ETABLISSEMENT PUBLIC FONCIER DE NORMANDIE

Ancienne fonderie de la société
SONOFOQUE
Rue du Champ de Foire
FLERS (61)

Diagnostic Approfondi et Evaluation Détaillée des Risques

Rapport final

EPFN

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE – FLERS (61)

Diagnostic approfondi et Evaluation détaillée des risques

Rapport final

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction		Vérification		Validation	
			Nom	Signature	Nom	Signature	Nom	Signature
	12/10/06		V. LAGNEAU		R.HERARD S. TRAVERSE		Y. RAOULT	
Version intégrant les remarques de l'EPFN	20/04/07	02	V. LAGNEAU		R.HERARD		Y. RAOULT	
Version intégrant le plan de gestion sommaire	18/10/07	03	V. LAGNEAU		R.HERARD		Y. RAOULT	
		c						
		d						

Numéro de rapport :	***REx.0853-03***
Numéro d'affaire :	***AX.00222***
N° de contrat :	***CExZ060043***
Domaine technique :	***SP12***
Mots clé du thésaurus	Diagnostic approfondi Reconversion d'un ancien site d'activités métallurgiques en zones d'habitation et de bureaux.

EXCIPE France – Groupe BURGEAP
49, avenue Franklin Roosevelt – BP 70
77 211 AVON cedex
Téléphone : 33(0)1.60.74.54.60 Télécopie : 33(0)1.60.74.54.61

SOMMAIRE

Résumé 7

1 Introduction 10

1.1 Contexte et Objectifs 10
1.2 Méthodologie générale 11

2 Etude documentaire 12

2.1 Sources consultées 12
2.2 Description du site et de son voisinage 12
2.3 Historique du site 13
2.4 Projets d'aménagement envisagés pour le site 20
2.5 Contexte environnemental 20

3 Données sur la pollution du site 24

3.1 Valeurs de références utilisées 24
3.2 Historique des investigations effectuées sur le site 26
3.3 Synthèse des investigations sur les sols 27
3.4 Synthèse des investigations sur l'air du sol 30

4 Schéma conceptuel 32

4.1 Méthodologie 32
4.2 Sources de pollution 32
4.3 Cibles 32
4.4 Modes de transfert de la source vers les autres milieux 35
4.5 Milieux d'exposition 35

5 Composés à prendre en compte 38

5.1 Sélection des composés 38
5.2 Concentrations retenues dans les différents milieux 40
5.3 Relations dose-réponse des polluants retenus pour l'EDR 42

6 Evaluation des concentrations dans les milieux d'exposition 45

6.1 Concentrations de vapeurs dans l'air en intérieur et extérieur 45
6.2 Concentration dans les poussières inhalables 46
6.3 Concentration dans les eaux des canalisations 48
6.4 Concentrations dans les végétaux 49

7 Evaluation des expositions 52

7.1 Inhalation de gaz 52
7.2 Ingestion de sols et poussières 52
7.3 Contact cutané avec les sols et poussières 52
7.4 Ingestion de fruits et légumes autoproduits (jardins non recouverts) 53

8 Quantification des risques sanitaires 54

8.1 Méthodologie 54
8.2 Pour le site 1a 55
8.3 Pour le site 1c 59
8.4 Pour le site 2 61

9 Incertitudes et sensibilité 63

9.1	Non prise en compte de l'exposition au bruit de fond	63
9.2	Choix des substances	63
9.3	Concentrations dans les différents milieux	64
9.4	Toxicité des composés	69
9.5	Caractéristiques des bâtiments	70
9.6	Caractéristiques des sols	71
9.7	Paramètres d'exposition	72
9.8	Choix du logiciel en source de type fini ou infini	74
9.9	Conclusions sur les incertitudes et la sensibilité	74

10 Gestion des déblais 76

10.1	Gestion de déblais - données actuellement disponibles	76
10.2	Gestion des déblais - données manquantes	76
10.3	Estimation du surcoût lié à l'excavation des sols au droit de la source B (proximité des sondages PR2/S14)	77
10.4	Gestion du dallage	78

11 Conclusion et recommandations 79

GLOSSAIRE 82

FIGURES 85

ANNEXES 86

FIGURES		Version
Figure n°1	Localisation du site	
Figure n°2	Localisation des sources potentielles de pollution	
Figure n°3	Contexte géologique	
Figure n°4a	Plan des investigations (site 1a)	
Figure n°4b	Plan des investigations (sites 1c et 2)	
Figure n°5a	Répartition spatiale des contaminations métalliques	
Figure n°5b	Répartition spatiale des contaminations en hydrocarbures	
Figure n°5c	Répartition spatiale des contaminations en HAP	
Figure n°6	Schéma conceptuel	

ANNEXES

- Annexe 1 - Bibliographie
- Annexe 2 - Fiches BASOL
- Annexe 3 - Fiches de prélèvements Coupes de sondages
- Annexe 4 - Bordereaux d'analyses
- Annexe 5 - Tableaux des concentrations mesurées dans les différents milieux (air, sol)
- Annexe 6 - Sélection des substances
- Annexe 7 - Toxicologie et physico-chimie des substances retenues
- Annexe 8 - Paramètres retenus
- Annexe 9 - Détail des calculs des concentrations, des doses (DJE) et des risques (IR et ERI)
- Annexe 10 - Feuilles de calculs des incertitudes et tests de sensibilités de l'EDR

TABLEAUX

Tableau 1 : Recensement des sources potentielles de pollution sur la zone d'étude en fonction de l'activité du site 19

Tableau 2 : liste des captages AEP présents à proximité du site 21

Tableau 3 : liste des captages AEI présents à proximité du site 21

Tableau 4 : liste des captages AEA présents à proximité du site 22

Tableau 5 : liste et caractéristiques des sites pollués recensés sur BASOL à proximité du site étudié 23

Tableau 6a : valeurs de référence pour les sols 25

Tableau 6b : valeurs de référence pour l'air atmosphérique 25

Tableau 7 : synthèse des analyses sur les sols en métaux 28

Tableau 8 : synthèse des analyses sur les gaz du sol 31

Tableau 9 : Budget espace temps des cibles considérées 34

Tableau 10 : Milieux d'exposition retenus pour l'EDR 36

Tableau 11 : répartition retenue pour les différentes classes TPH pour les hydrocarbures 38

Tableau 12 : Composés retenus pour l'EDR 39

Tableau 13a : Composés retenus pour l'EDR, pour le site 1a 41

Tableau 13b : Composés retenus pour l'EDR, pour le site 1c 42

Tableau 13c : Composés retenus pour l'EDR, pour le site 2 42

Tableau 14 : Valeurs toxicologiques retenues pour l'EDR 43

Tableau 15 : concentrations de vapeurs dans l'air intérieur et extérieur (site 1a) 45

Tableau 16a : concentrations dans les poussières inhalables en intérieur et en extérieur (site 1a) 46

Tableau 16b : concentrations dans les poussières inhalables en intérieur et en extérieur (site 1c) 47

Tableau 16c : concentrations dans les poussières inhalables en intérieur et en extérieur (site 2) 47

Tableau 17: Concentrations dans l'eau des canalisations (site 1a) 48

Tableau 18a : Concentrations dans les végétaux produits sur site (site 1a) 50

Tableau 18b : Concentrations dans les végétaux produits sur site (site 1c) 51

Tableau 18c : Concentrations dans les végétaux produits sur site (site 2) 51

Tableau 19 : Risques sanitaires pour les usagers des pavillons (scénario 1 – site 1a) 55

Tableau 20 : Risques sanitaires pour les résidents en immeuble (scénarios 2, 3 et 4 – site 1a) 56

Tableau 21 : Risques sanitaires pour les usagers des bureaux (scénarios 4 et 5 –site 1a) 57

Tableau 22 : Risques sanitaires pour les usagers des parkings aériens avec espaces verts (scénarios 4 et 5 –site 1a) 58

Tableau 23 : Risques sanitaires pour les usagers des pavillons (scénario 1 – site 1c) 59

Tableau 24 : Risques sanitaires pour les usagers des espaces verts (scénario 6 –site 1c) 60

Tableau 25 : Risques sanitaires pour les usagers des pavillons (scénario 1 – site 2) 61

Tableau 26 : Risques sanitaires pour les usagers des espaces verts (scénario 6 –site 2)62

Tableau 27 : Risques sanitaires pour les usagers des pavillons (scénario 1 – site 1a) – Etude de sensibilité : concentrations centile 90 de surface 64

Tableau 28 : concentrations retenues pour l'étude de sensibilité sur la présence de sables de fonderie dans une fosse sous dalle 65

Tableau 29 : Risques sanitaires pour les usagers des pavillons (scénario 1 – site 1a) – Etude de sensibilité : présence de sables de fonderie pollués sous dallage 66

Tableau 30 : Risques sanitaires pour les usagers des pavillons (scénario 1 – site 1a) – Etude de sensibilité : présence d'une poche de pollution par des hydrocarbures en limite du domaine public 67

Tableau 31 : Classement des terres polluées en catégorie 77

Tableau 32 : Estimation des coûts de traitement des points de sondages PR2/S14 77

Résumé

La communauté d'Agglomération du Pays de Fers a pour objectif d'aménager l'ancienne fonderie de la société Sonofoque (sites 1 et 2 du « Champ de Foire ») en zone pavillonnaire ou en activités tertiaires (parkings, industries). Dans ce cadre, l'Etablissement Public Foncier de Normandie (EPFN) a demandé à BURGEAP une évaluation détaillée des risques sanitaires liés à la réalisation de l'aménagement futur.

Les diagnostics effectués entre 2005 et 2006 (par les sociétés ATI Services et BURGEAP), montrent que :

- les sols présentent des concentrations supérieures aux valeurs de référence en métaux (antimoine, arsenic, cadmium, chrome, cuivre, étain, mercure, nickel, plomb, zinc), en hydrocarbures, en HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), et ponctuellement par en BTEX (éthylbenzène, xylènes, éthyltoluène total, pseudocumène et hémélitène), en cyanures, des formaldéhydes, en phénols et en crésols ;
- les gaz du sol renferment des hydrocarbures, des BTEX (benzène et xylènes) et des formaldéhydes.

A l'heure actuelle, aucun scénario futur d'aménagement n'est défini sur le site. Toutefois, plusieurs types d'aménagement pourraient être envisagés :

Sites 1a et 2 :

- aménagement de logements individuels de plain pied (pavillons) avec des jardins privatifs ;
- aménagement de bâtiments de logements collectifs (avec et sans niveau de sous-sol) ;
- aménagement de bâtiments d'activités commerciales ou tertiaires (avec et sans niveau de sous-sol) ;
- aménagement d'un parking de surface avec espaces verts ;
- aménagement d'un équipement sportif et/ou public ;

Site 1c :

- aménagement de logements individuels de plain pied (pavillons) avec des jardins privatifs ;
- aménagement d'un parking de surface avec espaces verts.

Les cibles pour lesquelles le risque sanitaire a été évalué sont les résidents adultes et enfants, et les travailleurs adultes. Les voies d'expositions que nous avons considérées sont l'inhalation en intérieur et en extérieur, mais également les voies directes (ingestion de sol, inhalation de poussières, ingestion de légumes autoproduits et contact cutané) pour les jardins privatifs des pavillons et les espaces verts.

Concernant les risques induits par la présence de pollution au droit du site

Sur la base des connaissances actuelles, des pratiques communément admises de la gestion du risque sanitaire, et pour les hypothèses constructives retenues, nous considérons comme fondé de retenir que les pollutions mises en évidence dans les sols ou les gaz du sol conduisent à

- **des niveaux de risques acceptables[1] avec les dispositions constructives retenues, sans dispositions constructives particulières pour les aménagements des *sites 1a et 1c*** en :
  - habitations en immeuble sur un niveau de sous-sol à usage de parkings ;
  - habitations en immeuble de plain pied (*) ;
  - parkings aériens ou souterrains ;
  - bureaux de plain pied ou sur un niveau de sous-sol (*) ;
  - aménagement d'un équipement sportif et/ou public (*) ;

  (*) hors la zone au droit de la poche dépollution en limite de site en bordure de l'ancienne station service du site 1a.

[1] En référence à la circulaire ministérielle du 10 décembre 1999

- **des niveaux de risques acceptables[2] avec les dispositions constructives retenues, sans dispositions constructives particulières pour les aménagements du *site 2*** en :
    - habitations en immeuble sur un niveau de sous-sol à usage de parkings ;
    - habitations en immeuble de plain pied ;
    - parkings aériens ou souterrains ;
    - bureaux de plain pied ou sur un niveau de sous-sol ;
    - aménagement d'un équipement sportif et/ou public ;
    - pavillons avec jardin privatif ;
    - espaces verts.

- **des niveaux de risques acceptables avec les dispositions constructives retenues, pour les aménagements des *sites 1a et 1c*** en :
    - pavillons avec jardin privatif (*) ;
    - espaces verts ;

    ***à condition* de mettre en place une couverture (terres propres rapportées) d'une hauteur minimale de 50 cm de terre végétale et un grillage avertisseur entre la terre propre rapportée et les sols actuels des futurs jardins privatifs ou espaces verts.**

    (*) hors la zone au droit de la poche dépollution en limite de site en bordure de l'ancienne station service du site 1a.

Par ailleurs, si des arbres fruitiers devaient être plantés sur les différents sites, ils devront être mis en place dans une fosse de 1 m^3 de terres propres rapportées.

Ces conclusions ne sont valables que pour les conditions précisées ci-dessus. Toute modification de l'usage du site, du projet de réaménagement, des hypothèses constructives retenues et/ou du projet de terrassement entraînera une révision de ces conclusions.

Par ailleurs, si des arbres fruitiers devaient être plantés sur les différents sites, ils devront être mis en place dans une fosse de 1 m^3 de terres propres rapportées.

Ces conclusions ne sont valables que pour les conditions précisées ci-dessus. Toute modification de l'usage du site, du projet de réaménagement, des hypothèses constructives retenues et/ou du projet de terrassement entraînera une révision de ces conclusions.

Concernant les canalisations enfouies d'amené d'eau potable sur le site

L'évaluation réalisée montre que l'usage de l'eau issue des canalisations traversant le site ne présente pas de risque pour la santé humaine. Toutefois, nous préconisons d'enterrer les canalisations en PeHD dans une fosse de terre propre d'au moins 1 m^2, comme en est d'ailleurs l'usage.

Concernant la gestion du dallage

Afin d'éviter la mise à nu des terres impactées par des métaux et des hydrocarbures et par conséquent l'envoi de poussières, nous recommandons de laisser en place le dallage actuellement présent sur le site tant que les travaux liés à l'aménagement de la zone n'auront pas effectivement débutés.

[2] En référence à la circulaire ministérielle du 10 décembre 1999

Concernant les risques sanitaires en phase chantier

L'étude réalisée ne concerne que les expositions chroniques (plus d'un an). Les expositions plus brèves, concernant notamment les populations présentes lors du chantier de terrassement et de construction, ne peuvent pas être extrapolées à partir des résultats présentés précédemment.

Compte tenu de la pollution constatée, nous préconisons le strict respect des consignes habituelles d'hygiène et de sécurité du domaine du BTP lors de la réalisation du chantier, afin de réduire, autant que possible le contact avec les sols et les polluants dispersés dans l'air. Les recommandations en terme d'équipements de protection individuelle en présence de sols potentiellement polluées sont les suivantes :

- port de chaussures ou bottes de sécurité;
- port de gants ;
- port de combinaison jetable (pour les intervenants en contact direct avec les sols) ;
- port de masque respiratoire filtrant si besoin. Un masque par personne sera mis à disposition.

Ces consignes seront reprises par le coordinateur SPS.

1 Introduction

1.1 Contexte et Objectifs

La communauté d'Agglomération du Pays de Fers a pour objectif d'aménager l'ancienne fonderie de la société Sonofoque (sites 1 et 2 du « Champ de Foire ») en zone pavillonnaire ou en activités tertiaires (parkings, industries). Dans ce cadre, l'Etablissement Public Foncier de Normandie (EPFN) a demandé à BURGEAP une évaluation détaillée des risques sanitaires liés à la réalisation de l'aménagement futur.

Cette étude de diagnostic approfondi et d'évaluation détaillée des risques (DA-EDR) a pour but de :

- connaître les risques sur la santé humaine engendrés par la pollution présente en sous-sol en fonction du scénario projeté sur le site (habitations),
- connaître la nature et le coût des travaux de dépollution ou des dispositions constructives éventuellement nécessaires pour obtenir un niveau de risque résiduel acceptable d'un point de vue sanitaire,
- proposer, en fonction des teneurs résiduelles des sols, les projets d'aménagement possibles sur le site. L'étude permettra dans une certaine mesure, d'orienter les terrains vers un usage plus ou moins sensible, en définissant les contraintes liées à la pollution résiduelle.

L'étude est réalisée en s'appuyant sur :

- la circulaire du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable portant sur les principes de fixation des objectifs de réhabilitation pour les sites et sols pollués, datée du 10 décembre 1999,
- le guide du Ministère de l'Ecologie du Développement Durable, du BRGM et de l'INERIS, « Gestion des sites pollués : diagnostic approfondi – Evaluation détaillée des risques », version 0 de juin 2000.

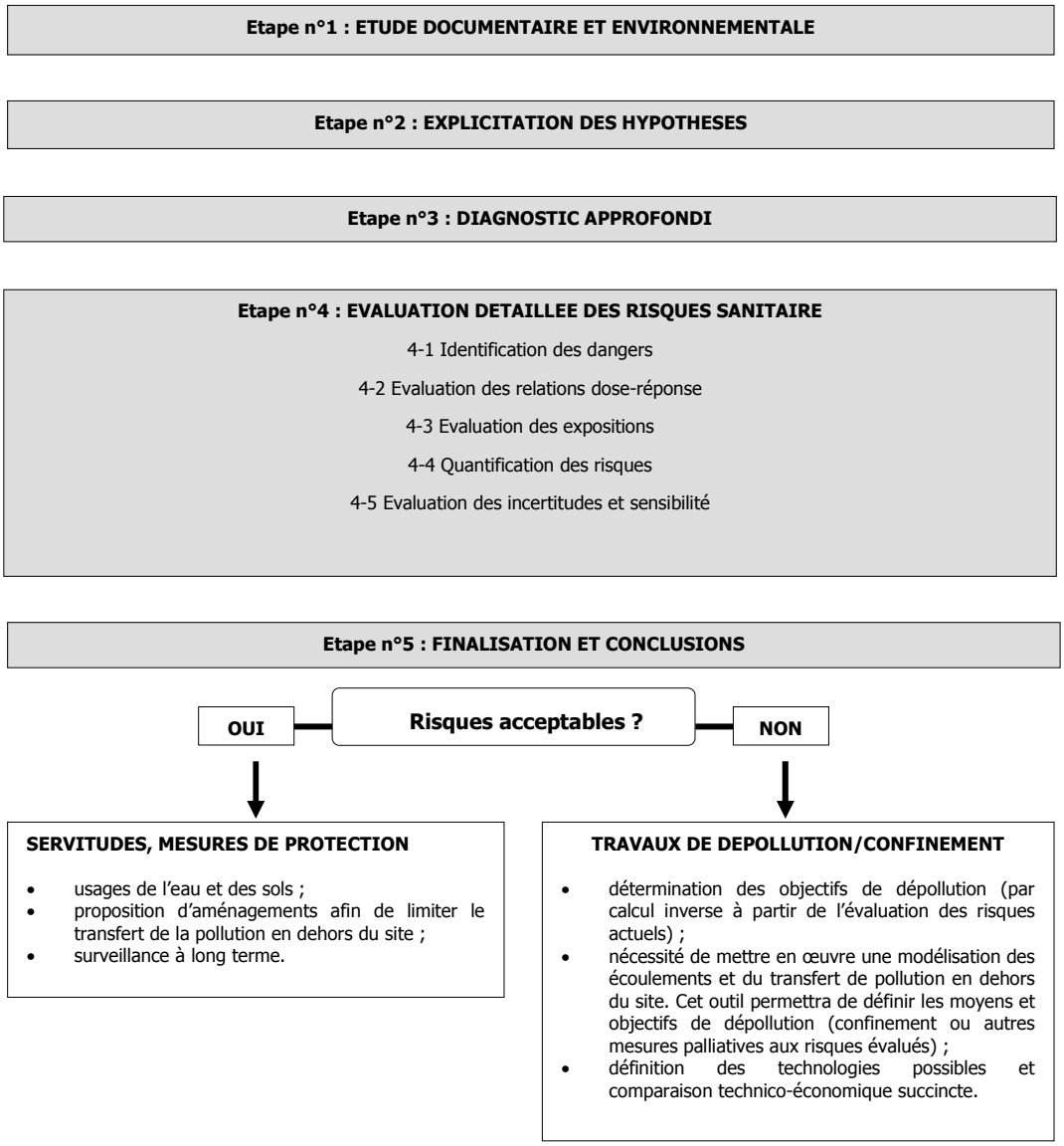
Par ailleurs, d'autres documents faisant référence dans les études détaillées des risques sont pris en compte :

- le guide méthodologique de l'INERIS, « Evaluation des risques sanitaires liés aux substances chimiques dans les études d'Impact des ICPE », version projet 3.0, novembre 2001,
- le guide de l'Institut national de veille sanitaire, « Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact », février 2000.

Enfin, l'étude est réalisée sur la base des connaissances techniques et scientifiques à la date du rapport.

1.2 Méthodologie générale

La méthodologie générale de l'étude suit les recommandations du guide méthodologique « Gestion des sites pollués – Diagnostic approfondi, Evaluations Détaillées des Risques », version 0 de Juin 2000 du MEDD[3]/BRGM/INERIS. Elle est résumée par le logigramme ci-après.



[3] Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

2 Etude documentaire

2.1 Sources consultées

Les informations nécessaires à l'étude ont été recueillies principalement auprès de l'EPFN qui nous a fourni les documents actuellement en sa possession, à savoir

- Diagnostic initial – Etape A (Tauw Environnement, 2003) ;
- Etude de sols et Evaluation Simplifiée des Risques (ATI Services, 2004).

La bibliographie est présentée en ***annexe 1***.

Des recherches ont été menées conjointement auprès des principaux organismes gestionnaires des eaux souterraines et superficielles, du sous-sol, à savoir :

- la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales : données sur les captages d'eau potable,
- les bases de données internes à BURGEAP et usuelles via Internet : inventaires BASOL et BASIAS.

2.2 Description du site et de son voisinage

*(Cf. **figure 1**)*

La société SONOFOQUE, dont l'activité a cessé fin 2002, exploitait trois sites (production et stockage) pour une activité de fonderie sur la commune de Flers (61) : deux sites au niveau du « champ de Foire » (sites 1 et 2, objet de la présente étude) et un site au niveau de « La Blanchardière » (site 3, hors zone d'étude).

Le site présente une superficie totale de 7 818 m^2, dont la quasi-totalité est recouverte par des bâtiments, correspondant :

- aux parcelles AC 170, 171 et 172 : bureaux, locaux sociaux et parkings de surface, sur une surface de 1 106 m^2 [site 1a] ;
- aux parcelles AC 707, 708, 709 et 710: fonderie, sur une surface de 6 712 m^2 [site 1a] ;
- aux parcelles AC 7, 290 : aire de stockage [site 1 : 1b et 1c].
- à la parcelle 501 : aire de stockage [site 2].

La zone d'étude correspond uniquement aux sites 1 et 2. Elle est implantée au 69, rue du Champ de Foire, au cœur de l'agglomération de Flers (61), à proximité directe du centre ville. La cote moyenne du site est de l'ordre de +210 m NGF.

Le site de la fonderie à proprement parler (site 1a) est bordé par la rue des Douets à l'est, l'avenue de Dijon au sud-est, des habitations desservies par l'impasse des Rochettes à l'ouest et la rue des Rochettes au nord.

L'aire de stockage de coke (parcelles AC7 et AC290, sites 1b et 1c) est localisée au sud-est de la fonderie et elle est bordée par l'avenue de Dijon au Nord, la rue des Douets à l'ouest, et des habitations à l'est et au sud.

L'ancienne aire de stockage (site 2, section AC 501) est localisée au nord de la fonderie. Elle est bordée par la rue des Douets à l'ouest, l'avenue de Dijon au sud et à l'est, des habitations au nord.

Actuellement, les bâtiments de la Fonderie SONOFOQUE correspondent à :

- une station service et des ateliers d'entretien ;
- des ateliers de la fonderie et un local transformateur ;
- des aires de stockage ;
- des bureaux.

2.3 Historique du site

L'historique a été réalisé à partir des données récoltées par BURGEAP dans les rapports existants. Aucune nouvelle recherche n'a été menée.

2.3.1 Description des installations et des process au cours du temps

1895 : création par Monsieur Louis LORFEUVRE de la fonderie de fonte sous le nom de la Fonderie LORFEUVRE. Pendant toute la première moitié du 20ème siècle, hormis quelques témoignages, aucune pièce historique n'a été trouvée. La fonderie employait alors une dizaine de salariés.

1924 : l'entreprise passe sous la direction du gendre de Monsieur LORFEUVRE en la personne de Pierre QUEREL.

1944 (photo aérienne) : l'usine est implantée en dehors de toute zone d'habitation, en limite externe des dernières construction de la commune de Flers.

A partir des années 1950, la société QUEREL s'agrandit et se développe réellement, le plus souvent sans permis de construire accordés, mais régularisés après coup par l'Administration.

Depuis 1958, l'entreprise QUEREL figure parmi les établissements classés, incommodes, insalubres et dangereux.

1965-1966 : extension et transformation de l'usine dans sa configuration actuelle. Dès lors, la production de produits en fonte et ses débouchés resteront jusqu'en 2002 quasiment inchangés, à savoir essentiellement des bouches d'égout pour voirie (assainissement) et des contrepoids et lests (quilles de bateaux, matériels de travaux publics).

L'entreprise passe sous la direction de Louis QUEREL, fils de Pierre QUEREL. L'usine compte alors 240 salariés, y compris les services commerciaux. La surface couverte de l'usine passe à 10 200 m².

Cette même année, la production était de 90 t/jour. Louis QUEREL avait durant cette période fait savoir aux autorités administratives locales son souhait de transférer ses activités en raison de l'impossibilité de développement et d'extension des activité sur le site du Champ de Foire de Flers. Egalement au cours de cette période, les premières plaintes de voisinage liées au bruit, aux odeurs, aux fumées, aux suies ainsi qu'aux vibrations se manifestent. Malgré un plan d'urbanisme, la fonderie continue de s'agrandir le plus souvent sans permis de construire.

1966 (photo aérienne) : le site est entièrement entouré par des habitations. Concernant le site de la fonderie, on note le développement important des infrastructures, notamment, l'extension des bâtiments vers le nord et vers le sud. Les bâtiments n'atteignent cependant pas respectivement l'avenue de Dijon ainsi que la rue des Rochettes.

On constate que le parc à coke situé de l'autre coté de l'avenue de Dijon existe déjà, contrairement à celui de la rue des Douets.

1967 : Cette année a lieu un incendie dans une maison d'habitation se situant dans l'enceinte même de l'usine. Cette zone incendiée fut l'objet d'une reconstruction partielle de l'usine.

1968 : Cette année, alors que la fonderie compte 225 salariés, et procède à la pose d'une installation de filtration sur la cheminée du principal cubilot, la fonderie dépose le bilan suite à une affaire de fraude à la TVA, suite à laquelle elle se retrouve en impossibilité de rembourser ses créanciers.

Le tribunal de Commerce prononce le règlement judiciaire, et les affaires QUEREL sont placées sous le contrôle d'un syndic.

1971 (photo aérienne) : on note la présence de petits stockages de ferrailles ainsi qu'une sorte de déchetterie en partie sud du site.

On note par ailleurs, en bordure ouest du parc à coke de l'avenue de Dijon, la présence de fûts et autres petits conditionnements.

Enfin, en haut de la rue des Douets, on peut remarquer sur le coté droit de la rue en direction de l'aire de stockage, la présence au sol de traces de camions laissant présager l'existence à cette date de stockages sur cette zone.

1978 : la société QUEREL réalise, 10 ans après le premier, un nouveau dépôt de bilan au moment où elle compte 264 salariés. Le tribunal de Commerce prononce alors un règlement judiciaire.

1979 : le société QUEREL-LORFEUVRE est vendue à la société SONOFOQUE SA (SOciété NOrmande des FOnderies QUErel) dirigée par Monsieur Jean-Pierre CLOITRE.

1987 : l'inquiétude mêlée à la colère des riverains de l'usine par rapport aux nuisances occasionnées est croissante au cours de cette période et depuis le début des années 1970.

1988 : une partie de l'activité, comprenant les travaux de type peinture ainsi que l'expédition, est déplacée sur le site de la Blanchardière, situé rue de la Fonderie, toujours sur la commune de Flers. La production est alors de 7 000 t/jan.

Deux nouveaux points de stockage sont créés à proximité du champ de Foire, respectivement rue de Dijon et rue des Douets.

1989 : à cette date, les trois cubilots de l'usine furent équipés de systèmes de filtration des fumées.

1990 (photo aérienne) : on constate que les installations correspondent à celle de l'arrêt des activités. On observe l'existence de l'aire de stockage au nord du site de la fonderie sur laquelle on peut noter la présence de différents stocks comme notamment celle de fûts ou de conditionnements individuels de ce type.

1995 : après une forte baisse du chiffre d'affaire, la Société Anonyme Sonofoque dépose le bilan et elle est placée sous la responsabilité d'un administrateur judiciaire au travers d'une procédure de redressement judiciaire.

1996 : la Société Sonofoque ne compte plus, les deux sites confondus (Champ de Foire et Blanchardière), que 116 salariés.

1997 : par jugement du Tribunal de commerce, la société anonyme Format reprend la société Sonfoque. Sur cette base, la Société Nouvelle Sonofoque est créée en août 1997 sous la direction de Monsieur PRUD'HOMME. La société ne compte plus que 115 salariés. Elle restera, à partir de cette date, cinq ans sous le contrôle du Tribunal de Commerce.

2001-2002 : diminution progressive du niveau d'activité.

1er janvier 2003 : toutes les activités de la Société Nouvelle Sonofoque, située 69 rue du Champ de Foire à Flers, ont été suspendues par arrêté préfectoral en date du 27 décembre 2002.

8 janvier 2003 : la société est placée sous redressement judiciaire.

27 juin 2003 : le Tribunal de Commerce d'Alençon prononce la liquidation judiciaire de la fonderie Société Nouvelle Sonofoque, dont le siège social se situe au 69 de la rue de Champ de Foire sur la commune de Flers.

2.3.2 Description des activités passées

La synthèse des activités exercées sur le site a été réalisée sur la base du rapport de l'étude historique réalisé par Tauw Environnement.

Les activités correspondant à des sources potentielles de pollution ont été associées à des zones (cf. ***figure 2***).

2.3.2.1 Bâtiment d'entretien des véhicules (Zone 1)

Ce bâtiment correspond à l'ancienne zone de stockage des plaques de cheminée en vue de leur chargement pour transport.

Ce bâtiment existe depuis les années 1960. A l'intérieur, les installations et équipements suivants ont été recensés :

- une fosse à vidage ;
- une cuve de récupération des huiles usagées ;
- des murs et sols en béton sans imprégnation apparentes ;
- une zone de lavage/karcher ;
- une toiture en fibrociment.

2.3.2.2 Poste de distribution et cuves/carburants (zone 2)

Cette zone, à l'air libre, datant des années 1960, ne présente aucune rétention. Elle est constituée de deux cuves de stockage de carburants de 5 m^3 chacune, respectivement de fioul et de gasoil. Vraisemblablement, ces cuves sont de type simple paroi.

Les postes de distribution sont d'une vétusté apparente et les imprégnations du bitume recouvrant le sol sont, tout autour de ces derniers, en surface, non négligeables.

2.3.2.3 Locaux sociaux

Ces locaux comprennent le réfectoire, la cuisine, les douches et les sanitaires. A ce niveau, est présent un pan de mur classé.

2.3.2.4 Zone de stockage de ferrailles et métaux (zone 3)

Cette zone, à l'air libre, sert de stockage de pièces pour l'entretien des châssis et carters. Elle repose sur un sol couvert en bitume, présentant une pente vers la zone de lavage et d'évacuation des eaux pluviales.

2.3.2.5 Zone usinage/entretien (zone 4)

Cette zone peut être scindée en deux, à savoir, la zone d'entretien ainsi que la zone d'usinage, de modelage et décochage. Elle correspond à l'ancien magasin (« sous-sol » ou 1er niveau) transféré en 1988 vers les ateliers de la Blanchardière sur la commune de Flers.

Concernant la première de ces deux zones, la zone d'entretien (ancienne forge) regroupait les activités de découpage/soudage, mais servait également de stockage de pièces métalliques. Le sol bétonné se trouve dans un mauvais état général, et présente de multiples imprégnations de rouille ainsi que d'autres plus superficielles noirâtres de type huiles de coupe.

Concernant la zone d'usinage, zone de modelage/décochage, l'activité essentielle de cet atelier était les réalisations de modèles en résines, en aluminium et bois ainsi que le travail à sec. A ce niveau, sont relevées les présences de machines-outils, de fûts de récupération de déchets, de fûts d'huile de coupe, de pièces métalliques rouillées, de copeaux de bois, de grenaille et de poussières métalliques. Le sol bétonné se trouve d'un point de vue visuel en bon état général.

2.3.2.6 Sablerie à vert (zone 5)

Cette zone correspond pour partie à l'ancienne zone d'ébarbage qui a été transférée à la Blanchardière.

Cette zone comprend des points de stockage sur bitume ancien, de bentonite en sac, de noir minéral en sac et de sables en silo. Elle comprend également deux malaxeurs et quatre silos, dont trois étaient utilisés pour le sable « recyclé ». Le dernier silo était utilisé pour le sable « neuf ». Le mélange était réalisé dans la trémie pour donner la base du moulage : le sable à vert.

Le sol bétonné est recouvert intégralement par une boue grisâtre, légèrement humide, mélange de sable et de poussières métalliques.

A la sortie des malaxeurs où se réalise l'addition d'eau de ville, un tapis d'acheminement entraîne le mélange jusqu'à la trémie puis jusqu'à une presse de type « Osborne », point de réalisation du moulage.

2.3.2.7 Noyautage (zone 6)

En fonderie, le noyautage consiste en l'utilisation d'une pièce dénommée noyau, pièce résistant à l'alliage en fusion, qui est introduite dans un moule de fonderie afin d'obtenir des parties creuses sur la pièces moulées.

Le sol bétonné est recouvert d'une boue grisâtre, mélange de sable et de poussière.

2.3.2.8 Chantier mécanisé (Presse Osborne/Moulage à vert) (zone 7)

Le sable est introduit entre le modèle et le châssis, qui passe dans la presse. Les empreintes de coulées sont remplies par la fonte en fusion. La pièce est décochée, par défonçage du moule puis récupérée, et le sable est recyclé.

Le sol bétonné est recouvert intégralement par une boue sablonneuse grisâtre, légèrement humide, mélange de sable et de poussière.

A ce niveau, deux procédés distincts ont été employés, respectivement à base de résine microvert et de résine bétaset (agent de séparation spécifique pour le démoulage de sables durcissant à froid).

Le microvert consiste en l'injection de résine furannique ainsi que d'un catalyseur au sein du sable neuf afin de réaliser le noyau furannique. Les noyaux furanniques servaient à la production de contrepoids et de lests.

Le bétatest, utilisé seulement depuis 10 à 15 ans, est un produit liquide qui est introduit sous forme de gaz dans une boîte à noyau et induit en quelques secondes la polymérisation des sables. Le bétatest était employé dans la production des plaques d'égout pour l'assainissement.

2.3.2.9 Ancien chantier de machines (zone 8)

Cette zone comptait auparavant des petites machines de moulage à vert. Elle a ensuite servi de zone de stockage des modèles pour le chantier à vert.

2.3.2.10 Décochage/grenaillage (zone 9)

Le décochage des pièces consiste en leur séparation du châssis et des sables. Les pièces sont ensuite ébarbées (cf. § 2.3.2.11) et grenaillées. Les sables récupérés à l'aide de la grille de décochage étaient renvoyés vers les silos de stockage de la sablerie à vert.

Les résidus produits par la propulsion et impacts des billes d'acier sur les pièves en fonte, ainsi que les sables à vert et les sables phénoliques (cf. § 2.3..2.15) sont récupérées par un système d'aspiration des poussières.

Le sol bétonné est recouvert d'une boue grisâtre, mélange de sable et de poussière notamment métallique.

2.3.2.11 Ebarbage/écroûtage (zone 10)

Cette zone est constituée de deux tourets pour meulage pour usinage. Les poussières et résidus résultants de cette opération étaient envoyés en décharge avec les sables éliminés.

Le sol bétonné présente des imprégnations d'huile de moteur.

2.3.2.12 Fosse pour vernis bitumineux (zone 11)

Toutes les pièces destinées à l'assainissement étaient recouvertes d'un enduit bitumineux composé d'un vernis ainsi que d'une allonge. L'allonge, constituée de solvants, était ajoutée en fonction de la température.

La fosse pour vernissage est profondeur de 1,5 m pour une largeur et une longueur de 1 m chacune. L'opération était réalisée par la plongée des pièces dans le bain en fosse.

La vidange périodique de la fosse s'effectuait par écoulement gravitaire vers les quais de chargement/déchargement par l'intermédiaire d'une petite canalisation d'évacuation puis au sein de fûts de récupération. Ces fûts étaient acheminés en décharge puis vers un centre d'enfouissement technique en fonction de l'évolution historique de la réglementation en vigueur.

2.3.2.13 Tunnel (zone 12)

Ce tunnel constitue le cœur de la fonderie, la zone la plus ancienne de toute la fonderie et de ces 107 années d'activités.

Avant 1985, cette zone se situait sous le chantier de moulage manuel. Depuis 1985, toute cette zone est une zone de décochage des sables phénoliques, couplé à un système d'aération/fluidisation situé à la base du lit du cubilot, à proximité et au dessus de cette zone, afin d'éliminer les fines en les faisant remonter. Les fines séparées des lits fluidisés étaient aspirées, collectées en big-bag puis acheminées et stockées en centre d'enfouissement technique.

Les stockage de coke, de ferrailles et de bois, ainsi qu'assurément de nombreux autres produits ont semble-t-il toujours eu lieu dans cette zone.

Au dessus du tunnel, se situent deux silos de récupération des sables issus du décochage, le stockage des big-bag de fines, ainsi que la machine-outil à moule phénolique.

2.3.2.14 Cubillot (zones 13 et 14)

Un cubillot en fonte G.S. (Graphite Sphéroïdale) est présent depuis le début des activités de fonderie, constitué notamment en briques réfractaires (zone 13). Auparavant, il était employé à produire de la fonte grise.

Le coke y était transporté à incandescence, par insufflation d'air. La charge introduite dans le cubillot était portée à fusion et la fonte était évacuée à la base des cubillots dans des poches de coulées.

Au fond de cette zone, à proximité de l'ancien bureau, est présente une deuxième machine à mouler à sables phénoliques, plus petite, et qui était destinée à la production des bouches d'égout. Dans cette zone sont également présents deux silos de sables de refroidissement des sables phénoliques.

Deux cubillots de fonte grise (zone 14) sont présents à proximité du parc à fonte.

Une fosse souterraine d'eau de ville pour le refroidissement de l'extérieur des cubillots ainsi que l'évacuation de la crasse se situe entre les cubillots de fonte GS et les deux cubillots de fonte grise.

2.3.2.15 Chantier contrepoids (zone 15)

2.3.2.16 Cuve résine phénolique (zone 16)

Dans la zone des cubillots est également présente la cuve de réserve en résine phénolique (cuve double paroi) en bon état apparent, ainsi que deux silos de sables de refroidissement des sables phénoliques.

2.3.2.17 Parc à fonte (zone 17)

Le parc à fonte et de stockage des matières premières pouvait accueillir jusqu'à 500 tonnes de fonte. Mais il accueillait aussi fréquemment du bois.

2.3.2.18 Ancien laboratoire sable

Ce laboratoire comportait un spectromètre.

2.3.2.19 Zone compresseurs/Transformateurs (zone 18)

Cette zone compte deux gros transformateurs ainsi qu'un plus petit. A coté, on trouve le système de vidange des compresseurs ainsi que 3 fûts de récupération des huiles usagées. Les huiles usagées étaient évacuées et éliminées avec les huiles de vidange du garage d'entretien, dans une fosse de récupération des huiles avant pompage et élimination.

Les transformateurs sont posés apparemment tous sur le sol bétonné, et sont dépourvus de PCB du moins pour ceux qui fournissent l'énergie aux installations au cours des dernières années.

2.3.2.20 Quai de chargement/déchargement (zone 19)

A proximité du quai, une zone de stockage provisoire de produits en quantité relativement modérée a pu être constatée. Elle comprend des fûts métalliques en mauvais état, qui contiennent des produits d'entretien, des huiles, des bétatets et des furannes.

2.3.2.21 Parc à coke et matières premières (site 1c)

Ce parc de stockage, à l'air libre, est situé de l'autre coté de l'avenue de Dijon. Il renfermait essentiellement du coke.

Ce parc existe officiellement depuis 1974, mais doit dater plus vraisemblablement des années 1960, selon les témoignages et informations récoltées. Ce parc est entièrement recouvert de bitume.

2.3.2.22 Aire de stockage (site 2)

Cette aire de stockage, à l'air libre, est implantée au 29 de la rue des Douets. Il a renfermé vraisemblablement des châssis, des pièces de rechange, des briquettes, des matières premières ainsi que différents produits utilisés sur le site, notamment des conditionnements en fûts.

Cette aire comporte une bascule qui devait servir vraisemblablement à la pesée de l'ensemble des entrées et sorties en matières premières ainsi que potentiellement des déchets produits.

Cette aire existe officiellement depuis 1974. Elle est recouverte sur la quasi-totalité de sa surface de bitume sur lequel est présent un mélange de terre et de poussière avec de nombreuses imprégnations et traces de type rouille.

2.3.3 Recensement des sources potentiellement polluantes

La synthèse de l'étude historique a permis de mettre en évidence les activités potentiellement polluantes qui ont été exercées sur site depuis sa création jusqu'à nos jours.

Le tableau suivant (et la ***figure 2***) présente les sources potentielles de pollution qui ont été recensées sur le site.

Tableau 1 : Recensement des sources potentielles de pollution sur la zone d'étude en fonction de l'activité du site

Zones	Caractéristique de la source potentielle de pollution	Substances potentiellement présentes
1	Bâtiment entretien véhicules (fosses et cuves à huile)	HCT, HAP
2	Station de carburant (cuves fioul et gasoil)	HCT, BTEX
3	Stockage de ferrailles et métaux	Métaux
4	Usinage/entretien (machines et stockage produits entretien)	HCT, HAP, métaux, COHV
5	Sablerie à vert, ancienne zone ébarbage (machines)	Métaux, HCT, HAP
6	Noyautage : résines et catalyseurs	Métaux, indice phénol, BTEX
7	Chantier mécanisé (fonte en fusion)	Métaux, HCT, HAP, Cyanures
8	Ancien chantier de machines	Métaux, HCT, HAP
9	Décochage / grenaillage (machines, sables phénoliques)	Métaux, HAP, phénols
10	Ebarbage / écroûtage (machines)	Métaux, HCT, HAP
11	Fosse pour vernis bitumineux	HCT, HAP, BTEX, métaux
12	Tunnel (stockage, alimentation cubilot GS)	Métaux, cyanures
13	Cubilot GS (fusion)	Métaux, indice phénol, cyanures, formaldéhydes
14	Cubilot (fusion)	Métaux, cyanures
15	Chantier contrepoids (moulage)	Métaux, indice phénol, cyanures, formaldéhydes
16	Cuve résine phénolique	Indice phénol, formaldéhyde
17	Parc à fonte	Métaux lourds
18	Zone compresseurs, transformateurs	PCB, HCT
19	Quai de chargement/déchargement	HCT, HAP, BTEX, métaux
Site 1c	Parc à coke et matières premières	Métaux, HCT, HAP, BTEX, indice phénol
Site 2	Aire de stockage	Métaux, HCT, HAP, BTEX, indice phénol

2.4 Projets d'aménagement envisagés pour le site

A l'heure actuelle, aucun scénario futur d'aménagement n'est défini sur le site. Toutefois, plusieurs types d'aménagement pourraient être envisagés :

Sites 1a et 2 :

- aménagement de logements individuels de plain pied (pavillons) avec des jardins privatifs ;
- aménagement de bâtiments de logements collectifs (avec et sans niveau de sous-sol) ;
- aménagement de bâtiments d'activités commerciales ou tertiaires (avec et sans niveau de sous-sol) ;
- aménagement d'un parking de surface avec espaces verts ;
- aménagement d'un équipement sportif et/ou public ;

Site 1c :

- aménagement de logements individuels de plain pied (pavillons) avec des jardins privatifs ;
- aménagement d'un parking de surface avec espaces verts.

2.5 Contexte environnemental

2.5.1 Contexte hydrologique

Le pays de Flers compte de nombreux petits cours d'eau. Sur le site, aucun cours d'eau ni eaux superficielles n'a été recensé.

Un petit affluent de la Vère passe à près de 650 mètres au sud du site. La Vère passe, quant à elle, à près de 750 mètres au sud-ouest du site. Ils s'écoulent tous les deux dans le sens de la pente du sol au niveau des différentes zones d'activités de la fonderie de Flers.

Enfin, un dernier cours d'eau, également affluent de la Vère, s'écoule au nord du site à près de 500 m, mais dans le sens opposé de la pente.

2.5.2 Contexte géologique

D'après la carte géologique de Flers de l'Orne (n°211), on trouve de haut en bas la succession géologique régionale suivante (cf. ***figure 3***) :

- les cornéennes du Briovérien, qui montrent une texture massive. Elles sont généralement micacées ou feldspathiques résultant de la recristallisation de la formation schisteuse initiale.

  L'altération d'origine climatique et pédogénétique de cette formation a entraîné la formation d'une couche superficielle, d'une dizaine de mètres d'épaisseur, composée d'argiles et de sables en proportions variables ;
- les graniodiorites à cordiérite : socle granitique présentant potentiellement des fractures. La présence de ce socle n'est cependant vérifiée au droit du site.

Lors de la réalisation des sondages, la succession géologique locale suivante a été mise en évidence :

- les remblais ont été mis en évidence sur environ 0,5 à 1 mètre de profondeur ;
- les limons marron (correspondant à l'altération des cornéenne du Biovérien).

2.5.3 Contexte hydrogéologique

Au droit du site, la nappe est rencontrée dans les argiles sableuses d'altération présentes sous les remblais, vers 2 mètres de profondeur en moyenne.

Les formations briovériennes, quant à elles, métamorphisées ou non, n'offrent guère de possibilité d'aquifères importants. En effet, les graniodiorites ne possèdent pas de porosité primaire. Elles peuvent constituer des réserves aquifères que si elles sont altérées ou fracturées. Classiquement, on considère que les arènes contiennent la « ressource » en eau et les roches saines fracturées la « perméabilité ».

2.5.4 Usages des eaux

Il faut noter que les captages d'eau, et plus particulièrement les captages pour l'alimentation en eau potable (AEP), sont des cibles potentielles par rapport à la pollution des sols et que les nappes sont aussi des voies de transfert possibles des pollutions.

Les informations suivantes ont été extraites des rapports de Tauw Environnement et de la consultation, par EXCIPE France – Groupe BURGEAP, de la base de données de l'Agence de l'Eau.

2.5.4.1 Alimentation en eau potable

Découlant du contexte hydrogéologique local, les ressources en eau potable sont constituées par les eaux de surface. Concernant les captages à usage d'eau potable, les données recensées dans le rapport de Tauw Environnement sont synthétisées dans le tableau suivant. Notons que ces captages n'ont pas été retrouvés dans la base de l'Agence de l'Eau.

Tableau 2 : liste des captages AEP présents à proximité du site

Nom du point	*Nappe captée*	*Capacité de l'usine*	*Position par rapport au site*	*Distance au site*
Flers Visance	Eaux de surface Etang de Visance Barrage de Landsisacq	180 m^3/h	ouest	8 km
Auvilliers-Varenne	Eau de surface au fil de l'eau de la Varenne	280 m^3/h	sud	15 km

2.5.4.2 Captages industriels

Concernant les captages à usage industriel, les données recensées dans le rapport de Tauw Environnement sont synthétisées dans le tableau suivant. Notons que ces captages n'ont pas été retrouvés dans la base de l'Agence de l'Eau.

Tableau 3 : liste des captages AEI présents à proximité du site

N° POINT	*Nom du point*	*Profondeur de la nappe captée*	*Position par rapport au site*	*Distance au site*
02112X0010	Route de Domfront Flers	52 m	aval	2 km
02112X0001	Etablissement Cousin St Georges des Groseilles	47 m	Aval	3 km

2.5.4.3 Captages agricoles/pour cheptel

Concernant les captages à usage agricole ou pour le cheptel, les données recensées dans le rapport de Tauw Environnement sont synthétisées dans le tableau suivant. Notons que ces captages n'ont pas été retrouvés dans la base de l'Agence de l'Eau.

