32E-03	3,25E-02	NC	NC	NC
Aromatiques C>16-C21	3,81E-03	5,33E-02	NC	NC	NC
Aromatiques C>21-C35	1,11E-02	1,55E-01	NC	NC	NC

**ANNEXE 11 : SOMME DES QUOTIENTS DE DANGER PAR ORGANE**

**CIBLE**

QUOTIENTS DE DANGERS PAR ORGANE CIBLE

QD ADULTE		Coordination motrice	Développement	Foie	Glandes surrénales	Organe cible indéterminé ou multiple	Poids (variations)	Reins	Sang	Système immunitaire	Système nerveux
Substances											
<b>COUPES D'HYDROCARBURES</b>											
-	Aliphatiques C5-C6										6,84E-03
-	Aliphatiques C6-C8										4,01E-03
-	Aliphatiques C8-C10			5,15E-01					5,15E-01		
-	Aliphatiques C10-C12			6,10E-02					6,10E-02		
-	Aliphatiques C12-C16			5,45E-03					5,45E-03		
-	Aromatiques C8-C10						2,52E-02				
-	Aromatiques C10-C12						1,43E-01				
-	Aromatiques C12-C16						2,53E-02				
-	Aromatiques C16-C21						3,81E-03				
-	Aromatiques C21-C35						1,11E-02				
<b>BTEX</b>											
71-43-2	Benzène		8,22E-04	0,00E+00						3,33E-02	
100-41-4	Ethylbenzène				3,82E-04			0,00E+00			
98-82-8	Cumène							3,82E-04			
108-88-3	Toluène							0,00E+00			2,55E-03
1330-20-7	Xylènes totaux	8,20E-02					0,00E+00				
<b>CHLORES</b>											
127-18-4	Tétrachloroéthène (PCE)			0,00E+00			0,00E+00				1,71E-04
79-01-6	Trichloroéthène (TCE)					1,35E-04					
	<b>Somme par organe cible</b>	8,2E-02	8,2E-04	5,8E-01	3,8E-04	1,3E-04	2,1E-01	3,8E-04	5,8E-01	3,3E-02	1,4E-02

QD ENFANT		Coordination motrice	Développement	Foie	Glandes surrénales	Organe cible indéterminé ou multiple	Poids (variations)	Reins	Sang	Système immunitaire	Système nerveux
Substances											
<b>COUPES D'HYDROCARBURES</b>											
-	Aliphatiques C5-C6										1,03E-02
-	Aliphatiques C6-C8										6,01E-03
-	Aliphatiques C8-C10			7,72E-01					7,72E-01		
-	Aliphatiques C10-C12			9,16E-02					9,16E-02		
-	Aliphatiques C12-C16			8,17E-03					8,17E-03		
-	Aromatiques C8-C10						3,78E-02				
-	Aromatiques C10-C12						2,31E-01				
-	Aromatiques C12-C16						6,70E-02				
-	Aromatiques C16-C21						5,33E-02				
-	Aromatiques C21-C35						1,55E-01				
<b>BTEX</b>											
71-43-2	Benzène		1,23E-03	0,00E+00						4,99E-02	
100-41-4	Ethylbenzène				5,72E-04			0,00E+00			
98-82-8	Cumène							5,72E-04			
108-88-3	Toluène							0,00E+00			3,82E-03
1330-20-7	Xylènes totaux	1,23E-01					0,00E+00				
<b>CHLORES</b>											
127-18-4	Tétrachloroéthène (PCE)			0,00E+00			0,00E+00				2,57E-04
79-01-6	Trichloroéthène (TCE)					2,02E-04					
	<b>Somme par organe cible</b>	1,2E-01	1,2E-03	8,7E-01	5,7E-04	2,0E-04	5,4E-01	5,7E-04	8,7E-01	5,0E-02	2,0E-02

**ANNEXE 12 : CALCULS DE RISQUE POUR LES SCENARIOS**

**CUMULES**

**CALCULS DE RISQUES CUMULES: INHALATION DE VAPEURS + INHALATION DE POUSSIÈRES + INGESTION DE SOL AU NIVEAU DES ESPACES VERTS**