Tableau 4 : liste des captages AEA présents à proximité du site

N° POINT	*Nom du point*	*Profondeur de la nappe captée*	*Position par rapport au site*	*Distance au site*
02113X0011	Hautes Foltières Flers	88 m	aval	2 km
02112X0011	La Fouillée La Bazoque	52 m	aval	8 km
02113X0012	Launay Echalou	47 m	latéral	6 km
02118X0002	La Chalière Bellou-en-Houlne	36 m	latéral	11 km
02112X0009	L'Hodiesnière Saint Paul	52 m	latéral	7 km

2.5.4.4 Synthèse sur la vulnérabilité/sensibilité des eaux souterraines

Au regard des données disponibles, les eaux souterraines sont peu exploitables au droit du site. Les eaux souterraines utilisées pour un usage industriel ou agricole sont captées dans des eaux profondes. Elles ne paraissent donc pas vulnérables par rapport aux pollutions présentes au droit du site.

Concernant les usages pour l'eau potable, les prélèvements sont effectués dans les eaux de surface. Compte tenu des distances entre le site et les eaux de surface considérées, ces captages sont peu vulnérables par rapport aux pollutions qui pourront être mises en évidence sur le site.

2.5.5 Recensement de sites potentiellement pollués autour du site

Le site n'est pas enregistré dans la base de données des sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) BASOL consultable sur internet. Toutefois, plusieurs sources de pollution potentielles des sols ou des eaux souterraines ont été identifiées à proximité immédiate du site.

Les sites pollués les plus proches enregistrés dans la base de données BASOL sont récapitulés dans le tableau 5 ci-dessous (et en ***annexe 2***).

Tableau 5 : liste et caractéristiques des sites pollués recensés sur BASOL à proximité du site étudié

N° du site	Établissement	Localisation	Pollution observée	Distance du site
9	Ancienne usine à gaz	Rue de la Fonderie Flers	Ce terrain a accueilli de 1864 à 1963 une usine fabricant du gaz à partir de la distillation de la houille. Le site a fait l'objet d'un diagnostic initial en septembre 1993 suivi d'un diagnostic approfondi en janvier 1994. Ces investigations ont montré l'existence de foyers de contamination à proximité de cuves à goudrons enterrées. De février à mai 1994, des travaux de réhabilitation ont consisté en neutraliser les cuves à goudrons, excaver et traiter les terres souillées. Au total, 533 tonnes de matériaux souillés ont été éliminées en centre agréé. En 1995, l'analyse des eaux souterraines a montré la présence de sous-produits issus de l'activité gazière. Toutefois, la nappe n'étant pas exploitée pour l'alimentation en eau potable, elle ne présente pas de risque pour la santé humaine. Dans le cadre du suivi de la qualité des eaux, les sous-produits de l'activité gazière ne sont plus mis en évidence. Dans ce cadre, aucune action n'est actuellement envisagée sur le site.	2 km au sud-ouest
13	FAURECIA Sièges d'Automobile	Le Bois de Flers Saint Georges les Groseillers	Cette usine, implantée depuis les années 1960, est spécialisée dans la production d'accessoires automobiles (présence de stockages divers, d'un atelier de zingage et de bains notamment contenant des cyanures et des chromes). Cet atelier et ces bains ont été démantelés en 1995. Un diagnostic a été effectué. Il a mis en évidence une pollution des sols et des eaux souterraines par des hydrocarbures et des solvants halogénés. Les eaux ont fait l'objet d'un traitement.	1 km au nord-est

3 Données sur la pollution du site

Les sources de pollution identifiées lors des études précédentes et du présent diagnostic approfondi sont reportées sur les ***figures 4*** et les ***figures 5***. Le présent paragraphe présente la synthèse des connaissances sur la pollution du site.

3.1 Valeurs de références utilisées

Milieu sol

Conformément à la méthodologie des Evaluations détaillées des Risques développée dans le guide du MEDD/BRGM/INERIS, version 2000, les concentrations dans les sols au droit de la zone d'étude seront comparées à des concentrations caractéristiques du bruit de fond.

Pour les métaux et métalloïdes, en l'absence de données locales, la gamme de concentrations qui sera utilisée pour comparaison est celle mise en évidence dans les sols naturels ordinaires (sans anomalie géochimique) par l'INRA (Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols, Denis BAIZE, 1997).

Pour les HAP, en l'absence de données locales, les valeurs de référence qui seront utilisées sont extraites de l'ATSDR (Toxicological profile for PAHs, 1995) et des fiches toxicologiques de l'INERIS.

Pour les autres substances, en l'absence de valeurs de bruit de fond, nous utiliserons, à titre indicatif, la plus faible des valeurs entre les concentrations néerlandaises (valeurs « S » correspondant à un sol usuel), et les valeurs de définition de source-sol (VDSS) utilisées dans le cadre des ESR et issues du guide méthodologique intitulé « gestion des sites (potentiellement) pollués » rédigé sous l'égide du Ministère de l'Environnement (version 2 de mars 2000 et mise à jour du 9 Décembre 2002).

L'étain n'est pas référencé dans cet ouvrage. Les normes hollandaises de 1990 (valeurs indicatives en France) sont utilisées. Elles présentent trois niveaux : A (niveau de base) de 20 mg/kg, niveau B (nécessité d'étude) de 50 mg/kg et niveau C (nécessite d'action curative) de 300 mg/kg. Nous retiendrons la valeur du niveau A.

Le molybdène n'est pas référencé dans cet ouvrage. La valeur S est de 10 mg/kg.

Pour l'antimoine, il n'existe pas de critères néerlandais mais des valeurs canadiennes « interim remediato criteri » en fonction de l'aménagement. Pour un usage résidentiel / parc, cette valeur est de 20 mg/kg.

Pour le vanadium, il n'existe pas de critères néerlandais mais une valeur américaine « soil cleanup criteria » de 370 mg/kg.

Pour le manganèse, la synthèse des analyses réalisées sur 503 échantillons de sols (D BAIZE, INRA, 1997) montrent des concentrations dans les sols très variables et fortement dépendantes des familles géo-pédologiques. Ces teneurs présente les statistiques suivantes : $10^{ème}$ centile : 112 mg/kg, médiane : 681 mg/kg, $9^{ème}$ décile : 4609 mg/kg. Nous retiendrons la valeur du $10^{ème}$ centile.

Tableau 6a : valeurs de référence pour les sols

Métaux et métalloïdes	Valeur de référence utilisée (bruit de fond)
Arsenic (mg/kg MS)	1-25
Cadmium (mg/kg MS)	0,05-0,45
Chrome (mg/kg MS)	10-90
Cobalt	2-23
Cuivre (mg/kg MS)	2-20
Mercure (mg/kg MS)	0,02-0,20
Nickel (mg/kg MS)	2-60
Plomb (mg/kg MS)	9-50
Zinc (mg/kg MS)	10-100

Antimoine	20
Etain	20
Molybdène	10
Vanadium	370
Manganèse	112

HAP (Hydrocarbures aromatiques polycycliques)	Valeur de référence utilisée (bruit de fond)
Naphtalène	<0,002
Acénaphtylène	<0,01
Acénaphtène	-
Fluorène	<0,01
Phénanthrène	<0,01
Anthracène	<0,01
Fluoranthène	<0,04
Pyrène	<0,02
Benzo(a)anthracène	<0,02
Chrysène	<0,04
Benzo(b)fluoranthène	<0,1
Benzo(k)fluoranthène	<0,05
Benzo(a)pyrène	<0,002
Dibenzo(a,h)anthracène	<0,01
Benzo(g,h,i)pérylène	<0,07
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	<0,015

Milieu eaux souterraines

Pour le milieu « eaux souterraines », il n'existe pas de définition de « bruit de fond local ».

Les concentrations mesurées seront donc comparées aux CMA (Concentrations Maximales Admissibles pour les eaux potables) définies par le décret 2001-1220 du 20 Décembre 2001. Ces normes ne sont pas définies pour l'ensemble des substances étudiées. Par conséquent, à défaut, la valeur de référence sera prise égale à la valeur guide définie par l'OMS (Guidelines for drinking-water quality, 2004).

Parmi les paramètres étudiés, seuls les hydrocarbures totaux ne font pas l'objet d'une évaluation par le décret n°2001-1220 ou par l'OMS. La valeur de référence considérée pour ce paramètre sera donc l'ancienne norme française définie par le décret n°89-3.

Milieu air atmosphérique

En France le décret 2002-213 de février 2002 sur les objectifs de qualité de l'air propose les valeurs guides. Par ailleurs, l'OMS (Air quality Guidelines for Europe, 2000) propose également des valeurs guides. Enfin, on notera qu'une future directive européenne présentera prochainement des valeurs sur certains métaux et métalloïdes. L'ensemble de ces valeurs est donné dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6b : valeurs de référence pour l'air atmosphérique

Paramètre	Décret 2002-213 de février 2002 (concentrations en µg/m^3)	Valeur guide OMS (2000) (concentrations en µg/m^3)
Cadmium	-	0,005
Chrome	-	0,00025 (chrome VI)
Mercure	-	1
Nickel	-	0,025
Plomb	0,25 (0,5)	0,5
Benzo-a-pyrène	-	0,00012

3.2 Historique des investigations effectuées sur le site

3.2.1 Investigations antérieures à la présente étude

En **novembre 2004**, la société ATI Services a réalisé un diagnostic sur le site de l'ancienne fonderie Sonofoque à Flers. Ce diagnostic a consisté en la réalisation de 31 sondages répartis sur l'ensemble du site (sondages S1 à S31). Cette étude met en évidence :

- au droit du site 1a :
  - un impact généralisé des sols superficiels par des métaux ;
  - une pollution des sols par des hydrocarbures en bordure de la station carburant ;
  - au droit des différents sondages réalisés sur la zone du site du Champ de Foire, la présence de teneurs localisées en cyanures, HAP et/ou formaldéhyde a été mise en évidence ;
- au droit du site 1b :
  - mise en évidence d'un impact des sols superficiels par des métaux et de teneurs localisées en HCT e HAP ;
- au droit du site 1c :
  - mise en évidence d'un impact localisé des sols superficiels par des métaux.

L'ensemble des sondages réalisés lors de ces études est reporté en ***figure 4***.

3.2.2 Diagnostic approfondi réalisé dans le cadre de l'EDR

EXCIPE FRANCE a réalisé les 29 et 30 juin et les 7 et 8 juillet 2006 un diagnostic approfondi sur le site de l'ancienne fonderie Sonofoque. Les objectifs de la présente phase d'investigations complémentaires ont été les suivants :

- dimensionner les zones polluées mises en évidence dans le diagnostic initial déjà réalisé sur site :
  - Zone 2 (station de carburant) : hydrocarbures et BTEX ;
  - Zone 11 (fosse pour vernis) : hydrocarbures et HAP ;
  - Zone 12/14 ((tunnel et cubilot) : cyanures ;
  - Zone 13 (cubilot) : formaldéhyde et cyanures ;
  - Zone 15 (chantier contre poids) : formaldéhydes
- mais également de combler les lacunes (nombre de sondage insuffisant par zone, composés non recherchés) en adéquation avec les futurs projets potentiels.

Et plus précisément :

- au droit du site 1a :
  - confirmer l'impact généralisé des sols superficiels par des métaux ;
  - confirmer la pollution localisée des sols par des hydrocarbures en bordure de la station carburant et mise en évidence de teneurs résiduelles localisées en hydrocarbures dans les sols ;

- confirmer les teneurs en HAP supérieures aux valeurs de référence prises en considérations dans le cadre d'une Evaluation Détaillée des Risques sur la quasi-totalité du site ;
- confirmer les teneurs ponctuelles en phénols ;
- confirmations de l'absence de teneurs significatives en BTEX ;
- réaliser des analyses complémentaires réalisées sur 2 échantillons composites (C1 et C2) des sables et poussières recouvrant les dalles au sein du site de la fonderie pour valider la teneur résiduelle en PCB.

- au droit du site 1b :
  - confirmer l'impact localisé des sols superficiels par des métaux ;
- au droit du site 1c :
  - confirmer l'impact localisé des sols superficiels par des métaux ;
  - confirmer l'absence de teneurs significatives en HCT, BTEX, HAP et phénols.

Dans le cadre de ce diagnostic approfondi, les investigations ont été les suivantes :

- 16 sondages de sol à 4 mètres de profondeur au maximum avec prélèvements et analyses de sol,
- 3 piéz'airs afin de caractériser la volatilisation des composés volatils au droit des sources majeures de pollutions.

3.2.3 Dépollutions envisagées

Une dépollution de la zone de la station de distribution va être réalisée jusqu'à un seuil de 500 mg/kg (excavation des terres et élimination en CET 2 ou biocentre). Elle consistera à l'excavation des terres présentes au droit des points de sondages PR1 et S4.

Le volume des terres concernées a été estimé à 300 m^3 de la manière suivante :

zone	profondeur du toit de la fouille (m)	profondeur du fond de fouille (m)	épaisseur à évacuer (m)	Surface de la zone à évacuer (m2)	Volume potentiel à évacuer (m3)	longueur de talus à conserver (m)	volume de terres polluées du talus à conserver (m3)	Volume de terres à évacuer (m3)	Filière d'élimination
1	0	3.5	3.5	120	420	20	123	298	CET2 / biocentre
					Volume total de terre à évacuer en CET 2/Biocentre (m3)			**298**	
					Masse totale de terre à évacuer en CET 2/Biocentre (tonnes)			**536**	

3.3 Synthèse des investigations sur les sols

L'ensemble des analyses du présent diagnostic et de ceux réalisés par le passé est présenté sous forme de tableau en ***annexe 5*** ; le présent paragraphe en fait la synthèse. Les bordereaux des analyses réalisées par EXCIPE France dans le cadre de la présente étude sont fournis en ***annexe 4*** et les coupes de sondages sont présentées en ***annexe 3***.

Ne sont présentés dans les paragraphes ci-dessous que les pollutions mises en évidence au moins une fois dans le sol. Notons que cette synthèse prend en considération la dépollution qui sera effectuée au droit de l'ancienne station de distribution de carburant.

Remarque 1 : Les concentrations moyennes, et centile 90[4] ont été établies en prenant, lorsque la concentration mesurée était inférieure à la limite de quantification, une valeur égale à cette limite, cette procédure tend à majorer les valeurs ainsi calculées.

Remarque 2 : le calcul de la concentration moyenne et centile 90 n'a été réalisé que quand un nombre suffisant d'analyses étaient disponibles. Dans le cas contraire, aucune valeur de moyenne ou centile n'est affichée dans les tableaux de synthèse présentés ci-après.

Concernant les métaux

Les métaux lourds ont été recherchés sur 16 ou 39 sondages (en fonction des composés) et sur 16 ou 39 échantillons, en surface comme en profondeur.

Au moins un des métaux a été détecté à une concentration supérieure à la valeur de référence sur l'ensemble des parcelles investiguées (cf. ***figure 5a***).

Le détail des analyses est présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7 : synthèse des analyses sur les sols en métaux

Composés	Brut (mg/kg)					Lixiviats (mg/kg MS)	
	Référence dans les sols	Nb. > référence	C min	C max	C moy	Seuil déchet inerte	C max
Antimoine	20	1	1.3	110	12.7	0,06	0,056
Arsenic	1-25	11	5	72	18.5	0,5	<0,05
Baryum	-	-	-	-	-	0.44	**20**
Bore	-		3.5	38	10.6	-	-
Cadmium	0,05-0,45	1	0.14	0.72	0.3	0,04	**0,041**
Chrome	10-90	1	15	100	43.1	0,5	<0,2
Cuivre	2-20	37	19	481	119.1	2	0,22
Etain	20	9	3	300	19.7	-	-
Mercure	0,02-0,20	4	0.1	5.1	1.3	0,01	<0,0003
Molybdène	10	0	1	6.8	2	0,5	<0,05
Nickel	2-60	1	16	70	28.8	0,4	**0,93**
Plomb	9-50	11	8.9	590	146.7	0,5	<0,05
Sélénium	-	-	-	-	-	0,1	**0,16**
Vanadium	370	0	30	160	56.6	-	-
Zinc	10-100	11	36	580	208.8	4	**16**

Les résultats sur lixiviats (analyses effectuées sur les sables de fonderie uniquement) montrent que seuls l'antimoine, le baryum, le cadmium, le cuivre, le nickel, le sélénium et le zinc ont été détectés. Seules les concentrations en baryum, en cadmium, en sélénium et en zinc sont supérieures aux seuils définissant les déchets inertes fixés par la décision du conseil du 19 décembre 2002 (conformément à l'article et à l'annexe II de la directive 1999/31/CE), et ce même si on considère les concentrations moyennes sur les deux échantillons composites prélevés.

Dans ce cadre, les sables de fonderie qui seront évacués hors site ne pourront être considérées comme inertes.

[4] On considère en effet que sur une enveloppe de 10 analyses, 1 peut ne pas être représentative de la pollution du site, nous entendons par là que cette valeur qui correspond à un « spot » de pollution isolé doit être traité dans l'étude comme tel et intervenir dans l'estimation d'un risque ponctuel (voir paragraphe incertitude et sensibilité).

Concernant les hydrocarbures

Ils ont été recherchés sur 28 sondages et sur 30 échantillons (dont 2 sur des sables de fonderie), en surface comme en profondeur, et détectés sur 27 d'entre eux, à des concentrations restant, en général, faibles. En effet, seuls 10 d'entre eux présentent une concentration supérieure à 50 mg/kg (concentration maximale de 12 000 mg/kg). La concentration moyenne en hydrocarbures sur l'ensemble du site est de l'ordre de 690 mg/kg MS.

Les concentrations supérieures à 500 mg/kg (valeur du seuil définissant les déchets inertes) sont mises en évidence en 3 points de sondage : les sondages PR1, S4 implantés dans la zone qui sera dépolluée (source A) et le sondage S14 implanté à proximité de la fosse pour vernis bitumineux (source B) (cf. ***figure 5b***). Ces zones polluées correspondent à deux sources distinctes de pollution qui sont bien limités verticalement et horizontalement. La source A correspond environ à 300 m^3 (cf. § 3.2.3) et la source B de l'ordre de 480 m^3.

En cas d'excavation des terres issues de ces zones, elles devront être dirigées vers centre de catégorie B. Le surcoût lié à l'excavation de la source B (il est déjà prévu d'éliminer la source A) est présenté dans le paragraphe 10.

De plus, les concentrations les plus importantes sont mises en évidence sur la couche superficielle des sols et elles diminuent rapidement avec la profondeur.

Concernant les BTEX

Ils ont été recherchés sur 11 points de sondage et sur 12 échantillons en surface comme en profondeur.

Seuls l'éthylbenzène, les xylènes, l'éthyltoluène total, le pseudocumène et l'hémélitène ont été détectés, au droit du point de sondage S14 uniquement.

Aucun BTEX n'a été détecté sur l'ensemble des autres échantillons analysés.

La somme des BTEX en S14 reste faible : 8,6 mg/kg.

Concernant les COHV

Ils ont été recherchés en S5 uniquement, et n'ont pas été détectés. Notons toutefois que l'usage de solvants chlorés n'a pas été mis en évidence lors de la synthèse de l'étude historique.

Concernant les HAP

Ils ont été recherchés sur 25 points de sondage et sur 27 échantillons (dont 2 sur des sables de fonderie) en surface comme en profondeur. Au moins un d'entre eux a été détecté sur 18 échantillons représentant 18 points de sondage, sur l'ensemble du site (cf. ***figure 5c***). L'ensemble des concentrations totales (somme des 16 HAP) varie de 0.04 à 31 mg/kg MS, avec une concentration moyenne de 4,5 mg/kg MS c'est-à-dire inférieure au seuil définissant les déchets inertes (50 mg/kg MS).

Notons que le naphtalène, HAP le plus volatil, a été mis en évidence sur 8 échantillons, à une concentration maximale de 4,9 mg/kg M.S (avec une concentration moyenne associée de 0,9 mg/kg M.S.).

Dans le cadre de la dépollution de la zone de la station de carburants, des terres renfermant des HAP vont être excavées. Les teneurs maximales après dépollution seront alors de 5.8 mg/kg (somme des 16 HAP en T8). La concentration maximale en naphtalène sera quant à elle de 0.2 mg/kg (en T2).

Concernant les PCB

Ils ont été recherchés sur les deux échantillons composites C1 et C2. Ils ont été détectés en C1 uniquement à une concentration totale (somme des 7 PCB congénères) de 0,52 mg/kg MS c'est-à-dire inférieure au seuil définissant les déchets inertes (1 mg/kg MS).

L'étude de la répartition des 7 PCB congénères ne montre pas une répartition pouvant correspondre à un *aroclor* précis.

Concernant les cyanures totaux

Ils ont été recherchés sur 11 échantillons et 11 sondages. Ils ont été détectés uniquement sur deux d'entre eux (S17-19 et S18) à une concentration maximale restant faible de 0,3 mg/kg MS.

Ceux-ci correspondent à deux zones impactées distinctes. La première (S18) pourrait représenter 220 m². La seconde semble ponctuelle.

Concernant les formaldéhydes

Ils ont été recherchés sur 9 échantillons et 7 sondages. Ils ont été détectés uniquement sur deux échantillons (S18 et S20) à une concentration maximale de 0,3 mg/kg MS.

La zone polluée comprenant les points de sondage S18 et S20 est délimitée horizontalement et verticalement par les points de sondages effectués lors de cette nouvelle campagne ; la zone polluée par des formaldéhydes pourrait représenter 300 m².

Concernant les indices phénols

Ils ont été recherchés sur 7 échantillons représentant 7 sondages. Ils n'ont pas été détectés.

Concernant les phénols

Ils ont été recherchés sur 7 échantillons représentant 7 sondages. Ils ont été détectés uniquement en T10 à une concentration faible de 0.053 mg/kg.

Concernant les crésols

Ils ont été recherchés sur 7 échantillons représentant 7 sondages. Ils ont été détectés en T7 et T10 à des concentrations respectives de 0.016 et 0.013 mg/kg.

3.4 Synthèse des investigations sur l'air du sol

Dans le cadre du diagnostic approfondi, des prélèvements et analyses ont été réalisées dans l'air du sol au droit de 3 piéz'airs (le détail du mode et des conditions de prélèvements est présenté en ***annexe 3***). Les concentrations mesurées et présentées ci-après permettent de mettre en évidence les équilibres entre la présence des polluants dans les sols et/ou la nappe et ceux présents dans l'air du sol.

Les piéz'airs ont été implantés au droit des points de sondage qui présentaient les concentrations les plus importantes en composés volatils. Notons que leur implantation a été réalisée en fonction des observations de terrain et des résultats d'analyses des campagnes effectuées par ATI Services.

Les composés recherchés ont été les suivants :

- hydrocarbures (coupes C_5-C_{10}) ;
- composes aromatiques volatils – CAV ;
- hydrocarbures aromatiques polycycliques - HAP ;
- le mercure ;
- les formaldéhydes.

Les analyses effectuées sur les 3 piéz'airs sont les suivantes (*cf.* ***figure 4*** et ***annexes 3***, ***4*** et ***5***) :

Tableau 8 : synthèse des analyses sur les gaz du sol

Piéz'airs	Profondeur	Points de sondage à proximité	Hydrocarbures		CAV		Naphtalène		formaldéhydes		Mercure	
			Sols (mg/kg)	Gaz (mg/m^3)	Sols (mg/kg)	Gaz (mg/m^3)	Sols (mg/kg)	Gaz (mg/m^3)	Sols (mg/kg)	Gaz (mg/m^3)	Sols (mg/kg)	Gaz (mg/m^3)
PR1	2 m	S4, S3	**12 000**	8.8	< Ld	1.1	**4.9**	< Ld	Na	Na	Na	Nd
PR2	2 m	S13, S14, T7	960	0.42	Na	$9.0\ 10^{-2}$	Nd	Nd	Na	Na	Nd	Nd
PR3	2 m	S18, S20, T10	Na	Na	Na	Na	Na	Na	0.3	$3.8\ 10^{-3}$	Nd	Nd

X : concentrations maximales avant le diagnostic approfondi
X : concentrations maximales après le diagnostic approfondi
X : une des concentrations maximales avant le diagnostic approfondi
Na : non analysé
Nd : non détecté

Concernant le mercure

Les vapeurs en mercure ont été recherchées sur l'ensemble des 3 piéz'airs, mais n'ont pas été détectées. *Le mercure mis en évidence dans les sols n'est donc pas volatil*.

Concernant les hydrocarbures

Les hydrocarbures ont été recherchés sur 2 piéz'airs implantés au droit des deux zones présentant les concentrations en hydrocarbures les plus importantes.

Ils ont été détectés dans les gaz du sol sur l'ensemble de ces 2 ouvrages, à des concentrations variant de 0.42 à 8.8 mg/m^3.

Rappelons que la zone comprenant le point PR1 va faire l'objet d'une dépollution.

Concernant les CAV

Les CAV (dont le benzène) ont été recherchés sur 2 piéz'airs implantés au droit des deux zones présentant les concentrations en hydrocarbures les plus importantes.

Le benzène a été détecté en PR1 uniquement dans les gaz du sol.

Le toluène et les xylènes ont été détectés dans les gaz du sol au droit des 2 piéz'airs ayant fait l'objet d'analyse.

La somme des BTEX mesurés dans les gaz du sol varie de 0.09 à 1.1 mg/m^3.

Les concentrations en benzène et en xylènes au droit de PR1 sont supérieures aux valeurs de référence. Les autres concentrations mesurées sont, quant à elles, inférieures aux valeurs de référence.

Concernant le naphtalène

Le naphtalène a été recherché en PR1 (point présentant la concentration en naphtalène dans les sols la plus importante) et en PR2.

Il n'a pas été détecté.

Concernant les formaldéhydes

Les formaldéhydes ont été recherchés en PR3, à proximité des points de sondages S18 et S20 au droit desquels des formaldéhydes ont été mis en évidence dans les sols.

Ils ont été détectés à une concentration de $3.8\ 10^{-3}$ mg/m^3.

4 Schéma conceptuel

4.1 Méthodologie

Le schéma conceptuel est présenté de façon à visualiser :

- la ou les sources de pollution,
- les voies de transfert possibles,
- les cibles potentielles,
- les milieux d'exposition.

Il est présenté en ***figure 6*** et discuté dans les paragraphes suivants 4.2 à 4.5.

4.2 Sources de pollution

Les sources de pollution mises en évidence sur le site (localisation, substances et teneurs) sont présentées dans le paragraphe 3.

Les diagnostics effectués entre 2005 et 2006 (par les sociétés ATI Services et EXCIPE France), montrent que :

- les sols présentent des concentrations supérieures aux valeurs de référence en métaux (antimoine, arsenic, cadmium, chrome, cuivre, étain, mercure, nickel, plomb, zinc), en hydrocarbures, en HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), et ponctuellement par en BTEX (éthylbenzène, xylènes, éthyltoluène total, pseudocumène et hémélitène), en cyanures, des formaldéhydes, en phénols et en crésols ;
- les gaz du sol renferment des hydrocarbures, des BTEX (benzène et xylènes) et des formaldéhydes.

4.3 Cibles

4.3.1 Sur site

A l'heure actuelle, aucun scénario futur d'aménagement n'est défini sur le site. Toutefois, différents types d'aménagement pourraient être envisagés :

Sites 1a et 2 :

- aménagement de logements individuels de plain pied avec des jardins privatifs ;
- aménagement de bâtiments de logements collectifs (avec et sans niveau de sous-sol) ;
- aménagement de bâtiments d'activités commerciales ou tertiaires (avec et sans niveau de sous-sol) ;
- aménagement d'un parking de surface avec espaces verts ;
- aménagement d'un équipement sportif et/ou public ;

Site 1c :

- aménagement de logements individuels de plain pied avec des jardins privatifs ;
- aménagement d'un parking de surface avec espaces verts.

Scénario 1 (habitations en pavillons)

Les cibles à considérer sont :

- des enfants résidant dans les logements. L'âge des enfants résidant au droit du site est supposé être compris entre 0 et 6 ans, ces enfants sont considérés comme présent 20h/jour à leur domicile (référence étude INSEE, 1999),
- des adultes résidant dans les logements. Nous considérerons dans la présente étude que ces adultes sont présents 19 h/jour à leur domicile (référence étude INSEE, 1999).

Scénario 2 (habitations en immeubles)

Les cibles à considérer sont :

- des enfants résidant dans les logements. L'âge des enfants résidant au droit du site est supposé être compris entre 0 et 6 ans, ces enfants sont considérés comme présent 20h/jour à leur domicile (référence étude INSEE, 1999),
- des adultes résidant dans les logements. Nous considérerons dans la présente étude que ces adultes sont présents 19 h/jour à leur domicile (référence étude INSEE, 1999).

Scénarios 3 et 4 (parkings souterrains ou aériens)

Les cibles considérées sont :

- les adultes habitant sur place garant leur véhicule. On retiendra une fréquentation d'une demi-heure par jour, 330 jours par an, pendant 40 ans,
- les enfants habitant sur place accompagnant leurs parents garant leur véhicule. On retiendra une fréquentation d'une demi-heure par jour, 330 jours par an, pendant 6 ans.

Scénario 5 (bureaux)

Les cibles considérées sont les adultes travaillant sur place : présence 8 heures par jour, 220 jours par an, pendant 40 ans.

Sous le scénario « bureaux » sont pris en compte non seulement à un aménagement en bâtiment pour des activités tertiaire ou commerciales, mais également au scénario équipement sportif et/ou public.

Scénario 6 : espaces verts

Les cibles à considérer sont les adultes ou les enfants présents 2 heures par jour, 330 jours par an.

Les voies d'exposition retenues sont décrites dans le tableau du paragraphe 4.5.

Les paramètres généraux des expositions de ces cibles sont détaillés dans le paragraphe 4.3.3 ci-après.

4.3.2 Hors site

Conformément à notre proposition, l'étude portera uniquement sur des cibles sur site.

4.3.3 Budget espace-temps et caractéristiques des cibles

Le budget espace-temps pour les cibles considérées est détaillé ci-après. Nous ne considérerons, dans la présente étude, que les expositions chroniques.

Les sources de données utilisées sont d'une part les valeurs considérées par l'INERIS pour le calcul des Valeurs de Constat d'Impact pour un usage sensible d'un site (en particulier pour les fréquences de présence en intérieur et extérieur de l'habitation) et d'autre part les valeurs issues de l'étude INSEE, 1999[5] ou de la base de donnée CIBLEX (ADEME, 2003).

Pour les durées d'exposition, pour l'habitat, nous avons retenu la durée de 40 années, valeur plus conservatoire que la valeur utilisée dans le cadre de l'établissement des Valeurs de Constat d'Impact pour un usage sensible d'un site qui est de 24 ans pour les adultes.

Tableau 9 : Budget espace temps des cibles considérées

	Scénarios 1 et 2 habitations		Scénario 3 et 4 Parking de l'habitat		Scénario 5 tertiaire	Scénario 6 espaces verts	
	adultes	enfants	adultes	enfants	adultes	adultes	enfants
Durée d'exposition (T)	40 ans	6 ans	40 ans	6 ans	40 ans	40 ans	6 ans
Fréquence d'exposition (F1 en jour/an)	330 j/an	330 j/an	330 j/an	330 j/an	220 j/an	330 j/an	330 j/an
Fréquence en intérieur (F2-int en heure/jour)	19 h/j	18 h/j	0,5 h/j	0,5 h/j	8 h/j	-	-
Fréquence en extérieur (F2-ext en heure/jour)	1 h/j	1 h/j	-	-	0,5 h/j	2 h/j	2 h/j

Les périodes de temps sur lesquelles l'exposition est moyennée (Tm) sont prises égales à :

- 70 ans (correspondant à la durée de vie considérée par l'ensemble des organismes nationaux et internationaux pour l'établissement de valeurs toxicologiques et l'évaluation des risques) pour les effets cancérigènes quelque soit la cible considérée,
- T (correspondant à durée d'exposition) pour les effets toxiques non cancérigènes quelque soit la cible considérée.

Les volumes respiratoires moyens sont pris égaux à 20 m^3/jour pour les adultes et les enfants à partir de 7 ans en référence aux débits considérés par les organismes internationaux pour la dérivation des valeurs toxicologiques. On notera cependant que la moyenne établie pour les hommes et les femmes adultes à partir des données de CIBLEX sont de 25,7 m^3/jour en période active et 17,5 m^3/jour en période de sommeil, pour les enfants de 7 à 12 ans, la moyenne est de 20,9 m^3/jour et de 21,4 m^3/jour pour les adolescents de 12 à 17 ans. Pour les enfants de 0 à 7 ans, le volume respiratoire considéré est de 10 m^3/jour (moyenne entre les garçons et les filles en période active à partir des données de CIBLEX).

Rappelons que ces volumes respiratoires ne sont pris en compte que pour la dérivation des valeurs toxicologiques de la voie orale à la voie inhalation ; en l'absence de dérivation, ils n'interviennent pas dans les calculs des risques sanitaires.

Le poids corporel moyen d'un adulte est fixé à 60 kg pour les adultes à partir de 17 ans, 15 kg pour les enfants d'age inférieur à 7 ans et 31 kg pour les enfants jusqu'à 12 ans. Les données ayant permis de faire ce choix sont les suivantes :

- une moyenne de 62,55 kg pour les adultes (CIBLEX), le minimum et maximum étant respectivement de 42 et 83 kg,
- une moyenne de 14,4 kg pour les enfants âgés de 0 à 7 ans (CIBLEX), le minimum et maximum étant respectivement de 2 et 30 kg,
- une moyenne de 17,2 kg pour les enfants âgés de 2 à 7 ans (CIBLEX), le minimum et maximum étant respectivement de 12 et 21 kg,
- une moyenne de 30,6 kg pour un enfant âgé de 7 à 12 ans (CIBLEX), le minimum et maximum étant respectivement de 19 et 42 kg,

[5] Enquête sur l'emploi du temps 1998-1999, Paris, INSEE 1999, Division : condition de vie des ménages.

- une moyenne de 51,7 pour un adolescent âgé de 12 à 17 ans (CIBLEX), le minimum et maximum étant respectivement de 33 et 71 kg,
- 60 kg pour les adultes (INSERM et l'OMS),
- 70 kg pour les adultes (USEPA).

A la différence des volumes respiratoires, le poids des cibles intervient et dans la dérivation des valeurs toxicologiques de la voie orale à la voie inhalation et dans les calculs des doses d'exposition et donc des risques sanitaires.

4.4 Modes de transfert de la source vers les autres milieux

Les modes de transfert de la source vers les autres milieux pour les cibles sont les suivants :

- la volatilisation depuis les sols non saturés et saturés et la nappe et dispersion atmosphérique au transfert au travers des parois d'un bâtiment. Les milieux d'exposition sont l'air atmosphérique extérieur et l'air intérieur d'un bâtiment,
- la perméation au travers de conduites d'amenée d'eau potable enterrées dans les sols pollués. Le milieu d'exposition est l'eau du robinet dans les aménagements au droit du site,
- l'envol de poussières polluées pour les terrains qui ne seront pas recouverts (c'est-à-dire les jardins et les espaces verts uniquement),
- le contact direct avec les sols pollués ou les poussières de sol pour les terrains qui ne seront pas recouverts (c'est-à-dire les jardins et les espaces verts uniquement),

Ne sera pas retenu :

- la dissolution et circulation souterraine via la nappe superficielle (voir paragraphe 4.3.2.).

4.5 Milieux d'exposition

Les voies d'administration des polluants dans l'organisme sont de trois types : inhalation, ingestion et contact cutané. Les voies retenues pour chaque cible et pour chacun des 10 modes d'exposition proposés par le guide EDR du MEDD/BRGM/INERIS, version 2000 sont détaillées dans les tableaux suivants.

Ces modes d'exposition sont repris dans la ***figure 6*** qui présente le schéma conceptuel.

Concernant les expositions induites par la présence de pollution dans les eaux utilisées pour l'alimentation en eau potable (ingestion, inhalation de vapeurs et contact cutané durant la toilette), elles seront prises en compte par une comparaison entre les concentrations dans les eaux et les normes existantes pour les eaux potables (voir le paragraphe sur les valeurs de référence). Cette approche est discutée dans le paragraphe traitant des incertitudes.

Tableau 10 : Milieux d'exposition retenus pour l'EDR

Pavillons avec jardinets, espaces verts (scénarios 1 et 6)

Récepteur	Mode d'exposition	Sélection pour l'évaluation	Raison de la sélection ou de l'exclusion
Adultes et enfants	Inhalation de polluant sous forme gazeuse	Oui	Présence de polluants volatils
	Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières du sol	Oui	Sols non recouverts
	Inhalation de vapeur d'eau polluée	Oui	Calcul de la concentration en volatils dans la canalisation et comparaison aux valeurs réglementaires pour l'eau potable (CMA)
	Ingestion directe de sol et/ou de poussières	Oui	Sols non recouverts
	Ingestion d'aliments d'origine végétale cultivés sur le site	Oui	Cultures possibles
	Ingestion d'aliments d'origine animale à partir d'animaux élevés, chassés ou pêchés sur le site	Non	Pas d'animaux élevés, chassés ou pêchés sur le site
	Ingestion d'eau contaminée	Oui	Calcul de la concentration en volatils dans la canalisation et comparaison aux valeurs réglementaires pour l'eau potable (CMA)
	Absorption cutanée de sols et/ou de poussières	Oui	Sols non recouverts
	Absorption cutanée d'eau contaminée	Oui	Calcul de la concentration en volatils dans la canalisation et comparaison aux valeurs réglementaires pour l'eau potable (CMA)
	Absorption cutanée de polluant sous forme gazeuse	Non	Négligeable

Immeubles d'habitation (scénario 2)

Récepteur	Mode d'exposition	Sélection pour l'évaluation	Raison de la sélection ou de l'exclusion
Adultes et enfants	Inhalation de polluant sous forme gazeuse	Oui	Présence de polluants volatils
	Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières du sol	Non	Sols recouverts par bâtiments ou dallage ou couche de matériaux rapportés
	Inhalation de vapeur d'eau polluée	Oui	Calcul de la concentration en volatils dans la canalisation et comparaison aux valeurs réglementaires pour l'eau potable (CMA)
	Ingestion directe de sol et/ou de poussières	Non	Sols recouverts par bâtiments ou dallage ou couche de matériaux rapportés
	Ingestion d'aliments d'origine végétale cultivés sur le site	Non	Pas de culture sur le site
	Ingestion d'aliments d'origine animale à partir d'animaux élevés, chassés ou pêchés sur le site	Non	Pas d'animaux élevés, chassés ou pêchés sur le site
	Ingestion d'eau contaminée	Oui	Calcul de la concentration en volatils dans la canalisation et comparaison aux valeurs réglementaires pour l'eau potable (CMA)
	Absorption cutanée de sols et/ou de poussières	Non	Sols recouverts par bâtiments ou dallage ou couche de matériaux rapportés
	Absorption cutanée d'eau contaminée	Oui	Calcul de la concentration en volatils dans la canalisation et comparaison aux valeurs réglementaires pour l'eau potable (CMA)
	Absorption cutanée de polluant sous forme gazeuse	Non	Négligeable

Parkings (scénarios 3 et 4)

Récepteur	Mode d'exposition	Sélection pour l'évaluation	Raison de la sélection ou de l'exclusion
Adultes et enfants	Inhalation de polluant sous forme gazeuse	Oui	Présence de polluants volatils
	Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières du sol	Non	Sols recouverts par bâtiments ou dallage ou couche de matériaux rapportés
	Inhalation de vapeur d'eau polluée	Non	Pas d'utilisation d'eau
	Ingestion directe de sol et/ou de poussières	Non	Sols recouverts par bâtiments ou dallage ou couche de matériaux rapportés
	Ingestion d'aliments d'origine végétale cultivés sur le site	Non	Pas de culture sur le site
	Ingestion d'aliments d'origine animale à partir d'animaux élevés, chassés ou pêchés sur le site	Non	Pas d'animaux élevés, chassés ou pêchés sur le site
	Ingestion d'eau contaminée	Non	Pas d'utilisation d'eau
	Absorption cutanée de sols et/ou de poussières	Non	Sols recouverts par bâtiments ou dallage ou couche de matériaux rapportés
	Absorption cutanée d'eau contaminée	Non	Pas d'utilisation d'eau
	Absorption cutanée de polluant sous forme gazeuse	Non	Négligeable

Tertiaire (scénario 5)

Récepteur	Mode d'exposition	Sélection pour l'évaluation	Raison de la sélection ou de l'exclusion
Adultes et enfants	Inhalation de polluant sous forme gazeuse	Oui	Présence de polluants volatils
	Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières du sol	Non	Sols recouverts par une couche de matériaux rapportés
	Inhalation de vapeur d'eau polluée	Oui	Calcul de la concentration en volatils dans la canalisation et comparaison aux valeurs réglementaires pour l'eau potable (CMA)
	Ingestion directe de sol et/ou de poussières	Non	Sols recouverts par une couche de matériaux rapportés
	Ingestion d'aliments d'origine végétale cultivés sur le site	Non	Sols recouverts par une couche de matériaux rapportés
	Ingestion d'aliments d'origine animale à partir d'animaux élevés, chassés ou pêchés sur le site	Non	Pas d'animaux élevés, chassés ou pêchés sur le site
	Ingestion d'eau contaminée	Oui	Calcul de la concentration en volatils dans la canalisation et comparaison aux valeurs réglementaires pour l'eau potable (CMA)
	Absorption cutanée de sols et/ou de poussières	Non	Sols recouverts par une couche de matériaux rapportés
	Absorption cutanée d'eau contaminée	Oui	Calcul de la concentration en volatils dans la canalisation et comparaison aux valeurs réglementaires pour l'eau potable (CMA)
	Absorption cutanée de polluant sous forme gazeuse	Non	Négligeable

5 Composés à prendre en compte

5.1 Sélection des composés

La synthèse des investigations sur le site combinée aux scénarios d'expositions choisis nous permet de réaliser la sélection des composés à prendre en compte pour les milieux d'exposition considérés. La sélection des composés à prendre en compte est basée sur les éléments suivants :

- les concentrations mesurées dans les différents milieux (sols, air du sol, eaux souterraines),
- les concentrations du bruit de fond géochimique si elles sont disponibles,
- les valeurs guides de concentrations dans l'air (décret 2002-213 ou OMS, 2000),
- les principales propriétés physico-chimiques des composés : volatilité et solubilité,
- la toxicité et la cancérogénicité des produits (phrases de risques, classement par l'Union Européenne, le CIRC ou l'US-EPA et éventuellement les valeurs toxicologiques de référence).

Réflexion pour les hydrocarbures :

Après dépollution, les concentrations maximales restant en place seront celles mises en évidence en S14 (960 mg/kg). Au droit de cette source (données sur le PR2), la répartition des hydrocarbures des sols dans les différentes classes est la suivante :

Hydrocarbures volatils	C_5-C_6	non recherché
	C_6-C_8	
	C_8-C_{10}	
	C_{10}-C_{12}	2 %
	C_{12}-C_{16}	3 %
Hydrocarbures non volatils	C_{16}-C_{21}	7 %
	C_{21}-C_{34}	88 %

Sur l'ensemble du site, la répartition des hydrocarbures dans les différentes classes est la suivante :

Hydrocarbures volatils	C_5-C_6	non recherché
	C_6-C_8	2 %
	C_8-C_{10}	
	C_{10}-C_{12}	8 %
	C_{12}-C_{16}	29 %
Hydrocarbures non volatils	C_{16}-C_{21}	38 %
	C_{21}-C_{34}	23 %

Dans un premier temps, nous retiendrons la répartition en hydrocarbures mise en évidence en PR2, cette zone correspondant à la concentration résiduelle maximale mise en évidence dans les sols. Nous avons ensuite considéré une répartition arbitrairement homogène entre les hydrocarbures de type aliphatiques et les hydrocarbures de type aromatiques comme suit :

Tableau 11 : répartition retenue pour les différentes classes TPH pour les hydrocarbures

Aliphatiques		Aromatiques	
C_5-C_6	-	C_5-C_6	=
C_6-C_8	-	C_6-C_8	=
C_8-C_{10}	-	C_8-C_{10}	-
C_{10}-C_{12}	1 %	C_{10}-C_{12}	1 %
C_{12}-C_{16}	1.5 %	C_{12}-C_{16}	1.5 %
Total C_1-C_{16} : 5 %			
C_{16}-C_{21}	19 %	C_{16}-C_{21}	19 %
C_{21}-C_{34}	44 %	C_{21}-C_{34}	44 %
Total C_1-C_{16} : 95 %			

- : 0%
= : tranche déjà prise en compte avec les BTEX ou au naphtalène *
* : les BTEX n'ont pas été détectés dans les sols et le naphtalène est déjà retenu par ailleurs.

Pour la répartition des hydrocarbures dans les gaz du sol, pour la suite de l'étude, nous avons retenu arbitrairement les aliphatiques C_5-C_6, les aliphatiques C_6-C_8 et les aromatiques C_8-C_{10}.

Le tableau de sélection des substances est présenté en ***annexe 6*** ; il reprend l'ensemble des éléments de choix des substances. Le tableau suivant synthétise l'ensemble des composés retenus pour l'étude.

Tableau 12 : Composés retenus pour l'EDR

	Site 1a		Site 1c		Site 2	
	Scénarios 2 à 5	Scénarios 1 et 6	Scénarios 2 à 5	Scénarios 1 et 6	Scénarios 2 à 5	Scénarios 1 et 6
	Bureaux, parkings	Jardins	Bureaux, parkings	Jardins	Bureaux, parkings	Jardins
HCT						
Aliphatique C10-C12		×				
Aliphatique C12-C16		×				
Aliphatique C16-C21		×				
Aliphatique C21-C34		×				
Aromatique C10-C12		×				
Aromatique C12-C16		×				
Aromatique C16-C21		×				
Aromatique C21-C34		×				
BTEX						
Benzène	✓ ⅄	✓ ⅄				
Xylènes	✓ ⅄	× ✓ ⅄				
HAP						
Naphtalène		× ⅄				
Fluorène		× ⅄				
Phénanthrène		× ⅄		× ⅄		× ⅄
Anthracène		× ⅄				
Fluoranthène		× ⅄		× ⅄		
Pyrène		× ⅄		× ⅄		
Benzo(a)anthracène		× ⅄		× ⅄		
Chrysène		× ⅄		× ⅄		
Benzo(b)fluoranthène		× ⅄		× ⅄		
Benzo(k)fluoranthène		× ⅄		× ⅄		
Benzo(a)pyrène		× ⅄		× ⅄		
Dibenzo(ah)anthracène		× ⅄		× ⅄		
Benzo(ghi)pérylène		× ⅄		× ⅄		
Indéno(123cd)pyrène		× ⅄		× ⅄		
Métaux						
Antimoine		×				
Arsenic		×		×		
Cadmium		×				
Chrome		×				
Cuivre		×		×		×
Etain		×		×		
Manganèse		×		×		×
Mercure		×				
Nickel		×				
Plomb		×		×		
Zinc		×		×		
Autres composés						
Cyanures		×				
Formaldéhydes	✓	× ✓				

	Site 1a		Site 1c		Site 2	
	Scénarios 2 à 5	Scénarios 1 et 6	Scénarios 2 à 5	Scénarios 1 et 6	Scénarios 2 à 5	Scénarios 1 et 6
	Bureaux, parkings	Jardins	Bureaux, parkings	Jardins	Bureaux, parkings	Jardins
Phénols		× ⅄				
Crésols		×				

✓ : inhalation × : contact direct uniquement ⅄ : usages des eaux des canalisations

Les composés présents dans les sols ou dans les eaux ont été retenus dès qu'ils présentaient des concentrations supérieures aux valeurs de référence.

N'ont pas été retenus :

- les composés présents dans les différents milieux à des teneurs inférieures aux valeurs de référence ;
- pour l'inhalation, les composés présents dans les sols qui n'ont pas été détectés dans les gaz du sol ;
- les composés mis en évidence dans les sols de surface une seule fois à une concentration égale ou très proche de la valeur de référence.

L'incidence de ces non prises en compte sera discutée dans le paragraphe 9 dédié aux incertitudes.

5.2 Concentrations retenues dans les différents milieux

Les calculs seront dans un premier temps effectués à partir de la concentration maximale mesurée dans les différents milieux analysés, en considérant tous les points de chacune de chacun des trois sites.

La prise en compte des concentrations dans les gaz du sol au niveau de la source permet de s'affranchir des concentrations dans les sols et/ou la nappe souterraine, en l'absence de mesures suffisantes, cette concentration sera calculée à l'équilibre thermodynamique à l'interface air-sol ou air-eaux souterraines par le logiciel RISC 4.0 à partir des concentrations mesurées dans les sols.

Tableau 13a : Composés retenus pour l'EDR, pour le site 1a

	Voie directe	Voie inhalation	
	Jardins	Jardins, pavillons, bureaux, parkings	
	Sols de surface (mg/kg)	Sols (mg/kg)	Gaz du sol, calculés par RISC 4.0 depuis les sols ou *mesurés* (µg/m^3)
HCT			
Aliphatique C10-C12	**9.6**		
Aliphatique C12-C16	**14.4**		
Aliphatique C16-C21	**182.4**		
Aliphatique C21-C34	**422.4**		
Aromatique C10-C12	**9.6**		
Aromatique C12-C16	**14.4**		
Aromatique C16-C21	**182.4**		
Aromatique C21-C34	**422.4**		
BTEX			
Benzène			**18**
Xylènes	**0.8**	0.8	**910**
HAP			
Naphtalène	**0.2**		
Fluorène	**0.036**		
Phénanthrène	**0.61**		
Anthracène	**0.065**		
Fluoranthène	**0.78**		
Pyrène	**0.65**		
Benzo(a)anthracène	**0.54**		
Chrysène	**0.56**		
Benzo(b)fluoranthène	**0.69**		
Benzo(k)fluoranthène	**0.37**		
Benzo(a)pyrène	**0.77**		
Dibenzo(ah)anthracène	**0.06**		
Benzo(ghi)pérylène	**0.72**		
Indéno(123cd)pyrène	**0.46**		
Métaux			
Antimoine	**110**		
Arsenic	**38**		
Cadmium	**0.72**		
Chrome	**100**		
Cuivre	**481**		
Etain	**300**		
Manganèse	**1770**		
Mercure	**5.1**		
Nickel	**70**		
Plomb	**590**		
Zinc	**580**		
Autres composés			
Cyanures	**0.3**		
Formaldéhydes	**0.3**		**3.8**
Phénols	**0.016**		
Crésols	**0.053**		

Tableau 13b : Composés retenus pour l'EDR, pour le site 1c

	Voie directe	Voie inhalation	
	Jardins	Jardins, pavillons, bureaux, parkings	
	Sols de surface (mg/kg)	Sols (mg/kg)	Gaz du sol, calculés par RISC 4.0 depuis les sols ou *mesurés* (µg/m^3)
HAP			
Phénanthrène	**0.27**		
Fluoranthène	**0.36**		
Pyrène	**0.27**		
Benzo(a)anthracène	**0.25**		
Chrysène	**0.45**		
Benzo(b)fluoranthène	**0.29**		
Benzo(k)fluoranthène	**0.18**		
Benzo(a)pyrène	**0.24**		
Dibenzo(ah)anthracène	**0.12**		
Benzo(ghi)périylène	**0.28**		
Indéno(123cd)pyrène	**0.27**		
Métaux			
Arsenic	**29**		
Cuivre	**160**		
Etain	**34**		
Manganèse	**1200**		
Plomb	**140**		
Zinc	**150**		

Tableau 13c : Composés retenus pour l'EDR, pour le site 2

	Voie directe	Voie inhalation	
	Jardins	Jardins, pavillons, bureaux, parkings	
	Sols de surface (mg/kg)	Sols (mg/kg)	Gaz du sol, calculés par RISC 4.0 depuis les sols ou *mesurés* (µg/m^3)
HAP			
Phénanthrène	**0.02**		
Métaux			
Manganèse	**670**		
Cuivre	**55**		

Notons que pour ce site, aucun composé volatil n'a été retenu. Dans ce cadre, seuls les calculs pour les voies directes seront effectués.

5.3 Relations dose-réponse des polluants retenus pour l'EDR

Les relations dose-réponse des composés présents dans les différents milieux sont données en annexe 6, la cancérogénicité des composés y est détaillée. Les taux d'absorption par voie y sont également détaillés.

Les tableaux en fin d'annexe 6 présentent :

- les valeurs toxicologiques retenues (pour les différents types d'effet),
- les taux d'absorption pour les différentes voies d'expositions qui ont été utilisés dans le cadre de la dérivation voie à voie,
- les caractéristiques physico-chimiques des composés.

Ces paramètres seront utilisés dans le cadre des calculs des expositions dans les parties suivantes du rapport.

Les valeurs toxicologiques retenues sont synthétisées dans le tableau suivant.

Tableau 14 : Valeurs toxicologiques retenues pour l'EDR

	Effets systémiques			Effets cancérigènes		
	RfC $\mu g/m^3$	RfD mg/kg/j	RfDcutané mg/kg/j	ERU_i $(\mu g/m^3)^{-1}$	ERU_o $(mg/kg/j)^{-1}$	ERU_c $(mg/kg/j)^{-1}$
HCT						
Aliphatique C10-C12	1000	0.1	0.1	-	-	-
Aliphatique C12-C16	1000	0.1	0.1	-	-	-
Aliphatique C16-C21	-	2	2	-	-	-
Aliphatique C21-C34	-	2	2	-	-	-
Aromatique C10-C12	200	0.03	0.03	-	-	-
Aromatique C12-C16	200	0.03	0.03	-	-	-
Aromatique C16-C21	-	0.03	0.03	-	-	-
BTEX						
Benzène	30	$4\ 10^{-3}$	$4\ 10^{-3}$	$6\ 10^{-6}$	$4.2\ 10^{-2}$	$4.2\ 10^{-2}$
Xylènes	100	0.2	0.2	-	-	-
HAP						
Naphtalène	3	$2\ 10^{-2}$	$8\ 10^{-3}$	$1.1\ 10^{-6}$	$2\ 10^{-4}$	$5\ 10^{-4}$
Anthracène	360 adultes 180 enfants	0.3	0.12	$1.1\ 10^{-5}$	$2\ 10^{-3}$	$5\ 10^{-3}$
Benzo(a)anthracène	-	-	-	$1.1\ 10^{-4}$	$2\ 10^{-2}$	$5\ 10^{-2}$
Benzo(a)pyrène	-	-	-	$1.1\ 10^{-3}$	0.2	0.5
Benzo(b)fluoranthène	-	-	-	$1.1\ 10^{-4}$	$2\ 10^{-2}$	$5\ 10^{-2}$
Benzo(k)fluoranthène	-	-	-	$1.1\ 10^{-4}$	$2\ 10^{-2}$	$5\ 10^{-2}$
Benzo(ghi)pérylène	-	-	-	$1.1\ 10^{-5}$	$2\ 10^{-3}$	$5\ 10^{-3}$
Chrysène	-	-	-	$1.1\ 10^{-5}$	$2\ 10^{-3}$	$5\ 10^{-3}$
Dibenzo(ah)anthracène	-	-	-	$1.1\ 10^{-3}$	0.2	0.5
Fluoranthène	48 adultes 24 enfants	$4\ 10^{-2}$	$1.6\ 10^{-2}$	$1.1\ 10^{-6}$	$2\ 10^{-4}$	$5\ 10^{-4}$
Fluorène	-	-	-	$1.1\ 10^{-6}$	$2\ 10^{-4}$	$5\ 10^{-4}$
Indéno(123cd)pyrène	-	-	-	$1.1\ 10^{-4}$	$2\ 10^{-2}$	$5\ 10^{-2}$
Phénanthrène	48 adultes 24 enfants	$4\ 10^{-2}$	$1.6\ 10^{-2}$	$1.1\ 10^{-6}$	$2\ 10^{-4}$	$5\ 10^{-4}$
Pyrène	36 adultes 18 enfants	$3\ 10^{-2}$	$1.2\ 10^{-2}$	$1.1\ 10^{-6}$	$2\ 10^{-4}$	$5\ 10^{-4}$
Métaux						
Antimoine	0.2	$2\ 10^{-4}$	$2\ 10^{-4}$	-	-	-
Arsenic	1.4	$3\ 10^{-4}$	$3\ 10^{-4}$	$1.5\ 10^{-3}$	1.5	1.5
Cadmium	0.3	10^{-3}	$5\ 10^{-5}$	$1.8\ 10^{-3}$	-	-
Chrome	60	1.5	1.5	$4.2\ 10^{-2}$	-	-
Cuivre	1	0.14	0.14	-	-	-
Etain	-	3 10-4	3 10-4	-	-	-
Manganèse	$4\ 10^{-2}$	0.06	0.06	-	-	-
Mercure	0.2	$3\ 10^{-4}$	$4.2\ 10^{-5}$	-	-	-
Nickel	0.09	0.02	0.02	$3.8\ 10^{-4}$	-	-
Plomb	0.5	$3.5\ 10^{-3}$	$3.5\ 10^{-4}$	$1.2\ 10^{-5}$	$8.5\ 10^{-3}$	$8.5\ 10^{-2}$
Zinc	600	0.5	0.04	-	-	-
Autres composés						
Cyanures	9	0.012	0.012	-	-	-

	Effets systémiques			Effets cancérigènes		
	RfC $\mu g/m^3$	RfD mg/kg/j	RfDcutané mg/kg/j	ERU_i $(\mu g/m^3)^{-1}$	ERU_o $(mg/kg/j)^{-1}$	ERU_c $(mg/kg/j)^{-1}$
Formaldéhydes	3	0.2	0.2	1.3 10-5	-	-
Phénols	20	0.04	0.04	-	-	-
Crésols	0.17	0.05	0.05	-	-	-

6 Evaluation des concentrations dans les milieux d'exposition

6.1 Concentrations de vapeurs dans l'air en intérieur et extérieur

Le logiciel RISC 4.0 (octobre 2001) a été utilisé pour l'évaluation des expositions dans l'air. Distribué par Waterloo hydrogeologic, ce logiciel a été développé par Lynn R.Spence et BP oil International.

La modélisation des expositions aux vapeurs dans l'air intérieur est conduite sur la base des équations de Johnson & Ettinger (1991) utilisé avec une source de pollution infinie (pas de diminution au cours du temps). Les équations du logiciel sont répertoriées dans la norme ASTM E 1739-95. Le transfert de vapeur est conditionné par un mouvement diffusif (équations de Millington and Quirck et équation de Fick) et un mouvement convectif induit par la mise en dépression du bâtiment (effet de la ventilation).

Dans l'air extérieur, la modélisation des expositions est conduite sur la base des équations de Millington and Quirck et de l'équation de Fick. La dilution par le vent est ensuite calculée dans une boite de taille fixée. Comme pour l'air intérieur, la source de pollution est considérée comme infinie.

Les équations et l'ensemble des paramètres de calcul utilisés sont présentés en ***annexe 8***, rappelons uniquement les paramètres clés suivants :

- les concentrations dans les sols sont celles présentées dans les tableaux 13a, 13b et 13c ;
- la porosité du sol a été prise égale à

Formations	Aménagements	Porosité totale	Teneur en air	Teneur en eau
Remblais	Reste des aménagements	0.25	0.13	0.12
Limons	Sous-sol uniquement	0.2	0.1	0.1

- la perméabilité du sol à l'eau a été prise à

Formations	Scénario	Perméabilité (m/s)	Perméabilité (cm²)
Remblais	Reste des aménagements	10^{-5}	10^{-8}
Limons	Sous-sol uniquement	10^{-5}	10^{-8}

- les taux de ventilation du rez-de-chaussée et du sous-sol ont été pris égaux respectivement à $12j^{-1}$ et 72 j^{-1}.

Les concentrations dans l'air ainsi calculées présentées dans les tableaux de calculs de l'***annexe 9*** sont synthétisées dans le tableau suivant.

Tableau 15 : concentrations de vapeurs dans l'air intérieur et extérieur (site 1a)

	AIR INTERIEUR				AIR EXTERIEUR		
	Sous-sol	Habitations sur sous-sol	Pavillons	Bureaux	Jardins privatifs	Parkings aériens	Espaces verts
	mg/m³	mg/m³	mg/m³	mg/m³	mg/m³	mg/m³	mg/m³
Benzène	4.0 10-7	4.0 10-8	4.5 10-6	4.5 10-6	1.9 10-6	7.1 10-7	1.7 10-5
Xylènes	2.0 10-5	2.0 10-6	2.3 10-4	2.3 10-4	7.6 10-5	2.8 10-6	6.8 10-4
Formaldéhydes	2.4 10-7	2.4 10-8	9.5 10-7	9.5 10-7	4.8 10-6	2.3 10-7	4.4 10-5

A titre de comparaison, nous reprenons ci-dessous les valeurs réglementaires françaises (décret 2002-213 du 15 fév. 2002 fixant) les seuils réglementaires pour les concentrations dans l'air donne pour le benzène un objectif de qualité de 2 µg/m^3 avec une valeur limite à 5 µg/m^3.

Les concentrations calculées sont inférieures à l'objectif de qualité recherché et aux valeurs mesurées dans les logements français.

6.2 Concentration dans les poussières inhalables

L'équation utilisée est issue du logiciel intégré HESP (ou VOLASOIL) réécrite sous excel par nos soins. Elle fait intervenir la quantité de sol dans les poussières, la quantité de particules en suspension et le pourcentage de particules en suspension réellement inhalables.

Les équations et l'ensemble des paramètres de calcul utilisés sont présentés en ***annexe 9***. Les concentrations dans les sols de surface prises en compte sont présentées dans les tableaux 13a, 13b et 13c du texte.

Les concentrations dans l'air ainsi calculées présentées dans les tableaux de calculs de l'***annexe 9*** sont synthétisées dans le tableau suivant.

Tableau 16a : concentrations dans les poussières inhalables en intérieur et en extérieur (site 1a)

	AIR INTERIEUR	AIR EXTERIEUR
	mg/m^3	mg/m^3
Aliphatique C10-C12	3.8 10-7	3.4 10-7
Aliphatique C12-C16	5.8 10-7	5.0 10-7
Aliphatique C16-C34	2.4 10-5	2.1 10-5
Aromatique C10-C12	3.8 10-7	3.4 10-7
Aromatique C12-C16	5.8 10-7	5.0 10-7
Aromatique C16-C21	7.3 10-6	6.4 10-6
Aromatique C21-C34	1.7 10-5	1.5 10-5
Xylènes	3.2 10-8	2.8 10-8
Naphtalène	8.0 10-9	7.0 10-9
Fluorène	1.4 10-9	1.3 10-9
Phénanthrène	2.4 10-8	2.1 10-8
Anthracène	2.6 10-9	2.3 10-9
Fluoranthène	3.1 10-8	2.7 10-8
Pyrène	2.6 10-8	2.3 10-8
Benzo(a)anthracène	2.2 10-8	1.9 10-8
Chrysène	2.2 10-8	2.0 10-8
Benzo(b)fluoranthène	2.8 10-8	2.4 10-8
Benzo(k)fluoranthène	1.5 10-8	1.3 10-8
Benzo (a)pyrène	3.1 10-8	2.7 10-8
Bibenzo(a,h)anthracène	2.4 10-9	2.1 10-9
Benzo(g,h,i)pérylène	2.9 10-8	2.5 10-8
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	1.8 10-8	1.6 10-8
Antimoine	4.4 10-6	3.9 10-6
Arsenic	1.5 10-6	1.3 10-6
Cadmium	2.9 10-8	2.5 10-8
Chrome	***4.0 10-6***	***3.5 10-6***
Cuivre	1.9 10-5	1.7 10-5
Etain	1.2 10-5	1.1 10-5
Manganèse	7.1 10-5	6.2 10-5
Mercure	2.0 10-7	1.8 10-7
Nickel	2.8 10-6	2.5 10-6

	AIR INTERIEUR	AIR EXTERIEUR
	mg/m^3	mg/m^3
Plomb	2.4 10-5	2.1 10-5
Zinc	2.3 10-5	2.0 10-5
Cyanures	1.2 10-8	1.1 10-8
Formaldéhydes	1.2 10-8	1.1 10-8
Phénols	6.4 10-10	5.6 10-10
Crésols	2.1 10-9	1.9 10-9

Les concentrations dans les poussières inhalables en intérieur sont environ 8 à 15% supérieures à celles calculées dans l'air extérieur.

Les concentrations calculées ont été comparées aux valeurs guides OMS dans Air quality guidelines for Europe, 2000, disponibles.

Seules les concentrations calculées en chrome, en intérieur comme en extérieur, sont supérieures à la valeur de référence prise pour le chrome VI.

Tableau 16b : concentrations dans les poussières inhalables en intérieur et en extérieur (site 1c)

	AIR INTERIEUR	AIR EXTERIEUR
	mg/m^3	mg/m^3
Phénanthrène	1.1 10-8	9.5 10-9
Fluoranthène	1.4 10-8	1.3 10-8
Pyrène	1.1 10-8	9.5 10-9
Benzo(a)anthracène	1.0 10-8	8.8 10-9
Chrysène	1.8 10-8	1.6 10-8
Benzo(b)fluoranthène	1.2 10-8	1.0 10-8
Benzo(k)fluoranthène	7.2 10-9	6.3 10-9
Benzo(a)pyrène	9.6 10-9	8.4 10-9
Dibenzo(ah)anthracène	4.8 10-9	4.2 10-9
Benzo(ghi)pérylène	1.1 10-8	9.8 10-9
Indéno(123cd)pyrène	1.1 10-8	9.5 10-9
Arsenic	1.2 10-6	1.0 10-6
Cuivre	6.4 10-6	5.6 10-6
Etain	1.4 10-6	1.2 10-6
Manganèse	4.8 10-5	4.2 10-5
Plomb	5.6 10-6	4.9 10-6
Zinc	6.0 10-6	5.3 10-6

Les concentrations dans les poussières inhalables en intérieur sont environ 8 à 15% supérieures à celles calculées dans l'air extérieur.

Les concentrations calculées ont été comparées aux valeurs guides OMS dans Air quality guidelines for Europe, 2000. Elles sont toutes inférieures à ces valeurs de référence.

Tableau 16c : concentrations dans les poussières inhalables en intérieur et en extérieur (site 2)

	AIR INTERIEUR	AIR EXTERIEUR
	mg/m^3	mg/m^3
Phénanthrène	8.0 10-10	7.0 10-10
Cuivre	2.2 10-6	1.9 10-6
Manganèse	2.7 10-5	2.4 10-5

Les concentrations dans les poussières inhalables en intérieur sont environ 8 à 15% supérieures à celles calculées dans l'air extérieur.

En l'absence de référence, nous ne pouvons comparer ces résultats.

6.3 Concentration dans les eaux des canalisations

La concentration dans les eaux des canalisations d'amenée d'eau potable qui seront enfouies dans les terrains a été évaluée par l'équation issue du logiciel intégré HESP ® correspondant au seul outil (à notre connaissance) permettant de calculer ces concentrations. Cette équation a été réécrite sous excel par nos soins.

Les données nécessaires à cette évaluation sont les concentrations dans l'eau du sol et les coefficients de perméation des composés à travers le type de conduite étudiée. En l'absence de renseignements sur le type de conduite utilisées sur le site, nous nous sommes placés dans le cas le plus défavorable de conduite en PEHD, matériau à travers lequel la migration de vapeur est la plus importante (d'un facteur 100 par rapport aux conduites en PVC), les conduites en fonte font quant à elles obstacle aux polluants.

L'équation et l'ensemble des paramètres de calcul utilisés sont présentés en ***annexe 9***. Les concentrations dans les sols prises en compte sont présentées dans les tableaux 13a, 13b et 13c du texte. En l'absence de paramètres de perméation (par exemple pour les métaux, les différentes classes d'hydrocarbures, etc.) le calcul n'a pu être réalisé pour un certain nombre de substances.

Les concentrations dans l'eau ainsi calculées présentées dans les tableaux de calculs de l'***annexe 9*** sont synthétisées dans le tableau suivant.

Tableau 17: Concentrations dans l'eau des canalisations (site 1a)

	Concentration dans l'eau du sol considérée	Concentration dans l'eau des canalisations (pavillons)	Concentration dans l'eau des canalisations (Immeubles)	Concentration dans l'eau des canalisations (bureaux)	OMS	CMA	Valeurs américaines
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
BTEX							
Benzène	7.9 10-2	6.3 10-4	1.1 10-4	6.9 10-3	0.01	0.01	
Xylènes	7.6 10-2	5.2 10-4	8.9 10-5	5.7 10-3	0.5	0.5	
HAP							
Naphtalène	5.5 10-3	1.6 10-5	2.7 10-6	1.7 10-4			2 10-2
Fluorène	1.6 10-4	4.6 10-7	7.9 10-8	5.0 10-6			0.28 à 0.4
Phénanthrène	1.5 10-3	1.7 10-6	2.9 10-7	1.8 10-5			0.01
Anthracène	1.6 10-4	4.5 1-7	7.8 10-8	5.0 10-6			2.1 à 3
Fluoranthène	1.7 10-3	5.0 10-6	8.5 10-7	5.5 10-5			0.28 à 0.4
Pyrène	4.7 10-4	1.3 10-6	2.3 10-7	1.5 10-5			0.21 à 0.25
Benzo(a)anthracène	1.2 10-4	1.3 10-7	2.3 10-8	1.5 10-6	$7\ 10^{-4}$		$4\ 10^{-3}$
Chrysène	1.2 10-4	1.4 10-7	2.3 10-8	1.5 10-6			$2\ 10^{-4}$ à 5
Benzo(b)fluoranthène	4.3 10-5	1.2 10-7	2.1 10-8	1.4 10-6		Somme : 10^{-4}	
Benzo(k)fluoranthène	2.4 10-5	2.7 10-8	4.7 10-9	3.0 10-7			
Benzo(g,h,i)pérylène *	1.3 10-5	1.5 10-8	2.6 10-9	1.7 10-7			0.01
Indéno(cd)pyrène *	8.6 10-6	9.7 10-9	1.7 10-9	1.1 10-7			$7.5\ 10^{-3}$
Benzo(a)pyrène	5.0 10-5	5.7 10-8	9.7 10-9	6.2 10-7		10^{-5}	
Dibenz(a,h)anthracène	1.1 10-6	3.2 10-9	5.6 10-10	3.6 10-8			$7.5\ 10^{-3}$
Autres composés							
Phénols	2.49 10-2	1.2 10-7	2.1 10-8	1.3 10-6		5.0 10-4	

* valeurs applicable à la somme des benzo(b)fuoranthène, benzo(k)fluoranthène, dibenzo(a,h)anthracène et benzo(ghi)pérylène

** : valeurs applicables à la somme des TCE et du PCE

Les concentrations en composés volatils présents dans l'eau des canalisations en PeHD au droit du site 1a sont toutes inférieures à la norme de l'eau potable (décret 2001-1220 ou valeurs guides OMS), ou aux valeurs guides américaines lorsque celles-ci ne sont pas disponibles.

Rappelons que, pour ces calculs, nous avons considéré

- que les canalisations étaient directement posées dans les sols pollués (et non pas dans une fosse de terres propres rapportées comme ce sera probablement le cas) ;
- les teneurs maximales mesurées dans les sols sur une longueur de la canalisation de 200 mètres ; Cette approche est très majorante ;
- uniquement les composés pour lesquels des coefficients de perméation existent.

De plus, les calculs ont été faits à partir des teneurs dans les sols et non dans l'air du sol, ce qui est majorant.

L'usage de l'eau issue des canalisations traversant la zone polluée de la partie nord ne semble pas présenter de risque pour la santé humaine.

Toutefois, nous préconisons d'enterrer les canalisations dans une fosse de terre propre d'un diamètre d'au moins 1 m², comme le veut d'ailleurs le code de bonne conduite.

Les calculs des concentrations dans l'eau des canalisations au droit du site 1a ont été réalisés pour les aménagements en pavillons, bureaux et immeubles. Le calcul n'a pas été effectué pour l'aménagement en équipement sportif. En effet, les caractéristiques des canalisations seront identiques à celles des immeubles et des bureaux, et le débit étant plus faibles que celui des immeubles mais plus élevé que celui des pavillons. Dans ce cadre, les concentrations dans l'eau des canalisations au droit de l'aménagement en équipement sportif du site 1a ne présenteront pas de risques pour la santé humaine.

Les calculs des concentrations dans l'eau des canalisation au droit du site 1a ne présentant pas de risques pour la santé humaine, il en sera de même au droit des sites 1c et 2 (les concentrations dans les sols et la longueur des canalisations étant inférieures à celles retenues dans les calculs présentées ci-dessus).

6.4 Concentrations dans les végétaux

Les mécanismes de transfert des polluants des sols vers les végétaux sont complexes et les facteurs de bioconcentration (BCF) traduisant l'accumulation d'un composé dans une plante varient d'une plante à une autre en fonction des mécanismes de transferts (racines, feuilles, …) et sont spécifiques de chaque composé.

Nous avons évalué le transfert du polluant du sol vers les plantes à partir des équations du logiciel intégré HESP réécrites par nos soins sous excel en distinguant la partie racinaire, de la partie aérienne de la plante (tige et feuille).

L'équation et l'ensemble des paramètres de calcul utilisés sont présentés en ***annexe 9***. Les concentrations dans les sols prises en compte sont présentées dans les tableaux 13a, 13b et 13c du texte.

Remarque : en l'absence de facteur de bioconcentration (BCF) (par exemple les différentes classes d'hydrocarbures, etc.) le calcul n'a pu être réalisé.

Les concentrations dans les végétaux ainsi calculées, présentées dans les tableaux de calculs de l'***annexe 9***, sont synthétisées dans le tableau suivant.

Tableau 18a : Concentrations dans les végétaux produits sur site (site 1a)

Substance	$BCF_{vég\text{-}tige\ (poids\ sec)}$	$BCF_{vég\text{-}racine\ (poids\ sec)}$	Concentration moyenne dans les feuilles et les tiges (mg/kg MS)	Concentration moyenne dans les racines (mg/kg MS)
Aliphatique C_{10}-C_{12}	$2.2\ 10^{-2}$	$4.5\ 10^{-3}$	0.22	4.3 10-2
Aliphatique C_{12}-C_{16}	$4.6\ 10^{-3}$	$1.9\ 10^{-3}$	6.6 10-2	2.8 10-2
Aliphatique C_{16}-C_{35}	$2.8\ 10^{-4}$	$4.2\ 10^{-4}$	0.17	0.25
Aromatique C_{10}-C_{12}	0.37	$1.1\ 10^{-2}$	3.5	0.11
Aromatique C_{12}-C_{16}	0.22	$1.1\ 10^{-2}$	3.11	0.16
Aromatique C_{16}-C_{21}	$7.4\ 10^{-2}$	$1.4\ 10^{-2}$	13.6	2.6
Aromatique C_{21}-C_{40}	$1.2\ 10^{-2}$	$2.2\ 10^{-2}$	4.87	9.1
Naphtalene	0.48	$2.7\ 10^{-4}$	9.6 10-2	2.2 10-3
Fluorene	0.15	$2.0\ 10^{-4}$	5.4 10-3	2.9 10-4
Phénanthrene	0.1	$1.7\ 10^{-4}$	6.2 10-2	4.3 10-3
Anthracene	0.1	$1.8\ 10^{-4}$	6.7 10-3	4.6 10-4
Fluoranthene	$4\ 10^{-2}$	$1.8\ 10^{-4}$	3.1 10-2	5.7 10-3
Pyrene	$5.9\ 10^{-2}$	$1.1\ 10^{-4}$	3.8 10-2	2.9 10-3
Benzo(a)anthracene	$1.7\ 10^{-2}$	$1.7\ 10^{-4}$	9.4 10-3	3.8 10-3
Chrysene	$1.9\ 10^{-2}$	$1.5\ 10^{-4}$	1.1 10-2	3.4 10-3
Benzo(b)fluoranthene	$5.9\ 10^{-3}$	$2.1\ 10^{-4}$	4.1 10-3	5.9 10-3
Benzo(k)fluoranthene	$4.3\ 10^{-3}$	$3.3\ 10^{-4}$	1.6 10-3	5.0 10-3
Benzo(a)pyrene	$1.4\ 10^{-3}$	$6.9\ 10^{-5}$	1.1 10-2	2.2 10-3
Dibenz(a,h)anthracène	$6.8\ 10^{-3}$	$5.3\ 10^{-5}$	4.1 10-4	1.3 10-4
Benzo(g,h,i)pérylène	$5.7\ 10^{-3}$	$6.5\ 10^{-5}$	4.1 10-3	1.9 10-3
Indéno(1,2,3,c,d)pyrene	$5.2\ 10^{-3}$	$7.4\ 10^{-5}$	2.4 10-3	1.4 10-3
Antimoine	0.9	0.6	99.0	66.0
Arsenic	$3\ 10^{-2}$	$2\ 10^{-2}$	1.1	0.76
Cadmium	0.7	0.55	0.50	0.40
Chrome	0.02	0.002	2.0	0.2
Cuivre	0.1	0.1	48.1	48.1
Etain	0.03	0.015	9.0	4.5
Mercure	0.8	0.09	4.1	0.46
Nickel	0.1	$7\ 10^{-3}$	7.0	0.49
Plomb	0.02	0.001	17.7	0.59
Zinc	0.4	0.1	232	58.0

Nous avons comparé les teneurs calculées dans les végétaux (en poids sec) au règlement CE n°466/2001 de la Commission du 8 mars 2001 pour les composés disponibles (en poids frais). Le rapport entre le poids frais et le poids sec étant de 0.117 pour les parties aériennes et de 0.202 pour les parties racinaires.

	Feuilles et tiges			Racines		
composés	Concentration calculée dans le végétal (poids sec)	Concentration calculée dans le végétal (poids frais)	Valeurs de référence (poids frais)	Concentration calculée dans le végétal (poids sec)	Concentration calculée dans le végétal (poids frais)	Valeurs de référence (poids frais)
Plomb	17.7	**2.07**	0.3	0.59	**0.12**	0.1
Mercure	4.1	**0.48**	0.03	0.46	**0.09**	0.03
Cadmium	0.5	**0.06**	0.2	0.4	**4.8**	0.1

Notons que pour ces trois composés, les concentrations calculées dans les végétaux sont supérieures à celles du règlement.

Tableau 18b : Concentrations dans les végétaux produits sur site (site 1c)

Substance	$BCF_{végétige (poids sec)}$	$BCF_{vég-racine (poids sec)}$	Concentration moyenne dans les feuilles et les tiges (mg/kg MS)	Concentration moyenne dans les racines (mg/kg MS)
Phénanthrene	0.1	$1.7\ 10^{-4}$	2.8 10-2	1.9 10-3
Fluoranthene	$4\ 10^{-2}$	$1.8\ 10^{-4}$	1.5 10-2	2.6 10-3
Pyrene	$5.9\ 10^{-2}$	$1.1\ 10^{-4}$	1.6 10-2	1.2 10-3
Benzo(a)anthracene	$1.7\ 10^{-2}$	$1.7\ 10^{-4}$	4.4 10-3	1.7 10-3
Chrysene	$1.9\ 10^{-2}$	$1.5\ 10^{-4}$	8.5 10-3	2.8 10-3
Benzo(b)fluoranthene	$5.9\ 10^{-3}$	$2.1\ 10^{-4}$	1.7 10-3	2.5 10-3
Benzo(k)fluoranthene	$4.3\ 10^{-3}$	$3.3\ 10^{-4}$	7.8 10-4	2.4 10-3
Benzo(a)pyrene	$1.4\ 10^{-3}$	$6.9\ 10^{-5}$	3.3 10-3	6.8 10-4
Dibenz(a,h)anthracène	$6.8\ 10^{-3}$	$5.3\ 10^{-5}$	8.1 10-4	2.6 10-4
Benzo(g,h,i)pérylène	$5.7\ 10^{-3}$	$6.5\ 10^{-5}$	1.6 10-3	7.5 10-4
Indéno(1,2,3,c,d)pyrene	$5.2\ 10^{-3}$	$7.4\ 10^{-5}$	1.4 10-3	8.2 10-4
Arsenic	$3\ 10^{-2}$	$2\ 10^{-2}$	0.87	0.58
Cuivre	0.1	0.1	16.0	16.0
Etain	0.03	0.015	1.0	0.51
Plomb	0.02	0.001	4.2	0.14
Zinc	0.4	0.1	60.0	15.0

Nous avons comparé les teneurs calculées dans les végétaux (en poids sec) au règlement CE n°466/2001 de la Commission du 8 mars 2001 pour les composés disponibles (en poids frais). Le rapport entre le poids frais et le poids sec étant de 0.117 pour les parties aériennes et de 0.202 pour les parties racinaires.

	Feuilles et tiges			Racines		
composés	Concentration calculée dans le végétal (poids sec)	Concentration calculée dans le végétal (poids frais)	Valeurs de référence (poids frais)	Concentration calculée dans le végétal (poids sec)	Concentration calculée dans le végétal (poids frais)	Valeurs de référence (poids frais)
Plomb	4.2	***0.49***	0.3	0.14	0.03	0.1

Notons que les concentrations calculées dans les tiges et les feuilles sont supérieures ou proches de celles du règlement.

Tableau 18c : Concentrations dans les végétaux produits sur site (site 2)

Substance	$BCF_{végétige (poids sec)}$	$BCF_{vég-racine (poids sec)}$	Concentration moyenne dans les feuilles et les tiges (mg/kg MS)	Concentration moyenne dans les racines (mg/kg MS)
Phénanthrene	0.1	$1.7\ 10^{-4}$	2.1 10-3	1.4 10-4
Cuivre	0.1	0.1	5.5	5.5

En l'absence de référence, nous ne pouvons comparer ces résultats.

7 Evaluation des expositions

7.1 Inhalation de gaz

Le calcul de la concentration inhalée moyenne a été réalisé avec l'équation générique suivante (guide EDR du MEDD/BRGM/INERIS, version 2000) :

$$CI_j = [Cj \times T \times F / Tm]_{intérieur} + [Cj \times T \times F / Tm]_{extérieur}$$

avec : CI_j : concentration moyenne inhalée du composé i (en mg/m^3).
Cj : concentration du composé j dans l'air inhalé (mg/m^3).
T : durée d'exposition (années). cf annexe 8
F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an).
T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours). cf annexe 8

Les concentrations moyennes inhalées sont calculées à partir des concentrations de gaz dans l'air du tableau 15 et les concentrations calculées dans les poussières des tableaux 16a, 16b et 16c. Le détail des calculs est donné en ***annexe 9***.

7.2 Ingestion de sols et poussières

Le calcul de la dose moyenne journalière d'exposition a été réalisé avec l'équation générique suivante (guide EDR du MEDD/BRGM/INERIS, version 2000) :

$$DJE_{i,s} = \frac{C_{i,s} * Q_{sol} * T * F}{P * T_m}$$

avec : $DJE_{i,s}$: dose journalière du composé i liée à l'ingestion de sols (en mg/kg/j)
$C_{i,s}$: concentration du composé i dans les sols (mg/kg)
Q_{sol} : taux d'ingestion de sols (kg/j)
T : durée d'exposition (années)
F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an),
P : poids corporel de la cible (kg)
T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

Les doses moyennes journalières induites par l'ingestion de sols et poussières sont calculées à partir des concentrations dans les sols de surface des tableaux 13a, 13b et 13c. Le détail des calculs est donné en ***annexe 9***.

7.3 Contact cutané avec les sols et poussières

Le calcul de la dose moyenne journalière d'exposition par contact cutané avec les sols a été réalisé à partir de l'équation suivante (logiciel RISC 4.0) :

$$DJE_{cut} = C_{sol}.S.AAF.AF.\frac{1}{P}.\frac{T.F}{Tm}.10^{-6}$$

Avec DJE_c : Dose Journalière d'Exposition par contact cutané (mg/kg PC/j)
S : surface du corps exposée (cm²)
AAF : taux d'absorption dermique dépendant du composé (mg/mg)
AF : facteur d'adhérence des sol / poussières à la peau (mg/cm²/jour)
T : durée d'exposition (années)
F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an),
P : poids corporel de la cible (kg)
T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

Les doses moyennes journalières induites par le contact cutané avec les sols et poussières sont calculées à partir des concentrations dans les sols de surface des tableaux 13a, 13b et 13c. Le détail des calculs est donné en ***annexe 9***.

7.4 Ingestion de fruits et légumes autoproduits (jardins non recouverts)

La dose journalière d'exposition à un polluant *i* par ingestion de végétaux (VI_i) s'exprime par l'équation générique suivante :

$$VI_i = \frac{C_{vgt,i} \times Q_{vgt} \times f_{vgt} \times f_{a,ing} \times T \times F}{P \times Tm}$$

avec : $C_{vgt,i}$: concentration moyenne du contaminant *i* dans les produits du jardin, en mg/kg de poids frais
Q_{vgt} : consommation journalière de végétaux, en kg/j
f_{vgt} : fraction de végétaux consommés produits sur le site
$f_{a, ing}$: fraction de polluants ingérés qui sont absorbés
T : durée d'exposition (années)
F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an),
P : poids corporel de la cible (kg)
T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

Les doses moyennes journalières induites par l'ingestion de fruits et légumes autoproduits sont calculées à partir des concentrations dans les sols de surface des tableaux 13a, 13b et 13c. Le détail des calculs est donné en ***annexe 9***.

8 Quantification des risques sanitaires

Les indices de risques et excès de risques individuels liés aux différentes expositions ont été calculés à partir des valeurs toxicologiques (***annexe 7***) et des CI (concentrations inhalées) et DJE (doses journalières d'exposition). Le détail du calcul est donné en ***annexes 9.1***, ***9.2*** et ***9.3***.

La méthodologie adoptée est celle préconisée par le guide EDR du MEDD/BRGM/INERIS, version 2000. L'évaluation du risque nécessite la prise en compte simultanée d'expositions par différentes voies et concerne l'ensemble des substances pour lesquelles on considérera ici l'additivité des risques.

8.1 Méthodologie

Estimation du risque pour les effets toxiques cancérigènes

Pour les effets toxiques cancérigènes, et pour des faibles expositions, l'excès de risque individuel (ERI) est calculé de la façon suivante :

ERI (inhalation) = CI x ERUi

ERI (oral) = DJE x ERUo

ERI (cutané) = DJEcut x ERUc

Pour chaque scénario d'exposition, un ERI global est ensuite calculé en faisant :

- pour chaque substance, la somme des risques liés à chacune des voies d'exposition,
- la somme des risques liés à chacune des substances cancérogènes.

La somme des ERI doit être inférieure à 10^{-5} (soit un cancer supplémentaire pour 100 000 personnes exposées). Ce niveau de risque a été défini comme acceptable dans le cadre de la réhabilitation des sites par la Circulaire du ministère chargé de l'environnement du 10 décembre 1999 qui fixe les objectifs de dépollution des sites. Un niveau d'ERI supérieur de 10^{-4} est considéré comme inacceptable.

Estimation du risque pour les effets toxiques non cancérigènes

Pour les effets toxiques non cancérigènes, on définit un indice de risque (IR) pour chaque voie d'exposition de la manière suivante :

$$IR_{i,ING} = \frac{DJE_{i,ING}}{RfDi} ..et.. IR_{i,INH} = \frac{CI_{i,INH}}{RfCi}$$

La somme des IR doit être inférieure à 1 pour que le risque reste acceptable. En effet, ce niveau de risque correspond à une dose d'exposition inférieure à la dose « seuil » à partir de laquelle un effet néfaste peut se produire.

En première approche, on sommera les indices de risque liés aux différentes voies d'administration du polluant et aux différentes substances.

Si la somme des indices de risque ainsi obtenue dépasse la valeur de 1, cette hypothèse trop conservatoire sera dépassée, en distinguant les substances produisant le même effet toxique sur le même organe, et en considérant de façon séparée les indices de risque se rapportant à des durées d'exposition différentes.

8.2 Pour le site 1a

8.2.1 Scénario 1 : les pavillons sur le site 1a

Pour ce scénario, nous avons considéré que les jardins privatifs étaient à nu (sans couverture de terre végétale). Les risques sanitaires IR et ERI sont synthétisés dans le tableau suivant (et présentés en ***annexe 9.1***).

Tableau 19 : Risques sanitaires pour les usagers des pavillons (scénario 1 – site 1a)

	Pavillons avec jardin privatif					
	Indice de risques (IR)			Excès de risque individuel (ERI)		
	Adultes	Enfants	composés tirant le risque	Adultes	Enfants	composés tirant le risque
Inhalation de gaz (intérieur)	2.0 10-3	1.9 10-3	xylènes	1.6 10-8	2.3 10-9	Benzène
Inhalation de gaz (extérieur jardin)	9.2 10-5	9.2 10-5	formaldéhydes	1.6 10-9	2.4 10-10	Formaldéhydes
Inhalation de gaz (extérieur parkings aériens)	2.1 10-6	2.1 10-6	formaldéhydes	3.7 10-11	5.5 10-12	Formaldéhydes
Inhalation de poussières (intérieur et extérieur)	1.1	1.0	manganèse	5.3 10-5	7.5 10-6	Chrome
Ingestion de sol et de poussières (en extérieur)	1.4	17.3	Etain, antimoine	2.7 10-5	4.8 10-5	Arsenic
Ingestion de poussières (en intérieur)	1.4 10-2	5.8 10-2	Etain, antimoine	2.7 10-7	1.6 10-7	Arsenic
Ingestion de légumes autoproduits	83.4	220	Antimoine, étain	1.6 10-4	6.3 10-5	Arsenic
Contact cutané	0.37	0.48	Plomb, mercure	1.6 10-5	3.2 10-6	Arsenic
TOTAL pour les usagers des pavillons avec jardin privatif	**86.3**	**238.8**		**2.0 10-4**	**1.1 10-4**	

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre d'un aménagement du site en pavillons avec jardin privatif (sans couverture) en prenant *les concentrations correspondant au maximum dans les sols et les gaz du sol*, et avec les hypothèses constructives retenues, les risques sanitaires seraient inacceptables, tant pour les effets cancérigènes que non cancérigènes pour les adultes comme pour les enfants.

Pour les effets non cancérigènes, les indices de risques seraient de l'ordre de 90 pour les adultes et de 240 pour les enfants. Ces IR sont supérieurs à la valeur considérée comme acceptable (IR=1).

Pour les effets cancérigènes, les excès de risques individuels sont de l'ordre de 2 10^{-4} au maximum pour les adultes et de l'ordre de 10^{-4} pour les enfants. Ces ERI sont supérieurs à l'excès de risque considéré comme acceptable (ERI=10-5, circulaire du 10/12/99).

Ces risques sanitaires inacceptables sont essentiellement tirés par les voies directes, les risques induits par la voie inhalation étant acceptables, tant pour les effets non cancérigènes que pour les effets cancérigènes.

8.2.2 Scénarios 2, 3 et 4 : habitations en immeuble sur le site 1a

Pour ce scénario, nous avons considéré que l'ensemble des parcelles était recouvert (dallage, bitume, bâtiments). Les risques sanitaires IR et ERI sont synthétisés dans le tableau suivant (et présentés en ***annexe 9.1***).

Tableau 20 : Risques sanitaires pour les résidents en immeuble (scénarios 2, 3 et 4 – site 1a)

	Résidents en immeuble sur sous-sol					
	Indice de risques (IR)			Excès de risque individuel (ERI)		
	Adultes	Enfants	composés tirant le risque	Adultes	Enfants	Composés tirant le risque
Inhalation de gaz (intérieur) : parkings en sous-sol	5.6 10-6	5.6 10-6	xylènes	6.0 10-11	9.0 10-12	Formaldéhydes
Inhalation de gaz (intérieur) : habitations sur sous-sol	2.1 10-5	2.0 10-5	xylènes	2.3 10-10	3.2 10-11	Formaldéhydes
TOTAL pour les résidents en immeubles sur sous-sol	**2.7 10-5**	**2.6 10-5**		**2.9 10-10**	**4.1 10-11**	

	Résidents en immeuble de plain-pied					
	Indice de risques (IR)			Excès de risque individuel (ERI)		
	Adultes	Enfants	composés tirant le risque	Adultes	Enfants	Composés tirant le risque
Inhalation de gaz (intérieur) : habitations de plain-pied	2.0 10-3	1.9 10-3	xylènes	1.6 10-8	2.3 10-9	Benzène
Inhalation de gaz (extérieur) : parkings aériens	2.1 10-6	2.1 10-6	formaldéhydes	3.7 10-11	5.5 10-12	Formaldéhydes
TOTAL pour les résidents en immeubles de plain-pied	**2.0 10-3**	**1.9 10-3**		**1.6 10-8**	**2.3 10-9**	

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre d'un aménagement du site en habitations en immeubles (habitations sur un niveau de sous-sol à usage de parkings ou habitations de plain pied associées à des parkings aériens) en prenant *les concentrations correspondant au maximum dans les sols et les gaz du sol*, et avec les hypothèses constructives retenues, les risques sanitaires seraient acceptables, tant pour les effets cancérigènes que non cancérigènes pour les adultes comme pour les enfants.

Pour les effets non cancérigènes, les indices de risques seraient au maximum de l'ordre de 2 10-3 pour les adultes et pour les enfants. Ces IR sont inférieurs à la valeur considérée comme acceptable (IR=1).

Pour les effets cancérigènes, les excès de risques individuels sont de l'ordre de 2 10^{-8} au maximum pour les adultes. Cet ERI est inférieur à l'excès de risque considéré comme acceptable (ERI=10-5, circulaire du 10/12/99).

8.2.3 Scénarios 4 et 5 : bureaux de plain pied / équipement sportif ou public sur le site 1a

Pour ce scénario, nous avons considéré que l'ensemble des parcelles était recouvert (dallage, bitume, bâtiments). Les risques sanitaires IR et ERI sont synthétisés dans le tableau suivant (et présentés en ***annexe 9.1***).

Tableau 21 : Risques sanitaires pour les usagers des bureaux (scénarios 4 et 5 –site 1a)

	Résidents en immeuble					
	Indice de risques (IR)			Excès de risque individuel (ERI)		
	Adultes	Enfants	composés tirant le risque	Adultes	Enfants	Composés tirant le risque
Inhalation de gaz (intérieur) : bureaux de plain-pied	5.5 10-4	-	xylènes	4.5 10-9	-	Benzène
Inhalation de gaz (extérieur) : parkings aériens	1.3 10-6	-	Formaldéhyde	2.4 10-11		Formaldéhyde
TOTAL pour les travailleurs adultes	**5.5 10-4**			**4.5 10-9**		

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre d'un aménagement du site en bureaux de plain pied associés à des parkings aériens, en prenant *les concentrations correspondant au maximum dans les sols et les gaz du sol*, et avec les hypothèses constructives retenues, les risques sanitaires seraient acceptables pour les effets cancérigènes et acceptables pour les effets non cancérigènes pour les travailleurs dans les bureaux de plain-pied.

Pour les effets non cancérigènes, l'indice de risques serait de l'ordre de 6 10-4 pour les travailleurs adultes. Cet IR est inférieur à la valeur considérée comme acceptable (IR=1).

Pour les effets cancérigènes, les excès de risques individuels sont de l'ordre de 5 10-9 pour les travailleurs adultes. Cet ERI est supérieur à l'excès de risque considéré comme acceptable (ERI=10-5, circulaire du 10/12/99).

A fortiori, les risques liés à un aménagement en bureaux sur sous-sol à usage de parkings seront également acceptables, le temps de présence dans les sous-sol et les bureaux (dilution de 10%) étant plus faible que ceux retenus ci-dessus.

8.2.4 Scénario 6 : espaces verts sur le site 1a

Pour ce scénario, nous avons considéré que l'ensemble des parcelles était à nu. Les risques sanitaires IR et ERI sont synthétisés dans le tableau suivant (et présentés en ***annexe 9.1***).

Tableau 22 : Risques sanitaires pour les usagers des parkings aériens avec espaces verts (scénarios 4 et 5 –site 1a)

	Parkings aériens avec espaces verts					
	Indice de risques (IR)			Excès de risque individuel (ERI)		
	Adultes	Enfants	composés tirant le risque	Adultes	Enfants	Composés tirant le risque
Inhalation de gaz (extérieur espaces verts)	8.2 10-4	8.2 10-4	Formaldéhydes	1.4 10-8	2.2 10-9	Formaldéhydes
Inhalation de poussières (extérieur)	4.7 10-2	4.7 10-5	Manganèse	5.0 10-5	7.1 10-6	Chrome
Ingestion de sol et de poussières (extérieur)	1.4	17.3	Etain, antimoine	2.7 10-5	4.8 10-5	Arsenic
Contact cutané	0.37	0.48	Plomb, mercure	1.6 10-5	3.2 10-6	Arsenic
TOTAL pour les usagers des espaces verts	**1.8**	**17.8**		**9.3 10-5**	**5.8 10-5**	

* : seul composé cancérigène retenu

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre d'un aménagement du site en espaces verts, en prenant *les concentrations correspondant au maximum dans les sols et les gaz du sol*, et avec les hypothèses constructives retenues, les risques sanitaires seraient inacceptables tant pour les effets cancérigènes que pour les effets non cancérigènes pour les usagers adultes et enfants des espaces verts.

Pour les effets non cancérigènes, les indices de risques seraient de l'ordre de 2 pour les adultes et de 20 pour les enfants. Ces IR sont supérieurs à la valeur considérée comme acceptable (IR=1).

Pour les effets cancérigènes, les excès de risques individuels sont de l'ordre de 10^{-4} au maximum pour les adultes et de l'ordre de 6 10^{-5} pour les enfants. Ces ERI sont supérieurs à l'excès de risque considéré comme acceptable (ERI=10-5, circulaire du 10/12/99).

Ces risques sanitaires inacceptables sont essentiellement tirés par les voies directes, les risques induits par la voie inhalation étant acceptables, tant pour les effets non cancérigènes que pour les effets cancérigènes.