QD ADULTE		SOURCE		ESPACES VERTS			POUSSIÈRES	SOL	SOMME GLOBALE	SOMME MILIEU CONTRIBUTEUR PRINCIPAL	
		Concentrations		Inhalation vapeurs			Inhalation	Ingestion			
		Sol (mg/kg MS)	Nappe (mg/L)	Source gaz du sol	Source sol	Source nappe					
Substances											
<b>COUPES D'HYDROCARBURES</b>											
-	Aliphatiques C5-C6	2,00E+00			6,84E-03			1,59E-10	7,14E-07	6,84E-03	6,84E-03
-	Aliphatiques C6-C8		9,86E-02			4,01E-03				4,01E-03	4,01E-03
-	Aliphatiques C8-C10	2,00E+00	4,81E+00		3,05E-02	5,15E-01		2,92E-09	1,43E-05	5,45E-01	5,15E-01
-	Aliphatiques C10-C12		6,93E-01			6,10E-02				6,10E-02	6,10E-02
-	Aliphatiques C12-C16		2,69E-01			5,45E-03				5,45E-03	5,45E-03
-	Aromatiques C8-C10	2,20E-01	7,01E-01		2,40E-03	2,52E-02		1,60E-09	3,93E-06	2,76E-02	2,52E-02
-	Aromatiques C10-C12	6,90E+01	1,34E-02		1,42E-01	1,40E-04		5,03E-07	1,23E-03	1,44E-01	1,43E-01
-	Aromatiques C12-C16	1,30E+02			2,30E-02			9,48E-07	2,32E-03	2,53E-02	2,53E-02
-	Aromatiques C16-C21	1,60E+02	1,52E-01						3,81E-03	3,81E-03	3,81E-03
-	Aromatiques C21-C35	4,65E+02	8,50E-02						1,11E-02	1,11E-02	1,11E-02
<b>BTEX</b>											
71-43-2	Benzène		5,34E-01			3,33E-02				3,33E-02	3,33E-02
100-41-4	Ethylbenzène		5,22E-01			8,22E-04				8,22E-04	8,22E-04
98-82-8	Cumène		2,65E-02			3,82E-04				3,82E-04	3,82E-04
108-88-3	Toluène		5,97E+00			2,55E-03				2,55E-03	2,55E-03
1330-20-7	Xylènes totaux		2,62E+00			8,20E-02				8,20E-02	8,20E-02
<b>CHLORES</b>											
127-18-4	Tétrachloroéthène (PCE)		1,18E-02			1,71E-04				1,71E-04	1,71E-04
79-01-6	Trichloroéthène (TCE)		2,95E-02			1,35E-04				1,35E-04	1,35E-04

QD ENFANT		SOURCE		ESPACES VERTS			POUSSIÈRES	SOL	SOMME GLOBALE	SOMME MILIEU CONTRIBUTEUR PRINCIPAL	
		Concentrations		Inhalation vapeurs			Inhalation	Ingestion			
		Sol (mg/kg MS)	Nappe (mg/L)	Source gaz du sol	Source sol	Source nappe					
Substances											
<b>COUPES D'HYDROCARBURES</b>											
-	Aliphatiques C5-C6	2,00E+00			1,03E-02	6,01E-03		1,59E-10	1,00E-05	1,03E-02	1,03E-02
-	Aliphatiques C6-C8		9,86E-02			6,01E-03				6,01E-03	6,01E-03
-	Aliphatiques C8-C10	2,00E+00	4,81E+00		4,58E-02	7,72E-01		2,92E-09	2,00E-04	8,18E-01	7,72E-01
-	Aliphatiques C10-C12		6,93E-01			9,16E-02				9,16E-02	9,16E-02
-	Aliphatiques C12-C16		2,69E-01			8,17E-03				8,17E-03	8,17E-03
-	Aromatiques C8-C10	2,20E-01	7,01E-01		3,60E-03	3,77E-02		1,60E-09	5,50E-05	4,14E-02	3,78E-02
-	Aromatiques C10-C12	6,90E+01	1,34E-02		2,13E-01	2,10E-04		5,03E-07	1,73E-02	2,31E-01	2,31E-01
-	Aromatiques C12-C16	1,30E+02			3,45E-02			9,48E-07	3,25E-02	6,70E-02	6,70E-02
-	Aromatiques C16-C21	1,60E+02	1,52E-01						5,33E-02	5,33E-02	5,33E-02
-	Aromatiques C21-C35	4,65E+02	8,50E-02						1,55E-01	1,55E-01	1,55E-01
<b>BTEX</b>											
71-43-2	Benzène		5,34E-01			4,99E-02				4,99E-02	4,99E-02
100-41-4	Ethylbenzène		5,22E-01			1,23E-03				1,23E-03	1,23E-03
98-82-8	Cumène		2,65E-02			5,72E-04				5,72E-04	5,72E-04
108-88-3	Toluène		5,97E+00			3,82E-03				3,82E-03	3,82E-03
1330-20-7	Xylènes totaux		2,62E+00			1,23E-01				1,23E-01	1,23E-01
<b>CHLORES</b>											
127-18-4	Tétrachloroéthène (PCE)		1,18E-02			2,57E-04				2,57E-04	2,57E-04
79-01-6	Trichloroéthène (TCE)		2,95E-02			2,02E-04				2,02E-04	2,02E-04

**CALCULS DE RISQUES CUMULES: INHALATION DE VAPEURS + INHALATION DE POUSSIÈRES + INGESTION DE SOL AU NIVEAU DES ESPACES VERTS**