8.2.5 Synthèse des risques sanitaires pour le site 1a

Les calculs de risques exposés ci-dessus montrent que les risques sanitaires (tant cancérigènes que non cancérigènes) sont :

- acceptables, sans disposition constructive particulière, pour un aménagement en :
  - habitations en immeuble sur un niveau de sous-sol à usage de parkings ;
  - habitations en immeuble de plain pied ;
  - parkings aériens ou souterrains ;
  - bureaux de plain pied ou sur un niveau de sous-sol (et donc un équipement sportif et/ou public).

- inacceptables, sans disposition constructive particulière, pour un aménagement en :
  - pavillons avec jardin privatif ;
  - espaces verts.

Rappelons que les risques inacceptables pour ces deux aménagements sont essentiellement liés aux voies directes et sont tirés par le manganèse, l'étain et l'antimoine. De plus, il existe de fortes incertitudes sur la forme de ces métaux et sur la présence d'un bruit de fond élevé pour ces composés dans la région.

De plus, notons que la suppression des voies directes (mis en place d'une couche de terres propres) permettrait de rendre les risques acceptables pour l'ensemble des aménagements cités ci-dessus.

8.3 Pour le site 1c

Notons que pour ce site, aucun composé volatil n'a été retenu. Dans ce cadre, seuls les calculs pour les voies directes seront exposés ci-dessous.

8.3.1 Scénario 1 : les pavillons sur le site 1c

Pour ce scénario, nous avons considéré que les jardins privatifs étaient à nu (sans couverture de terre végétale). Les risques sanitaires IR et ERI sont synthétisés dans le tableau suivant (et présentés en ***annexe 9.2***).

Tableau 23 : Risques sanitaires pour les usagers des pavillons (scénario 1 – site 1c)

	Pavillons avec jardin privatif					
	Indice de risques (IR)			Excès de risque individuel (ERI)		
	Adultes	Enfants	composés tirant le risque	Adultes	Enfants	composés tirant le risque
Inhalation de poussières (intérieur et extérieur)	0.68	0.65	manganèse	5.9 10-7	8.4 10-8	Arsenic
Ingestion de poussières (intérieur pavillons)	2.1 10-3	8.2 10-3	Etain, arsenic	1.9 10-7	1.2 10-7	Arsenic
Ingestion de sols et de poussières (extérieur jardins)	0.2	2.5	Etain, arsenic	1.9 10-5	3.5 10-5	Arsenic
Ingestion de légumes autoproduits	1.1	2.9	Etain, arsenic	1.2 10-4	4.7 10-5	Arsenic
Contact cutané	9.2 10-2	0.12	Plomb, arsenic	1.1 10-5	2.1 10-6	Arsenic
TOTAL pour les usagers des pavillons avec jardin privatif	**2.1**	**6.2**		**1.5 10-4**	**8.5 10-5**	

* : seul composé cancérigène retenu

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre d'un aménagement du site en pavillons avec jardin privatif (sans couverture) en prenant *les concentrations correspondant au maximum dans les sols* et avec les hypothèses constructives retenues, les risques sanitaires seraient inacceptables, tant pour les effets non cancérigènes que pour les effets cancérigènes, pour les adultes comme pour les enfants.

Pour les effets non cancérigènes, les indices de risques seraient au maximum de l'ordre de 2 pour les adultes et de 6 pour les enfants. Ces IR est supérieurs à la valeur considérée comme acceptable (IR=1).

Pour les effets cancérigènes, les excès de risques individuels sont au maximum de l'ordre de 2 10^{-4} et de 9 10^{-5} respectivement pour les adultes et les enfants. Ces ERI sont supérieurs à l'excès de risque considéré comme acceptable (ERI=10-5, circulaire du 10/12/99).

8.3.2 Scénario 6 : espaces verts sur le site 1c

Pour ce scénario, nous avons considéré que l'ensemble des parcelles était à nu. Les risques sanitaires IR et ERI sont synthétisés dans le tableau suivant (et présentés en ***annexe 9.2***).

Tableau 24 : Risques sanitaires pour les usagers des espaces verts (scénario 6 –site 1c)

	Espaces verts					
	Indice de risques (IR)			Excès de risque individuel (ERI)		
	Adultes	Enfants	composés tirant le risque	Adultes	Enfants	Composés tirant le risque
Inhalation de poussières (extérieur)	0.03	0.03	Manganèse	2.6 10-8	3.9 10-9	Arsenic
Ingestion de sol et de poussières (extérieur)	0.2	2.5	Etain, arsenic	1.9 10-5	3.5 10-5	Arsenic
Contact cutané	9.2 10-2	0.12	Plomb, arsenic	1.1 10-5	2.1 10-6	Arsenic
TOTAL pour les usagers des espaces verts	**0.32**	**2.7**		**3.0 10-5**	**3.7 10-5**	

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre d'un aménagement du site en espaces verts, en prenant *les concentrations correspondant au maximum dans les sols et les gaz du sol*, et avec les hypothèses constructives retenues, les risques sanitaires seraient inacceptables pour les effets cancérigènes que pour les effets non cancérigènes pour usagers des espaces verts adultes comme enfants,

Pour les effets non cancérigènes, l'indice de risques serait de l'ordre de 0.3 et 3 respectivement pour les adultes et les enfants. L'IR des adultes est inférieur à la valeur considérée comme acceptables 'IR=1=, celui des adultes et supérieur à cette valeur.

Pour les effets cancérigènes, les excès de risques individuels sont au maximum de l'ordre de 3 10^{-5} et de 4 10^{-5} respectivement pour les adultes et les enfants. Ces ERI sont supérieurs à l'excès de risque considéré comme acceptable (ERI=10-5, circulaire du 10/12/99).

8.3.3 Synthèse des risques sanitaires pour le site 1c

Les calculs de risques exposés ci-dessus montrent que les risques sanitaires (tant cancérigènes que non cancérigènes) sont :

- acceptables, sans disposition constructive particulière, pour un aménagement en :
  - habitations en immeuble sur un niveau de sous-sol à usage de parkings ;
  - habitations en immeuble de plain pied ;
  - parkings aériens ou souterrains ;
  - bureaux de plain pied ou sur un niveau de sous-sol (et donc un équipement sportif et/ou public).
- inacceptables, sans disposition constructive particulière, pour un aménagement en :
  - pavillons avec jardin privatif ;
  - espaces verts.

Rappelons que les risques inacceptables pour ces deux aménagements sont essentiellement liés aux voies directes et sont tirés par le manganèse, l'étain et l'antimoine. De plus, il existe de fortes incertitudes sur la forme de ces métaux et sur la présence d'un bruit de fond élevé pour ces composés dans la région.

De plus, notons que la suppression des voies directes (mis en place d'une couche de terres propres) permettrait de rendre les risques acceptables pour l'ensemble des aménagements cités ci-dessus.

8.4 Pour le site 2

Notons que pour ce site, aucun composé volatil n'a été retenu. Dans ce cadre, seuls les calculs pour les voies directes seront exposés ci-dessous.

8.4.1 Scénario 1 : les pavillons sur le site 2

Pour ce scénario, nous avons considéré que les jardins privatifs étaient à nu (sans couverture de terre végétale). Les risques sanitaires IR et ERI sont synthétisés dans le tableau suivant (et présentés en ***annexe 9.3***).

Tableau 25 : Risques sanitaires pour les usagers des pavillons (scénario 1 – site 2)

	Pavillons avec jardin privatif					
	Indice de risques (IR)			Excès de risque individuel (ERI)		
	Adultes	Enfants	composés tirant le risque	Adultes	Enfants	composés tirant le risque
Inhalation de poussières (intérieur et extérieur)	0.38	0.36	manganèse	2.8 10-13	4.0 10-14	Phénanthrène *
Ingestion de poussières (intérieur)	8.7 10-5	3.5 10-4	manganèse	1.7 10-14	1.0 10-14	Phénanthrène *
Ingestion de sol et poussières (extérieur jardin)	8.7 10-3	0.11	manganèse	1.7 10-12	3.1 10-12	Phénanthrène *
Ingestion de légumes autoproduits	7.2 10-3	1.9 10-2	cuivre	2.6 10-11	1.0 10-11	Phénanthrène *
Contact cutané	2.0 10-4	2.7 10-4	Manganèse	5.8 10-11	1.1 10-11	Phénanthrène *
TOTAL pour les usagers des pavillons avec jardin privatif	**0.39**	**0.49**		**8.6 10-11**	**2.5 10-11**	

* : seul composé cancérigène retenu

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre d'un aménagement du site en pavillons avec jardin privatif (sans couverture) en prenant *les concentrations correspondant au maximum dans les sols* et avec les hypothèses constructives retenues, les risques sanitaires seraient acceptables, tant pour les effets non cancérigènes que pour les effets cancérigènes, pour les adultes comme pour les enfants.

Pour les effets non cancérigènes, les indices de risques seraient au maximum de l'ordre de 0.4 pour les adultes et de 0.5 pour les enfants. Ces IR sont inférieurs à la valeur considérée comme acceptable (IR=1).

Pour les effets cancérigènes, les excès de risques individuels sont au maximum de l'ordre de 10^{-10} et de $3\ 10^{-11}$ respectivement pour les adultes et les enfants. Ces ERI sont inférieurs à l'excès de risque considéré comme acceptable (ERI=10-5, circulaire du 10/12/99).

8.4.2 Scénario 6 : espaces verts sur le site 2

Pour ce scénario, nous avons considéré que l'ensemble des parcelles était à nu. Les risques sanitaires IR et ERI sont synthétisés dans le tableau suivant (et présentés en ***annexe 9.3***).

Tableau 26 : Risques sanitaires pour les usagers des espaces verts (scénario 6 –site 2)

	Espaces verts					
	Indice de risques (IR)			Excès de risque individuel (ERI)		
	Adultes	Enfants	composés tirant le risque	Adultes	Enfants	Composés tirant le risque
Inhalation de poussières (extérieur)	1.7 10-2	1.7 10-2	manganèse	1.2 10-14	1.9 10-15	Phénanthrène *
Ingestion de sol et de poussières (extérieur)	8.7 10-3	0.11	manganèse	1.7 10-12	3.1 10-12	Phénanthrène *
Contact cutané	1.5 10-2	1.9 10-2	Manganèse	5.8 10-11	1.1 10-11	Phénanthrène *
TOTAL pour les usagers des espaces verts	**0.4**	**0.5**		**6.0 10-11**	**1.4 10-11**	

* : seul composé cancérigène retenu

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre d'un aménagement du site en espaces verts, en prenant *les concentrations correspondant au maximum dans les sols et les gaz du sol*, et avec les hypothèses constructives retenues, les risques sanitaires seraient acceptables pour les effets cancérigènes que pour les effets non cancérigènes pour les travailleurs dans les bureaux de plain-pied,

Pour les effets non cancérigènes, les indices de risques seraient au maximum de l'ordre de 0.5 pour les adultes comme pour les enfants. Ces IR sont inférieurs à la valeur considérée comme acceptable (IR=1).

Pour les effets cancérigènes, les excès de risques individuels sont au maximum de l'ordre de 6 10^{-11} et de 10^{-11} respectivement pour les adultes et les enfants. Ces ERI sont inférieurs à l'excès de risque considéré comme acceptable (ERI=10-5, circulaire du 10/12/99).

8.4.3 Synthèse des risques sanitaires pour le site 2

Les calculs de risques exposés ci-dessus montrent que les risques sanitaires (tant cancérigènes que non cancérigènes) sont acceptables, sans disposition constructive particulière, pour un aménagement en :

- habitations en immeuble sur un niveau de sous-sol à usage de parkings ;
- habitations en immeuble de plain pied ;
- parkings aériens ou souterrains ;
- bureaux de plain pied ou sur un niveau de sous-sol à usage de parkings (et donc un équipement sportif et/ou public) ;
- pavillons avec jardin privatif ;
- espaces verts.

9 Incertitudes et sensibilité

9.1 Non prise en compte de l'exposition au bruit de fond

Dans la mesure où le bruit de fond et ses incidences sanitaires n'ont pas à ce jour fait l'objet d'une procédure de gestion nationale (malgré l'existence d'un groupe technique du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable travaillant sur cette thématique), la présente étude a été menée en ne considérant que les risques sanitaires induits par la présence de polluants en concentrations supérieures au bruit de fond sur le site. Cette pratique correspond à ce qui est couramment réalisé dans ce type d'étude (source INERIS).

Nous rappellerons cependant que :

- certains métaux n'ont pas été retenus car les concentrations dans les sols sont jugées appartenir au bruit de fond. Leur présence sur site et hors site pourrait dans certains cas induire des niveaux de risques qui seraient jugés inacceptables (c'est le cas en particulier de l'arsenic) ;
- pour les métaux et métalloïdes présents dans les sols à des concentrations supérieures à la gamme du bruit de fond et pris en compte dans la présente étude, une part du risque évalué est lié à un bruit de fond régional ou national ;
- la présence potentielle de composés organiques volatils (benzène, solvants, etc.) ou de poussières dans l'air atmosphérique de certaines agglomérations (suivis parfois par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air), non liée au site, n'est pas prise en compte ;
- la présence potentielle dans l'air intérieur de composés organiques volatils (solvants, fomaldéhydes, etc.) issus des aménagements et activités dans les locaux, non liée au site, n'est pas prise en compte.

Rappelons qu'il existe une forte incertitude sur la définition des bruits de fond pour le manganèse, l'étain et l'antimoine, mais également l'arsenic, composés tirant les risques des voies directes et responsables des risques inacceptables pour les aménagements en jardins privatifs et espaces verts.

9.2 Choix des substances

Les substances ont été choisies en fonction de leurs concentrations dans les différents milieux d'exposition.

Les composés présents dans les sols ont été retenus dès qu'ils présentaient des concentrations supérieures aux bruits de fond naturel d'un sol, les composés présents dans les eaux ont été retenus dès qu'ils présentaient des concentrations supérieures aux seuils de potabilité, les composés présents dans les gaz du sol ont été retenus dès qu'ils présentaient des concentrations supérieures à la valeur de référence (ou, en l'absence de celle-ci, de la VTR).

Les bruits de fond retenus sont ceux proposés par l'INRA pour la France entière, ou correspondent aux valeurs S néerlandaises lorsque les valeurs INRA n'étaient pas disponibles. Une meilleure définition du bruit de fond local pour le manganèse, l'étain, l'antimoine et l'arsenic permettrait peut-être de revoir le classement.

Toutefois, en l'absence de précision, aucune étude de sensibilité ne sera menée sur le choix des substances.

9.3 Concentrations dans les différents milieux

9.3.1 Concentrations dans les sols

Les concentrations dans les sols prises en compte correspondent aux valeurs maximales mesurées sur l'ensemble des échantillons analysés sur l'ensemble des 2 campagnes d'investigations.

Une étude de sensibilité a été menée en considérant :

- les concentrations centile 90 dans les sols de surface pour les voies directes uniquement (scénario pavillons avec jardins pour le site 1a) ;
- les concentrations centile 90 dans les sols de surface pour les voies directes uniquement (scénario pavillons avec jardins pour le site 1c).

9.3.1.1 Concentrations centile 90 dans les sols de surface – scénario pavillons avec jardin privatif, site 1a

Comme pour le calcul de base, nous avons considéré que les jardins privatifs étaient à nu (sans couverture de terre végétale). Les risques sanitaires IR et ERI sont synthétisés dans le tableau suivant (et présentés en ***annexe 10.1***).

Notons que pour le cadmium et le chrome, nous avons retenu les concentrations moyennes, celles-ci étant plus élevées que les concentrations centile 90 (pour ces deux composés uniquement).

Tableau 27 : Risques sanitaires pour les usagers des pavillons (scénario 1 – site 1a) – Etude de sensibilité : concentrations centile 90 de surface

	Pavillons avec jardin privatif					
	Indice de risques (IR)			Excès de risque individuel (ERI)		
	Adultes	Enfants	composés tirant le risque	Adultes	Enfants	composés tirant le risque
Inhalation de poussières	0.78	0.75	manganèse	3.8 10-5	5.4 10-6	Arsenic
Ingestion de poussières (intérieur)	3.7 10-3	1.5 10-2	Etain, arsenic, plomb	2.5 10-7	1.5 10-7	Arsenic
Ingestion de sol et de poussières (extérieur)	0.37	4.4	Etain, arsenic	2.5 10-5	4.5 10-5	Arsenic
Ingestion de légumes autoproduits	13.2	34.7	Antimoine, arsenic, étain	1.5 10-4	6.0 10-5	Arsenic
Contact cutané	0.27	0.35	Plomb, mercure, arsenic	1.5 10-5	2.9 10-6	Arsenic
TOTAL pour les usagers des pavillons avec jardin privatif	**14.6**	**54**		**2.3 10-4**	**1.1 10-4**	

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre d'un aménagement du site en pavillons avec jardin privatif (sans couverture) en prenant *les concentrations correspondant au centile 90 dans les sols de surface*, et avec les hypothèses constructives retenues, les risques sanitaires ***liés aux voies directes uniquement*** seraient inacceptables, tant pour les effets cancérigènes que non cancérigènes pour les adultes comme pour les enfants.

Considérer les concentrations centile 90 dans les sols de surface du site 1a conduit à des risques sanitaires inacceptables et ne modifie donc pas les conclusions.

Par ailleurs, compte tenu de la répartition aléatoire des concentrations en métaux, il semble difficile de calculer des concentrations limites permettant d'obtenir des risques sanitaires acceptables.

Dans ce cadre, si le scénario pavillons avec jardins (et espaces verts) devait voir le jour sur le site 1a, il serait nécessaire, *afin de rendre acceptables les risques liés aux voies directes*, de mettre en place d'une couverture (terres propres rapportées) d'une hauteur minimale de 50 cm de terre végétale et un grillage avertisseur entre la terre propre rapportée et les sols actuels. Ceci permettrait de supprimer le contact entre les sols et les personnes et ainsi rendre les risques acceptables.

	Indice de risques (IR)		Excès de risque individuel (ERI)	
	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants
Inhalation de gaz (intérieur)	2.0 10-3	1.9 10-3	1.6 10-8	2.3 10-9
Inhalation de gaz (extérieur jardin)	9.2 10-5	9.2 10-5	1.6 10-9	2.4 10-10
Inhalation de gaz (extérieur parkings aériens)	2.1 10-6	2.1 10-6	3.7 10-11	5.5 10-12
TOTAL après couverture	**2.1 10-3**	**2.0 10-3**	**1.8 10-8**	**2.5 10-9**

9.3.1.2 Concentrations centile 90 dans les sols de surface – scénario pavillons avec jardin privatif, site 1c

Compte tenu du faible nombre d'analyses disponibles pour cette zone, les concentrations centile 90 sont proches (voire même identiques) aux concentrations maximales retenues pour le calcul de base.

Dans ce cadre, si le scénario pavillons avec jardins (et espaces verts) devait véritablement voir le jour sur le site 1c, il serait nécessaire, *afin de rendre acceptables les risques liés aux voies directes*, de mettre en place d'une couverture (terres propres rapportées) d'une hauteur minimale de 50 cm de terre végétale et un grillage avertisseur entre la terre propre rapportée et les sols actuels. Ceci permettrait de supprimer le contact entre les sols et les personnes et ainsi rendre les risques acceptables.

9.3.1.3 Cas de la fosse sous dallage remplie de sables de fonderie

Lors des travaux de déconstruction, une fosse sous dallage probablement remplie de sables de fonderie a été repérée. Aucune analyse ni précision sur les composés réellement présents dans cette fosse n'est disponible.

Une étude de sensibilité a été effectuée en considérant que les sables de fonderie éventuellement présents dans cette fosse avaient les mêmes caractéristiques que ceux présents en surface du site, à savoir :

Tableau 28 : concentrations retenues pour l'étude de sensibilité sur la présence de sables de fonderie dans une fosse sous dalle

	Sols (mg/kg)	Concentrations dans les sols retenues pour le calcul de base (mg/kg)
HCT		
Hydrocarbures totaux	**530**	**960**
HAP		
Naphtalène	**1.8**	**-**
Autres composés		
PCB (somme)	**1.04 ***	**-**

** Remarques pour les PCB :*

Dans la suite de notre étude, nous retiendrons l'approche suivante de l'AFSSA (l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments). Dans un avis rendu en avril 2003 (sur la base d'un rapport de décembre 2002), elle estime que :

- en raison de leur persistance dans l'environnement, de leur présence en quantité significative dans les aliments et de leurs propriétés toxicologiques importantes, les 7 PCB indicateurs 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180 peuvent être considérés comme :
  - d'une part, représentatifs de la contamination alimentaire par l'ensemble des congénères de PCB ;
  - d'autre part, représentatifs de l'impact toxicologique sur la santé humaine ;
- la DJT de 0,02 µg/kg p.c./j en équivalent Aroclor 1254 proposée par l'OMS pour l'ensemble des PCB peut être retenue comme valeur toxicologique de référence. En considérant que dans les aliments les 7 PCB indicateurs représentent au moins la moitié des PCB totaux, un facteur multiplicatif de 2 pourra être adopté pour comparer les expositions basées sur les 7 congénères indicateurs à la DJT exprimée en Aroclor (AFSSA saisine n°2002-SA-0149). Les expositions calculées seront alors comparées à la DJT.

La concentration maximale en hydrocarbures mesurée dans les sables de fonderie étant inférieure à celle retenue pour le calcul de base, nous avons réalisé l'étude de sensibilité en ajoutant les risques induits par les PCB et le naphtalène à ceux déjà calculés précédemment.

L'étude de sensibilité a été effectuée pour le scénario « pavillons », celui-ci présentant les risques sanitaires les plus importants, pour la voie inhalation uniquement (nous avons considéré que les sols étaient recouverts d'une couche de terres propres rapportée comme le préconisent les § 9.3.1.1 et 9.3.1.2). Les résultats sont les suivants (cf. ***annexe 10.A***) :

Tableau 29 : Risques sanitaires pour les usagers des pavillons (scénario 1 – site 1a) – Etude de sensibilité : présence de sables de fonderie pollués sous dallage

	Indice de risques (IR)		Excès de risque individuel (ERI)	
	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants
Pavillons				
Inhalation de gaz (intérieur pavillons)	5.7 10-2	5.4 10-2	1.2 10-7	1.7 10-8
Inhalation de gaz (extérieur jardin)	9.0 10-4	9.0 10-4	3.1 10-9	4.7 10-10
Inhalation de gaz (extérieur parkings aériens)	1.7 10-5	1.7 10-5	6.5 10-11	9.8 10-12
TOTAL après couverture	**5.8 10-2**	**5.5 10-2**	**1.2 10-7**	**1.7 10-8**

Les résultats ainsi calculés montrent des risques sanitaires resteraient acceptables. Ainsi, la présence de sables de fonderie potentiellement pollués sous le dallage des aménagements envisagés (les pavillons, et à fortiori les immeubles de plain-pied ou sur un niveau de sous-sol, les bureaux et les équipements sportifs et/ou publics, les parkings aériens, les espaces verts) ne modifierait pas les conclusions de l'étude quant à l'acceptabilité des risques sanitaires.

9.3.1.4 Cas de la poche de pollution par des hydrocarbures s'étendant sous le domaine public

A l'issue des travaux de dépollution de la source A du site 1a (aux alentours de la station de distribution), il a été mis en évidence la persistance d'une poche de pollution par des hydrocarbures s'étendant sous le domaine publique. La teneur résiduelle maximale est de 14 400 mg/kg dont 490 mg/kg correspondant à la fraction C10-C12 et 4200 mg/kg correspondant à la fraction C12-C16.

Comme pour les calculs de base, nous avons considéré une répartition homogène arbitraire entre les hydrocarbures de type aliphatique et les hydrocarbures de type aromatique.

L'étude de sensibilité a été effectuée pour l'ensemble des scénarios retenus, pour la voie inhalation uniquement (nous avons considéré que les sols étaient recouverts d'une couche de terres propres rapportée comme le préconisent les § 9.3.1.1 et 9.3.1.2). Les résultats sont les suivants (cf. ***annexe 10.B***) :

Tableau 30 : Risques sanitaires pour les usagers des pavillons (scénario 1 – site 1a) – Etude de sensibilité : présence d'une poche de pollution par des hydrocarbures en limite du domaine public

	Indice de risques (IR)		Excès de risque individuel (ERI)	
	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants
Pavillons				
Inhalation de gaz (intérieur pavillons)	1.1	1.0	1.6 10-8	2.3 10-9
Inhalation de gaz (extérieur jardin)	2.7 10-2	2.7 10-2	1.6 10-9	2.4 10-10
Inhalation de gaz (extérieur parkings aériens)	5.1 10-4	5.1 10-4	3.7 10-11	5.5 10-12
TOTAL après couverture	**1.1**	**1.0**	**1.8 10-8**	**2.5 10-9**
Immeubles sur un niveau de sous-sol				
Inhalation de gaz (intérieur immeuble)	1.2 10-2	1.1 10-2	4.0 10-10	5.7 10-11
Inhalation de gaz (intérieur parkings souterrains)	3.2 10-3	3.2 10-3	1.1 10-10	1.6 10-11
TOTAL après couverture	**1.5 10-2**	**1.4 10-2**	**5.1 10-10**	**7.3 10-11**
Immeubles de plain-pied				
Inhalation de gaz (intérieur immeuble)	1.1	1.0	1.6 10-8	2.3 10-9
Inhalation de gaz (extérieur parkings aériens)	5.1 10-4	5.1 10-4	3.7 10-11	5.5 10-12
TOTAL après couverture	**1.1**	**1.0**	**1.6 10-8**	**2.3 10-9**
Bureaux de plain-pied				
Inhalation de gaz (intérieur bureaux)	0.46	-	4.5 10-9	-
Inhalation de gaz (extérieur parkings aériens)	3.4 10-4	-	2.4 10-11	-
TOTAL après couverture	**0.46**	**-**	**4.7 10-9**	**-**
Espaces verts				
Inhalation de gaz (extérieur espaces verts)	0.25	0.25	1.4 10-8	2.2 10-9
TOTAL après couverture	**0.25**	**0.25**	**1.4 10-8**	**2.2 10-9**

Ces calculs montrent que les aménagements en pavillons ou immeubles de plain-pied ne pourront être mis en place en bordure immédiate de cette poche de pollution encore en place à la limite du domaine public. En revanche, les aménagements en immeubles sur un niveau de sous-sol, bureaux de plain-pied (et donc équipements sportifs et/ou publics), parkings aériens et espaces verts pourront être mis en place en bordure de cette poche de pollution résiduelle.

9.3.2 Concentrations dans l'air du sol

Nous rappelons que la modélisation par le logiciel RISC 4.0 montre des concentrations dans le milieu « gaz du sol » plus importantes en considérant les pollutions en provenance des sols et/ou des eaux souterraines qu'en prenant en compte directement les concentrations mesurées dans les gaz du sol *in situ*.

Pour l'ensemble des composés retenus pour la voie inhalation, les concentrations retenues correspondent à des concentrations mesurées dans les gaz du sol (benzène en PR2, xylènes en S14 et PR1, formaldéhydes en PR3-S18-S20).

Aucune étude de sensibilité ne sera donc menée sur ce paramètre.

9.3.3 Concentrations évaluées dans l'eau des canalisations

Les concentrations en polluants ont été modélisées en utilisant le logiciel HESP. Ce logiciel considère que les canalisations du réseau AEP sont directement en contact avec les sols pollués via l'eau interstitielle sans tenir compte de la tranchée réalisée pour leur mise en place qui sera comblée par des matériaux sains et constituera un véritable drain aux écoulements d'air souterrains.

De plus, les hypothèses retenues pour le calcul du transfert de polluants depuis la source sol vers l'eau des canalisations de distribution AEP (longueur de la canalisation et matériaux) sont pénalisantes (voir les hypothèses retenues en terme de longueur de zone traversées et de débit).

9.3.4 Concentrations dans les végétaux autoproduits

Pour les composés organiques

Les concentrations en hydrocarbures, HAP et métaux dans les végétaux ont été évaluées en prenant des facteurs de bioconcentration (BCF) soit issus de la littérature (cas des métaux), soit calculés pour les composés organiques à partir des équations de Briggs, 1982 pour les BCF racinaires et les équations de Travis and Arm, 1988 pour les BCF des parties aériennes. Ces équations font intervenir le log KOW et log KOC des substances ainsi que la fraction de carbone organique du sol (foc).

Pour les substances ayant un log KOW élevé (supérieur à 5-6), les incertitudes sur les calculs de BCF sont importantes, cependant, les connaissances actuelles ne permettent pas de réduire ces incertitudes.

On notera également que la foc joue de manière linéaire dans les BCF racinaires calculés et donc dans les concentrations dans les végétaux et les risques induits par leur consommation. La foc des terres agricoles (ou terre végétale) est de l'ordre de 1 à 3 %, ce qui est de l'ordre de grandeur de celle prise en compte dans la présente étude pour les limons en place (2%).

La faible foc retenue engendre des concentrations dans les parties racinaires des végétaux (pour les substances pour lesquelles les BCFsol->végétaux n'étaient pas disponibles dans la littérature) potentiellement surestimées d'un facteur 10.

Notons toutefois que, compte tenu des risques calculés, même si les concentrations dans les parties racinaires étaient diminuées d'un facteur 10, les risques induits resteraient inacceptables.

Pour les métaux

Enfin, on rappelle que les BCF issus de la littérature présentent une variabilité importante en fonction de la teneur en matière organique des sols, du pH, etc. et on note des variations parfois de plusieurs ordres de grandeur entre les valeurs présentées. Le choix réalisé se base sur les caractéristiques des valeurs par défaut des modèles intégrés en l'absence de mesures spécifiques sur le site.

Les BCF sélectionnés pour les métaux et métalloïdes et les gammes de BCF de la littérature sont donnés dans le tableau ci-après, celui-ci montre une très grande variabilité des BCF.

	BCF Feuilles poids sec Gamme de la littérature	BCF Feuilles poids sec Valeur retenue	BCF racines poids sec Gamme de la littérature	BCF racines poids sec Valeur retenue
Arsenic	0,0029 à 0,23	0,03	0,0005 à 0,1	0,02
Antimoine	0.9	0.9	0.6	0.6
Cadmium	0,01 à 21	0,7	0,005 à 0,86	0,55
Chrome	0,01 à 0,05	0,02	0,002 à 0,05	0,002
Cuivre	0,006 à 0,61	0,1	0,02 à 3,99	0,1
Etain	0.03	0.03	0.015	0.015

	BCF Feuilles poids sec Gamme de la littérature	BCF Feuilles poids sec Valeur retenue	BCF racines poids sec Gamme de la littérature	BCF racines poids sec Valeur retenue
Manganèse	Non disponible	-	Non disponible	-
Mercure	0,0005 à 1,3	0,8	0,0001 à 0,4	0,09
Nickel	0,019 à 0,2	0,1	0,019 à 0,4	0,007
Plomb	0,03 à 0,138	0,03	0,001 à 0,1	0,001
Zinc	0,004 à 10	0,4	0,033à4	0,1

Quoi qu'il en soit, les risques inacceptables pour les voies directes des sites 1a et 1c étant également tirés par la voie « ingestions de sol et de poussières », même si les risques liés à la voie « ingestion de végétaux autoproduits » ont été surestimés, les risques totaux induits par les voies directes resteraient inacceptables.

9.4 Toxicité des composés

9.4.1 Cumul des indices de risques des différentes voies d'exposition et des différents composés.

L'ensemble des IR et ERI ont été sommés. La sommation est justifiée pour les cancérigènes parce qu'on parle de cancer (en général) quelque soit la cause ou le mécanisme.

Pour les non cancérigènes : ce n'est justifié qu'en première approche. Toutefois, les IR obtenus après sommation sont soit très inférieurs à 1, soit très supérieurs. Ainsi, nous n'irons pas au-delà de cette sommation.

9.4.2 Incertitude sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)

Les valeurs toxicologiques de référence retenues dans la présente étude sont issues d'une synthèse réalisée par BURGEAP à la date de mars 2006 (***annexe 7***).

Nous revenons ci-dessous sur les VTR des composés qui tirent le risque sanitaire évalué :

- pour les risques non cancérigènes : le manganèse, l'étain, l'antimoine et l'arsenic pour les voies directes ;
- pour les risques cancérigènes : l'arsenic pour les voies directes.

Pour les voies directes :

L'arsenic

La VTR retenue pour les effets cancérigènes par ingestion est celle proposée par l'USEPA (IRIS 1998) et l'OEHHA (2002), soit un ERUo DE 1,5 $(mg/kg/j)^{-1}$ (1998). Cette valeur a été établie à partir du rapport de synthèse réalisé par l'US EPA en 1988. Il s'agit de la seule valeur disponible.

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques non cancérigènes par ingestion est celle proposée par l'USEPA (IRIS 1998) et l'ATSDR, pour les atteintes cutanées. La VTR retenue (plus faible que celles de l'OMS ou le RIVM) induit des IR pour l'arsenic par les voies ingestion et cutanée les plus élevées. Compte tenu du facteur de sécurité faible utilisé (3), une confiance importante peut être associée à cette valeur.

Le manganèse

Pour la voie orale, la DJT de l'OMS, de 0,06 mg/kg/j a été retenue dans le cadre de la présente étude. Elle est plus contraignante que la seconde VTR disponible proposée par l'US EPA (1996) de 0.14 mg/kg/j.

Avoir retenu la valeur de l'OMS conduit à des risques induits par le manganèse supérieur d'un facteur 2.5 à ceux qui auraient été calculés à partir de la VTR proposée par l'US EPA.

L'étain

Dans le cadre de cette étude, nous avons retenu la seule VTR disponible pour les risques chroniques (et pour l'étain sous sa forme tributyl étain), à savoir celle proposée par l'ATSDR de 0,0003 mg/kg/j (facteur d'incertitude associé de 100). Cette valeur est très majorante par rapport aux deux autres VTR proposées par l'ATSDR pour des effets subchroniques de 0.3 mg/kg/j (facteur d'incertitude associé de 100) et 0.005 mg/kg/j (facteur d'incertitude associé de 1000).

Retenir une de ces deux VTR moins contraignantes aurait conduit à des risques à seuil inférieurs d'un facteur 16 à 1000.

L'antimoine

Pour la voie orale, en raison du caractère provisoire de la DJT de l'OMS, et les potentiels effets synergiques de l'antimoine et de l'arsenic, la VTR la plus prudente de $2.\ 10^{-4}$ mg/kg/j sera retenue.

Retenir la VTR la moins contraignante à priori ($6\ 10^{-3}$ mg/kg), valeur provisoire proposée par l'OMS en 2003 aurait conduit à des risques à seuil inférieurs d'un facteur 30.

En conclusion, il existe de grandes incertitudes sur les valeurs toxicologiques liées entre autres à la forme sous laquelle se trouvent ces différents métaux. Ces incertitudes sont telles qu'elles peuvent modifier les conclusions quant à l'acceptabilité des risques pour les voies directes. La réalisation de mesures complémentaires afin de déterminer la forme sous laquelle se trouvent les métaux permettrait de mieux appréhender les risques.

9.5 Caractéristiques des bâtiments

Compte tenu des niveaux de risques évalués pour l'exposition en air extérieur (inférieurs d'un facteur 10 à 1000 à ceux évalués en air intérieur), les incertitudes sur les paramètres de cette évaluation (vitesse du vent, longueur de la zone contaminée) ne modifient pas les conclusions énoncés au § 10. On notera toutefois que les paramètres « vitesse du vent » et « taille de la zone de mélange » jouent de manière directement proportionnelle sur les risques calculés.

9.5.1 Taux de ventilation

Cas des parkings souterrains

Le taux de ventilation retenu est de 72 j^{-1}, valeur est pénalisante par rapport à celle de 10 changement d'air par heure recommandée par l'IRC (Institut de Recherche en Construction, Canada) pour obtenir de basses teneurs en CO dans les garages. Les risques induits dans les parkings souterrains, pour la voie inhalation, étant acceptables avec ce taux de ventilation pénalisant de 72 j^{-1}, aucune étude de sensibilité ne sera menée sur ce paramètre.

Cas des bureaux et des habitations

Le taux de ventilation retenu pour les habitations est de 0.5 h^{-1} ou encore 12 j^{-1}, valeur habituelle rencontrée dans les modèles intégrés de calcul de risque[6]. Dans l'arrêté du 24 mars 1982, le taux de renouvellement d'air minimal moyen modulé en fonction des pièces de l'habitat est de 0.5 vol/h (soit 12 j^{-1}).

Dans ce cadre, aucune étude de sensibilité ne sera menée sur ce paramètre.

Différence de pression entre air du sol et air intérieur

La différence de pression retenue entre l'air du sol et l'air des sous-sols de 4 Pa joue un rôle dans le transfert convectif de la pollution vers l'air des sous-sols. La littérature montre que cette différence de pression peut varier entre 0 et 20 Pa mais l'US-EPA, le RIVM et l'article de Johnson Ettinger sur lequel repose l'estimation des flux considèrent qu'une différence de pression de 4 Pa est conservatoire.

La prise en compte d'un ΔP de 20 Pa induit une augmentation du flux de polluant vers le bâtiment. Pour les résidents des pavillons sur le site 1a, cela entraîne une augmentation des IR et des ERI de 80% environ (cf. ***annexe 10.2***). L'IR ainsi calculé, *pour la voie inhalation en intérieur uniquement*, serait de l'ordre de 9 10-3 pour les adultes comme pour les enfants, et les ERI de l'ordre de 5 10^{-8} pour les adultes et 8 10^{-9} pour les enfants.

Ainsi, considérer une différence de pression de 20 Pa au lieu de 4 Pa ne modifierait pas les conclusions du paragraphe 8 quant à l'acceptabilité des risques cancérigènes et non cancérigènes induits par la voie inhalation pour les adultes résidents en pavillon.

9.5.2 Taux de fissuration

Le taux de fissuration retenu pour le calcul est de 2.10^{-4}, valeur proposée par défaut par l'US-EPA et le RIVM. La prise en compte d'un taux de fissuration de 10^{-3} (borne supérieure des valeurs proposées par le logiciel intégré RISC 4.0 conduit à des expositions augmentées d'environ 25% (cf. ***annexe 10.3***). Pour un aménagement en pavillons sur le site 1a , et *pour l'inhalation en intérieur uniquement*, l'IR ainsi calculé pour le scénario pavillon reste inférieur à 1 (0.03) et l'ERI serait au maximum de l'ordre de 1.5 10^{-8}.

En l'absence de connaissance plus approfondi de ce paramètre, toutes choses égales par ailleurs, nous jugeons que les incertitudes induites ne sont pas d'ordre à remettre en cause la conclusion donnée sur l'acceptabilité des risques.

9.6 Caractéristiques des sols

9.6.1 Porosité et teneur en gaz des sols

Une variation de porosité (à l'air et à l'eau) joue un rôle important sur la composante diffusive du flux air/sol.

Variation de la teneur en air des sols

Un premier calcul de sensibilité a été mené pour la partie nord en considérant

- au droit des pavillons du site 1a, une porosité totale des remblais de 0.4 au lieu de 0.25 (40% d'augmentation) et en maintenant une teneur en eau de 0.12 ; la teneur en air étant alors de 0.28 au lieu de 0.13 (55% d'augmentation) ;

[6] Le rapport RIVM/CLARINET(report 711701030/2002 , « Variation in calculated human exposure. Comparaison of calculations with seven European human exposure models ») montre que 3 modeles prennent en compte un renouvellement d'air de 0,5 h^{-1}, deux d'entre eux prennent un taux de 1,25 h^{-1}, et l'un d'entre eux prend un taux de 0,3 h^{-1}.

- au droit des jardins du site 1a, une porosité totale des remblais de 0.4 au lieu de 0.25 (40% d'augmentation) et en maintenant une teneur en eau de 0.12 ; la teneur en air étant alors de 0.28 au lieu de 0.13 (55% d'augmentation).

Les résultats sont les suivants :

	Pavillons			Jardins		
	Adultes	Enfants	Augmentation	Adultes	Enfants	Augmentation
IR	0,75	0,71	100 %	2,3 10-3	2,3 10-3	95 %
ERI	2,0 10-6	2,8 10-6	100 %	1,2 10-9	1,8 10-10	95 %

Ces calculs montrent que la variation de la porosité à l'air a beaucoup d'influence sur les risques sanitaires pour l'inhalation en intérieur et en extérieur. Toutefois, les risques induits par la voie inhalation restent acceptables (cf. ***annexes 10.4a et 10.4b***).

Variation de la teneur en eau des sols

Un second calcul de sensibilité a été mené pour la partie nord en considérant

- au droit des pavillons du site 1a, une porosité totale des remblais de 0.4 au lieu de 0.25 (40% d'augmentation) et en maintenant une teneur à l'air de 0.13 ; la teneur en eau l'eau étant alors de 0.27 au lieu de 0.12 (55% d'augmentation) ;
- au droit des jardins du site 1a, une porosité totale des remblais de 0.4 au lieu de 0.25 (40% d'augmentation) et en maintenant une teneur à l'air de 0.13 ; la teneur en eau étant alors de 0.2 au lieu de 0.12 (55% d'augmentation).

Les résultats montrent des flux vers l'air intérieur et extérieur égaux, voire même inférieur aux flux calculés initialement. Dans ce cadre, la première approche était majorante.

En l'absence de connaissance plus approfondie de ce paramètre, toutes choses égales par ailleurs, nous jugeons que les incertitudes induites ne sont pas d'ordre à remettre en cause les conclusions données au paragraphe 8.

9.6.2 Perméabilité des sols

La perméabilité intrinsèque des alluvions retenue pour le calcul, estimée à partir de données bibliographiques, est de 10^{-8} cm² (correspondant à une perméabilité à l'eau de 10^{-5} m/s).

Des variations de cette perméabilité peuvent exister dans l'espace. La prise en compte d'une perméabilité à l'eau plus élevée (10^{-4} m/s, correspondant à une perméabilité intrinsèque de 10^{-7} cm²) conduit à des expositions augmentées d'un facteur de l'ordre de 10 au niveau des pavillons. L'IR ainsi calculé reste inférieur à 1 (de l'ordre de 0.02), les ERI seraient respectivement de l'ordre de 10^{-7} et 1.5 10^{-8} pour les adultes et les enfants (cf. ***annexe 10.5***)

Ainsi, la prise en compte d'une perméabilité des terrains plus élevée ne conduit pas à modifier les conclusions concernant les pavillons, et renforce même le caractère acceptable des risques.

9.7 Paramètres d'exposition

Cumul des expositions vie entière

Nous avons ici cumulé les excès de risques individuel (correspondant aux effets cancérigènes) pour les résidents enfants devenant adultes, travaillant dans les bureaux de plain-pied et exposés de ce fait durant 46 ans durant leur vie

Nota : cette étude de sensibilité a été réalisée pour le site 1a, en considérant la couverture des sols au droit des jardins privatifs.

On doit sommer l'ERI du résident enfant avec celui du résident adulte et celui du travailleur, soit un ERI total de 1,6 10^{-8}. Dans ce scénario, l'ERI pour cette cible particulière resterait acceptable.

Quantité de sols ingérés

Dans le cadre de la présente étude, les quantités de sols ingérées par jour de présence sur le site ont été considérés comme suit. Pour la présence d'adultes et d'enfants dans leurs jardins privatifs, les débits respectifs de 50 et 150 mg/évènement considérés ne tiennent pas compte de la durée de présence de ces cibles dans leurs jardins.

Par ailleurs, l'US-EPA (2001) recommande de ne pas tenir compte de la relation linéaire entre le temps de présence et la quantité de sol ingéré, l'évènement considéré par l'US-EPA ayant une durée de 24 heures. Cette recommandation est suivie par un certain nombre de modèles intégrés dont RISC 4.0 (Waterloo Hydrogeologics). L'INERIS cependant considère que cette approche est exagérément conservatoire et recommande de pondérer les quantités de sol ingéré par le taux de présence horaire.

Compte tenu de ces éléments et des incertitudes importantes liés à cette évaluation, l'approche retenue par le BURGEAP apparaît conservatoire pour les fréquentations des jardins privatifs, et suit le principe de précaution. Nous considérons que la surestimation potentielle du risque peut être d'un facteur 2 ou plus (si la fréquentation en période estivale peut être journalière, en période hivernale, elle est probablement nettement plus faible).

Pour les pavillons, quoi qu'il en soit, les risques inacceptables pour les voies directes étant également tirés par la voie « ingestion de légumes auto-produits », même si les risques liés à la voie « ingestion de sol » ont été surestimés d'un facteur 2, les risques totaux induits par les voies directes resteraient inacceptables.

Pour les espaces verts, quoi qu'il en soit, même si les risques liés à la voie « ingestion de sol » étaient réellement surestimés d'un facteur 2, les risques totaux induits par les voies directes resteraient inacceptables.

Exposition via le contact cutané avec les sols

Les facteurs d'adhérence des sols / poussières sur la peau considérés sont de 0,2 mg/cm²/évènement pour les adultes comme pour les enfants correspondant aux valeurs recommandées par l'US-EPA pour un scénario résidentiel ($50^{ème}$ percentile). De la même manière que pour l'ingestion de sol, la durée de fréquentation (heures/jour) des jardins privatifs n'a pas été prise ne compte tandis qu'un facteur d'abattement correspondant au nombre d'heures passées sur une journée de 8 heures a été introduit pour la fréquentation des espaces publiques. Cette pondération permet indirectement de rendre compte d'un facteur d'adhérence plus faible pour le promeneur qui est en effet pour l'US-EPA de 0,01 mg/cm²/évènement.

Cette approche suit les recommandations de l'US-EPA mais peut engendrer une surestimation potentielle des risques d'un facteur 2 (distinction des périodes hivernales et estivales).

Pour les pavillons, quoi qu'il en soit, comme des risques inacceptables sont surtout mis en évidence pour la voie « ingestion de légumes auto-produits » et « ingestion de sol et de poussières », même si les risques liés à la voie « contact cutané » ont été surestimés d'un facteur 2, les risques totaux induits par les voies directes resteraient inacceptables.

Pour les espaces verts, les risques étant tirés par la voie « ingestion de sol », même si les risques liés à la voie « contact cutané » étaient réellement surestimés d'un facteur 2, les risques totaux induits par les voies directes resteraient inacceptables.

9.8 Choix du logiciel en source de type fini ou infini

Comme décrit au paragraphe 6.1, la source sol sous les bâtiments est considérée comme infinie, c'est-à-dire que le logiciel ne prend pas en compte une atténuation des teneurs dans la zone source des sols en fonction du temps de part la volatilisation des composés de la source vers l'intérieur des bâtiments. Ce choix est fortement conservatoire pour les composés les plus volatils.

Toutefois, les risques liés à la voie inhalation étant acceptables, le choix du logiciel n'a pas d'incidence sur la conclusion.

9.9 Conclusions sur les incertitudes et la sensibilité

On constate que de nombreux facteurs engendrent des incertitudes sur les risques évalués. Pour la majorité d'entre eux (valeurs toxicologiques), les connaissances actuelles ne permettent pas de réduire ces incertitudes.

Sur la base des connaissances actuelles, des pratiques communément admises de la gestion du risque sanitaire, et pour les hypothèses constructives retenues, nous considérons comme fondé de retenir que les pollutions mises en évidence dans les sols ou les gaz du sol conduisent à

- **des niveaux de risques acceptables[7] avec les dispositions constructives retenues, sans dispositions constructives particulières pour les aménagements des *sites 1a et 1c*** en :
    - habitations en immeuble sur un niveau de sous-sol à usage de parkings ;
    - habitations en immeuble de plain pied (*) ;
    - parkings aériens ou souterrains ;
    - bureaux de plain pied ou sur un niveau de sous-sol (*) ;
    - aménagement d'un équipement sportif et/ou public (*) ;

  (*) hors la zone au droit de la poche dépollution en limite de site en bordure de l'ancienne station service du site 1a.

- **des niveaux de risques acceptables avec les dispositions constructives retenues, sans dispositions constructives particulières pour les aménagements du *site 2*** en :
    - habitations en immeuble sur un niveau de sous-sol à usage de parkings ;
    - habitations en immeuble de plain pied ;
    - parkings aériens ou souterrains ;
    - bureaux de plain pied ou sur un niveau de sous-sol ;
    - aménagement d'un équipement sportif et/ou public ;
    - pavillons avec jardin privatif ;
    - espaces verts.

[7] En référence à la circulaire ministérielle du 10 décembre 1999

- **des niveaux de risques acceptables avec les dispositions constructives retenues, pour les aménagements des *sites 1a et 1c*** en :
    - pavillons avec jardin privatif (*) ;
    - espaces verts ;

    à condition **de mettre en place une couverture (terres propres rapportées) d'une hauteur minimale de 50 cm de terre végétale et un grillage avertisseur entre la terre propre rapportée et les sols actuels des futurs jardins privatifs ou espaces verts.**

    (*) hors la zone au droit de la poche dépollution en limite de site en bordure de l'ancienne station service du site 1a.

Par ailleurs, si des arbres fruitiers devaient être plantés sur les différents sites, ils devront être mis en place dans une fosse de 1 m^3 de terres propres rapportées.

Ces conclusions ne sont valables que pour les conditions précisées ci-dessus. Toute modification de l'usage du site, du projet de réaménagement, des hypothèses constructives retenues et/ou du projet de terrassement entraînera une révision de ces conclusions.

10 Gestion des déblais

Rappelons qu'à l'heure actuelle, aucun scénario futur d'aménagement n'est défini sur le site.

10.1 Gestion de déblais - données actuellement disponibles

Des analyses sur brut ont été effectuées sur l'ensemble du site pour analyses des paramètres suivants :

- métaux lourds ;
- hydrocarbures ;
- BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) ;
- HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) ;
- COHV (composés organo-halogénés volatils) ;
- PCB (polychlorobiphényls) ;
- cyanures totaux ;
- COT (carbone organique total) ;
- formaldéhydes ;
- indice phénol ;
- crésols.

Ces analyses ont montré qu'en cas d'excavation et d'élimination hors site des déblais, les terres issues des points de sondage PR2 et S14 ne pourront être considérées comme inertes.

10.2 Gestion des déblais - données manquantes

Actuellement, aucune analyse sur lixiviat n'a été réalisée sur des terres encore en place sur le site susceptibles d'être excavées dans le cadre d'un futur aménagement du site.

Les analyses sur lixiviats réalisées sur les tas de sables de fonderie (actuellement éliminés) ont montré des teneurs en nickel, sélénium, chlorures, fluorures et COT supérieures aux valeurs de référence de déchets inertes (arrêté du 15 mars 2006). Il se peut donc que certaines terres encore en place présentent également certains dépassements.

Dans ce cadre, dès qu'un projet d'aménagement aura été retenu, il conviendra d'effectuer des analyses sur lixiviats conformément à l'arrêté du 15 mars 2006 selon un maillage régulier de 20*20 m au droit des zones devant faire l'objet d'excavation selon une profondeur adaptée au projet. Ces analyses permettront, entre autres, de déterminer sur les terres impactées par des métaux peuvent être considérées comme inertes.

10.3 Estimation du surcoût lié à l'excavation des sols au droit de la source B (proximité des sondages PR2/S14)

Dans le tableau ci-dessous, nous avons indiqué à titre informatif les différentes catégories de terres, qui pourront servir à définir par la suite une répartition par filière d'élimination.

Tableau 31 : Classement des terres polluées en catégorie

Filière	Catégorie A	Catégorie B	Catégorie C
Métaux	Résultats de lixiviation conformes aux seuils définis pour les déchets inertes dans l'arrêté du 15 mars 2006[8]	[métaux]< valeurs indiquées dans le tableau de l'annexe 5 et résultats de lixiviation conformes aux seuils définis pour les déchets inertes dans la décision du conseil de l'Union Européenne du 19/12/02	[métaux]> valeurs indiquées dans le tableau de l'annexe 5
Somme des 16 HAP	[16 HAP] < 50 mg/kg	[16HAP] < 500 mg/kg	[16HAP] > 500 mg/kg
Somme des COHV	[COHV] < 2 mg/kg	[COV] < 10 mg/kg	[COHV] > 10 mg/kg
HCT	[HCT] < 500 mg/kg	[HCT] < 2 500 mg/kg	[HCT] > 2 500 mg/kg
PCB	[PCB] < 1 mg/kg	[PCB] < 1 mg/kg	[PCB] < 50 mg/kg
Somme des BTEX	[BTEX] < 6 mg/kg	[BTEX] < 30 mg/kg	[BTEX] > 30 mg/kg
Conditions supplémentaires	Absence d'indices organoleptiques de pollution (couleur noire, odeurs…)		

(1) HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
(2) COHV : Composés Organo-Halogénés Volatils
(3) HCT : Hydrocarbures Totaux
(4) PCB : Polychlorobiphényles
(5) BTEX : benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes

Les hypothèses prises pour l'estimation des volumes des terres polluées autour des points de sondage PR2/S14 (source B) sont les suivantes :

- les profondeurs de terrassement, les superficies et les volumes associés des zones polluées sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 32 : Estimation des coûts de traitement des points de sondages PR2/S14

Filière / points de sondages concernés	Catégorie B		
	Epaisseur (m)	Superficie (m^2)	Volume (m^3)
PR2	4 m (> 0.12-1)	120	480
S14	4 m (> 0.2-3)		

- les éléments et substances retenus comme critère de classement des terres sont les **métaux**, les **Hydrocarbures totaux,** les **HAP,** les **indices organoleptiques**. Notons que nous ne disposons pas d'analyse sur lixiviats et percolats, mais que nous considérons que les sols sont conformes aux seuils de lixiviation pour les métaux définis par l'arrêté du 16 mars 2006. **Ce point devra toutefois être vérifié** préalablement au début des travaux d'excavation

[8] L'arrêté du 15 mars 2006 fixe la liste des types de déchets inertes admissibles dans les installations de stockage de déchets inertes et les conditions d'exploitation de ces installations.

L'estimation du coût lié à la pollution est réalisée en considérant uniquement les terres polluées devant être envoyées vers des filières spécifiques.

Dans l'état actuel du marché, les coûts (hors terrassement et transport) de mise en décharge de catégorie A, B et C sont les suivants :

- catégorie A : **14 €** (H.T)/tonne,
- catégorie B : **55 €** (H.T)/tonne,
- catégorie C : **80 €** (H.T)/tonne.

Notre estimation de cubature en fonction des hypothèses retenues (densité de sol de 1,8) donne les résultats suivants : environ **865 tonnes** pour la catégorie B.

Le coût pour une réhabilitation de mise en centre agréé de ces sols impactés par des hydrocarbures **serait donc d'environ 47 600 euros** pour la catégorie B.

10.4 Gestion du dallage

Notons qu'actuellement, le site est entièrement recouvert par du dallage.

Rappelons que des terres impactées par des métaux et des hydrocarbures ont été mises en évidence dans les sols au droit du site.

Ces terres impactées par ces composés peuvent présenter des risques sanitaires pour les cibles avoisinantes (riverains) que si elles sont directement accessibles, c'est à dire en surface où le contact cutané et l'envol de poussières sont possibles. Ces risques peuvent être éliminés si les terres de ce type sont isolées, soit par du béton (cas actuel), soit par de l'enrobé (cas actuel).

Dans ce cadre, nous recommandons de laisser en place le dallage actuellement présent sur le site tant que les travaux liés à l'aménagement de la zone n'auront pas effectivement débutés afin d'éviter la mise à nu de ces terres impactées.

11 Conclusion et recommandations

La présente EDR s'inscrit dans le cadre de la fermeture du site et son changement de vocation, elle a été réalisée conformément à la méthodologie définie par le ministère de l'environnement et du développement durable (MEDD).

A l'heure actuelle, aucun scénario futur d'aménagement n'est défini sur le site. Toutefois, deux types d'aménagement pourraient être envisagés :

Sites 1a et 2 :

- aménagement de logements individuels de plain pied (pavillons) avec des jardins privatifs ;
- aménagement de bâtiments de logements collectifs (avec et sans niveau de sous-sol) ;
- aménagement de bâtiments d'activités commerciales ou tertiaires (avec et sans niveau de sous-sol) ;
- aménagement d'un parking de surface avec espaces verts ;
- aménagement d'un équipement sportif et/ou public ;

Site 1c :

- aménagement de logements individuels de plain pied (pavillons) avec des jardins privatifs ;
- aménagement d'un parking de surface avec espaces verts.

Les cibles pour lesquelles le risque sanitaire a été évalué sont les résidents adultes et enfants, et les travailleurs adultes. Les voies d'expositions que nous avons considérées sont l'inhalation en intérieur et en extérieur, mais également les voies directes (ingestion de sol, inhalation de poussières, ingestion de légumes autoproduits et contact cutané) pour les jardins privatifs des pavillons.

Pour les substances présentant des risques cancérigènes, nous avons évalué l'excès de risque individuel (ERI) qui représente la probabilité de développer un cancer pour les cibles (personnes ou groupes de personnes potentiellement exposées) considérées. Si cet excès de risque est $<10^{-5}$, il est considéré comme acceptable en référence à la circulaire ministérielle du 10 décembre 1999. Concernant les substances toxiques pour lesquelles une dose admissible est connue, nous avons évalué un indice de risque (IR) qui correspond au rapport entre la dose d'exposition engendrée par le site étudié et la dose admissible (dose en deçà de laquelle les effets néfastes ne peuvent se produire). Si cet indice est inférieur à 1 (si la dose d'exposition est inférieure à la dose admissible), l'effet néfaste ne peut se produire.

Les résultats de la présente EDR montrent :

Concernant les risques induits par la présence de pollution au droit du site

Sur la base des connaissances actuelles, des pratiques communément admises de la gestion du risque sanitaire, et pour les hypothèses constructives retenues, nous considérons comme fondé de retenir que les pollutions mises en évidence dans les sols ou les gaz du sol conduisent à

- **des niveaux de risques acceptables[9] avec les dispositions constructives retenues, sans dispositions constructives particulières pour les aménagements des *sites 1a et 1c*** en :
    - habitations en immeuble sur un niveau de sous-sol à usage de parkings ;
    - habitations en immeuble de plain pied (*) ;
    - parkings aériens ou souterrains ;
    - bureaux de plain pied ou sur un niveau de sous-sol (*) ;
    - aménagement d'un équipement sportif et/ou public (*) ;

  (*) hors la zone au droit de la poche dépollution en limite de site en bordure de l'ancienne station service du site 1a.

[9] En référence à la circulaire ministérielle du 10 décembre 1999

- **des niveaux de risques acceptables[10] avec les dispositions constructives retenues, sans dispositions constructives particulières pour les aménagements du *site 2*** en :
    - habitations en immeuble sur un niveau de sous-sol à usage de parkings ;
    - habitations en immeuble de plain pied ;
    - parkings aériens ou souterrains ;
    - bureaux de plain pied ou sur un niveau de sous-sol ;
    - aménagement d'un équipement sportif et/ou public ;
    - pavillons avec jardin privatif ;
    - espaces verts.

- **des niveaux de risques acceptables avec les dispositions constructives retenues, pour les aménagements des *sites 1a et 1c*** en :
    - pavillons avec jardin privatif (*) ;
    - espaces verts ;

    ***à condition* de mettre en place une couverture (terres propres rapportées) d'une hauteur minimale de 50 cm de terre végétale et un grillage avertisseur entre la terre propre rapportée et les sols actuels des futurs jardins privatifs ou espaces verts.**

    (*) hors la zone au droit de la poche dépollution en limite de site en bordure de l'ancienne station service du site 1a.

Par ailleurs, si des arbres fruitiers devaient être plantés sur les différents sites, ils devront être mis en place dans une fosse de 1 m^3 de terres propres rapportées.

Ces conclusions ne sont valables que pour les conditions précisées ci-dessus. Toute modification de l'usage du site, du projet de réaménagement, des hypothèses constructives retenues et/ou du projet de terrassement entraînera une révision de ces conclusions.

Concernant les canalisations enfouies d'amené d'eau potable sur le site

L'évaluation réalisée montre que l'usage de l'eau issue des canalisations traversant le site ne présente pas de risque pour la santé humaine. Toutefois, nous préconisons d'enterrer les canalisations en PeHD dans une fosse de terre propre d'au moins 1 m², comme en est d'ailleurs l'usage.

Concernant la gestion du dallage

Afin d'éviter la mise à nu des terres impactées par des métaux et des hydrocarbures et par conséquent l'envoi de poussières, nous recommandons de laisser en place le dallage actuellement présent sur le site tant que les travaux liés à l'aménagement de la zone n'auront pas effectivement débutés.

[10] En référence à la circulaire ministérielle du 10 décembre 1999

Concernant les risques sanitaires en phase chantier

L'étude réalisée ne concerne que les expositions chroniques (plus d'un an). Les expositions plus brèves, concernant notamment les populations présentes lors du chantier de terrassement et de construction, ne peuvent pas être extrapolées à partir des résultats présentés précédemment.

Compte tenu de la pollution constatée, nous préconisons le strict respect des consignes habituelles d'hygiène et de sécurité du domaine du BTP lors de la réalisation du chantier, afin de réduire, autant que possible le contact avec les sols et les polluants dispersés dans l'air. Les recommandations en terme d'équipements de protection individuelle en présence de sols potentiellement polluées sont les suivantes :

- port de chaussures ou bottes de sécurité;
- port de gants ;
- port de combinaison jetable (pour les intervenants en contact direct avec les sols) ;
- port de masque respiratoire filtrant si besoin. Un masque par personne sera mis à disposition.

Ces consignes seront reprises par le coordinateur SPS.

GLOSSAIRE

Acceptabilité : l'acceptabilité d'un risque sanitaire dans l'EDR dite « santé » est définie d'une part directement à partir des valeurs toxicologiques pour les effets à seuils : la dose d'exposition doit être inférieure à la valeur toxicologique (ce critère d'acceptabilité est d'ailleurs rappelé dans la circulaire ministérielle du 10 décembre 1999). D'autres part, pour les effets sans seuils, l'acceptabilité est définie par la circulaire ministérielle du 10 décembre 1999 qui dit qu'un excès de risque individuel de 10^{-5} est acceptable, soit 1 cas supplémentaire d'apparition de cancer lié aux expositions sur site sur 100000 personnes exposées et qu'un excès de risque individuel de 10^{-4} est inacceptable.

ATSDR : Agency for toxic substances and disease registry

Biodisponibilité : La biodisponibilité est l'aptitude d'une substance chimique à atteindre sa cible organique. Ce concept très général intègre tous les phénomènes mis en jeu depuis la pénétration de l'agent dangereux dans un organisme vivant jusqu'à son métabolisme, son élimination ou son stockage.

BTEX : Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes.

COHV : Composés organo halogénés volatils.

Concentration admissible dans l'air (CAA) : la concentration admissible dans l'air est la valeur toxicologique de référence (VTR*) utilisée pour les effets toxiques à seuil quand l'exposition a lieu par voie respiratoire. Elle s'exprime généralement en mg ou en µg/m3 (milligramme ou microgramme de substance chimique par mètre cube d'air ambiant). La CAA définit, pour une durée d'exposition spécifiée, la teneur maximale théorique de l'air ambiant en agent toxique qu'un individu, issu d'un groupe sensible ou non, peut inhaler sans que survienne un effet nuisible à sa santé.

Danger : événement de santé indésirable tel qu'une maladie, un traumatisme, un handicap, un décès. Par extension, le danger désigne tout effet toxique, c'est-à-dire un dysfonctionnement cellulaire ou organique, lié à l'interaction entre un organisme vivant et un agent chimique, physique ou biologique.

Déterministe : qualifie les effets toxiques dont la gravité est proportionnelle à la dose. Par convention, les effets déterministes ne surviennent que si un seuil de dose est atteint et dépasse les capacités de détoxication, de réparation ou de compensation de l'organisme.

Dose minimale pour un effet nocif observé (DMENO) : traduction française du LOAEL (lowest observed adverse effect level) qui désigne la dose ou la concentration la plus faible ayant provoqué un effet nocif observé - par rapport à un groupe témoin - au cours d'une expérimentation animale ou d'une étude épidémiologique.

Dose : quantité d'agent dangereux mise en contact avec un organisme vivant. Pour l'exposition humaine ou animale aux substances chimiques, elle s'exprime généralement en milligramme par kilo de poids corporel et par jour. A défaut de précision, la dose est externe ou administrée (intake).

Dose journalière admissible (DJA) : la dose journalière admissible est la valeur toxicologique de référence utilisée pour les effets toxiques à seuil quand l'exposition a lieu par voie orale ou cutanée. Elle s'exprime généralement en mg/kg.j (milligramme de substance chimique par kilo de poids corporel et par jour). La DJA définit la quantité maximale théorique d'agent toxique qui peut être administrée à un individu, issu d'un groupe sensible ou non, sans provoquer d'effet nuisible à sa santé.

Dose journalière d'exposition (DJE) : la DJE est l'estimation de la dose quotidienne reçue par voie orale ou cutanée, en tenant compte de la fréquence et de la durée d'une exposition subchronique ou chronique. Elle s'exprime dans la même unité que la DJA*.

Dose sans effet nocif observé (DSENO) : traduction française du NOAEL (no observed adverse effect level) qui désigne la dose ou la concentration la plus élevée n'ayant pas provoqué un effet nocif observé - par rapport à un groupe témoin - au cours d'une expérimentation animale ou d'une étude épidémiologique.

Effets aigus : troubles liés à une exposition courte mais à forte dose. Généralement, ils sont immédiats ou surviennent à court terme (quelques heures à quelques jours) et disparaissent spontanément quand cesse l'exposition, si celle-ci n'a pas occasionné des désordres irréversibles. Pour l'US-EPA[11], cette toxicité est celle liée à une exposition inférieure à 2 semaines

Effets chroniques : troubles en rapport avec une exposition faible et prolongée. Ils surviennent en général avec un temps de latence qui peut atteindre plusieurs mois, voire des décennies, et sont habituellement irréversibles en l'absence de traitement. Pour l'US-EPA, la toxicité chronique est liée à une exposition supérieure à 7 ans

Effets sub-chroniques : troubles en rapport avec une exposition pendant quelques jours à quelques semaines à un toxique dont les effets apparaissent dans cette période. Pour l'US-EPA, cette toxicité est celle liée à une exposition de 2 semaines à 7 ans

Excès de risque (ER) : risque supplémentaire dû à une exposition spécifique par rapport au risque dans une population de référence (en général non exposée).

Excès de risque individuel (ERI) : probabilité de survenue d'un danger, au cours de la vie entière d'un individu, liée à une exposition à un agent cancérigène (sans unité).

Excès de risque unitaire (ERU) : estimation de l'ERI* pour une exposition vie entière égale à 1 unité de dose d'agent dangereux. Cet indice est la valeur toxicologique de référence (VTR*) pour les effets toxiques sans seuil. Il représente en général la pente de la borne supérieure de l'intervalle de confiance de la courbe dose-réponse et s'exprime, pour une exposition orale ou cutanée, en (mg/kg.j)-1.

Exposition : désigne, dans le domaine sanitaire, le contact entre une situation ou un agent dangereux et un organisme vivant. L'exposition peut aussi être considérée comme la concentration d'un agent dangereux dans le ou les milieux pollués mis en contact avec l'homme.

HCT : hydrocarbures

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

HAM : hydrocarbures aromatiques monocycliques

IARC/CIRC : International Agency for Research on Cancer / Centre International de Recherche contre le Cancer

Indice de risque (IR) : rapport entre l'estimation d'une exposition (exprimée par une dose ou une concentration pour une période de temps spécifiée) et la VTR* de l'agent dangereux pour la voie et la durée d'exposition correspondantes. L'IR (sans unité) n'est pas une probabilité et concerne uniquement les effets à seuil.

INERIS : Institut national de l'environnement industriel et des risques

IPCS : Programme International pour la Sécurité des Produits Chimiques), organisme dépendant de l'OMS

Modèle : équation mathématique permettant de quantifier un phénomène physique, biologique ou chimique. Elle est notamment utilisée pour : i) simuler le devenir et le transfert des polluants dans les différents compartiments environnementaux ; ii) quantifier l'exposition humaine par les voies orale, cutanée et respiratoire

MRL : Minimum Risk Level (voir RfD et DJA), terme usité par l'ATSDR pour définir la valeur toxicologique de référence

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PCB : polychlorobiphényls

Relation causale : une relation entre un facteur de risque et une maladie, établie par l'existence d'une association statistique non biaisée, est dite causale lorsqu'elle remplit un nombre satisfaisant de critères destinés à étayer la réalité d'une relation de cause à effet. Ces critères sont, notamment, la temporalité, la force de l'association, l'existence d'une relation dose6réponse, la plausibilité biologique, la constance et la reproductibilité.

RfC : référence factor concentration (voir CAA)

RfD : référence factor dose (voir DJA)

Risque : probabilité de survenue d'un danger* (sans unité).

RIVM : RijksInstituut voor Volksgezondheid en Milieu (Institut national de la santé publique et de l'environnement aux Pays-Bas).

Scénario d'exposition : définit toutes les caractéristiques physiologiques et comportementales de l'être humain qui sont utilisées pour modéliser l'exposition, notamment : l'âge, le poids, le sexe, le volume respiratoire, la surface cutanée, le budget espace-temps, l'activité réalisée sur le site, la consommation alimentaire, l'ingestion de sol, etc.

Stochastique : qualifie un effet toxique dont la fréquence, mais non la gravité, est proportionnelle à la dose. Les effets stochastiques - cancers, mutations - sont réputés pouvoir apparaître quelle que soit la dose non nulle reçue par l'organisme (absence de seuil).

Substance dangereuse : molécule capable de provoquer un effet toxique chez l'homme et faisant l'objet d'une classification internationale au titre de la directive européenne 67/548/CEE.

Valeur toxicologique de référence (VTR) : appellation générique regroupant tous les types d'indice toxicologique qui permettent d'établir une relation entre une dose et un effet (toxique à seuil d'effet) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxique sans seuil d'effet). Les VTR sont établies par des instances internationales (l'OMS ou le CIPR, par exemple) ou des structures nationales (US-EPA et ATSDR aux Etats-Unis, RIVM aux Pays-Bas, Health Canada, CSHPF en France, etc.).

TEF ou FET : Facteur d'équivalence Toxique

TPHCWG : Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group

US EPA : United States Environmental Protection Agency

Valeur toxicologique de référence (VTR) : appellation générique regroupant tous les types d'indice toxicologique qui permettent d'établir une relation entre une dose et un effet (toxique à seuil d'effet) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxique sans seuil d'effet). Les VTR sont établies par des instances internationales (l'OMS ou le CIPR, par exemple) ou des structures nationales (US-EPA et ATSDR

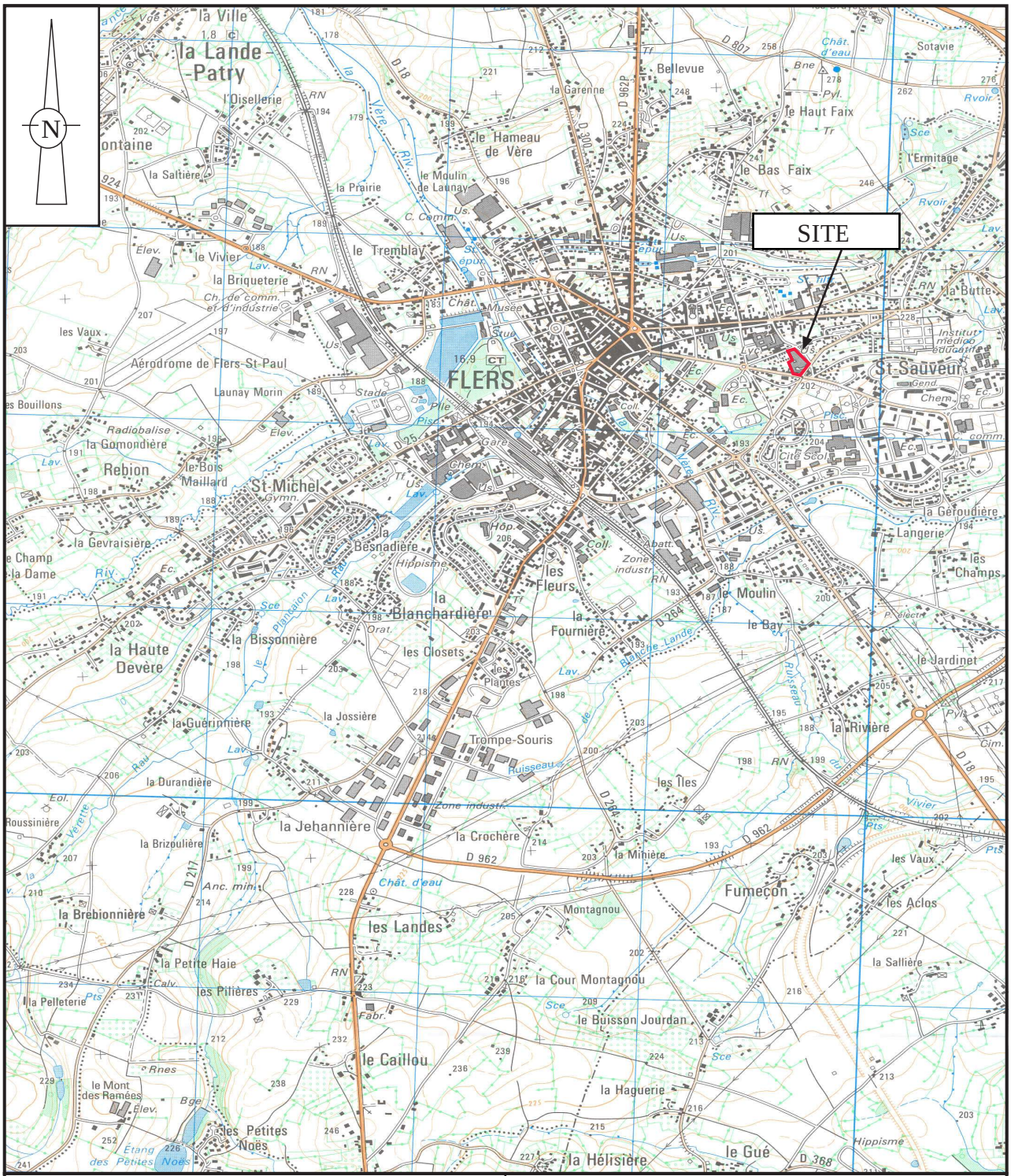
VDSS : Valeur de Définition de Source-sol. Ces valeurs permettent de définir si le sol étudié constitue ou non une source potentielle de pollution pour l'environnement.

VME : valeur moyenne limite d'exposition correspondant à la valeur réglementaire de concentration dans l'air de l'atmosphère de travail à ne pas dépasser pour des expositions journalières de 8 heures

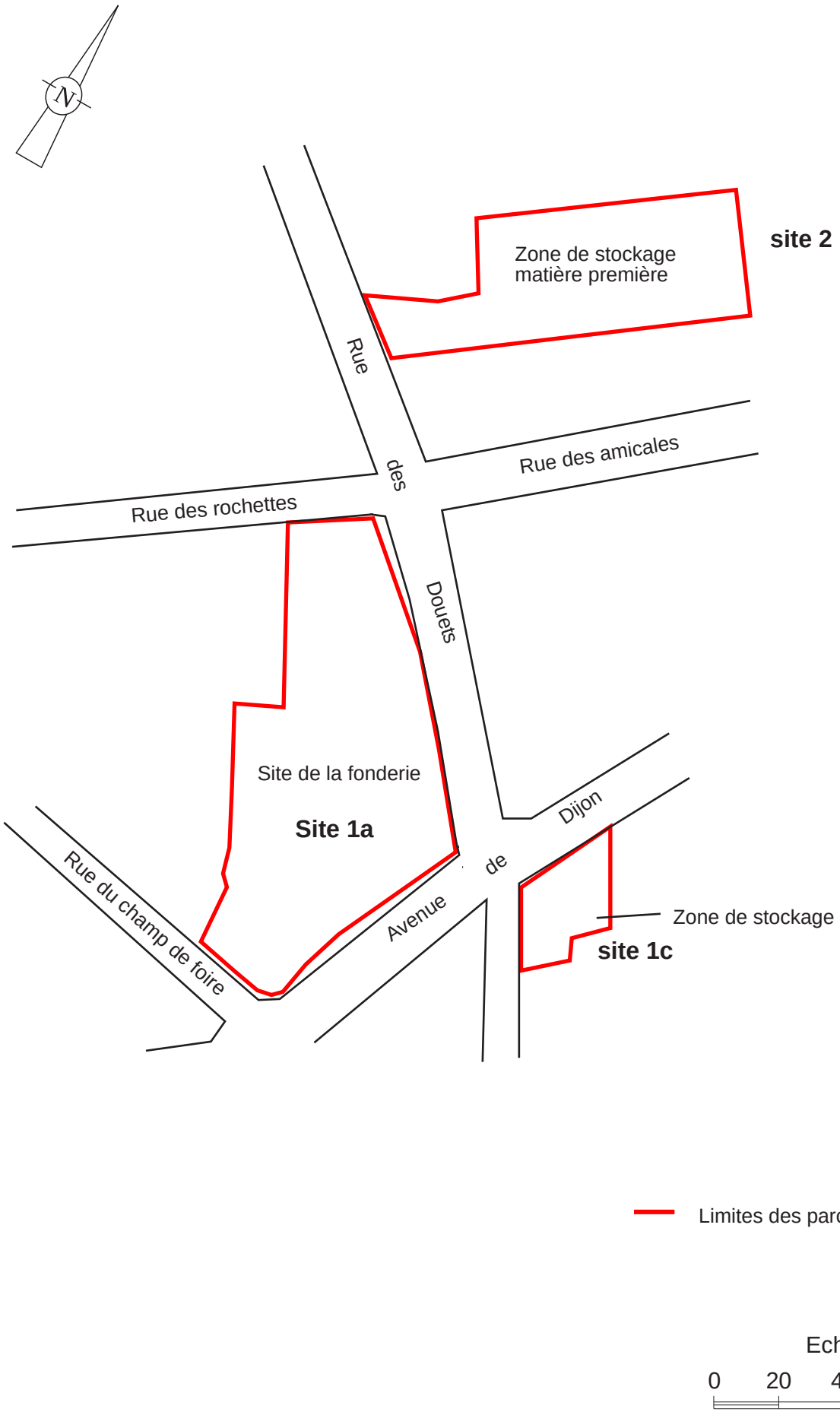
VLE : valeur limite d'exposition valeur limite d'exposition correspondant à la valeur réglementaire de concentration dans l'air de l'atmosphère de travail à ne pas dépasser durant plus de 15 minutes.

FIGURES

EXCIPE FRANCE Groupe Burgéap	**Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE rue du champs de foire à Flers (61)** Plan de localisation du Site	Fig. 1 A.X.00222 CExZ060043


N
SITE
FLERS
St-Sauveur
la Lande-Patry
Rebion
St-Michel
les Fleurs
la Blanchardière
la Haute Devère
la Bissonnière
la Guérinnière
la Durandière
la Jehannière
la Brebionnière
la Pelleterie
la Petite Haie
les Landes
le Caillou
la Crochère
la Mihière
Fumecon
les Aclos
la Rivière
le Jardinet
le Bay
le Moulin
la Fournière
les Closets
les Plantes
Trompe-Souris
les Iles
Montagnou
la Cour Montagnou
le Buisson Jourdan
la Haguerie
la Hélisière
le Gué
les Petites Noës
le Mont des Ramées
les Pilières
la Jossière
la Besnadière
la Gevraisière
la Gomondière
le Bois Maillard
la Briqueterie
le Vivier
le Tremblay
le Hameau de Vère
le Moulin de Launay
la Prairie
la Saltière
l'Oisellerie
la Ville
Bellevue
la Garenne
le Haut Faix
le Bas Faix
l'Ermitage
la Butte
Sotavie
Langerie
la Géroudière
les Champs
les Vaux
Launay Morin
Aérodrome de Flers-St-Paul
les Bouillons
la Dame
Champ
Roussinière
la Brizoulière
Fabr.
Hippisme
Stade
Gymn.
Gare
Musée
Cim.
Pts
Rvoir
Ruisseau
Zone industr.
D 962
D 962P
D 807
D 18
D 217
D 264
D 25
D 368
RN
Lav.
Us.
Ec.
Tf
Sce
Bge
Calv.
Rnes
Orat.
Anc. min.
Chât. d'eau
Chât. Musée
Ch. de comm. et d'industrie
Étang des Petites Noës
Institut médico éducatif
Cité Scol.
Gend.
Chem.
Coll.
Abatt.
Hop.
Piscic.
Pyl.
Bne
Elev.
C. Comm.
St. épur.
St. Inf.
Radiobalise
Vère
Vérette
Blanche Lande
Ruisseau de la Vère
Ruisseau de la Vérette
Ruisseau de la Blanche Lande
Ruisseau de la Plantation
Ruisseau de la Rau
Ruisseau de la Jossière
Ruisseau de la Durandière
Ruisseau de la Jehannière
Ruisseau de la Brebionnière
Ruisseau de la Petite Haie
Ruisseau de la Pelleterie
Ruisseau de la Mihière
Ruisseau de la Rivière
Ruisseau de la Fournière
Ruisseau de la Besnadière
Ruisseau de la Gevraisière
Ruisseau de la Gomondière
Ruisseau de la Briqueterie
Ruisseau de la Prairie
Ruisseau de la Saltière
Ruisseau de la Ville
Ruisseau de la Garenne
Ruisseau de la Haguerie
Ruisseau de la Hélisière
Ruisseau de la Gué
Ruisseau de la Cour Montagnou
Ruisseau de la Jardinet
Ruisseau de la Bay
Ruisseau de la Moulin
Ruisseau de la Langerie
Ruisseau de la Géroudière
Ruisseau de la Champs
Ruisseau de la Vaux
Ruisseau de la Aclos
Ruisseau de la Sallière
Ruisseau de la Buisson Jourdan
Ruisseau de la Montagnou
Ruisseau de la Fumecon
Ruisseau de la Iles
Ruisseau de la Trompe-Souris
Ruisseau de la Closets
Ruisseau de la Plantes
Ruisseau de la Fleurs
Ruisseau de la Blanchardière
Ruisseau de la Haute Devère
Ruisseau de la Guérinnière
Ruisseau de la Durandière
Ruisseau de la Jehannière
Ruisseau de la Brebionnière
Ruisseau de la Pelleterie
Ruisseau de la Petite Haie
Ruisseau de la Landes
Ruisseau de la Caillou
Ruisseau de la Crochère
Ruisseau de la Mihière
Ruisseau de la Rivière
Ruisseau de la Jardinet
Ruisseau de la Bay
Ruisseau de la Moulin
Ruisseau de la Fournière

EXCIPE FRANCE Groupe Burgéap	**Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE rue du champs de foire à Flers (61)** **Plan de zonage des trois parcelles auditées**	Fig. 1b A.X.00222 CExZ060043



Echelle :

0 20 40 80 m

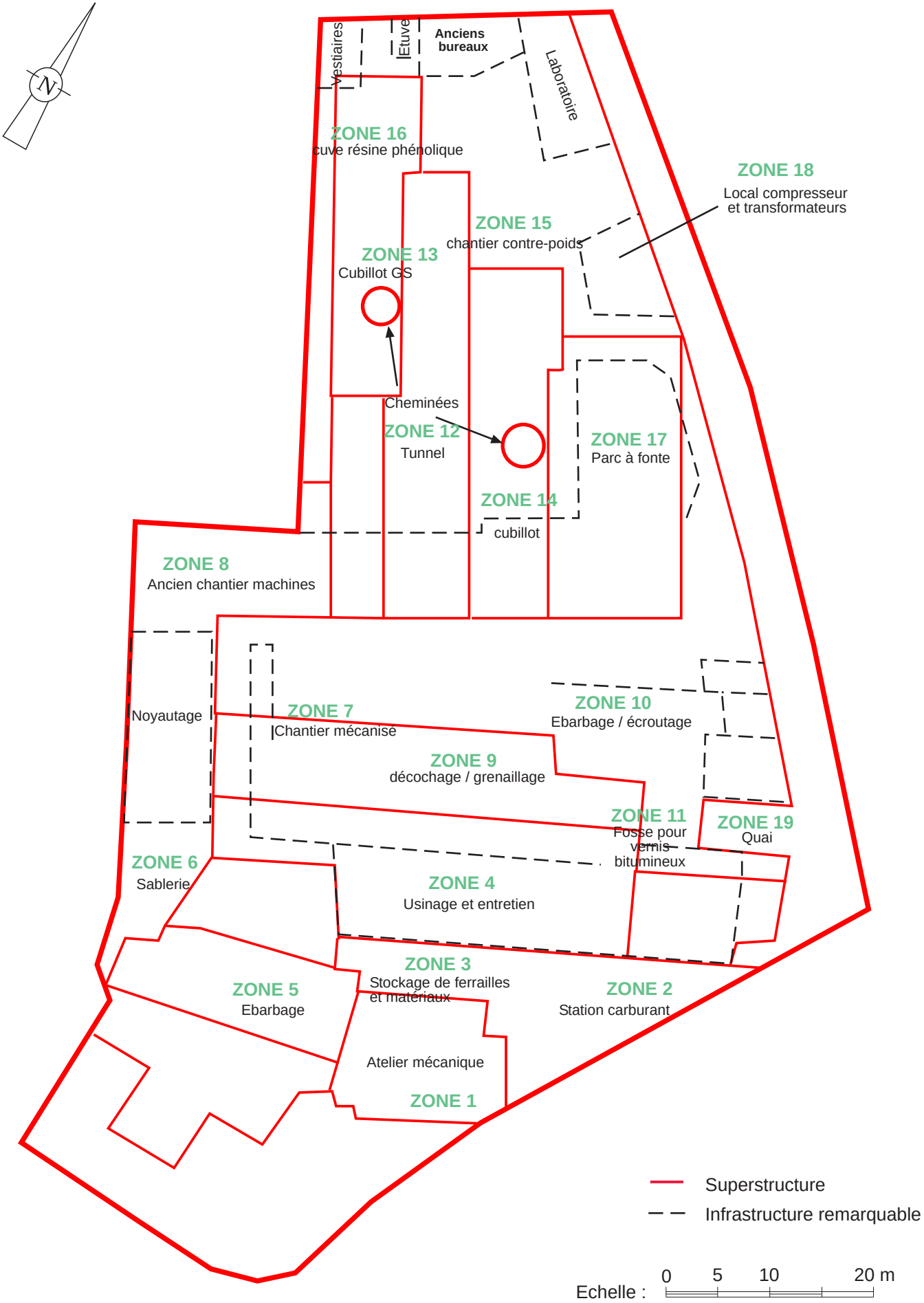
EXCIPE FRANCE
GROUPE BURGEAP

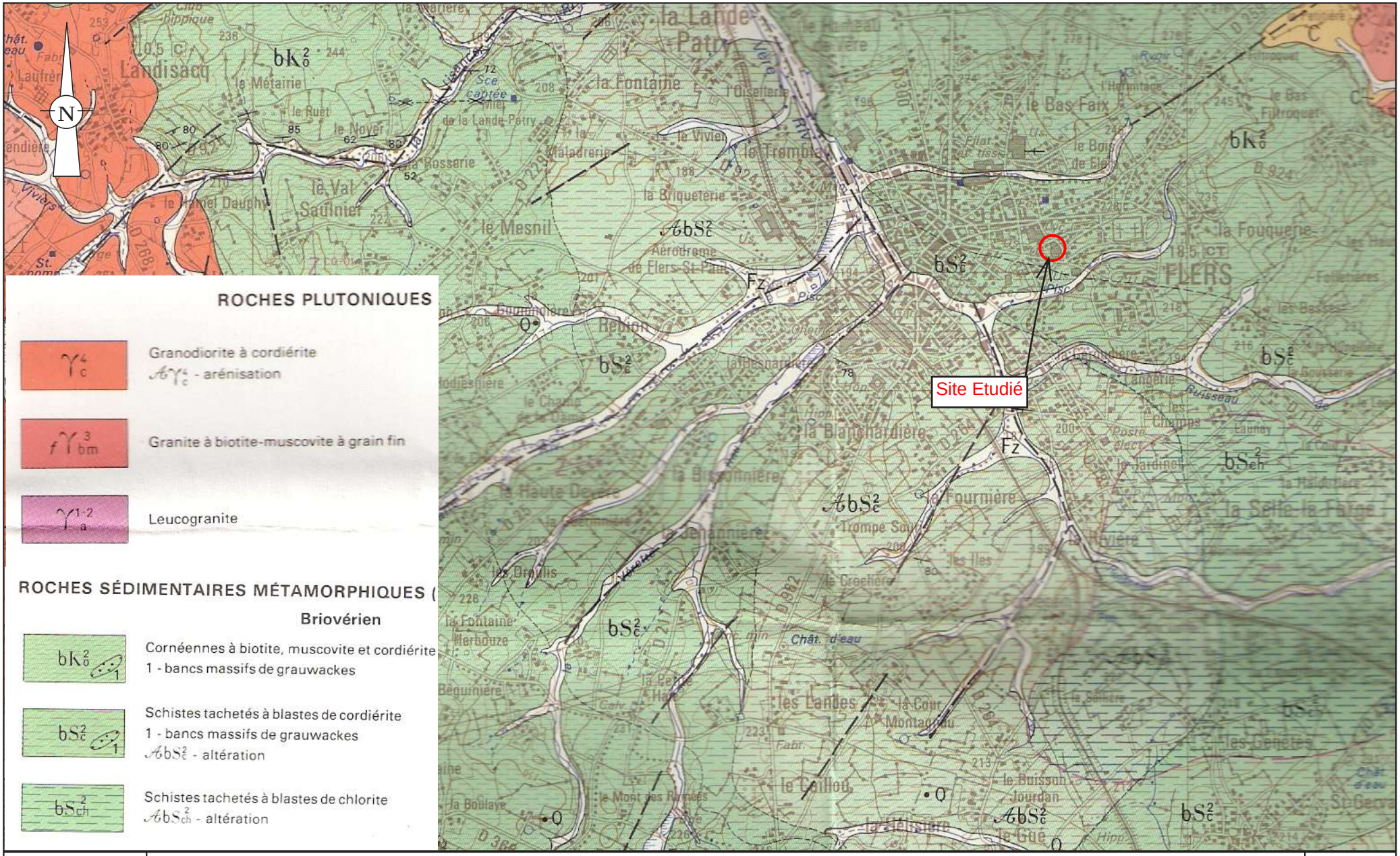
Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE rue du champs de foire à Flers (61)

Localisation des sources potentielle de pollution

Fig. 2

A.X.00222
CExZ060043





EXCIPE FRANCE
GROUPE BURGÉAP

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE - Rue du champs de foire à Flers (61)

Contexte géologique

Fig. 3

A.X.00222
CExZ060043

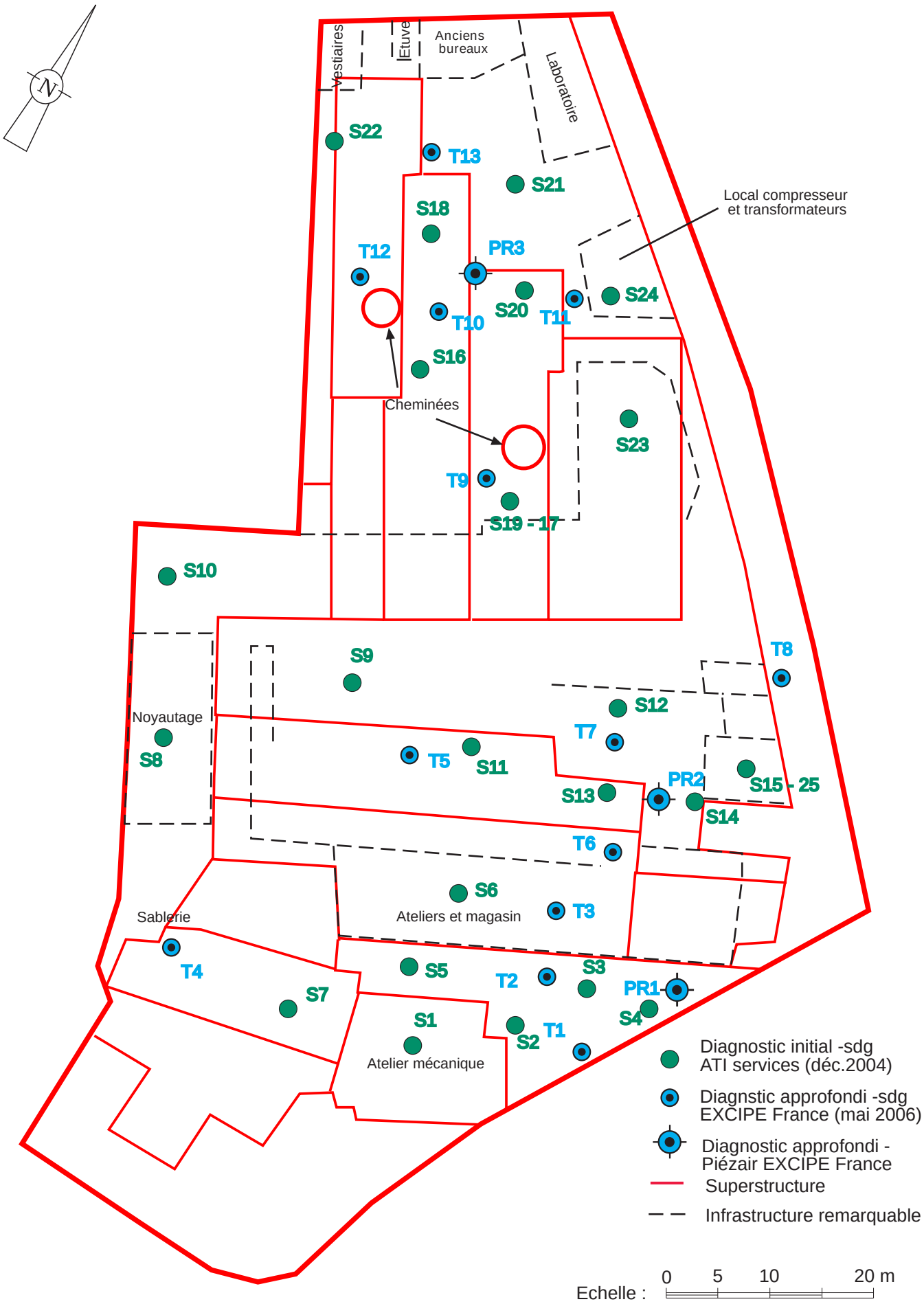
EXCIPE FRANCE
GROUPE BURGEAP

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE rue du champs de foire à Flers (61)

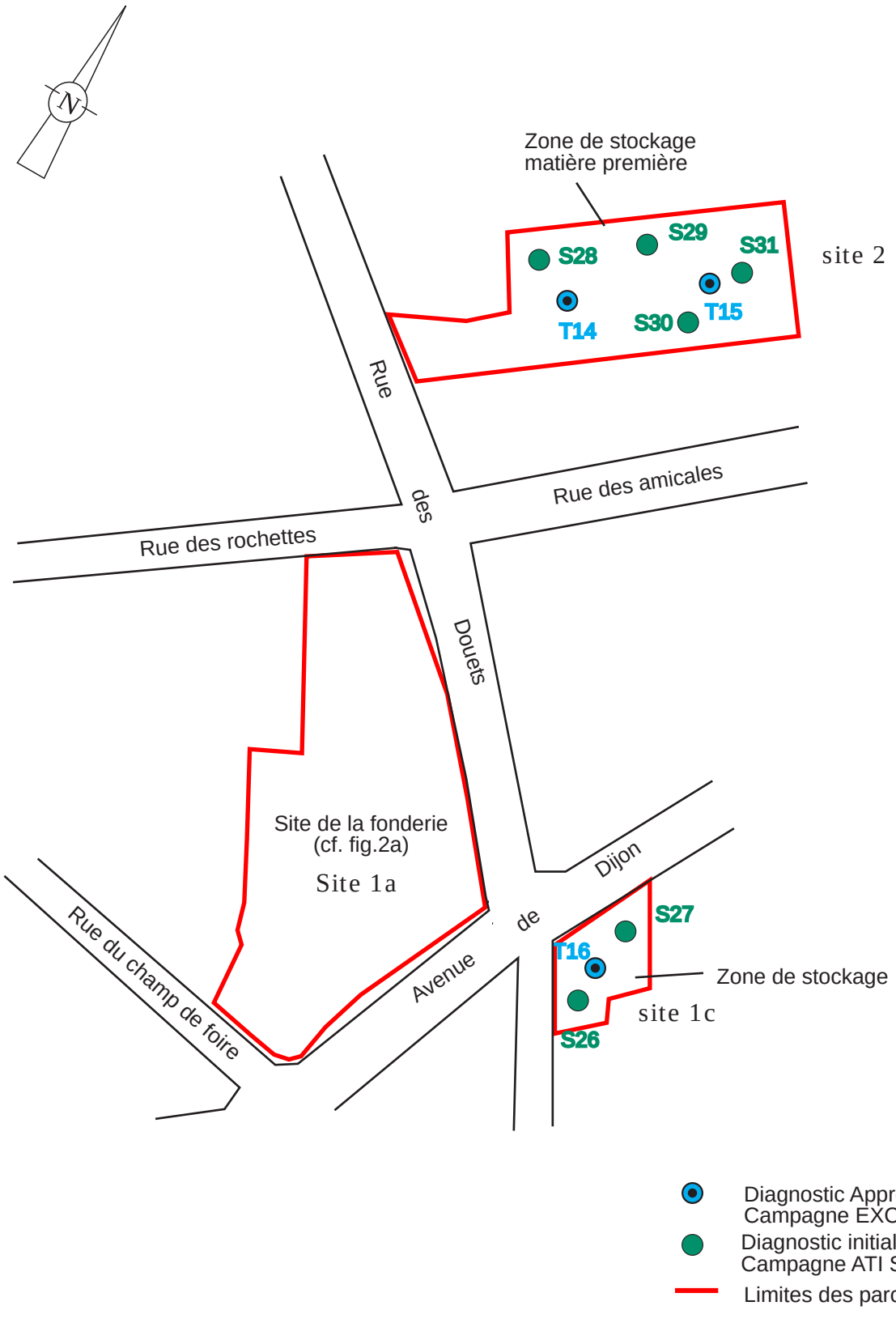
Plan d'implantation des sondages des deux campagnes