Substances		SOURCE		ESPACES VERTS			POUSSIÈRES	SOL	SOMME GLOBALE	SOMME MILIEU CONTRIBUTEUR PRINCIPAL
		Concentrations		Inhalation vapeurs			Inhalation	Ingestion		
		Sol (mg/kg MS)	Nappe (mg/L)	Source gaz du sol	Source sol	Source nappe				
<b>ERI ADULTE</b>										
<b>COUPES D'HYDROCARBURES</b>										
-	Aliphatiques C5-C6	2,00E+00								
-	Aliphatiques C6-C8		9,86E-02							
-	Aliphatiques C8-C10	2,00E+00	4,81E+00							
-	Aliphatiques C10-C12		6,93E-01							
-	Aliphatiques C12-C16		2,69E-01							
-	Aromatiques C8-C10	2,20E-01	7,01E-01							
-	Aromatiques C10-C12	6,90E+01	1,34E-02							
-	Aromatiques C12-C16	1,30E+02								
-	Aromatiques C16-C21	1,60E+02	1,52E-01							
-	Aromatiques C21-C35	4,65E+02	8,50E-02							
<b>BTEX</b>										
71-43-2	Benzène		5,34E-01			3,34E-06			3,34E-06	3,34E-06
100-41-4	Ethylbenzène		5,22E-01			8,81E-07			8,81E-07	8,81E-07
98-82-8	Cumène		2,65E-02							
108-88-3	Toluène		5,97E+00							
1330-20-7	Xylènes totaux		2,62E+00							
<b>CHLORES</b>										
127-18-4	Tétrachloroéthène (PCE)		1,18E-02			1,17E-07			1,17E-07	1,17E-07
79-01-6	Trichloroéthène (TCE)		2,95E-02			1,49E-08			1,49E-08	1,49E-08

Substances		SOURCE		ESPACES VERTS			POUSSIÈRES	SOL	SOMME GLOBALE	SOMME MILIEU CONTRIBUTEUR PRINCIPAL
		Concentrations		Inhalation vapeurs			Inhalation	Ingestion		
		Sol (mg/kg MS)	Nappe (mg/L)	Source gaz du sol	Source sol	Source nappe				
<b>ERI ENFANT</b>										
<b>COUPES D'HYDROCARBURES</b>										
-	Aliphatiques C5-C6	2,00E+00								
-	Aliphatiques C6-C8		9,86E-02							
-	Aliphatiques C8-C10	2,00E+00	4,81E+00							
-	Aliphatiques C10-C12		6,93E-01							
-	Aliphatiques C12-C16		2,69E-01							
-	Aliphatiques C16-C21									
-	Aliphatiques C21-C35									
-	Aromatiques C8-C10	2,20E-01	7,01E-01							
-	Aromatiques C10-C12	6,90E+01	1,34E-02							
-	Aromatiques C12-C16	1,30E+02								
-	Aromatiques C16-C21	1,60E+02	1,52E-01							
-	Aromatiques C21-C35	4,65E+02	8,50E-02							
<b>BTEX</b>										
71-43-2	Benzène		5,34E-01			1,00E-06			1,00E-06	1,00E-06
100-41-4	Ethylbenzène		5,22E-01			2,64E-07			2,64E-07	2,64E-07
98-82-8	Cumène		2,65E-02							
108-88-3	Toluène		5,97E+00							
1330-20-7	Xylènes totaux		2,62E+00							
<b>CHLORES</b>										
127-18-4	Tétrachloroéthène (PCE)		1,18E-02			3,51E-08			3,51E-08	3,51E-08
79-01-6	Trichloroéthène (TCE)		2,95E-02			4,46E-09			4,46E-09	4,46E-09

CALCULS DE RISQUES CUMULES: INHALATION DE VAPEURS + INHALATION DE POUSSIÈRES + INGESTION DE SOL AU NIVEAU DES ESPACES VERTS

ERI ADULTE + ENFANT		SOURCE		ESPACES VERTS			POUSSIÈRES	SOL	SOMME GLOBALE	SOMME MILIEU CONTRIBUTEUR PRINCIPAL
		Concentrations		Inhalation vapeurs			Inhalation	Ingestion		
		Sol (mg/kg MS)	Nappe (mg/L)	Source gaz du sol	Source sol	Source nappe				
<b>COUPES D'HYDROCARBURES</b>										
-	Aliphatiques C5-C6	2,00E+00								
-	Aliphatiques C6-C8		9,86E-02							
-	Aliphatiques C8-C10	2,00E+00	4,81E+00							
-	Aliphatiques C10-C12		6,93E-01							
-	Aliphatiques C12-C16		2,69E-01							
-	Aromatiques C8-C10	2,20E-01	7,01E-01							
-	Aromatiques C10-C12	6,90E+01	1,34E-02							
-	Aromatiques C12-C16	1,30E+02								
-	Aromatiques C16-C21	1,60E+02	1,52E-01							
-	Aromatiques C21-C35	4,65E+02	8,50E-02							
<b>BTEX</b>										
71-43-2	Benzène		5,34E-01			4,34E-06			4,34E-06	4,34E-06
100-41-4	Ethylbenzène		5,22E-01			1,14E-06			1,14E-06	1,14E-06
98-82-8	Cumène		2,65E-02							
108-88-3	Toluène		5,97E+00							
1330-20-7	Xylènes totaux		2,62E+00							
<b>CHLORES</b>										
127-18-4	Tétrachloroéthène (PCE)		1,18E-02			1,52E-07			1,52E-07	1,52E-07
79-01-6	Trichloroéthène (TCE)		2,95E-02			1,93E-08			1,93E-08	1,93E-08