Fig. 4a

A.X.00222
CExZ060043



EXCIPE FRANCE Groupe Burgéap	Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE rue du champs de foire à Flers (61) Plan de zonage des trois parcelles auditées	Fig. 4b A.X.00222 CExZ060043



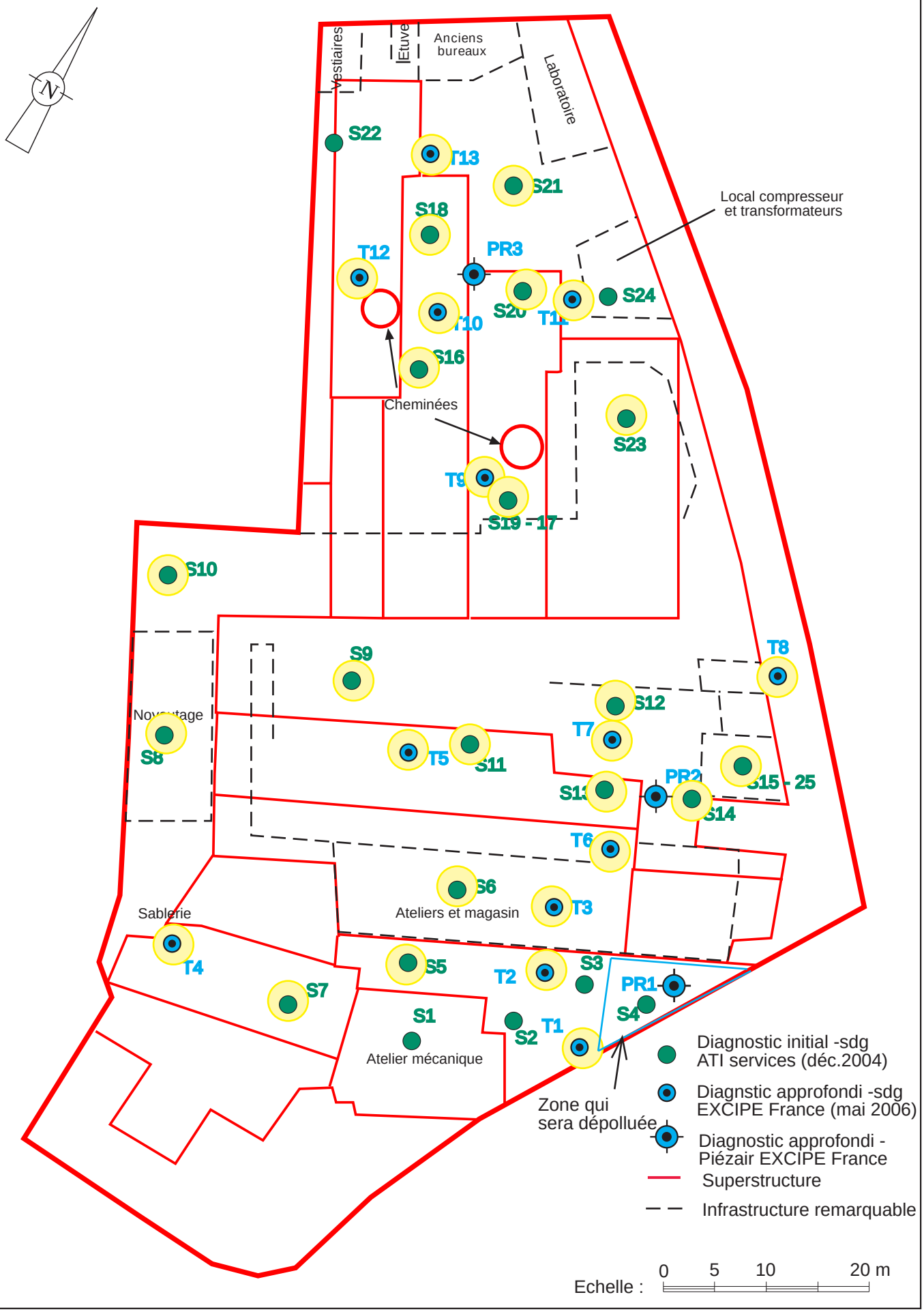
EXCIPE FRANCE
GROUPE BURGEAP

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE rue du champs de foire à Flers (61)

Répartition spatiale des contaminations métalliques

Fig. 5a

A.X.00222
CExZ060043

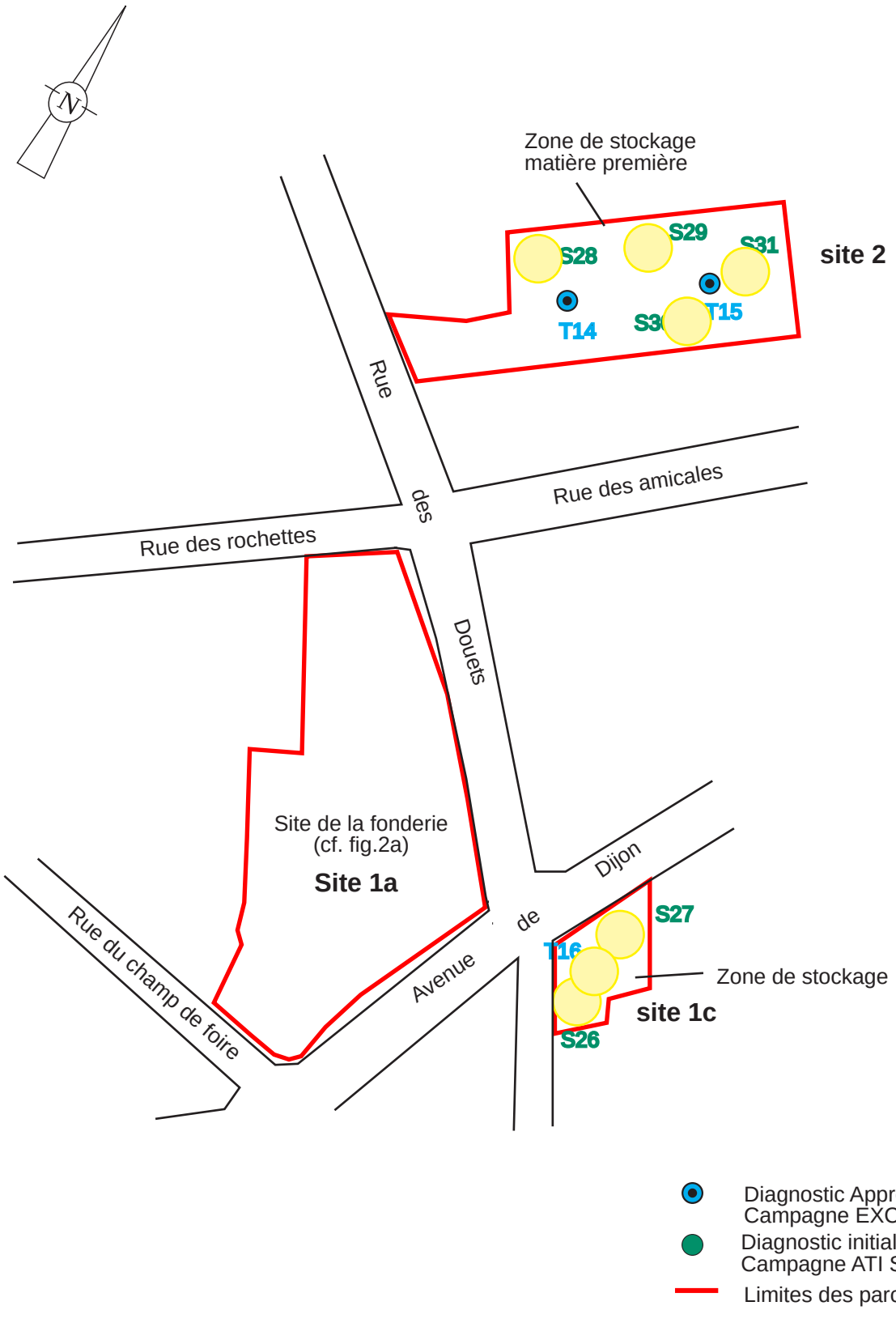


Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE
rue du champs de foire à Flers (61)

Répartition spatiale des contaminations métalliques

Fig. 5a

A.X.00222
CExZ060043



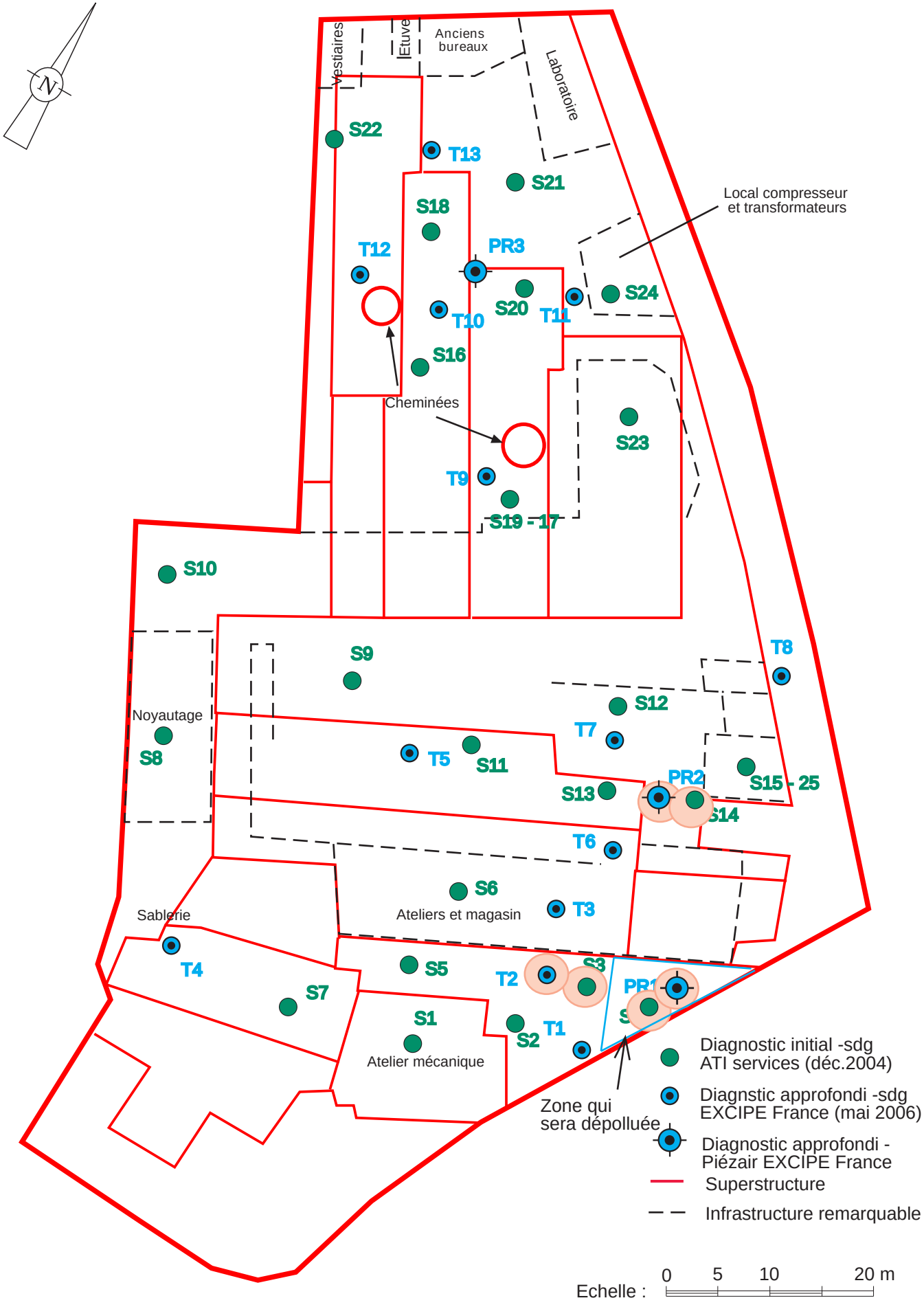
EXCIPE FRANCE
GROUPE BURGÉAP

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE rue du champs de foire à Flers (61)

Répartition spatiale des contaminations en hydrocarbures

Fig. 5b

A.X.00222
CExZ060043

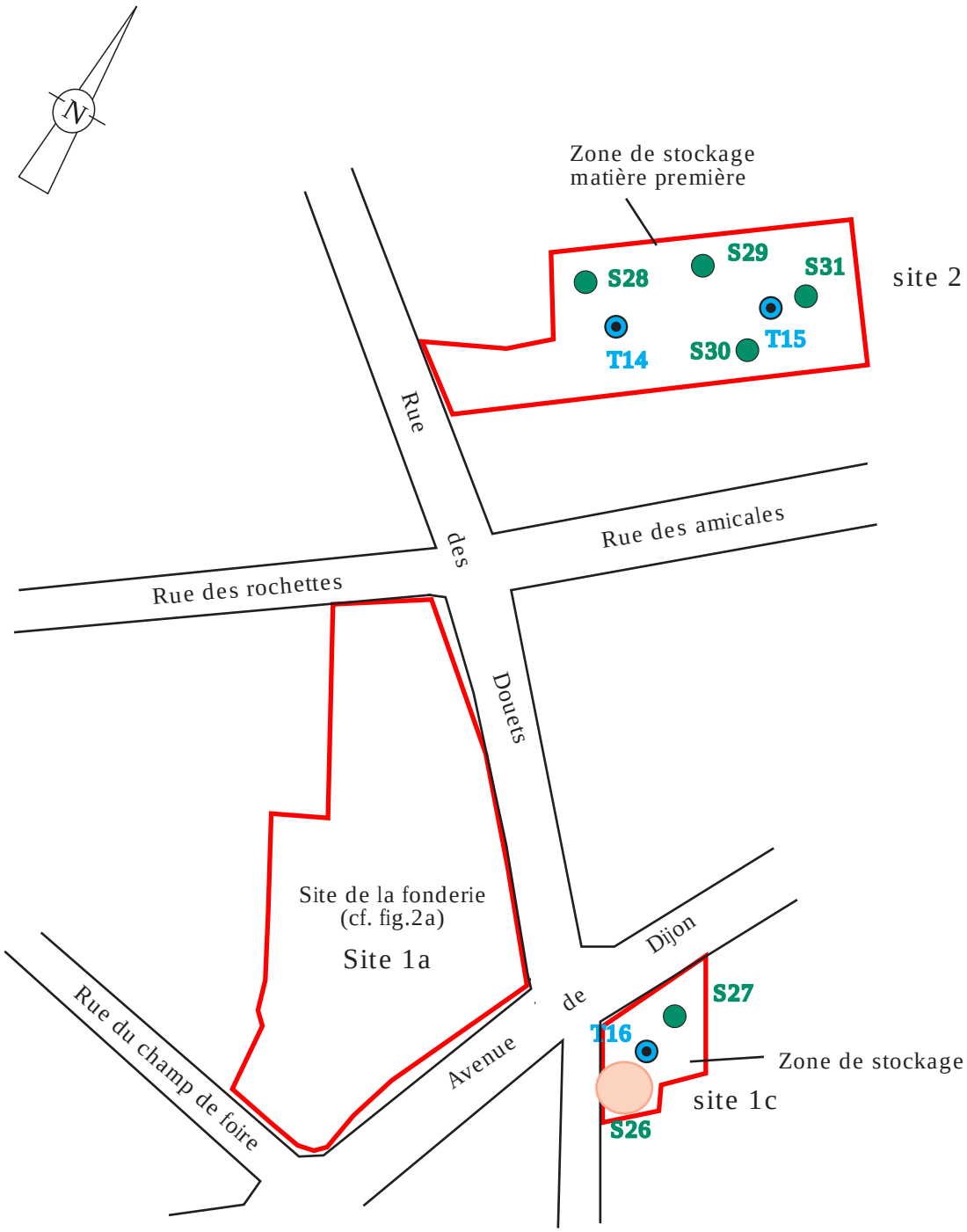


Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE
rue du champs de foire à Flers (61)

Répartition spatiale des contaminations en hydrocarbures

Fig. 5b

A.X.00222
CExZ060043



Diagnostic Approfondi - Campagne EXCIPE France

Diagnostic initial - Campagne ATI Services

Limites des parcelles auditées

Echelle :

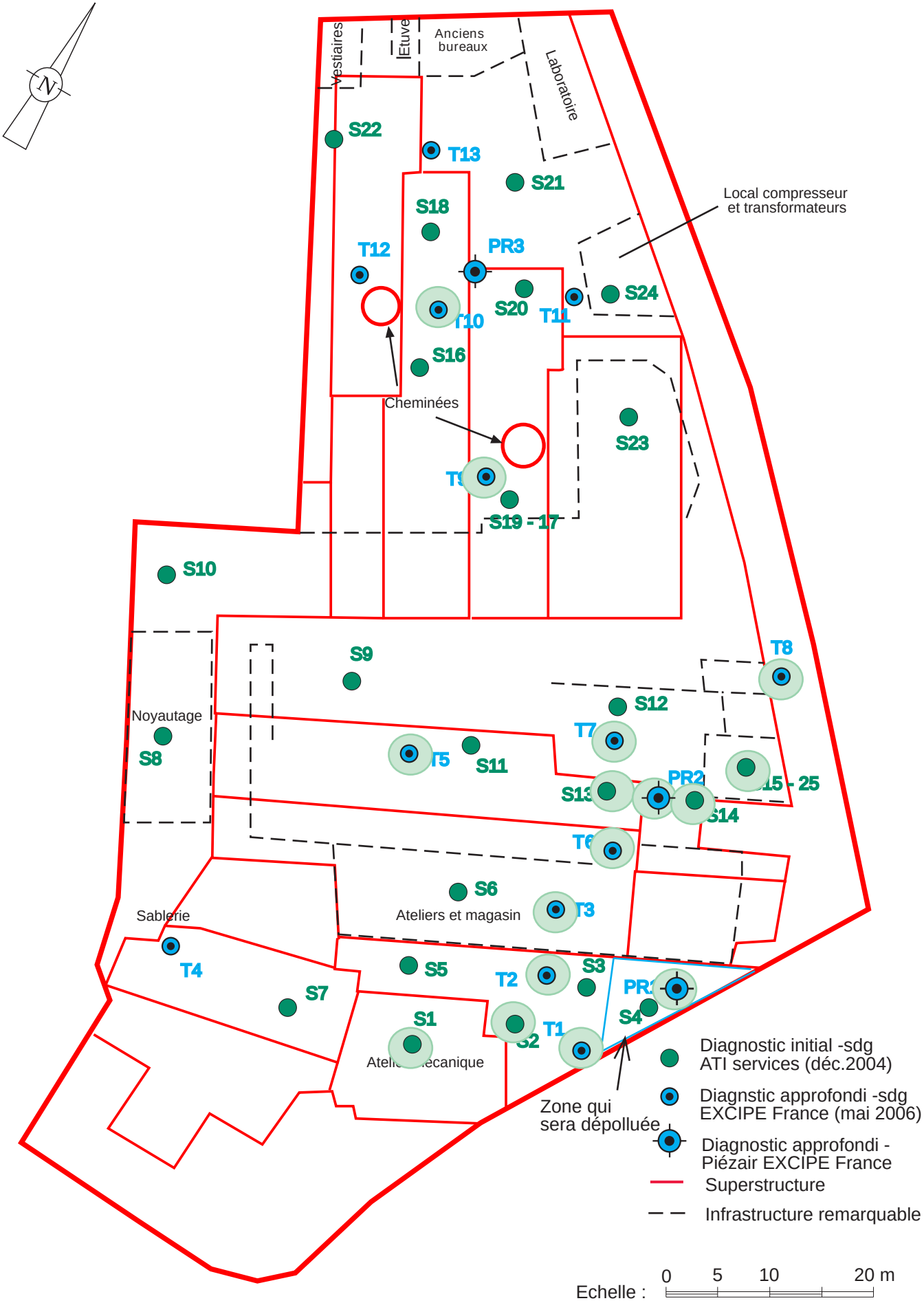
0 20 40 80 m

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE
rue du champs de foire à Flers (61)

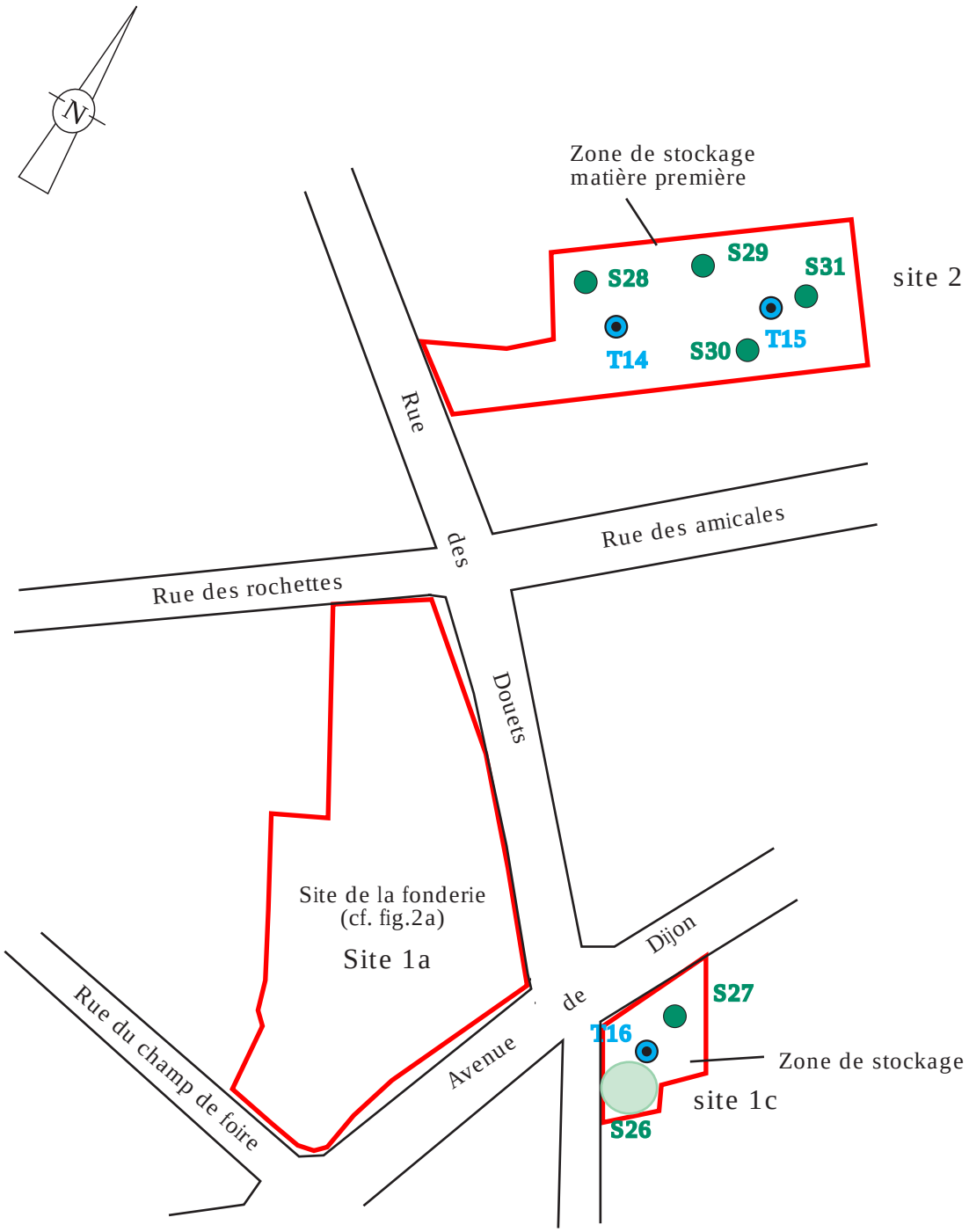
Répartition spatiale des contaminations en HAP

Fig. 5c

A.X.00222
CExZ060043



EXCIPE FRANCE Groupe Burgéap	Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE rue du champs de foire à Flers (61) Répartition spatiale des contaminations en HAP	Fig. 5c A.X.00222 CExZ060043



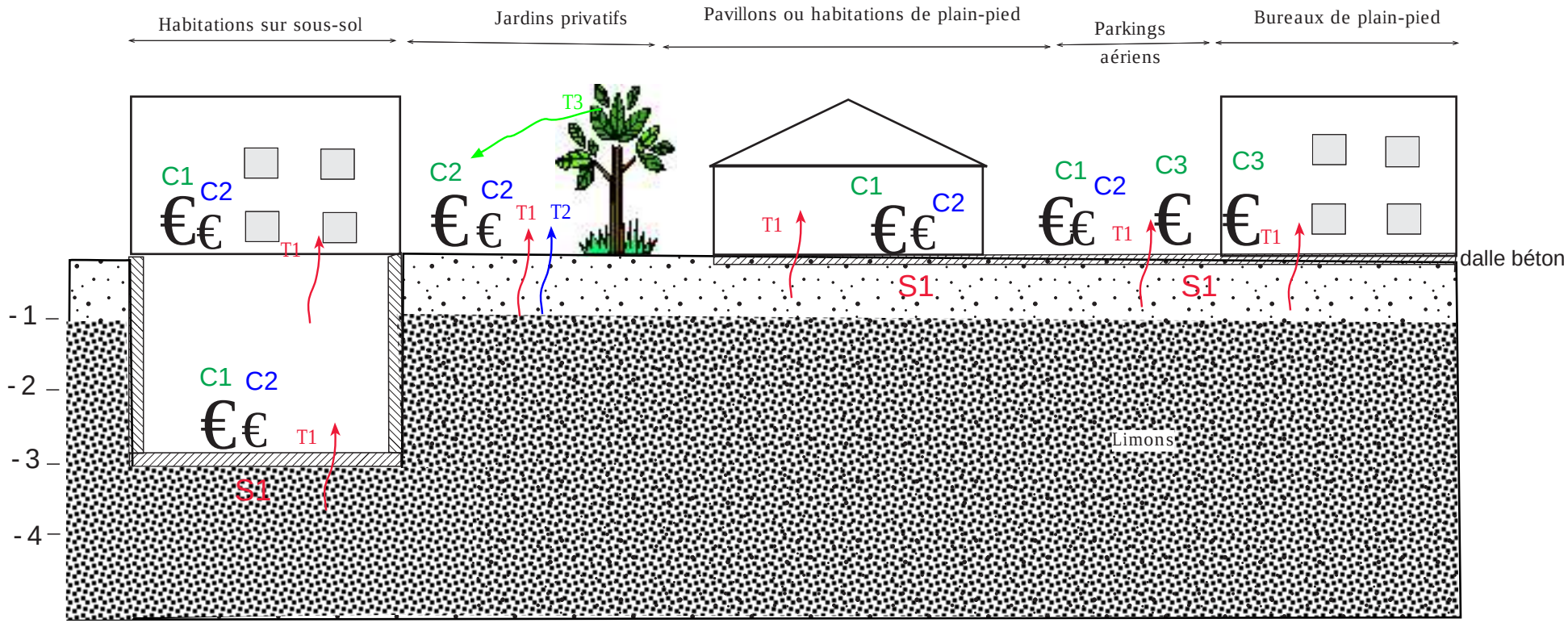
Diagnostic Approfondi - Campagne EXCIPE France

Diagnostic initial - Campagne ATI Services

Limites des parcelles auditées

Echelle :

0 20 40 80 m



Sources de pollution : S1 : remblais pollués (hydrocarbures, BTEX, HAP, métaux, cyanures, formaldéhydes, phénols, crésols)

Cibles :
C1 : Résidents adultes
C2 : Résidents enfants
C3 : Travailleurs adultes

Voies d'exposition :
T1 : Inhalation de vapeurs, poussières
T2 : Ingestion de sols et contact cutané
T3 : Ingestion de végétaux & autres produits

BURGEAP™

EPFN - ancienne fonderie SONOFOQUE - Rue du Champ de foire à FLERS (61)

SCHEMA CONCEPTUEL

Fig. 6
AA.00222
CExZ060031

ANNEXES

- Annexe 1 - Bibliographie

Cette annexe contient 1 page

Bibliographie consultée

DIAGNOSTICS PREALABLES

- Diagnostic initial – Etape A (Tauw Environnement, 2003) ;
- Etude de sols et Evaluation Simplifiée des Risques (ATI Services, 2004).

DOCUMENTS DE REFERENCE

- teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols, Denis BAIZE, 1997 ;
- toxicological profile for PAHs, ATSDR, 1995 ;
- guidelines for drinking-water quality, OMS, 1994-1998 ;
- « Gestion des sites pollués : diagnostic approfondi – Evaluation détaillée des risques », INERIS-BRGM, version 0 de juin 2000 ;
- circulaire du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable portant sur les principes de fixation des objectifs de réhabilitation pour les sites et sols pollués, datée du 10 décembre 1999 ;
- le guide méthodologique de l'INERIS, « Evaluation des risques sanitaires liés aux substances chimiques dans les études d'Impact des ICPE », version projet 3.0, novembre 2001,
- le guide de l'Institut national de veille sanitaire, « Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact », février 2000.

- Annexe 2 -
Fiches BASOL

Cette annexe contient 14 pages

- Annexe 3 -
Fiches de prélèvements
Coupes de sondages

Cette annexe contient 10 pages

REx00862-03/AX.00222/CExZ060043	
VL / RHE / YRa	
18/10/07	Annexes

EXCIPE FRANCE Groupe Burgéap

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE
rue du champs de foire à Flers (61)

FICHE D'ECHANTILLONNAGE DE SOLS

Annexe 3

REx.00862
CEx.Z06.0043

Sondage n° : PR1 Piézair

Technique de sondage : Carottier Portatif

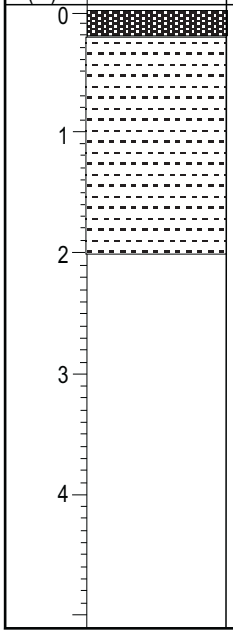
Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



Prof. (m)	coupe	NS	Observations
0			Dalle béton [0 - 0.20m]
1			Limons argileux gris - verts [0.20- 2m]
2			
3			
4			

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	Observations (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
PR1-1 [0.20 - 1m]	Forte odeur Hydrocarbures	HCT, HAP, BTEX
PR1-2 [1.5 - 2m]	Forte odeur Hydrocarbures	HCT, HAP, BTEX

Sondage n° : PR2 Piézair

Technique de sondage : Carottier Portatif

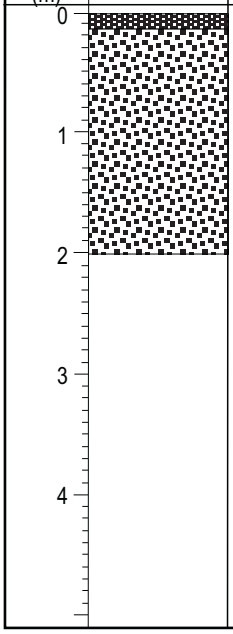
Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



Prof. (m)	coupe	NS	Observations
0			Dalle béton [0 - 0.12 m]
1			Remblais de sables noirs [0.12 - 2 m]
2			
3			
4			

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	OBSERVATIONS (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
PR2-1 [0.12 - 1 m]		HCT, HAP
PR2-2 [1 - 2 m]		

BGP 178 / 3

EXCIPE FRANCE
GROUPE BURGEAP

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE
rue du champs de foire à Flers (61)

Annexe 3

REx.00862
CEx.Z06.0043

FICHE D'ECHANTILLONNAGE DE SOLS

Sondage n° : PR3 Piézair

Auteur : O. JANNIN

Technique de sondage : Carottier Portatif

Date : 30/05/2006

Profondeur : 2 m

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE

Prof. (m)	coupe	NS	Observations
0			Dalle béton [0 - 0.15m]
			Remblais sableux noirâtres [0.15- 0.80m]
1			Limons marrons clairs [0.80- 2m]
2			
3			
4			

ECHANTILLON

N°
PR3 [0.15 - 0.80m]

POLLUTION

Observations (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire

BGP 178 / 3

EXCIPE FRANCE
GROUPE BURGEAP

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE
rue du champs de foire à Flers (61)

Annexe 3

REx.00862
CEx.Z06.0043

FICHE D'ECHANTILLONNAGE DE SOLS

Sondage n° : T1

Technique de sondage : Carottier Portatif

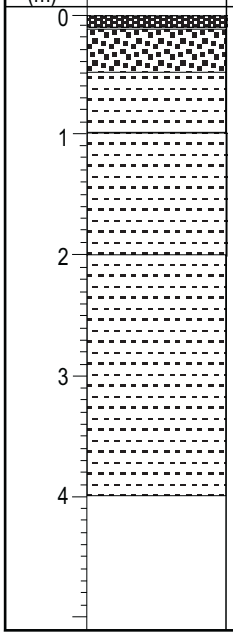
Profondeur : 4 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



Prof. (m)	NS	Observations	ECHANTILLON N°	POLLUTION Observations (aspect, odeur, couleur)	POLLUTION Analyses en laboratoire
0		Dalle béton [0 - 0.1 m] Remblais sableux noirâtre de caillasses, bétons et machefers [0.1 - 0.50 m]			
1		Limons marrons [0.5 - 1m]	T1-1 [0.5 - 1 m]		HCT, HAP, BTEX 13 Métaux
2		Limons marrons plus argileux[1 - 2m]			
3		Limon marrons argileux [2 - 4 m]	T1-2 [3 - 4 m]		HCT, HAP
4					

Sondage n° : T2

Technique de sondage : Carottier Portatif

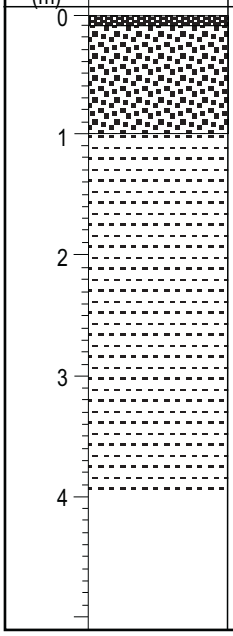
Profondeur : 4 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



Prof. (m)	NS	Observations	ECHANTILLON N°	POLLUTION OBSERVATIONS (aspect, odeur, couleur)	POLLUTION Analyses en laboratoire
0		Dalle béton [0 - 0.10 m]			
1		Remblais sableux noirâtre et caillasses[0.10 - 1 m]	T2-1 [0.1 - 1 m]		HCT, HAP, BTEX 13 Métaux
2		Limons marrons-verts [1 - 4 m]	T2-2 [1 - 2 m]		
3			T2-3 [3 - 4 m]		
4					

BGP 178 / 3

EXCIPE FRANCE Groupe Burgéap

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE
rue du champs de foire à Flers (61)

Annexe 3

REx.00862
CEx.Z06.0043

FICHE D'ECHANTILLONNAGE DE SOLS

Sondage n° : T3

Technique de sondage : Carottier Portatif

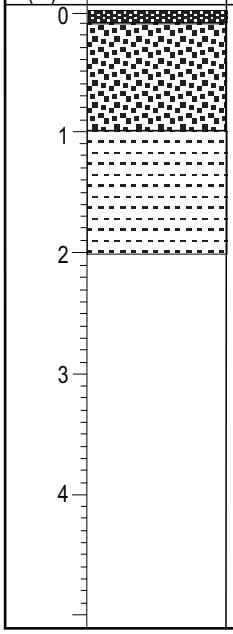
Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



Prof. (m)	NS	Observations
0		Dalle béton [0 - 0.1 m]
		Remblais sableux noirâtre [0.1 - 1 m]
1		
		Limons marron-orangés argileux[1 - 2m]
2		
3		
4		

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	Observations (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
T3-1 [0.1 - 1 m]		HCT, HAP, 13 Métaux
T3-2 [1 - 2 m]		

Sondage n° : T4

Technique de sondage : Carottier Portatif

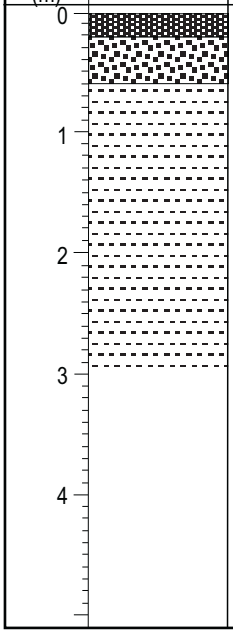
Profondeur : 3 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



Prof. (m)	NS	Observations
0		Dalle béton [0 - 0.20 m]
		Remblais sableux noirâtre et caillasses [0.20 - 0.60 m]
1		
		Limons marrons [0.60 - 3 m]
2		
3		
4		

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	OBSERVATIONS (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
T4-1 [0.2 - 0.6 m]		13 Métaux
T4-2 [0.6 - 2 m]		
T4-3 [2 - 3 m]		

BGP 178 / 3

EXCIPE FRANCE
GROUPE BURGEAP

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE
rue du champs de foire à Flers (61)

Annexe 3

REx.00862
CEx.Z06.0043

FICHE D'ECHANTILLONNAGE DE SOLS

Sondage n° : T5

Technique de sondage : Carottier Portatif

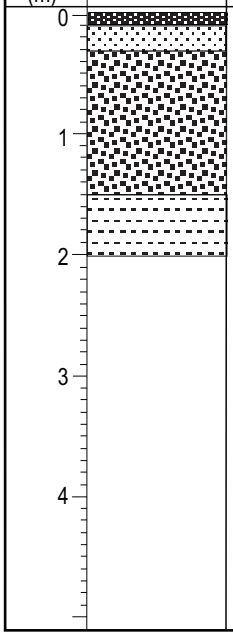
Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



NS	Observations
	Dalle béton [0 - 0.1 m] Remblais sableux blanchâtre [0.1 - 0.30 m]
	Remblais sableux noirâtres et machefers [0.30 - 1.50 m]
	Limons marron[1.5 - 2m]

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	Observations (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
T5-1 [0.1 - 1.5m]		HCT, HAP, 13 Métaux, phénol
T5-2 [1.5 - 2 m]		

Sondage n° : T6

Technique de sondage : Carottier Portatif

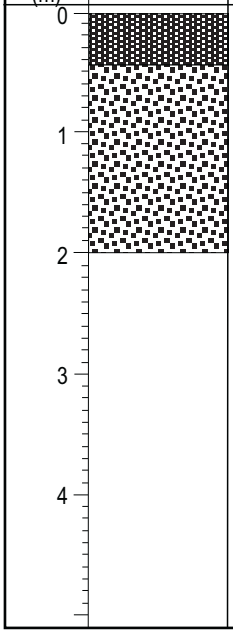
Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



NS	Observations
	Dalle béton [0 - 0.45 m]
	Remblais sableux noirâtre et traces de machefers [0.45 - 2 m]

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	OBSERVATIONS (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
T6 [0.45 - 2 m]		HCT, HAP, 13 Métaux, phénol

EXCIPE FRANCE
GROUPE BURGEAP

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE
rue du champs de foire à Flers (61)

Annexe 3

REx.00862
CEx.Z06.0043

FICHE D'ECHANTILLONNAGE DE SOLS

Sondage n° : T7

Technique de sondage : Carottier Portatif

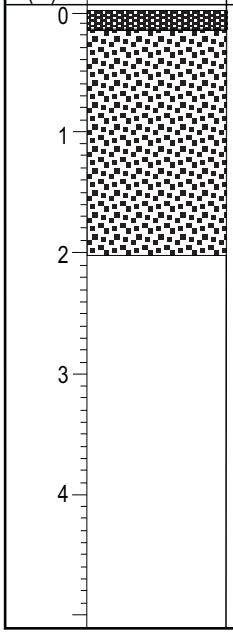
Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



Prof. (m)	NS	Observations
0		Dalle béton [0 - 0.15 m]
1		Remblais sableux noirâtres et machefers [0.15 - 2 m]
2		
3		
4		

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	Observations (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
T7-1 [0.15 - 1m]		HCT, HAP, 13 Métaux, phénol
T7-2 [1 - 2m]		

Sondage n° : T8

Technique de sondage : Carottier Portatif

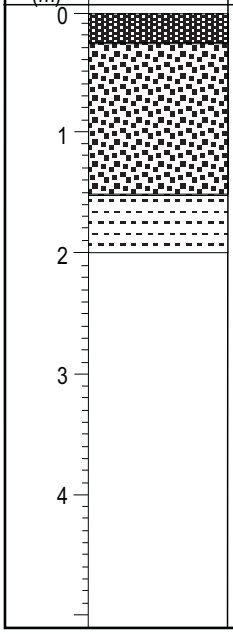
Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



Prof. (m)	NS	Observations
0		Dalle béton [0 - 0.25 m]
1		Remblais sableux noirâtre et machefers mélangés à des limons verdâtres [0.25 - 1.50 m]
2		Limons verdâtres [1.5 - 2m]
3		
4		

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	OBSERVATIONS (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
T8-1 [0.25 - 1.50 m]		HCT, HAP, 13 Métaux
T8-2 [1.50 - 2 m]		

BGP 178 / 3

EXCIPE FRANCE
GROUPE BURGEAP

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE
rue du champs de foire à Flers (61)

Annexe 3

REx.00862
CEx.Z06.0043

FICHE D'ECHANTILLONNAGE DE SOLS

Sondage n°:T 9

Technique de sondage : Carottier Portatif

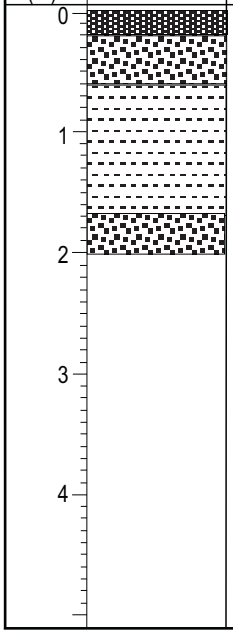
Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



Prof. (m)	NS	Observations
0		Dalle béton [0 - 0.20 m]
		Remblais sableux avec morceaux de briques et bétons [0.20 - 0.60m]
1		Remblais de limons marrons [0.60 - 1.70m]
2		Remblais sableux noirâtres avec machefers [1.70 - 2m]
3		
4		

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	Observations (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
T9-1 [0.20 - 0.60m]		HCT, HAP, 13 Métaux, phénol
T9-2 [0.60 - 1.70m]		
T9-3 [1.70 - 2m]		

Sondage n° : T10

Technique de sondage : Carottier Portatif

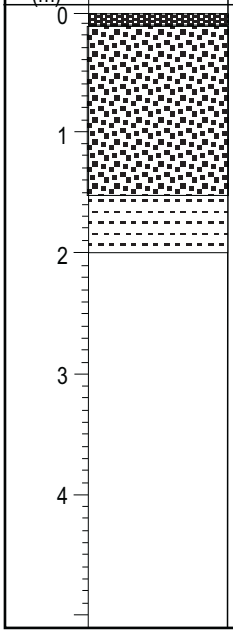
Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



Prof. (m)	NS	Observations
0		Dalle béton [0 - 0.10 m]
		Remblais sableux noirâtre avec briques et bétons [0.10 - 1.50 m]
1		
2		limons argileux [1.5 - 2m]
3		
4		

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	OBSERVATIONS (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
T10-1 [0.10 - 1.50 m]		HCT, HAP, 13 Métaux, phénols, cyanures et formaldéhyde
T10-2 [1.50 - 2 m]		

BGP 178 / 3

EXCIPE FRANCE Groupe Burgéap

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE
rue du champs de foire à Flers (61)

Annexe 3

REx.00862
CEx.Z06.0043

FICHE D'ECHANTILLONNAGE DE SOLS

Sondage n° : T11

Technique de sondage : Carottier Portatif

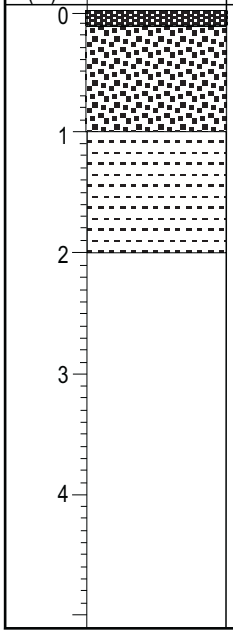
Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



Prof. (m)	coupe	NS	Observations
0			Dalle béton [0 - 0.10 m]
			Remblais sableux noirâtres avec machefers [0.10 - 1m]
1			Limons argileux marrons [1- 2m]
2			
3			
4			

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	Observations (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
T11 [0.10 - 1m]		13 Métaux, cyanure et formaldéhyde

Sondage n° : T12

Technique de sondage : Carottier Portatif

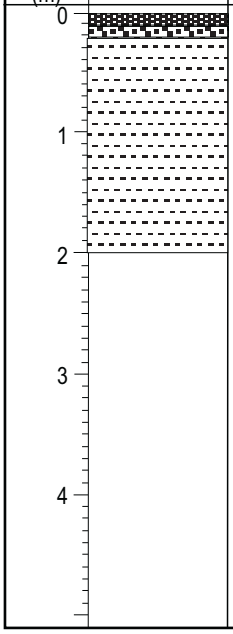
Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



Prof. (m)	coupe	NS	Observations
0			Dalle béton [0 - 0.10 m]
			Remblais sableux noirâtre [0.10 - 0.20 m]
1			limons marons-orangés [0.20 - 2m]
2			
3			
4			

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	OBSERVATIONS (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
T12 [0.20 - 2 m]		13 Métaux, cyanure,phénol et formaldéhyde

BGP 178 / 3

EXCIPE FRANCE
GROUPE BURGEAP

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE
rue du champs de foire à Flers (61)

Annexe 3

REx.00862
CEx.Z06.0043

FICHE D'ECHANTILLONNAGE DE SOLS

Sondage n° : T13

Technique de sondage : Carottier Portatif

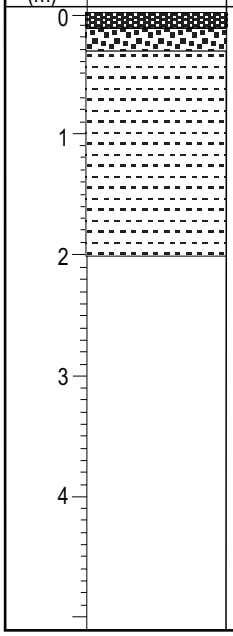
Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



Prof. (m)	coupe	NS	Observations
			Dalle béton [0 - 0.10 m]
			Remblais de graves [0.10 - 0.30m]
			Limons marrons [0.30- 2m]

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	Observations (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
T13 [0.30 - 1.5m]		13 Métaux, cyanure et formaldéhyde

Sondage n° : T14

Technique de sondage : Carottier Portatif

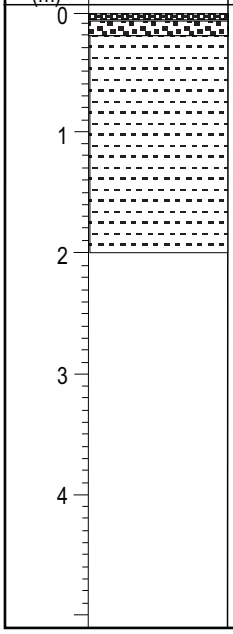
Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE



Prof. (m)	coupe	NS	Observations
			Terres arables [0 - 0.02 m]
			Remblais de sables et graves[0.02 - 0.22 m]
			limons marons [0.22 - 2m]

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	OBSERVATIONS (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
T14-1 [0.2 - 1 m]		HCT, HAP, BTEX 13 Métaux, phénol, Cyanures
T14-2 [1 - 2 m]		

BGP 178 / 3

EXCIPE FRANCE Groupe Burgéap

Ancienne fonderie de la société SONOFOQUE
rue du champs de foire à Flers (61)

FICHE D'ECHANTILLONNAGE DE SOLS

Annexe 3

REx.00862
CEx.Z06.0043

Sondage n° : T15

Technique de sondage : Carottier Portatif

Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE

Prof. (m)	coupe	NS	Observations
0			Remblais de graves [0 - 0.0.5m]
1			Limons marrons [0.05- 2m]
2			
3			
4			

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	Observations (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
T15-1 [0 - 1m]		HCT, HAP, 13 Métaux, formaldéhyde
T15-2 [1-2m]		

Sondage n° : T16

Technique de sondage : Carottier Portatif

Profondeur : 2 m

Auteur : O. JANNIN

Date : 30/05/2006

Niveau statique :

COUPE GEOLOGIQUE

Prof. (m)	coupe	NS	Observations
0			Dalle béton [0 - 0.20 m]
1			Remblais de sables et machefers [0.20 - 1 m]
2			limons marons - verts [1- 2m]
3			
4			

ECHANTILLON / POLLUTION

N°	OBSERVATIONS (aspect, odeur, couleur)	Analyses en laboratoire
T16-1 [0.2 - 1 m]		13 Métaux
T16-2 [1 - 2 m]		

BGP 178 / 3

- Annexe 4 -
Bordereaux d'analyses

Cette annexe contient 31 pages

- Annexe 5 -
Tableaux des concentrations mesurées dans les différents milieux (air, sol)

Cette annexe contient 8 pages

Tableaux reprenant l'ensemble des investigations réalisées sur le site
(dont le Diagnostic complémentaire)

FONDERIE SONOFOQUE - Site du Champ de FOIRE
Diagnostic approdondi de la qualité des sols

| | DIAGNOSTIC APPROFONDI - SONDAGES EXCIPE FRANCE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | DIAGNOSTIC INITIAL - SONDAGES ATI Services | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

S26	S27	S28	S29	S30	S31	Valeur de référence (mg/kg)	Seuil déchets inertes directive 1999/31/CE (mg/kg)	Maxi	Mini	Moyenne	Centile 90
site 2b	site 2b	site 2a	site 2a	site 2a	site 2a						
fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004						
0,15-2	0,15-2	0,05-2	0,05-2	0,05-2	0-2						
						20	-	110	1	12,7	14,4
29	15	12	10	5	7	1 - 25	-	72	5	18,5	33,6
						-	-	38	3,5	10,6	17,0
						0,05 - 0,45	-	0,72	0,14	0,3	0,6
						10 - 90	-	100	15	43,1	72,0
160	74	38	39	45	55	2 - 20	-	481	19	119,1	246,0
34	7	2	2	2	2	20	-	300	1	19,7	34,6
52 900	46 100	33 300	37 400	39 400	42 600	-		59700	19100	36708,7	51640,0
768	574	670	440	228	162	-	-	1770	88	528,3	1302,0
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,02 - 0,2	-	5,1	0,1	1,3	3,4
						10	-	6,8	1	2,0	4,0
						2 - 60	-	70	16	28,8	50,5
						9 - 50	-	590	8,9	146,7	400,0
						370		160	30	56,6	75,5
						10 - 100	-	580	36	208,8	405,0
140			7		5	50	500	12000	5	686,6	573,0
-			-		-			45	1,4	5,9	2,8
-			-		-	-	-	490	2	31,5	6,4
-			-		-	-	-	1600	2	100,8	30,4
-			-		-	-	-	1700	1	112,2	51,6
-			-		-	-	-	930	1	71,4	60,4
-			-		-	-	-	290	1	36,7	101,2
-			-		-	-	-	130	1	24,0	62,6
-			-		-	-	-	100	1	15,2	43,2
-			-		-	-	-	52	1	7,3	16,6
0,1			0,1		0,1	1	-				
0,1			0,1		0,1	5	-				
0,1			0,1		0,1	25	-	0,1	0,1	0,1	0,1
0,2			0,2		0,2	-	-	0,8	0,8	0,8	0,8
0,1			0,1		0,1		-				
0,1			0,1		0,1		-	1,2	1,2	1,2	1,2
0,1			0,1		0,1		-	1,1	1,1	1,1	1,1
0,1			0,1		0,1		-	2,8	2,8	2,8	2,8
0,1			0,1		0,1		-	1,6	1,6	1,6	1,6
							-	8,6	8,6	8,6	8,6
0,06			0,02		0,02	0,002	-	4,9	0,076	0,9	2,7
0,06			0,02		0,02	0,01	-	2	2	2,0	2,0
0,06			0,02		0,02	-	-	1	1	1,0	1,0
0,06			0,02		0,02	0,01	-	2,3	0,011	0,3	0,8
0,27			0,02		0,02	0,01	-	16	0,015	1,4	2,1
0,06			0,02		0,02	0,01	-	1,6	0,015	0,2	0,1
0,36			0,02		0,02	0,04	-	5,4	0,012	0,6	0,8
0,27			0,02		0,02	0,07	-	4,4	0,014	0,5	0,7
0,25			0,02		0,02	0,01	-	2,5	0,014	0,4	0,9
0,45			0,02		0,02	0,04	-	2,4	0,012	0,4	0,8
0,29			0,02		0,02	0,1	-	2,2	0,014	0,4	0,7
0,18			0,02		0,02	0,05	-	1,3	0,015	0,2	0,3
0,24			0,02		0,02	0,002	-	2,3	0,0136	0,4	0,7
0,12			0,02		0,02	0,01	-	0,12	0,017	0,1	0,1
0,28			0,02		0,02	0,07	-	2,1	0,022	0,4	0,7
0,27			0,02		0,02	0,015	-	1,4	0,023	0,3	0,5
2,98						-	50	31	0,04	4,5	7,9
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-	10	0,052	5,0	9,0
						LQ	-	12,884615	0,067	6,5	11,6
						LQ	-	16,538462	0,086	8,3	14,9
						LQ	-	13,461538	0,07	6,8	12,1
						LQ	-	21,153846	0,11	10,6	19,0
						LQ	-	15,961538	0,083	8,0	14,4
						LQ	-	10,384615	0,054	5,2	9,4
						LQ	1	100,38462	0,52	50,5	90,4
						-	-	1	0,2	0,8	1,0
						-	-	5	3,8	4,4	4,9
						LQ	-	0,3	0,1	0,2	0,3
			0,5		0,5	LQ					
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-	0,016	0,013	0,01	0,02
						LQ	-	0,053	0,053	0,1	0,1
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-				
						LQ	-				

Synthèse des analyses de sol après dépollution de la zone de la station de distribution

Tout site confondu

FONDERIE SONOFOQUE - Site du Champ de FOIRE
Diagnostic approdondi de la qualité des sols

| | DIAGNOSTIC APPROFONDI - SONDAGES EXCIPE FRANCE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | DIAGNOSTIC INITIAL - SONDAGES ATI Services | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

S29	S30	S31	Valeur de référence (mg/kg)	Seuil déchets inertes directive 1999/31/CE (mg/kg)	Maxi	Mini	Moyenne	Centile 90
site 2a	site 2a	site 2a						
fin 2004	fin 2004	fin 2004						
0,05-2	0,05-2	0-2						
			20	-	110	1	12,7	14,4
10	5	7	1 - 25	-	72	5	18,5	33,6
			-	-	38	3,5	10,6	17,0
			0,05 - 0,45	-	0,72	0,14	0,3	0,6
			10 - 90	-	100	15	43,1	72,0
39	45	55	2 - 20	-	481	19	119,1	246,0
2	2	2	20	-	300	1	19,7	34,6
37 400	39 400	42 600	-		59700	19100	36708,7	51640,0
440	228	162	-	-	1770	88	528,3	1302,0
0,1	0,1	0,1	0,02 - 0,2	-	5,1	0,1	1,3	3,4
			10	-	6,8	1	2,0	4,0
			2 - 60	-	70	16	28,8	50,5
			9 - 50	-	590	8,9	146,7	400,0
			370		160	30	56,6	75,5
			10 - 100	-	580	36	208,8	405,0
7		5	50	500	960	5	118,8	282,0
-		-			2,8	1,4	2,0	2,5
-		-	-	-	10	2	2,8	4,0
-		-	-	-	24	2	4,9	7,6
-		-	-	-	36	1	8,8	23,8
-		-	-	-	67	1	15,6	54,4
-		-	-	-	130	1	21,3	63,6
-		-	-	-	130	1	22,5	60,6
-		-	-	-	100	1	16,7	49,8
-		-	-	-	52	1	8,1	17,4
0,1		0,1	1	-				
0,1		0,1	5	-				
0,1		0,1	25	-	0,1	0,1	0,1	0,1
0,2		0,2	-	-	0,8	0,8	0,8	0,8
0,1		0,1		-				
0,1		0,1		-	1,2	1,2	1,2	1,2
0,1		0,1		-	1,1	1,1	1,1	1,1
0,1		0,1		-	2,8	2,8	2,8	2,8
0,1		0,1		-	1,6	1,6	1,6	1,6
				-	8,6	8,6	8,6	8,6
0,02		0,02	0,002	-	1,8	0,076	0,4	0,8
0,02		0,02	0,01	-	2	2	2,0	2,0
0,02		0,02	-	-	1	1	1,0	1,0
0,02		0,02	0,01	-	0,47	0,011	0,1	0,2
0,02		0,02	0,01	-	4,3	0,015	0,5	0,7
0,02		0,02	0,01	-	1,6	0,015	0,2	0,2
0,02		0,02	0,04	-	5,4	0,013	0,6	0,8
0,02		0,02	0,07	-	4,4	0,014	0,5	0,6
0,02		0,02	0,01	-	2,5	0,014	0,4	0,5
0,02		0,02	0,04	-	2,4	0,012	0,4	0,5
0,02		0,02	0,1	-	2,2	0,014	0,4	0,7
0,02		0,02	0,05	-	1,3	0,015	0,2	0,4
0,02		0,02	0,002	-	2,3	0,035	0,4	0,7
0,02		0,02	0,01	-	0,12	0,017	0,1	0,1
0,02		0,02	0,07	-	2,1	0,022	0,4	0,7
0,02		0,02	0,015	-	1,4	0,023	0,3	0,4
			-	50	31	0,04	3,5	5,2
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-	0,052	0,052	0,1	0,1
			LQ	-	0,067	0,067	0,1	0,1
			LQ	-	0,086	0,086	0,1	0,1
			LQ	-	0,07	0,07	0,1	0,1
			LQ	-	0,11	0,11	0,1	0,1
			LQ	-	0,083	0,083	0,1	0,1
			LQ	-	0,054	0,054	0,1	0,1
			LQ	1	0,52	0,52	0,5	0,5
			-	-	1	0,2	0,8	1,0
			-	-	5	3,8	4,4	4,9
			LQ	-	0,3	0,1	0,2	0,3
0,5		0,5	LQ					
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-	0,016	0,013	0,01	0,02
			LQ	-	0,053	0,053	0,1	0,1
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-				
			LQ	-				

FONDERIE SONOFOQUE - Site du Champ de FOIRE
Diagnostic approdondi de la qualité des sols

DIAGNOSTIC APPROFONDI - SONDAGES EXCIPE FRANCE																
Sondage	T1-1	T1-2	T2-1	T3-1	T4	T5-1	T6	T7-1	T8-1	T9-1	T10-1	T11	T12	T13	PR2-1
Localisation	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1
Date de prélèvement	30/05/2006	30/05/2006	30/05/2006	30/05/2006	30/05/2006	30/05/2006	30/05/2006	30/05/2006	30/05/2006	30/05/2006	30/05/2006	30/05/2006	30/05/2006	30/05/2006	30/05/2006
Profondeur (m)	0,50 - 1	3 - 4	0,10 - 1	0,10 - 1	0,20 - 0,60	0,10 - 1,50	0,45 - 2	0,15 - 1	0,25 - 1,5	0,20 - 0,60	0,1 - 1,5	0,1 - 1	0,30 - 2	0,3 - 1,5	0,12 - 1
Métaux lourds sur brut															
Antimoine (mg/kg M.S)	1		0,10	0,10	1	2,7	9,3	5,2	13	6,8	15	110	4,6	1,3	
Arsenic (mg/kg M.S)	9,8		15	13	7	16	12	32	72	28	41	43	9,9	6,2	
Bore (mg/kg M.S)	5		8,7	7,9	5,2	15	18	7,5	16	12	38	13	4,1	6,9	
Cadmium (mg/kg M.S)	0,10		0,14	0,23	0,21	0,10	0,45	0,10	0,10	0,23	0,10	0,72	0,10	0,10	
Chrome (mg/kg M.S)	28		39	30	25	72	30	36	100	45	72	44	47	38	
Cuivre (mg/kg M.S)	23		310	95	26	360	79	110	200	130	230	480	29	22	
Etain (mg/kg M.S)	1,6		21	18	4,8	27	21	12	17	14	37	300	1	1	
Fer (mg/kg M.S.)															
Manganèse (mg/kg M.S)	450		300	240	280	1300	420	270	1400	370	430	470	110	88	
Mercure (mg/kg M.S)	0,14		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	1,6	0,10	0,10	0,10	0,10	
Molybdène (mg/kg M.S)	1		1,1	1	1	1,9	1,3	1,3	4,7	2,4	6,8	3,2	1	1	
Nickel (mg/kg M.S)	22		32	19	16	23	16	21	70	38	61	40	17	19	
Plomb (mg/kg M.S)	53		74	160	79	81	450	130	44	150	350	590	14	8,9	
Vanadium (mg/kg M.S)	33		48	37	30	73	38	58	160	57	78	53	55	49	
Zinc (mg/kg M.S)	100		240	250	290	210	510	120	210	170	580	300	52	36	
Hydrocarbures totaux sur brut															
Hydrocarbures totaux (mg/kg M.S)	10	10	110	26		37	40	49	34	41	31				270
Fraction C6-C10 (mg/kg M.S)	1,0	1,0	2	1,0		2,4	2,8	2	2,2	1,9	2,2				-
Fraction C10-C12 (mg/kg M.S)	2	2	4	2		2	2	2	2	2	2				4
Fraction C12-C16 (mg/kg M.S)	2	2	8	2		3	3	4	4	2	4				7
Fraction C16-C20 (mg/kg M.S)	1	1	16	3		5	5	6	5	1	5				19
Fraction C20-C24 (mg/kg M.S)	1	1	16	4		5	6	9	6	4	5				56
Fraction C24-C28 (mg/kg M.S)	1	1	18	5		5	5	11	6	11	6				36
Fraction C28-C32 (mg/kg M.S)	1	1	21	6		8	10	10	7	14	7				61
Fraction C32-C36 (mg/kg M.S)	1	1	15	3		5	6	6	5	9	4				63
Fraction C36-C40 (mg/kg M.S)	1	1	15	2		4	4	2	1	2	1				15
Hydrocarbures Aromatiques - BTEX sur brut															
Benzène (mg/kg M.S)	0,1		0,1												
Toluène (mg/kg M.S)	0,1		0,1												
Ethylbenzène (mg/kg M.S)	0,1		0,1												
Xylènes totaux (mg/kg M.S)	0,2		0,2												
Cumène (mg/kg M.S)															
Mesitylène (mg/kg M.S)															
Ethyltoluène total (mg/kg M.S)															
Pseudocumène (mg/kg M.S)															
Hémélitène (mg/kg M.S)															
Somme des BTEX (mg/kg M.S)															
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - HAP sur brut															
Naphtalène (mg/kg)	0,050	0,050	0,2	0,11		0,097	0,094	0,020	0,050	0,050	0,050				0,076
Acénaphtylène (mg/kg)	0,050	0,050	0,050	0,50		0,050	0,020	0,020	0,050	0,050	0,050				0,10
Acénaphtène (mg/kg)	0,050	0,050	0,050	0,050		0,050	0,050	0,020	0,050	0,050	0,050				0,050
Fluorène (mg/kg)	0,010	0,010	0,023	0,011		0,017	0,010	0,036	0,016	0,010	0,010				0,016
Phénanthrène (mg/kg)*	0,010	0,010	0,3	0,29		0,36	0,13	0,61	0,26	0,068	0,12				0,17
Anthracène (mg/kg)*	0,010	0,010	0,057	0,032		0,052	0,015	0,049	0,065	0,010	0,015				0,025
Fluoranthène (mg/kg)	0,013	0,010	0,57	0,39		0,46	0,22	0,78	0,74	0,12	0,17				0,18
Pyrène (mg/kg)	0,010	0,010	0,43	0,33		0,37	0,19	1,0	0,65	0,099	0,13				0,11
Benzo(a)anthracène (mg/kg)*	0,014	0,010	0,35	0,15		0,13	0,061	0,42	0,54	0,16	0,099				0,059
Chrysène (mg/kg)*	0,010	0,010	0,36	0,19		0,14	0,076	0,56	0,5	0,23	0,13				0,076
Benzo(b)fluoranthène (mg/kg)	0,014	0,010	0,45	0,19		0,13	0,084	0,69	0,69	0,47	0,16				0,079
Benzo(k)fluoranthène (mg/kg)*	0,010	0,010	0,22	0,084		0,055	0,032	0,28	0,37	0,18	0,07				0,034
Benzo(a)pyrène (mg/kg)	0,010	0,010	0,42	0,15		0,081	0,043	0,61	0,77	0,15	0,11				0,035
Dibenzo(a,h)anthracène (mg/kg)	0,010	0,010	0,049	0,019		0,010	0,010	0,041	0,06	0,010	0,017				0,01
Benzo(g,h,i)pérylène (mg/kg)*	0,010	0,010	0,4	0,13		0,055	0,039	0,6	0,72	0,38	0,075				0,044
Indeno (1,2,3-c,d) pyrène (mg/kg)*	0,010	0,010	0,25	0,088		0,037	0,023	0,34	0,46	0,26	0,075				0,029
Somme des HAP (mg/kg)	0,04	n.d	4,1	2,2		2	1	5	5,8	2,1	1,2				0,93
Hydrocarbures Aromatiques - COHV sur brut															
chlorure de vinyle															
1,1-dichloroéthène															
Dichlorométhane															
Cis-dichloroéthène															
1,1,1-trichloroéthane															
Tétrachlorométhane															
1,2-dichloroéthane															
Trichloroéthène															
Tétrachloroéthène															
Polychlorobiphényls - PCB sur brut															
PCB-28 (mg/kg)															
PCB-52 (mg/kg)															
PCB-101 (mg/kg)															
PCB-118 (mg/kg)															
PCB-138 (mg/kg)															
PCB-153 (mg/kg)															
PCB-180 (mg/kg)															
Somme des 7 PCB (mg/kg)															
Autres paramètres sur brut															
Cyanures totaux (mg/kg M.S)										1	1	1	1		
COT															
Formaldéhydes										0,5	0,5	0,5	0,5		
Indice phénol															
2,3-Diméthylphénol						0,010	0,010	0,010		0,010	0,010		0,010		
2,4-Diméthylphénol						0,010	0,010	0,010		0,010	0,010		0,010		
2,5-Diméthylphénol						0,010	0,010	0,010		0,010	0,010		0,010		
2,6-Diméthylphénol						0,010	0,010	0,010		0,010	0,010		0,010		
3,4-Diméthylphénol						0,010	0,010	0,010		0,010	0,010		0,010		
Crésols (totaux)						n.d	n.d	0,016		n.d	0,013		n.d		
Phénol						0,020	0,020	0,020		0,020	0,053		0,020		
m-Crésol						0,010	0,010	0,010		0,010	0,010		0,010		
m-Ethylphénol						0,010	0,010	0,010		0,010	0,010		0,010		
o-Crésol						0,010	0,010	0,010		0,010	0,010		0,010		
o-Ethylphénol						0,010	0,010	0,010		0,010	0,010		0,010		
p-Crésol						0,010	0,010	0,010		0,010	0,010		0,010		
p-Ethyl/3,5-Diméthylphénol						0,010	0,010	0,010		0,010	0,010		0,010		

DIAGNOSTIC INITIAL - SONDAGES ATI Services																								
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15-25	S16	S17-19	S18	S20	S21	S22	S23	S24		
site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1	site 1		
fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004		
0,2-3	0,4-4	0,2-4	3-4,5	0,2-2	0,2-2	0,2-2	0,2-2	0,4-2	0,2-0,8	0,2-2	0,2-2	0,2-1,5	0,2-3	0,2-3	0,3-2	0,2-3	0,2-2	0,2-2	0,2-2	0,2-2	0,2-2	0,2-2		
				10	11	18	19	14	14	33	36	31	21	26	12	28	13	13	7		7			
				37	31	43	33	95	76	481	108	185	79	150	95	220	53	179	43		139			
				3	2	2	2	14	11	43	15	18	10	9	11	51	7	31	4		3			
				26 000	33 600	35 700	43 500	27 200	33 200	59 700	33 600	46 600	31 400	31 500	22 500	56 100	31 100	30 300	31 500		19 100			
				1540	255	255	322	1310	1770	530	432	893	373	331	382	550	168	364	296		371			
				0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5,1	0,1	0,1	0,1		0,2			
24	11	220	270		10							19	960	11								22		
-	-	-	-		-							-	-	-								-		
-	-	-	-		-							-	-	-								-		
-	-	-	-		-							-	-	-								-		
-	-	-	-		-							-	-	-								-		
-	-	-	-		-							-	-	-								-		
-	-	-	-		-							-	-	-								-		
-	-	-	-		-							-	-	-								-		
-	-	-	-		-							-	-	-								-		
							0,1					0,1	0,1	0,1										
							0,1					0,1	0,1	0,1										
							0,1					0,1	0,10	0,1										
							0,2					0,2	0,80	0,2										
							0,1					0,1	0,1	0,1										
							0,1					0,1	1,20	0,1										
							0,1					0,1	1,10	0,1										
							0,1					0,1	2,80	0,1										
							0,1					0,1	1,60	0,1										
													8,60											
0,06	0,06	0,1										0,06	0,6	0,06										
0,06	0,06	0,1										0,06	0,6	0,06										
0,06	0,06	0,1										0,06	0,6	0,06										
0,06	0,06	0,1										0,06	0,6	0,06										
0,06	0,12	0,1										0,25	0,6	0,06										
0,06	0,06	0,1										0,06	0,6	0,06										
0,06	0,19	0,1										0,32	0,6	0,06										
0,06	0,16	0,1										0,21	0,6	0,06										
0,06	0,06	0,1										0,10	0,6	0,06										
0,06	0,10	0,1										0,22	0,6	0,06										
0,06	0,06	0,1										0,10	0,6	0,06										
0,06	0,06	0,1										0,07	0,6	0,06										
0,06	0,10	0,1										0,15	0,6	0,06										
0,06	0,06	0,1										0,06	0,6	0,06										
0,06	0,06	0,1										0,10	0,6	0,06										
0,06	0,06	0,1										0,14	0,6	0,06										
0,06	0,67											1,66												
					0,1																			
					0,1																			
					0,1																			
					0,1																			
					0,1																			
					0,1																			
					0,1																			
					0,1																			

FONDERIE SONOFOQUE - Site du Champ de FOIRE
Diagnostic approdondi de la qualité des sols

	EXCIPE							
Sondage	T16-1	S26	S27	Valeur de référence (mg/kg)	Seuil déchets inertes directive 1999/31/CE (mg/kg)	Maxi	Mini	Moyenne	Centile 90
Localisation	site 2b	site 2b	site 2b						
Date de prélèvement	30/05/2006	fin 2004	fin 2004						
Profondeur (m)	0,20 - 1	0,15-2	0,15-2						
Métaux lourds sur brut									
Antimoine (mg/kg M.S)	6,4			20	-	6,4	6,4		
Arsenic (mg/kg M.S)	6,4	29	15	1 - 25	-	29	6,4		
Bore (mg/kg M.S)	4			-	-	4	4		
Cadmium (mg/kg M.S)	0,15			0,05 - 0,45	-	0,15	0,15		
Chrome (mg/kg M.S)	39			10 - 90	-	39	39		
Cuivre (mg/kg M.S)	55	160	74	2 - 20	-	160	55		
Etain (mg/kg M.S)	7,3	34	7	20	-	34	7		
Fer (mg/kg M.S.)		52 900	46 100	-		52900	46100		
Manganèse (mg/kg M.S)	1200	768	574	-	-	1200	574		
Mercure (mg/kg M.S)	0,1	0,1	0,1	0,02 - 0,2	-	0,1	0,1		
Molybdène (mg/kg M.S)	2			10	-	2	2		
Nickel (mg/kg M.S)	23			2 - 60	-	23	23		
Plomb (mg/kg M.S)	140			9 - 50	-	140	140		
Vanadium (mg/kg M.S)	68			370		68	68		
Zinc (mg/kg M.S)	150			10 - 100	-	150	150		
Hydrocarbures totaux sur brut									
Hydrocarbures totaux (mg/kg M.S)		140		50	500	140	140		
Fraction C6-C10 (mg/kg M.S)		-							
Fraction C10-C12 (mg/kg M.S)		-		-	-				
Fraction C12-C16 (mg/kg M.S)		-		-	-				
Fraction C16-C20 (mg/kg M.S)		-		-	-				
Fraction C20-C24 (mg/kg M.S)		-		-	-				
Fraction C24-C28 (mg/kg M.S)		-		-	-				
Fraction C28-C32 (mg/kg M.S)		-		-	-				
Fraction C32-C36 (mg/kg M.S)		-		-	-				
Fraction C36-C40 (mg/kg M.S)		-		-	-				
Hydrocarbures Aromatiques - BTEX sur brut									
Benzène (mg/kg M.S)		0,1		1	-				
Toluène (mg/kg M.S)		0,1		5	-				
Ethylbenzène (mg/kg M.S)		0,1		25	-				
Xylènes totaux (mg/kg M.S)		0,2		-	-				
Cumène (mg/kg M.S)		0,1			-				
Mesitylène (mg/kg M.S)		0,1			-				
Ethyltoluène total (mg/kg M.S)		0,1			-				
Pseudocumène (mg/kg M.S)		0,1			-				
Hémélitène (mg/kg M.S)		0,1			-				
Somme des BTEX (mg/kg M.S)					-				
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - HAP sur brut									
Naphtalène (mg/kg)		0,06		0,002	-	0	0		
Acénaphtylène (mg/kg)		0,06		0,01	-	0	0		
Acénaphtène (mg/kg)		0,06		-	-	0	0		
Fluorène (mg/kg)		0,06		0,01	-	0	0		
Phénanthrène (mg/kg)*		0,27		0,01	-	0,27	0,27		
Anthracène (mg/kg)*		0,06		0,01	-	0	0		
Fluoranthène (mg/kg)		0,36		0,04	-	0,36	0,36		
Pyrène (mg/kg)		0,27		0,07	-	0,27	0,27		
Benzo(a)anthracène (mg/kg)*		0,25		0,01	-	0,25	0,25		
Chrysène (mg/kg)*		0,45		0,04	-	0,45	0,45		
Benzo(b)fluoranthène (mg/kg)		0,29		0,1	-	0,29	0,29		
Benzo(k)fluoranthène (mg/kg)*		0,18		0,05	-	0,18	0,18		
Benzo(a)pyrène (mg/kg)		0,24		0,002	-	0,24	0,24		
Dibenzo(a,h)anthracène (mg/kg)		0,12		0,01	-	0,12	0,12		
Benzo(g,h,i)pérylène (mg/kg)*		0,28		0,07	-	0,28	0,28		
Indeno (1,2,3-c,d) pyrène (mg/kg)*		0,27		0,015	-	0,27	0,27		
Somme des HAP (mg/kg)		2,98		-	50	2,98	2,98		
Hydrocarbures Aromatiques - COHV sur brut									
chlorure de vinyle									
1,1-dichloroéthène									
Dichlorométhane									
Cis-dichloroéthène									
1,1,1-trichloroéthane									
Tétraclorométhane									
1,2-dichloroéthane									
Trichloroéthène									
Tétrachloroéthène									
Polychlorobiphényls - PCB sur brut									
PCB-28 (mg/kg)									
PCB-52 (mg/kg)									
PCB-101 (mg/kg)									
PCB-118 (mg/kg)									
PCB-138 (mg/kg)									
PCB-153 (mg/kg)									
PCB-180 (mg/kg)									
Somme des 7 PCB (mg/kg)									
Autres paramètres sur brut									
Cyanures totaux (mg/kg M.S)									
COT									
Formaldéhydes									
Indice phénol									
2,3-Diméthylphénol									
2,4-Diméthylphénol									
2,5-Diméthylphénol									
2,6-Diméthylphénol									
3,4-Diméthylphénol									
Crésols (totaux)									
Phénol									
m-Crésol									
m-Ethylphénol									
o-Crésol									
o-Ethylphénol									
p-Crésol									
p-Ethyl/3,5-Diméthylphénol									

En vert : teneur supérieure au seuil définissant les déchets inertes (directive 1999/31/CE)

En orange : teneur supérieure à la Valeur de référence des bruit de fond géochimique

[*] valeur indicative

FONDERIE SONOFOQUE - Site du Champ de FOIRE
Diagnostic approdondi de la qualité des sols

	EXCIPE FRANCE		*SONDAGES ATI Services*							
Sondage	T14-1	T15-1	S28	S29	S30	S31	Valeur de référence (mg/kg)	Seuil déchets inertes directive 1999/31/CE (mg/kg)	Maxi	Mini	Moyenne	Centile 90
Localisation	site 2a	site 2a	site 2a	site 2a	site 2a	site 2a						
Date de prélèvement	30/05/2006	30/05/2006	fin 2004	fin 2004	fin 2004	fin 2004						
Profondeur (m)	0,22 - 1	0 - 1	0,05-2	0,05-2	0,05-2	0-2						
Métaux lourds sur brut												
Antimoine (mg/kg M.S)	1	1					20	-	1	1		
Arsenic (mg/kg M.S)	5	14	12	10	5	7	1 - 25	-	14	5		
Bore (mg/kg M.S)	4	3,5					-	-	4	3,5		
Cadmium (mg/kg M.S)	0,10	0,10					0,05 - 0,45	-	0	0		
Chrome (mg/kg M.S)	29	15					10 - 90	-	29	15		
Cuivre (mg/kg M.S)	19	20	38	39	45	55	2 - 20	-	55	19		
Etain (mg/kg M.S)	1	1	2	2	2	2	20	-	2	1		
Fer (mg/kg M.S.)			33 300	37 400	39 400	42 600	-		42600	33300		
Manganèse (mg/kg M.S)	170	120	670	440	228	162	-	-	670	120		
Mercure (mg/kg M.S)	0,10	0,10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,02 - 0,2	-	0	0		
Molybdène (mg/kg M.S)	1	1					10	-	1	1		
Nickel (mg/kg M.S)	23	21					2 - 60	-	23	21		
Plomb (mg/kg M.S)	14	9,7					9 - 50	-	14	9,7		
Vanadium (mg/kg M.S)	38	31					370		38	31		
Zinc (mg/kg M.S)	65	58					10 - 100	-	65	58		
Hydrocarbures totaux sur brut												
Hydrocarbures totaux (mg/kg M.S)	10	10		7		5	50	500				
Fraction C6-C10 (mg/kg M.S)	1,4	1,5		-		-			1,5	1,4		
Fraction C10-C12 (mg/kg M.S)	2	2		-		-	-	-				
Fraction C12-C16 (mg/kg M.S)	2	2		-		-	-	-				
Fraction C16-C20 (mg/kg M.S)	1	1		-		-	-	-				
Fraction C20-C24 (mg/kg M.S)	1	1		-		-	-	-				
Fraction C24-C28 (mg/kg M.S)	1	1		-		-	-	-				
Fraction C28-C32 (mg/kg M.S)	1	1		-		-	-	-				
Fraction C32-C36 (mg/kg M.S)	1	1		-		-	-	-				
Fraction C36-C40 (mg/kg M.S)	1	1		-		-	-	-				
Hydrocarbures Aromatiques - BTEX sur brut												
Benzène (mg/kg M.S)	0,1			0,1		0,1	1	-				
Toluène (mg/kg M.S)	0,1			0,1		0,1	5	-				
Ethylbenzène (mg/kg M.S)	0,1			0,1		0,1	25	-				
Xylènes totaux (mg/kg M.S)	n.d			0,2		0,2	-	-				
Cumène (mg/kg M.S)				0,1		0,1		-				
Mesitylène (mg/kg M.S)				0,1		0,1		-				
Ethyltoluène total (mg/kg M.S)				0,1		0,1		-				
Pseudocumène (mg/kg M.S)				0,1		0,1		-				
Hémélitène (mg/kg M.S)				0,1		0,1		-				
Somme des BTEX (mg/kg M.S)								-				
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - HAP sur brut												
Naphtalène (mg/kg)	0,050	0,050		0,02		0,02	0,002	-				
Acénaphtylène (mg/kg)	0,050	0,050		0,02		0,02	0,01	-				
Acénaphtène (mg/kg)	0,050	0,050		0,02		0,02	-	-				
Fluorène (mg/kg)	0,010	0,010		0,02		0,02	0,01	-				
Phénanthrène (mg/kg)*	0,015	0,02		0,02		0,02	0,01	-	0,02	0,015		
Anthracène (mg/kg)*	0,010	0,010		0,02		0,02	0,01	-				
Fluoranthène (mg/kg)	0,014	0,016		0,02		0,02	0,04	-	0,016	0,014		
Pyrène (mg/kg)	0,014	0,010		0,02		0,02	0,07	-	0,014	0,014		
Benzo(a)anthracène (mg/kg)*	0,010	0,010		0,02		0,02	0,01	-				
Chrysène (mg/kg)*	0,012	0,010		0,02		0,02	0,04	-	0,012	0,012		
Benzo(b)fluoranthène (mg/kg)	0,015	0,010		0,02		0,02	0,1	-	0,015	0,015		
Benzo(k)fluoranthène (mg/kg)*	0,010	0,010		0,02		0,02	0,05	-				
Benzo(a)pyrène (mg/kg)	0,010	0,010		0,02		0,02	0,002	-				
Dibenzo(a,h)anthracène (mg/kg)	0,010	0,010		0,02		0,02	0,01	-				
Benzo(g,h,i)pérylène (mg/kg)*	0,010	0,010		0,02		0,02	0,07	-				
Indeno (1,2,3-c,d) pyrène (mg/kg)*	0,010	0,010		0,02		0,02	0,015	-				
Somme des HAP (mg/kg)	0,07	0,04					-	50	0,07	0,04		
Hydrocarbures Aromatiques - COHV sur brut												
chlorure de vinyle							LQ	-				
1,1-dichloroéthène							LQ	-				
Dichlorométhane							LQ	-				
Cis-dichloroéthène							LQ	-				
1,1,1-trichloroéthane							LQ	-				
Tétrachlorométhane							LQ	-				
1,2-dichloroéthane							LQ	-				
Trichloroéthène							LQ	-				
Tétrachloroéthène							LQ	-				
Polychlorobiphényls - PCB sur brut												
PCB-28 (mg/kg)							LQ	-				
PCB-52 (mg/kg)							LQ	-				
PCB-101 (mg/kg)							LQ	-				
PCB-118 (mg/kg)							LQ	-				
PCB-138 (mg/kg)							LQ	-				
PCB-153 (mg/kg)							LQ	-				
PCB-180 (mg/kg)							LQ	-				
Somme des 7 PCB (mg/kg)							LQ	1				
Autres paramètres sur brut												
Cyanures totaux (mg/kg M.S)	1						-	-				
COT							-	-				
Formaldéhydes		0,5					LQ	-				
Indice phénol				0,5		0,5	LQ					
2,3-Diméthylphénol	0,010						LQ	-				
2,4-Diméthylphénol	0,010						LQ	-				
2,5-Diméthylphénol	0,010						LQ	-				
2,6-Diméthylphénol	0,010						LQ	-				
3,4-Diméthylphénol	0,010						LQ	-				
Crésols (totaux)	n.d						LQ	-				
Phénol	0,020						LQ	-				
m-Crésol	0,010						LQ	-				
m-Ethylphénol	0,010						LQ	-				
o-Crésol	0,010						LQ	-				
o-Ethylphénol	0,010						LQ	-				
p-Crésol	0,010						LQ	-				
p-Ethyl/3,5-Diméthylphénol	0,010						LQ	-				

En vert : teneur supérieure au seuil définissant les déchets inertes (directive 1999/31/CE)
En orange : teneur supérieure à la Valeur de référence des bruit de fond géochimique
[*] valeur indicative

Piéz-air	PR1	PR2	PR3	moyenne	maxi	centile90
Date de prélèvement						
Profondeur (m)						
Mercure						
Mercure (mg/m3)	6,7E-03	8,3E-03	6,7E-03	7,2E-03	8,3E-03	8,0E-03
Hydrocarbures volatils C5-C10						
HTP - Somme C5-C10 (mg/m3)	8,8E+00	4,2E-01		4,6E+00	8,8E+00	8,0E+00
C5-C6 (mg/m3)	1,8E-01	1,1E-01		1,4E-01	1,8E-01	1,7E-01
C7-C8 (mg/m3)	1,3E+00	1,7E-01		7,3E-01	1,3E+00	1,2E+00
C8-C10 (mg/m3)	7,3E+00	1,4E-01		3,7E+00	7,3E+00	6,6E+00
Benzène et aromatiques - CAV						
Benzène (mg/m3)	1,8E-02	1,4E-02		1,6E-02	1,8E-02	1,7E-02
Toluène (mg/m3)	6,7E-02	4,2E-02		5,4E-02	6,7E-02	6,4E-02
Ethylbenzène (mg/m3)	7,8E-02	5,6E-03		4,2E-02	7,8E-02	7,1E-02
Xylènes totaux (mg/m3)	9,1E-01	2,8E-02		4,7E-01	9,1E-01	8,2E-01
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques- HAP						
naphthalene (mg/m3)	1,1E-02	1,4E-02		1,3E-02	1,4E-02	1,4E-02
Formaldéhydes (µg/abs)						
Formaldéhydes (mg/m3)			3,8E-03	3,8E-03	3,8E-03	3,8E-03

teneur en dessous de la LQ, remplacée par la LQ

- Annexe 6 -
Sélection des substances

Cette annexe contient 11 pages

Choix des substances pour l'EDR – site 1a

Rappel : seules les substances détectées au moins une fois dans un des milieux investigués sont présentées dans le tableau ci-dessous.

	CARACTERISTIQUES DES POLLUANTS				CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX ET VALEURS GUIDES				SELECTION ET ARGUMENTAIRE
	Physico-chimie			Toxicité	C max mesurée dans les sols / sols de surface	*Valeur de référence dans les sols (2)*	C max mesurée dans l'air des sols	*Valeur de référence dans l'air (2)*	
	Volatilité	Volatilité	Solubilité	Classes de cancérogénicité (1)	mg/kg MS	Mg/kg MS	µg/m3	µg/m3	voie d'exposition unique : 1) Inhalation de gaz 2) Voies directes (scénario 1 uniquement)
Benzène	++		++	1/A	ND	*LQ*	18	*2*	1) Oui : substance détectée dans les gaz du sol à une concentration supérieure à la valeur de référence 2) Non : substance non détectée dans les sols
Toluène	+		+	3/D	ND	*LQ*	67	*260*	1) Non : substance détectée dans les gaz du sol à une concentration inférieure à la valeur de référence 2) Non : substance non détectée dans les sols
Ethylbenzène	+		+	2B/D	0.1	*LQ*	78		1) Non : substance détectée dans les gaz du sol à une teneur inférieure à la VTR (1000 µg/m3) 2) Non : substance détectée dans les sols de surface une seule fois, à une concentration égale au seuil de détection
Xylènes	+		+	3/D	0.8	*LQ*	910	*200*	1) Oui : substance détectée dans les gaz du sol à une concentration supérieure à la valeur de référence 2) Oui : substance détectée dans les sols
Mésitylène	+				1.2	*LQ*	NR		1) et 2) Non : concentration faible etpas de VTR
Ethyltoluène	+				1.1	*LQ*	NR		1) et 2) Non : concentration faible etpas de VTR
Pseudocumène					2.8	*LQ*	NR		1) et 2) Non : concentration faible etpas de VTR
Hémélitène	+				1.6	*LQ*	NA		1) et 2) Non : concentration faible etpas de VTR

	CARACTERISTIQUES DES POLLUANTS				CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX ET VALEURS GUIDES				SELECTION ET ARGUMENTAIRE
	Physico-chimie			Toxicité	C max mesurée dans les sols / sols de surface	*Valeur de référence dans les sols (2)*	C max mesurée dans l'air des sols	*Valeur de référence dans l'air (2)*	
	Volatilité	Volatilité	Solubilité	Classes de cancérogénicité (1)	mg/kg MS	Mg/kg MS	µg/m3	µg/m3	voie d'exposition unique : 1) Inhalation de gaz 2) Voies directes (scénario 1 uniquement)
Aliphatiques C5-C6	-		-		NR	*50*	110	-	1) Non : substance détectée dans les gaz du sol à une concentration inférieure à la VTR (700 µg/m3) 2) Non : substance non détectée dans les sols
Aliphatiques C6-C8	-		-		NR		170	-	1) Non : substance détectée dans les gaz du sol à une concentration inférieure à la VTR (700 µg/m3) 2) Non : substance non détectée dans les sols
Aliphatiques C8-C10	-		-		NR		70	-	1) Non : substance détectée dans les gaz du sol à une concentration inférieure à la VTR (1000 µg/m3) 2) Non : substance non détectée dans les sols
Aromatiques C8-C10	-		-		NR		70	-	1) Non : substance détectée dans les gaz du sol à une concentration inférieure à la VTR (200 µg/m3) 2) Non : substance non détectée dans les sols
Aliphatiques C10-C12	-		-		9.6		NR	-	1) Non : concentration dans les sols très faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
Aromatiques C10-C12	-		-		9.6		NR	-	1) Non : concentration dans les sols très faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
Aliphatiques C12-C16	-		-		14.4		NR	-	1) Non : concentration dans les sols très faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
Aromatiques C12-C16	-		-		14.4		NR	-	1) Non : concentration dans les sols très faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
Aliphatiques C16-C21	-		-		182.4		NR	-	1) Non : substance non volatile (nC>16) 2) Oui : substance détectée dans les sols
Aromatiques C16-C21	-		-		182.4		NR	-	1) Non : substance non volatile (nC>16) 2) Oui : substance détectée dans les sols
Aliphatiques C21-C40	-		-		422.4		NR	-	1) Non : substance non volatile (nC>16) 2) Oui : substance détectée dans les sols

	CARACTERISTIQUES DES POLLUANTS				CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX ET VALEURS GUIDES				SELECTION ET ARGUMENTAIRE
	Physico-chimie			Toxicité	C max mesurée dans les sols / sols de surface	*Valeur de référence dans les sols (2)*	C max mesurée dans l'air des sols	*Valeur de référence dans l'air (2)*	
	Volatilité	Volatilité	Solubilité	Classes de cancérogénicité (1)	mg/kg MS	Mg/kg MS	µg/m3	µg/m3	voie d'exposition unique : 1) Inhalation de gaz 2) Voies directes (scénario 1 uniquement)
Aromatiques C21-C40	-		-		422.4		NR	-	1) Non : substance non volatile (nC>16) 2) Oui : substance détectée dans les sols
Naphtalène	-		-	2B/C	0.2	*0.002*	ND	-	1) Non : substance non détectée dans les gaz du sol 2) Oui : substance détectée dans les sols
Fluorène	-		-	3/D	0.036	*0.01*	NR	-	1) Non : substance très peu volatile et concentration dans les sols faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
Phénanthrène	-		-	3/D	0.61	*0.01*	NR	-	1) Non : substance non volatile et concentration dans les sols faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
Anthracène	--		--	3/D	0.065	*0.01*	NR	-	1) Non : substance non volatile et concentration dans les sols faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
Fluoranthène	--		--	3/D	0.78	*0.04*	NR	-	1) Non : substance non volatile et concentration dans les sols faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
Pyrène	-		--	3/D	0.65	*0.02*	NR	-	1) Non : substance non volatile et concentration dans les sols faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
Benzo(a)anthracène	--		--	2A/B2	0.54	*0.02*	NR	-	1) Non : substance non volatile et concentration dans les sols faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
Chrysène	--		--	3/B2	0.56	*0.04*	NR	-	1) Non : substance non volatile et concentration dans les sols faible 2) Oui : substance détectée dans les sols

	CARACTERISTIQUES DES POLLUANTS				CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX ET VALEURS GUIDES				SELECTION ET ARGUMENTAIRE
	Physico-chimie			Toxicité	C max mesurée dans les sols / sols de surface	*Valeur de référence dans les sols (2)*	C max mesurée dans l'air des sols	*Valeur de référence dans l'air (2)*	
	Volatilité	Volatilité	Solubilité	Classes de cancérogénicité (1)	mg/kg MS	Mg/kg MS	µg/m3	µg/m3	voie d'exposition unique : 1) Inhalation de gaz 2) Voies directes (scénario 1 uniquement)
benzo(b)fluoranthène	--		--	2B/B2	0.69	*0.1*	NR	-	1) Non : substance non volatile et concentration dans les sols faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
benzo(k)fluoranthène	--		--	2B/B2	0.37	*0.05*	NR	-	1) Non : substance non volatile et concentration dans les sols faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
Benzo(a)pyrène	--		--	2A/B2	0.77	*0.002*	NR	*0,00012*	1) Non : substance non volatile et concentration dans les sols faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
Dibenzo(a,h)anthracène	--		--	2A/B2	0.06	*0.01*	NR	-	1) Non : substance non volatile et concentration dans les sols faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
benzo(g,h,i) pérylène	--		--	3/D	0.72	*0.07*	NR	-	1) Non : substance non volatile et concentration dans les sols faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	--		--	2B/B2	0.46	*0.015*	NR	-	1) Non : substance non volatile et concentration dans les sols faible 2) Oui : substance détectée dans les sols
Antimoine					110	*20*	NR		1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Arsenic	-- (3)		--	I / A	38	*1-25*	NR	*0,0066*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Cadmium	--		+/-	I / B1	0.72	*0.05-0.45*	NR	*0,005*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence

	CARACTERISTIQUES DES POLLUANTS				CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX ET VALEURS GUIDES				SELECTION ET ARGUMENTAIRE
	Physico-chimie			Toxicité	C max mesurée dans les sols / sols de surface	*Valeur de référence dans les sols (2)*	C max mesurée dans l'air des sols	*Valeur de référence dans l'air (2)*	
	Volatilité	Volatilité	Solubilité	Classes de cancérogénicité (1)	mg/kg MS	Mg/kg MS	µg/m3	µg/m3	voie d'exposition unique : 1) Inhalation de gaz 2) Voies directes (scénario 1 uniquement)
Chrome III	--		-	Cr III: 3 / D Cr VI : I / B1	100	*10-90*	NR	-	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Cuivre	--		++	3 / D	481	*2-20*	NR	-	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Etain					300	*20*	NR		1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Manganèse					1770	*112*	NR		1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Mercure	- à +		-- à ++	2B à 3/ C à D	5.1	*0.02-0.2*	ND	*1*	1) Non : substance non détectée sur les gaz du sol 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Molybdène					6.8	*10*	NR		1) Non : substance non volatile 2) Non : substance détectée dans les sols à des concentrations inférieures à la valeur de référence
Nickel	-			A / B2	70	*2-60*	NR	*0,025*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Plomb	--		+	2B / B2	590	*9-50*	NR	*0,25*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Vanadium					160	*370*	NR	-	1) Non : substance non volatile 2) Non : substance détectée dans les sols à des concentrations inférieures à la valeur de référence

	CARACTERISTIQUES DES POLLUANTS				CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX ET VALEURS GUIDES				SELECTION ET ARGUMENTAIRE
	Physico-chimie			Toxicité	C max mesurée dans les sols / sols de surface	*Valeur de référence dans les sols (2)*	C max mesurée dans l'air des sols	*Valeur de référence dans l'air (2)*	
	Volatilité	Volatilité	Solubilité	Classes de cancérogénicité (1)	mg/kg MS	Mg/kg MS	µg/m3	µg/m3	voie d'exposition unique : 1) Inhalation de gaz 2) Voies directes (scénario 1 uniquement)
Zinc	--		+	Non classé	580	*10-100*	NR	-	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Cyanures	-				0.3		NR		1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols de surface
Formaldéhydes					0.3		3.8		1) Oui : substance volatile détectée dans les sols 2) Oui : substance détectée dans les sols
Crésols	-				0.016		NR		1) Oui : substance détectée dans les sols 2) Oui : substance détectée dans les sols de surface
Phénols	-				0.053		NR		1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols de surface

Choix des substances pour l'EDR – site 1c

Rappel : seules les substances détectées au moins une fois dans un des milieux investigués sont présentées dans le tableau ci-dessous.

	CARACTERISTIQUES DES POLLUANTS				CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX ET VALEURS GUIDES		SELECTION ET ARGUMENTAIRE
	Physico-chimie			Toxicité	C max mesurée dans les sols / sols de surface	*Valeur de référence dans les sols (2)*	
	Volatilité	Volatilité	Solubilité	Classes de cancérogénicité (1)	mg/kg MS	Mg/kg MS	voie d'exposition unique : 3) Inhalation de gaz 4) Voies directes (scénario 1 uniquement)
Aliphatiques C6-C8	-		-		140	*50*	1) et 2) Non : concentration dans les sols très faible et forme peu volatile des hydrocarbures
Phénanthrène	-		-	3/D	0.27	*0.01*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols
Fluoranthène	--		--	3/D	0.36	*0.04*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols
Pyrène	-		--	3/D	0.27	*0.02*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols
Benzo(a)anthracène	--		--	2A/B2	0.25	*0.02*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols
Chrysène	--		--	3/B2	0.45	*0.04*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols
benzo(b)fluoranthène	--		--	2B/B2	0.29	*0.1*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols
benzo(k)fluoranthène	--		--	2B/B2	0.18	*0.05*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols
Benzo(a)pyrène	--		--	2A/B2	0.24	*0.002*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols
Dibenzo(a,h)anthracène	--		--	2A/B2	0.12	*0.01*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols

	CARACTERISTIQUES DES POLLUANTS				CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX ET VALEURS GUIDES		SELECTION ET ARGUMENTAIRE
	Physico-chimie			Toxicité	C max mesurée dans les sols / sols de surface	*Valeur de référence dans les sols (2)*	
	Volatilité	Volatilité	Solubilité	Classes de cancérogénicité (1)	mg/kg MS	Mg/kg MS	voie d'exposition unique : 3) Inhalation de gaz 4) Voies directes (scénario 1 uniquement)
benzo(g,h,i) pérylène	--		--	3/D	0.28	*0.07*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	--		--	2B/B2	0.27	*0.015*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols
Antimoine					6.4	*20*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à des concentrations inférieures à la valeur de référence
Arsenic	-- (3)		--	I / A	29	*1-25*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Cadmium	--		+/-	I / B1	0.15	*0.05-0.45*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à des concentrations inférieures à la valeur de référence
Chrome III	--		-	Cr III: 3 / D Cr VI : I / B1	39	*10-90*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à des concentrations inférieures à la valeur de référence
Cuivre	--		++	3 / D	160	*2-20*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Etain					34	*20*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Manganèse					1200	*112*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Mercure	- à +		-- à ++	2B à 3/ C à D	0.1	*0.02-0.2*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à des concentrations inférieures à la valeur de référence
Molybdène					2	*10*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à des concentrations inférieures à la valeur de référence
Nickel	-			A / B2	23	*2-60*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à des concentrations inférieures à la valeur de référence

	CARACTERISTIQUES DES POLLUANTS				CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX ET VALEURS GUIDES		SELECTION ET ARGUMENTAIRE
	Physico-chimie			Toxicité	C max mesurée dans les sols / sols de surface	*Valeur de référence dans les sols (2)*	
	Volatilité	Volatilité	Solubilité	Classes de cancérogénicité (1)	mg/kg MS	Mg/kg MS	voie d'exposition unique : 3) Inhalation de gaz 4) Voies directes (scénario 1 uniquement)
Plomb	--		+	2B / B2	140	*9-50*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Vanadium					68	*370*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à des concentrations inférieures à la valeur de référence
Zinc	--		+	Non classé	150	*10-100*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence

Choix des substances pour l'EDR – site 2

Rappel : seules les substances détectées au moins une fois dans un des milieux investigués sont présentées dans le tableau ci-dessous.

	CARACTERISTIQUES DES POLLUANTS				CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX ET VALEURS GUIDES		SELECTION ET ARGUMENTAIRE
	Physico-chimie			Toxicité	C max mesurée dans les sols / sols de surface	*Valeur de référence dans les sols (2)*	
	Volatilité	Volatilité	Solubilité	Classes de cancérogénicité (1)	mg/kg MS	Mg/kg MS	voie d'exposition unique : 5) Inhalation de gaz 6) Voies directes (scénario 1 uniquement)
Hydrocarbures	-		-		7	*50*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à une concentration inférieure à la valeur de référence
Phénanthrène	-		-	3/D	0.02	*0.01*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols
Pyrène	-		--	3/D	0.016	*0.02*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à une concentration inférieure à la valeur de référence
Benzo(a)anthracène	--		--	2A/B2	0.014	*0.02*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à une concentration inférieure à la valeur de référence
benzo(b)fluoranthène	--		--	2B/B2	0.012	*0.1*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à une concentration inférieure à la valeur de référence
benzo(k)fluoranthène	--		--	2B/B2	0.015	*0.05*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à une concentration inférieure à la valeur de référence
Arsenic	-- (3)		--	I / A	14	*1-25*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à une concentration inférieure à la valeur de référence
Chrome III	--		-	Cr III: 3 / D Cr VI : I / B1	29	*10-90*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à une concentration inférieure à la valeur de référence
Cuivre	--		++	3 / D	55	*2-20*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence
Manganèse					670	*112*	1) Non : substance non volatile 2) Oui : substance détectée dans les sols à des concentrations supérieures à la valeur de référence

	CARACTERISTIQUES DES POLLUANTS				CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX ET VALEURS GUIDES		SELECTION ET ARGUMENTAIRE
	Physico-chimie			Toxicité	C max mesurée dans les sols / sols de surface	*Valeur de référence dans les sols (2)*	
	Volatilité	Volatilité	Solubilité	Classes de cancérogénicité (1)	mg/kg MS	Mg/kg MS	voie d'exposition unique : 5) Inhalation de gaz 6) Voies directes (scénario 1 uniquement)
Nickel	-			A / B2	21	*2-60*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à une concentration inférieure à la valeur de référence
Plomb	--		+	2B / B2	14	*9-50*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à une concentration inférieure à la valeur de référence
Vanadium					38	*370*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à une concentration inférieure à la valeur de référence
Zinc	--		+	Non classé	65	*10-100*	1) et 2) Non : substance détectée dans les sols à une concentration inférieure à la valeur de référence

Légende : Volatilité :
++ :Pv>10 000PA
+ : 10 000 Pa >Pv> 100 Pa
- : 100 Pa >Pv> 1Pa
-- : Pv <1 Pa ou non déterminée

Solubilité :
++ : S>1000 mg/l
+ : 1000>S>100
- : 100>S>1
-- : S<1

Nd : non détecté Nr : non recherché
(1) cancérogénicité de l'UE, de l'IARC et l'US-EPA (voir annexe 8)
(2) définition des valeurs de référence voir paragraphe 3.1
(3) pour les formes présentes dans les conditions normales d'oxydo-réduction
(4) valeur définie pour la somme de 4 HAP

- Annexe 7 -
Toxicologie et physico-chimie des substances retenues

Cette annexe contient 90 pages

REx00862-03/AX.00222/CExZ060043	
VL / RHE / YRa	
18/10/07	Annexes

1 APPROCHE METHODOLOGIQUE 2
A) Identification des dangers 2
B) Types d'effets distingués 2
C) Relations dose-effet (dose-réponse) 5
D) Dérivation voie à voie des VTR 6
E) Critères de choix des VTR 8
F) Organismes consultés pour la recherche de VTR 9
G) Symboles et phrases de risques 10
2 SUBSTANCES 11
LES HYDROCARBURES (APPROCHE DU TPHCWG ET MADEP) 11
HAM - HYDROCARBURES MONOAROMATIQUES 19
Benzène 19
Xylènes 23
HAP – HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYLCIQUES 26
Benzo-a-pyrene (Cas n°50-32-8) 31
Naphtalène (Cas n°91-20-3) 33
Facteur d'équivalent toxique des HAP (TEF) 33
Valeurs toxicologiques de référence retenues 37
METAUX ET METALLOÏDES 41
Antimoine (Sb) 41
Arsenic 44
Cadmium 48
Chrome 52
Cuivre 57
Etain (Sn) 60
Manganèse (Mn) 62
Mercure 64
Nickel 68
Plomb 72
Zinc 77
3 AUTRES SUBSTANCES 80
COV – COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS 80
Cresols 80
Formaldéhyde (CAS n°50-00-0) 82
Phenol 86
Trimethylbenzènes 89

1 Approche méthodologique

A) Identification des dangers

En termes sanitaires, un danger désigne tout effet toxique, c'est-à-dire un dysfonctionnement cellulaire ou organique lié à l'interaction entre un organisme vivant et un agent chimique, physique ou biologique. La toxicité d'un composé dépend de la durée et de la voie d'exposition de l'organisme humain.

Tous les modes d'exposition seront traités en **effets chroniques,** correspondant à de longues durées d'exposition (supérieures à 7 ans pour l'US-EPA et supérieures à 1 an pour l'ATSDR).

B) Types d'effets distingués

Par chaque substance, différents effets toxiques peuvent être considérés. On distinguera dans le présent document les effets cancérigènes (apparition de tumeurs), les effets mutagènes (ou tératogènes consistant à la modification de l'ADN en particulier), les effets sur la reproduction (reprotoxicité) des autres effets toxiques.

Différents organismes internationaux (l'OMS, l'Union Européenne et l'US-EPA) ont classés les effets suscités en catégories ou classes. Celles-ci sont présentées en page suivante. Seule la classification de l'Union Européene a un caractère réglementaire. C'est également la seule qui classe les substances chimiques quant-à leur caractère mutagène et reprotoxique.

Les phrases de risques des substances sont présentées en préambule ainsi que les symboles (T, F, Xn, Xi, N) qui les représentent. Ces phrases de risques sont liées au classement établi par l'Union Européenne. Le classement établi au sein de l'Union Européenne (ECB) par confrontation des avis d'experts, de tous les pays membres, a une portée beaucoup plus générale que les fiches de sécurité, qui reprennent seulement ces classements pour définir les conditions de sécurité sur les lieux de travail.

Classification en terme de cancérogénicité

UE	US-EPA	CIRC
Carc.1 : Substance que l'on sait être **cancérigène** pour l'homme. (R45 ou R49)	**A** : Preuves suffisantes chez l'homme	**1** : Preuves suffisantes chez l'homme
Carc.2 : Substance devant être **assimilée à des substances cancérogènes** pour l'homme. (R45 ou R49)	**B1** : Preuves limitées chez l'homme **B2** : Preuves non adéquates chez l'homme et preuves suffisantes chez l'animal	**2A** : Preuves limitées chez l'homme et preuves suffisantes chez l'animal
Carc.2 : Substance devant être **assimilée à des substances cancérogènes** pour l'homme.	**C** : Preuves inadéquates chez l'homme et preuves limitées chez l'animal	**2B** : Preuves limitées chez l'homme et absence de preuves suffisantes chez l'animal
Carc.3 : **Substance préoccupante** pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles (R40)	**D** : Preuves insuffisantes chez l'homme et l'animal	**3** : Preuves insuffisantes chez l'homme et insuffisantes ou limitées chez l'animal
	E : Indications d'absence de cancérogénicité chez l'homme et chez l'animal	**4** : Probablement non cancérogène chez l'homme - Indications d'absence de cancérogénicité chez l'homme et chez l'animal

Classification en terme de mutagénicité

UE
Muta.1 Substances que l'on sait être **mutagènes** pour l'homme. L'introduction de la substance dans la catégorie 1, repose sur des études épidémiologiques qui établissent l'existence d'une relation de cause à effet entre l'exposition de l'homme à de telles substances et les défauts génétiques héréditaires. (R46 : peut causer des altérations génétiques héréditaires)
Muta.2 Substances devant être **assimilées à des substances mutagènes** pour l'homme. On dispose de suffisamment d'éléments pour justifier une forte présomption que l'exposition de l'homme à de telles substances peut entraîner des défauts génétiques héréditaires. Cette présomption est en général fondée sur : les études appropriées sur l'animal ; d'autres informations appropriées. (R46 : peut causer des altérations génétiques héréditaires)
Muta. 3 Substances **préoccupantes pour l'homme en raison d'effets mutagènes** possibles. Des études appropriées de mutagènocité ont fourni des éléments, mais ils sont insuffisants pour classer ces substances dans la deuxième catégorie. (R68 : possibilité d'effets irréversibles)

Classification en terme d'effets reprotoxiques

La toxicité pour la reproduction comprend l'altération des fonctions ou de la capacité de reproduction chez l'homme ou la femme et l'induction d'effets néfastes non héréditaires sur la descendance.

Les effets sur la fertilité masculine ou féminine recouvrent les effets néfastes sur :

- sur la libido,
- le comportement sexuel,
- les différents aspects de la spermatogenèse ou de l'oogénèse,
- l'activité hormonale ou la réponse physiologique qui perturberaient la fécondation
- la fécondation elle même ou le développement de l'ovule fécondé.

La toxicité pour le développement est considérée dans son sens le plus large, perturbant le développement normal aussi bien avant qu'après la naissance.

Les produits chimiques les plus préoccupants sont ceux qui sont toxiques pour la reproduction à des niveaux d'exposition qui ne donnent pas d'autres signes de toxicité.

UE
Repro.1 substances **altérant la fertilité** ou causant des **effets toxiques sur le développement** dans l'espèce humaine. La classification de substance dans la première catégorie repose sur des données épidémiologiques. On dispose de suffisamment d'éléments pour établir l'existence d'une relation de cause à effet entre l'exposition de l'homme à la substance et une altération de la fertilité, ou des effets toxiques ultérieurs sur le développement. (R60 : peut altérer la fertilité et R61 : risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant)
Repro.2 Substances **devant être assimilées** à des substances altérant la fertilité ou causant des effets toxiques sur le développement dans l'espèce humaine. On dispose de suffisamment d'éléments pour justifier une forte présomption : la nette mise en évidence dans des études sur l'animal, d'une altération de la fertilité ou d'effets sur le développement soit en absence d'effets toxiques, soit à des niveaux de doses proches des doses toxiques, mais qui n'est pas un effet non spécifique secondaire aux effets toxiques. d'autres informations pertinentes. (R60 : peut altérer la fertilité et R61 : risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant)
Repro.3 Substances **préoccupantes** pour la fertilité dans l'espèce humaine ou préoccupantes en raison d'effet toxiques possibles sur le développement, La classification de substance dans la troisième catégorie s'efectue au vue : de résultats d'études appropriées sur l'animal fournissent suffisamment d'éléments pour entraîner une forte suspicion, les preuves étant toutefois insuffisantes pour classer la substance dans la deuxième catégorie, d'autres informations pertinentes. (R62 : rique possible d'altération de la fertilité et R63 : risque possible pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant)

C) Relations dose-effet (dose-réponse)

La dose est la quantité d'agent dangereux mise en contact avec un organisme vivant. Elle s'exprime généralement en milligramme par kilo de poids corporel et par jour (mg/kg/j).

La relation entre une dose et son effet est représentée par une grandeur numérique appelée Valeur Toxicologique de Référence (VTR). Etablies par diverses instances internationales ou nationales[1] sur l'analyse des connaissances toxicologiques animales et épidémiologiques, ces VTR sont une appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques établissant une relation quantitative entre une dose et un effet (toxiques à seuil de dose) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxiques sans seuil de dose).

Selon les mécanismes toxicologiques en jeu et pour des expositions chroniques, deux grands types d'effets sanitaires peuvent être distingués : **les effets à seuil** de dose (effets non cancérogènes et effets cancérogènes à seuil[2] et **les effets sans seuil** de dose (substances cancérogènes génotoxiques). Une même substance peut produire ces deux types d'effets.

Pour les **effets à seuil de dose**, on dispose en pratique et dans le meilleur des cas :

- d'un niveau d'exposition sans effet observé (NOEL : no observed effect level),
- d'un niveau d'exposition sans effet néfaste observé (NOAEL : no observed adverse effect level),
- d'un niveau d'exposition le plus faible ayant entraîné un effet (LOEL : lowest observed effect level),
- le niveau d'exposition le plus faible auquel un effet néfaste apparaît (LOAEL : lowest observed adverse effect level).

Ces seuils sont issus d'expérimentations animales, d'études épidémiologiques ou d'essais de toxicologie clinique. A partir de ces seuils, des DJT (dose journalière tolérable) ou des CA (concentration admissible) applicables à l'homme sont définies en divisant les seuils précédents par des facteurs de sécurité liés aux types d'expérimentations ayant permis d'obtenir ces données. Les DJT et CA sont habituellement qualifiées de « valeur toxicologiques de références » (VTR).

Les **effets sans seuil de dose** sont exprimés au travers d'un indice représentant un excès de risque unitaire (ERU) qui traduit la relation entre le niveau d'exposition chez l'homme et la probabilité de développer l'effet. Les ERU sont définis à partir d'études épidémiologiques ou animales. Les niveaux d'exposition appliqués à l'animal sont convertis en niveaux d'exposition équivalents pour l'homme.

Pour les toxiques non cancérigènes, les VTR sont exprimées en mg/kg/j pour l'ingestion et l'absorption cutanée et en µg/m^3 pour l'inhalation, avec des dénominations variables selon les pays et les organismes, les principales dénominations sont reprises ci-dessous :

- DJT (dose journalière tolérable - France)
- RfD (Reference Dose – US-EPA)
- RfC (Reference Concentration – US-EPA)

---

[1] ATSDR Toxicological Profiles (US Agency for Toxic Substances and Disease Registry)
IRIS US-EPA (Integrated Risk Information System ; US Environmental Protectin Agency)

OMS. Guidelines for drinking-water quality.

INCHEM-IPCS (International Program on Chemical Safety, OMS)

En France, le conseil supérieur d'Hygiène et de santé publique (CSHSP) et l'AFSSA pour l'alimentation peuvent également produire des VTR

[2] Cancérogènes non génotoxiques

- ADI (Acceptable Daily Intake – US-EPA)
- MRL (Minimum Reasonable Level - ATSDR)
- REL (Reference Exposure Level – OEHHA)
- TDI (Tolerable Daily Intake –RIVM)
- VG (Valeur Guide – OMS)

Pour les toxiques cancérigènes, les VTR seront présentées sous formes d'excès de risque unitaire (ERU). Cet ERU représente la probabilité de survenue d'un effet cancérigène pour une exposition à une unité de dose donnée. Les dénominations proposées les plus classiques sont les suivantes :

- l'excès de risque unitaire lié à la voie d'exposition orale : ERUo en $(mg/kg/j)^{-1}$,
- l'excès de risque unitaire par inhalation : ERUi– en $(\mu g/m^3)^{-1}$.

D) Dérivation voie à voie des VTR

Il n'existe des VTR que pour quelques centaines de substances chimiques et parmi elles, on ne dispose pas d'indice pour toutes les voies et durées d'exposition pertinentes. Pour ne pas éluder le risque lié à certaines voies d'exposition et ainsi sous évaluer le risque total, on pourra avoir recours au procédé de dérivation voie à voie des VTR. Quand les arguments toxicologiques l'autorisent et quand il existe des données utiles à la prise en compte de la biodisponibilité relative de la substance, l'analyse du risque peut être menée en transposant d'une voie à l'autre. Ce type d'extrapolation n'a bien sûr de sens que si le risque d'un effet lié à une voie d'exposition ne peut être exclu et si l'absorption par cette voie est possible.

1-Préambule

On rappelle qu'il existe une différence entre la dose administrée (qui ne prend pas en compte le passage à travers la barrière de l'organe cible – taux d'absorption) et la dose absorbée (qui elle prend en compte ce taux d'absorption).

Les VTR données dans les bases de données internationales et nationales correspondent à des doses ou concentrations administrées Généralement pour l'ingestion et l'inhalation les codes intégrés calculent des doses (ou concentrations) administrées tandis que pour le contact cutané on calcule une dose absorbée.

2-Dérivation de la voie orale à la voie inhalation

Effets toxiques non cancérigènes

A VTR orale est définie par une dose administrée VTR0 en mg/kg/j, on recherche une VTR inhalation qui constitue une concentration également administrée.

La dérivation se base sur une équivalence entre les doses absorbées seuils pour les différentes voies :

Dose absorbée par inhalation = dose absorbée par ingestion

Soit : $$V\,\mathrm{TR}\,i_{(mg/m^3)} \cdot \frac{Vresp_{(m3/j)}}{P_{(kg)}} FAi = V\,\mathrm{TR}\,o_{(mg/kg/j)} . FAo$$

Soit : $$V\,\mathrm{TR}\,i_{(mg/m^3)} = V\,\mathrm{TR}\,o_{(mg/kg/j)} \cdot \frac{P_{(kg)}}{Vresp_{(m3/j)}} \frac{FAo}{FAi}$$

Effets cancérigènes

L'excès de risque unitaire par inhalation (correspondant à une administration) est :

$$ERUi_{(mg/m^3)^{-1}} = ERUo_{(mg/kg/j)^{-1}} \cdot \frac{Vresp_{(m3/j)}}{P_{(kg)}} \frac{FAi}{FAo}$$

3- Dérivation de la voie orale à la voie cutanée

Effets toxiques non cancérigènes

A VTR orale est définie par une dose administrée VTR0 en mg/kg/j, on recherche une VTR cutanée qui constitue une dose non pas administrée mais absorbée (ayant franchi la barrière cutanée). La dérivation se base sur une équivalence entre les doses absorbées seuils pour les différentes voies :

Dose absorbée par contact cutané = dose absorbée par ingestion

La VTR cutanée (lié à une dose réellement absorbée) est donc :

$$VTR\,c_{(mg/kg/j)} = VTR\,o_{(mg/kg/j)} . FAo$$

Cette VTRc est applicable dans l'équation générique de l'IR du MEDD avec au numérateur une dose réellement absorbée.

Effets cancérigènes

L'ERU cutané (lié à une dose réellement absorbée) est donc :

$$ERUc_{(mg/kg/j)^{-1}} = ERUo_{(mg/kg/j)^{-1}} \cdot \frac{1}{FAo}$$

Cette ERUc est applicable dans l'équation générique de l'ERI du MEDD avec au numérateur une dose réellement absorbée.

4- Volumes respiratoires et poids retenus pour la dérivation voie à voie

Les volumes respiratoires moyens sont pris égaux à **20** m^3/jour pour les adultes et les enfants à partir de 7 ans en référence aux débits considérés par les organismes internationaux pour la dérivation des valeurs toxicologiques. On notera cependant que la moyenne établie pour les hommes et les femmes adultes à partir des données de CIBLEX (ADEME, 2003) sont de 25,7 m^3/jour en période active et 17.5m^3/jour en période de sommeil, pour les enfants de 7 à 12 ans, la moyenne est de 20.9 m^3/jour et de 21.4 m^3/jour pour les adolescents de 12 à 17 ans. Pour les enfants de 0 à 7 ans, le volume respiratoire considéré est de **10** m^3/jour (moyenne entre les garçons et les filles en période active à partir des données de CIBLEX).

Le poids corporel moyen d'un adulte est fixé à **60** kg pour les adultes à partir de 17 ans, **15** kg pour les enfants d'âge inférieur à 7 ans et 31 kg pour les enfants jusqu'à 12 ans. Les données ayant permis de faire ce choix sont issus de la base de donnée de CIBLEX (ADEME, 2003).

5- En l'absence de toute VTR

En derniers recours et **en absence totale de VTR dans la littérature,** l'utilisation de valeurs réglementaires en milieu professionnel (Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle : VLEP) permet toutefois une incorporation de la substance à l'étude d'impact. Ainsi, le guide méthodologique de l'INERIS (2003) autorise l'utilisation des Valeurs Moyennes d'Exposition (VME) publiées par le code du travail, des directives européennes, des valeurs TLV-TWA (Time Weighted Average) de l'ACGIH ou des valeurs allemandes MAK, en les ajustant pour la population générale et les durées d'exposition selon l'équation suivante :

$$VTR_{VLEP} = \frac{\left[(VLEP) * \left(VR_{8h} / VR_{24h} \right) * \left(JE_T / JE_D \right) * \left(DE_T / DE_D \right) \right]}{FA}$$

avec :

VTR $_{VLEP}$: Valeur Toxicologique de Référence issue des Valeurs d'Exposition Professionnelle ($mg.m^{-3}$)
VLEP : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle : INRS, ACGIH, MAK ($mg.m^{-3}$)
VR_{8h} : Volume respiratoire moyen pendant une journée de travail (10 m^3)
VR_{24h} : Volume respiratoire moyen sur 24h (20 m^3)
JE_T : Nombre de jours au travail pendant la semaine (5j)
JE_D : Nombre de jours au domicile pendant la semaine (7j)
DE_T : Nombre d'années d'exposition sur le lieu de travail (40 ans)
DE_D : Nombre d'années d'exposition possibles à l'installation (70 ans ou moins)
FA : Facteur d'ajustement pour la variabilité intra-espèce (=100)

E) Critères de choix des VTR

Pour chaque substance, les différentes VTR actuellement disponibles seront discutées.

Lorsque plusieurs valeurs toxicologiques de référence existent pour une même substance, le choix de l'une d'entre elles sera fait selon les critères suivants :

- les valeurs issues d'études chez l'homme seront privilégiées par rapport à des valeurs dérivées à partir d'études sur les animaux. Par ailleurs, la qualité de l'étude pivot sera également prise en compte (protocole, taille de l'échantillon, …),
- les valeurs représentatives issues d'organismes reconnus (européens ou autres) comme l'US-EPA (IRIS), l'OMS ou l'ATSDR seront privilégiées par rapport aux organismes comme le RIVM, l'OEHHA ou Santé Canada,
- les modes de calcul (degré de transparence dans l'établissement de la VTR) et les facteurs de sécurité appliqués constitueronnt également un critère de choix.
- lorsque aucun des critères précédents, pris de manière itérative, n'a permis de faire un choix, c'est la valeur numérique la plus conservatoire pour la santé qui sera conservée.

F) Organismes consultés pour la recherche de VTR

Les bases de données consultées pour la recherche des VTR sont les suivantes :

- **OMS** (Organisation Mondiale de la Santé – Bureau régional de l'Europe).

  Le bureau Europe de l'Organisation Mondiale de la Santé a publié en 2000 un document intitulé « Air Quality Guidelines in Europe » [WHO 2000].

- **US EPA** (United States Environmental Protection Agency – Etat Unis) dont dépend la base de données **IRIS** – Integrated Risk Information System).

- **ATSDR** (Agency for Toxic Substances and Disease Registry – Etat Unis).

Ces organismes établissent leurs propres VTR à partir d'études expérimentales ou épidémiologiques. Les valeurs issues de ces bases de Données sont des données à caractère national mais elles sont internationalement reconnues. C'est la raison pour laquelle elles seront très souvent préférentiellement choisies.

Viennent ensuite les organismes pour lesquels la transparence dans l'établissmeent des valeurs n'est pas toujours adaptée à la sélection de leur VTR :

- **OEHHA** (Office of Environmental Health Hazard Assessment of Californie – Etat Unis) qui établit également ces propres VTR. L'OEHHA se base souvent sur les mêmes études que l'US EPA mais les VTR sont souvent plus conservatoires.

- **Santé canada** (Ministère Fédéral de la Santé – Canada),

- **RIVM** (RijksInstituut voor Volksgezondheid en Milieu – Institut National de Santé Publique et de l'Environnement – Pays Bas),

Ces trois organismes établissent également leurs propres valeurs. Malgré le caractère national de ces valeurs, elles seront prises en compte selon les critères de choix préalablement cités.

Les recueils de données sont consultés par ailleurs car ils regroupent les VTR des différents organismes cités ci-avant. Ce sont :

- **TERA** (toxicology excellence for risk assessment), base de donnée **de ITER** (International Toxicity Estimates for Risk Database), établit une sytnhèse des données toxicologiques issues des autres bases de données.

- **INERIS** (Institut National de l'Environnement Industriel et des risques - France), établit des fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques qui synthétisent notamment l'ensemble des données toxicologiques issues des autres bases de données - à l'heure actuelle ce proggramme contient une cinquantaine de fiches mais l'INERIS ne préconise aucun choix en terme de VTR.

- **IPCS INCHEM** (International Programme on Chemical Safety) : Portail d'accès à de nombreux sites dont le **CIRC** (Centre International de Recherche sur de Cancer), le **JEFCA** (Joint Expert Committee on Food Additives) et autres instances internationales.

Le recueil de donnée **RAIS** (Risk Assessment Information System – Etat Unis) reprenant les valeurs des autres organismes américains, en particulier du **NTP** (National Toxicology Program) et de **IRIS** de l'US EPA, n'est pas considéré compte tenu de l'absence de toute transparence dans les valeurs affichées.

G) Symboles et phrases de risques

Phrase	Description
R1 (1)	Explosif à l'état sec
R2 (1)	Risque d'explosion par le choc, la friction, le feu ou d'autres sources d'ignition
R3 (1)	Grand risque d'explosion par le choc, la friction, le feu ou d'autres sources d'ignition
R4 (1)	Forme des composés métalliques explosifs très sensibles
R5 (1)	Danger d'explosion sous l'action de chaleur
R6 (1)	Danger d'explosion en contact ou sans contact avec l'air
R7 (1)	Peut provoquer un incendie
R8 (1)	Favorise l'inflammation des matières combustibles
R9 (1)	Peut exploser en mélange avec des matières combustibles
R10 (1)	Inflammable
R11 (1)	Très inflammable
R12 (1)	Extrêmement inflammable
R13 (1)	Gaz liquéfié extrêmement inflammable
R14 (1)	Réagit violemment au contact de l'eau
R15 (1)	Au contact de l'eau dégage des gaz très inflammables
R16 (1)	Peut exploser en mélange avec des matières combustibles
R17 (1)	Spontanément inflammable à l'air
R18 (1)	Lors de l'utilisation, formation possible de mélange vapeur - air - inflammable / explosif
R19 (1)	Peut former des péroxydes explosifs
R20 (2)	Nocif pour l'inhalation
R21 (2)	Nocif par le contact avec la peau
R22 (2)	Nocif en cas d'ingestion
R23 (2)	Toxique par inhalation
R24 (2)	Toxique par le contact avec la peau
R25 (2)	Toxique par ingestion
R26 (2)	Très toxique par inhalation
R27 (2)	Très toxique par le contact avec la peau
R28 (2)	Très toxique en cas d'ingestion
R29	Au contact de l'eau, dégage des gaz toxiques
R30 (1)	Peut devenir inflammable pendant l'utilisation
R31	Au contact d'un acide, dégage un gaz toxique
R32	Au contact d'un acide, dégage un gaz très toxique
R33 (2)	Danger d'effets cumulatifs
R34	Provoque des brûlures
R35	Provoque de graves brûlures
R36 (2)	Irritant pour les yeux
R37 (2)	Irritant pour les voies respiratoires
R38 (2)	Irritant pour la peau
R39 (2)	Danger d'effets irréversibles très graves
R40 (2)	Possibilité d'effets irréversibles
R41 (2)	Risques de lésions oculaires graves
R42 (2)	Peut entraîner une sensibilisation par inhalation
R43 (2)	Peut entraîner une sensibilisation par le contact avec la peau
R44	Risque d'explosion si chauffé en ambiance confinée
R45 (2)	Peut causer le cancer
R46 (2)	Peut causer des altérations génétiques héréditaires
R47	Peut causer des malformations congénitales *(Supprimée)*
R48 (2,3)	Risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée
R49 (2)	Peut causer le cancer par inhalation
R50 (4)	Très toxique pour les organismes aquatiques

Phrase	Description
R51 (4)	Toxique pour les organismes aquatiques
R52 (4)	Nocif pour les organismes aquatiques
R53 (4)	Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique
R54 (4)	Toxique pour la flore
R55 (4)	Toxique pour la faune
R56 (4)	Toxique pour les organismes du sol
R57 (4)	Toxique pour les abeilles
R58 (4)	Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement
R59 (4)	Dangereux pour la couche d'ozone
R60 (2)	Peut altérer la fertilité
R61 (2)	Risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant
R62 (2)	Risque d'altération de la fertilité
R63 (2)	Risque possible pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant
R64 (2)	Risque possible pour les bébés nourris au lait maternel
R65	Peut provoquer une atteinte du poumon en cas d'ingestion
R66 (2)	Exposition répétée pouvant provoquer dessèchement et gerçures
R67	Inhalation de vapeurs pouvant provoquer somnolence et vertiges

2 Substances

LES HYDROCARBURES (APPROCHE DU TPHCWG ET MADEP)

A) Propriétés intrinsèques

Le terme « hydrocarbures » constitue un nom générique pour rendre compte de nombreux mélanges de susbstances présentant des chaines carbone-hydrogène. Les mélanges tels que les essences, fioul, huiles, etc. sont composés de plusieurs hydrocarbures en proportions différentes ; les propriétés physico-chimiques et toxicologiques de ces mélanges dépendent ainsi des proportions dans le mélange considéré.

Les hydrocarbures sont des liquides visqueux souvent odorants qui peuvent migrer dans les différents compartiements du système écologique. Le seuil olfactif dépend également de la composition des hydrocarbures, pour les solvants (de type white spirit à partir de C8), il est de l'ordre du ppm (INRS, fiche toxicologique FT94), soit entre 4 et 8 mg/m^3. Pour l'hexane, l'heptane, etc (hydrocarbures aliphatiques inférieurs à C8), le seuil olfactif est plus élevé : de l'ordre de 150 ppm (INRS) soit l'ordre de 600 mg/m^3.

Dans le cas d'une pollution complexe par des hydrocarbures les risques sanitaires non cancérigènes potentiellement induits peuvent être traités de deux manières :

- soit par substance (par exemple le méthane, les BTEX, etc.) mais les composés présents dans la famille de produits que constitue les hydrocarbures (avec des nombre de carbones allant de 6 à plus de 40) ne peuvent tous être analysés, les identifications de danger ne sont pas toutes étudiées ;
- soit en appliquant la méthode du TPHCWG[3] qui considère que les produits de nature chimique proche (aliphatiques ou aromatiques) ayant les mêmes températures d'ébullition se comporteront de manière similaire. Cette méthode permet de traiter conjointement des ensembles de composés et non chaque produit pris séparément.

Les familles de produits sont définies (6 familles pour les aliphatiques et 7 pour les aromatiques – dont le benzène et le toluène pris séparément). Pour chacune d'elle le TPHCWG a établi des caractéristiques physico-chimiques (une solubilité, une constante de Henry, etc.) et des valeurs toxicologiques pour les voies orale et inhalation.

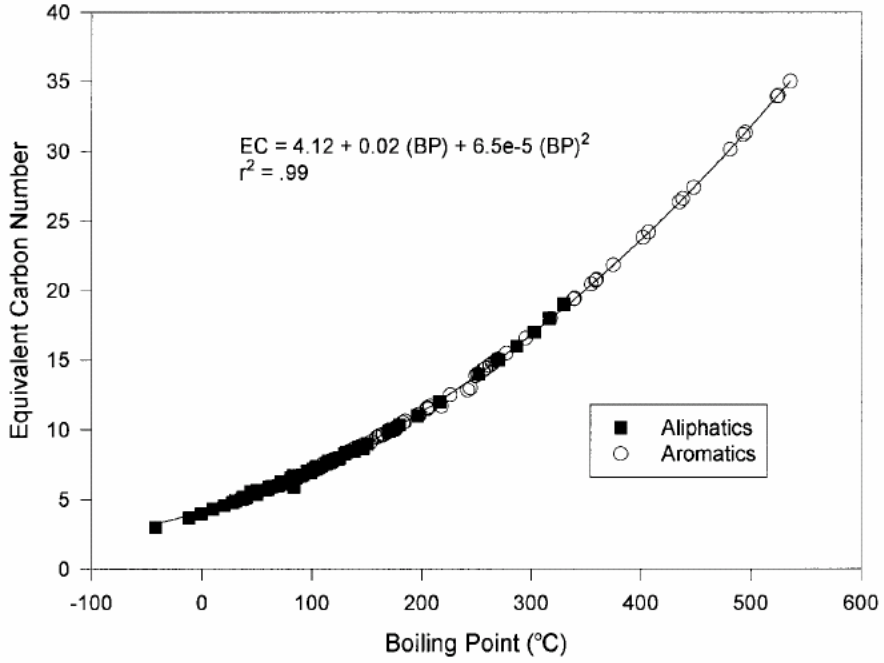
Caractéristiques des classes d'hydrocarbures du TPHCWG

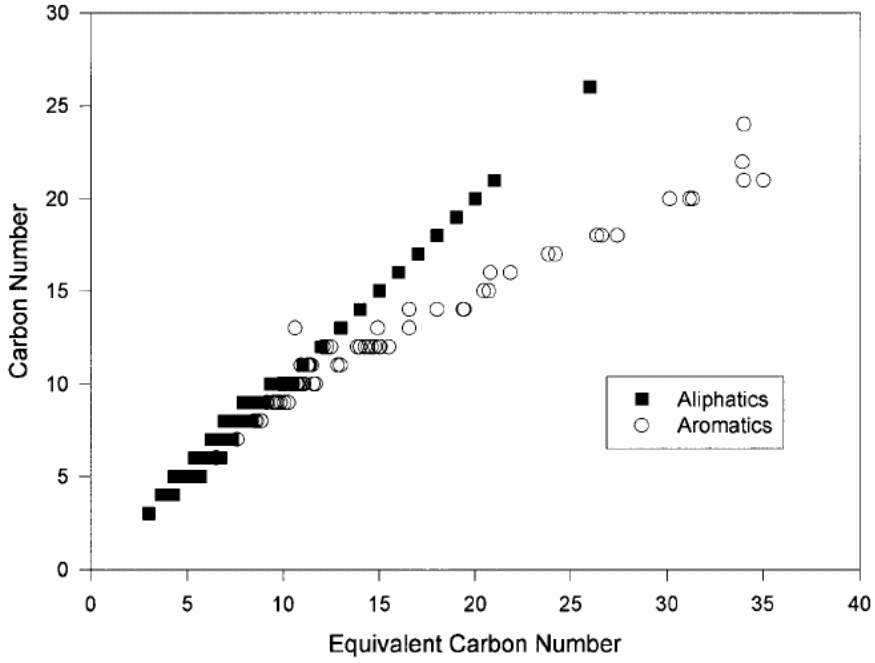
Les classes d'hydrocarbures sont définies à partir du nombre de carbones équivalents « nC » des substances considérées. Le tableau ci-dessous présente une synthèse non exhaustive des substances prises en compte dans chaque fraction (volume 3 du TPHWG).

Les deux figures ci-après donnent la méthode de calcul du nombre de carbone équivalent (en référence à la température d'ébullition de la substance) et la corrélation entre nombre de carbones (C) et nombre de carbone équivalent (EC). Par la suite BURGEAP utilise l'abbréviation « nC » a la place de « EC ».

Le tableau donné à la suite reprend pour les différentes classes définies par le TPHCWG les principales substances contenues dans ces classes.

[3] Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group


EC = 4.12 + 0.02 (BP) + 6.5e-5 (BP)2
r2 = .99
Aliphatics
Aromatics
Equivalent Carbon Number
Boiling Point (°C)


Aliphatics
Aromatics
Carbon Number
Equivalent Carbon Number

Classes définies par le TPHCWG en nombre de carbone equivalent	Substances associées aux classes définies (C= nombre de carbone; nC= nombre de carbone équivalent)
Aliphatic nC5-nC6	n-pentane (C= 5; nC=5), n-hexane (C=6 ; nC=6), penten , methyl-butane
Aliphatic nC6-nC8	N-heptane, n-octane, hexen, heptene, methyl-butane, methyl-pentane, methyl-hexane, methyl-heptane,
Aliphatic nC8-nC10	N_nonane, n-decane, octene, nonene, decene, methyl-hexane, methyl-heptane,ethyl-heptane, ethyl-heptane, merthyl-octane, methyl-nonane
Aliphatic nC10-nC12	n-undenane, n-docecane,
Aliphatic nC12-nC16	n-tridecane, jqa n-hexadecane
Aliphatic nC16-nC35	Heptan, nona, octa-decane, eicosane, hen et hex- eicosane,
Aliphatic >nC35	Non définis
Aromatic nC5-nC7 benzène	Benzène (C= 6; nC=6.5)
Aromatic nC7-nC8 toluène	Toluène (C= 7; nC=7.58)
Aromatic nC8-nC10	Ethylbenzène (C= 8; nC=8.5), xylènes (C= 8; nC=8.6 à 8.8), isopropyl-benzène (C= 9; nC=9.13), qq méthyl- et 1.3.5 triméthyl-benzène (C=9 ; nC=9.5 à 9.8), qq butyl-benzènes (C=10 ; nC=9.8 à 9.9)
Aromatic nC10-nC12	Naphtalène (C= 10; nC=11.7), methyl-lindan (C= 11; nC=11.3), Indan (C=9 ; nC=10.3) 1.2.3Trimethyl-benzène (C=9 ; nC=10.1), Methyl-propyl-benzène (C=10 ; nC=10.1), Diethyl-benzène (C= 10; nC=10.4), Dimethyl-ethyl-benzène (C= 10; nC=10.5 à 10.9), methyl-butyl-benzène (C= 11; nC=10.9), tretramethyl-benzène (C= 10; nC=11.1à 11.6), n-pentyl-benzène (C=11 ; nC=11.5)
Aromatic nC12-nC16	Methyl-naphtalène (C= 11; nC=12.9), Ethyl-naphtalène (C=12 ; nC=14 à 14.4), Dimethylnaphtalène (C=12 ; nC=13 à15) Acenaphtylène (C=12 ; nC=15.1), Acénaphtène (C=12 ; nC=15.5) Triethyl-benzène (C= 12; nC=12.1 à 12.3), n-hexyl-benzène (C= 12; nC=12.5), Biphenyl (C= 12; nC=14.3), Methyl-biphenyl (C=13 ; nC=14.9),
Aromatic nC16-nC21	Fluorene(C= 13; nC=16.55), Phenantrene(C=14 ; nC=19.4), Anthracene(C= 14; nC=19.4), methyl-fluorene(C= 14; nC=18), Methyl-anthracene(C= 15; nC=20.5), methyl-phenantrene (C= 15; nC=20.7), Pyrene(C=16 ; nC=20.8),
Aromatic nC21-nC35	Fluoranthene (C=16 ; nC=21.9), BenzoFluorene (C= 17; nC=24), Benzo(a)Anthracene (C=18 ; nC=26.4), Chrysene (C= 18; nC=27.4), Benzo(b)Fluornathène (C= 20; nC=30.1), Benzo(k)Fluoranthène (C= 20; nC=30.1), Perylene (C= 20; nC=31.3), BaP (C= 20; nC=31.3), Indeno(1,2,3,cd)pyrene (C=21; nC=35), B(ghi)P (C= 21; nC=34), Dibenz-anthracene (C= 22; nC=34),

Les caratéristiques physicochimiques définies par le TPHWCG sont propres à chacune des classes prédéfinies.

Voies d'exposition et absorption
Les voies d'exposition principales varient en fonction de la classe d'hydrocarbures considérée. En effet, pour les plus volatils, la voie principale est l'inhalation, tandis que pour les familles d'hydrocarbures à nombre de carbone supérieur à 16, la voie principale d'exposition est l'ingestion et le contact cutané.

Les taux d'absorption ne sont pas connus par classes d'hydrocarbures, nous considérerons que le taux d'absorption par voie orale est de 100% et de 10% par voie cutanée (en référence à la base de donnée de RISC 4.0). On notera cependant que le MADEP fournit des taux pour le contact cutané en fonction des classes qui varient de 10% à 100%.

B) Concentrations dans l'environnement et valeurs guides

Concentrations dans l'environnement
Les données actuelles ne permettent pas d'établir de concentrations ubiquitaires dans l'air, les eaux, les sols et sédiments.

Le potentiel de bioaccumulation des différentes classes d'hydrocarbures dans les organismes aquatiques est variable, plus le nombre de carbone est important, plus le coefficient de partage octanol-eau est important et donc plus la substance a tendance a se bioaccumuler dans l'organisme.

Valeurs guides
Il n'existe pas de valeur guide pour les eaux de boisson en France ou en Europe (décret 21-12-2001 et water quality guidelines, 2004). Dans le précédent décret français (décret 89-3), la concentration admissible dans les eaux de boisson en France était de 10 µg/l.
Dans les sols et l'air, on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

C) Profil toxicologique

Classement
Les symboles classant les hydrocarbures de type white spirit, essences spéciales, solvants aromatiques légers, pétroles lampants (kérosène) dans les fiches INRS respectives FT94, FT96, FT106 et FT140 sont Xn (nocif) et F pour les essences (facilement inflammable).
Les phrases de risque[4] qui les représentent sont tout type d'hydrocarbures confondu :

- R10/11, R65
- S23, S24, S62

Effets Mutagènes ; Effets sur la reproduction ; Effets cancérigènes
Pour les white spirit (FT 94), plusieurs études chez l'homme mettent en évidence des cas de cancer (tout cancers confondus) et des effets sur la reproduction, cependant, dans aucune de ces études il n'est possible de faire la relation directe entre l'exposition aux white spirit seuls et les effets observés.
Pour les essences spéciales, la génotoxicité et les effets sur la reproduction ont été peu testés, les résultats disponibles ne montrent pas ce type d'effet (FT 96).
Concernant les solvants aromatiques, des effets sur la reproduction (en particulier une foetotoxicité, et des effets sur le développement) ont été notés sur les animaux. Chez les femmes exposées dans l'industrie du caoutchouc, des troubles du cycle et une augmentation des nombres de fausses couches ont été notés.

[4] La définition de ces phrases de risques est donnée dans le chapitre général méthodologique (chapitre 1)

Par ailleurs, l'INRS précise que l'exposition de travailleurs à des solvants aromatiques chez les sujets exposés plus de 20 ans a montré une augmentation significative de cancer du poumon et de la prostate, mais la relation entre les substances incriminées et les cas de cancer n'a pu être réalisée.
Sur les animaux (rats et souris), des cancers de la peau ont été mis en évidence lors d'exposition à des hydrocarbures de type kérosène.

Autres effets toxiques

Différents types d'effets sur l'homme plus ou moins réversibles sont notés pour les différents hydrocarbures. Il s'agit d'irritation oculaire, cutanée, respiratoire mais aussi des symptômes de type céphalées, nausées, perte d'appétit, etc. et des effets neurologiques.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.
Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (TPHCWG, MADEP).

On notera que le TPCWG est constitué de représentant de divers horizons (militaires, industries du gaz et du pétrole, des agences de régulations et des agences des différents états des USA. L'approche est proposée pour l'ensemble des états des USA. Le MADEP (departement de protection de l'environnement du Massachusetts) présente quant à lui des valeurs guides pour son état.

Valeurs toxicologiques du TPHCWG

TPHCWG'risk assessment methodology a établi des valeurs toxicologiques de équivalentes (RfD et RfC) pour le familles de produits précédemment cités. Celles-ci sont présentées dans le tableau ci-dessous qui reprend par ailleurs les liens entre les valeurs toxicologiques équivalentes et celles propres aux différentes substances choisies pour représenter la classe entière.

TPHCWG	RfD équivalente (1997)	*Substance de la classe ayant cette VTR*	RfC équivalente (1997)	*Substance de la classe ayant cette VTR*	Effets
Aliphatic nC5-nC6	**5 mg/kg/j** (SF = 1000)	*Hexane commrecial (dérivé de RfC)*	**18.4 mg/m3** (SF : 100)	*Hexane commercial*	neurotoxique
Aliphatic nC6-nC8					
Aliphatic nC8-nC10	**0.1 mg/kg/j** (SF = 1000)	*C10-C13*	**1 mg/m3** (SF = 1000)	*White spirit desaromatisé C7-C11, isoparaffines C10-C11 et Fuel JP-8*	Hepatoxique et neurotoxique
Aliphatic nC10-nC12					
Aliphatic nC12-nC16					
Aliphatic nC16-nC35	**2 mg/kg/j** (SF =100)	*huiles*	Non volatil	Non volatil	Tumeurs hepatiques
Aliphatic >nC35	**20 mg/kg/j** (SF =100)	*huiles*	Non volatil	Non volatil	Tumeurs hepatiques
Aromatic nC5-nC7	*Classe correspondant au benzène a prendre en tant que tel*				
Aromatic nC7-nC8	**0.2 mg/kg/j** (SF = 1000)	*styrène*	**0.4 mg/m3** (SF = 300)	*Toluène*	Hepa et nephrotoxiques
Aromatic nC8-nC10	**0.04 mg/kg/j** (SF = 10000)	*Isopropylbenzene, naphtalène, fluoranthene, fluorene*	**0.2 mg/m3** (SF = 1000)	*C9-aromatiques*	Diminution du poids
Aromatic nC10-nC12					
Aromatic nC12-nC16					
Aromatic nC16-nC21	**0.03 mg/kg/j** (SF = 3000)	*pyrene*	Non volatil	Non volatil	nephrotoxiques
Aromatic nC21-nC35					

SF : facteur de sécurité appliqué aux NOAEL ou autre valeurs pour établissement de la VTR sélectionnée

Valeurs toxicologiques du MADEP

Le département of environmental protection (DEP) de l'état du Massachusetts (MA) a établi des valeurs toxicologiques de références pour des classes d'hydrocarbures de la même manière que le TPHCWG, les premières valeurs établies en 1994 ont été revues en octobre 2003 et sont présentés dans le document "*Updated Petroleum Hydrocarbon Fraction Toxicity Values for the VPH/EPH/APH Methodology*" (October, 2003).
Le MADEP établi une distinction entre les fractions volatiles (VPH) and extractibles (EPH). Cette distinction n'est pas reprise ici.

Par ailleurs, on note que, à la différence du TPHCWG, le MADEP considère des fractions par nombre de carbone dans les molécules « C » et non les nombres de carbones équivalents « nC » du TPHCWG.

MADEP	RfD équivalente (2003)	*Substance de la classe ayant cette VTR*	RfC équivalente (2003)	*Substance de la classe ayant cette VTR*	Effets
Aliphatic C5-C6	**0.04 mg/kg/j** (SF=10000)	*n-hexane*	**0.2 mg/m3** (SF= 300)	*n-hexane*	neurotoxicité
Aliphatic C6-C8					
Aliphatic C8-C10	**0.1 mg/kg/j** (SF = 1000)	*Isoparaffines, alcanes, naphtènes*	**0.2 mg/m3** (SF = 3000)	*White spirit desaromatisé C7-C11, isoparaffines C10-C11*	Cellules sanguines, liver, kidney (ing°) neurotoxique (inh°)
Aliphatic C10-C12					
Aliphatic C12-**C18**					
Aliphatic **C19-C36**	**2 mg/kg/j** (SF=100)	*huiles*	Non défini	-	Tumeurs hepatiques
Aliphatic >C36	**20 mg/kg/j** présenté mais non considéré (SF=100)	*huiles*	Non défini	-	Tumeurs hepatiques
Aromatic C5-C8	*Faire référence aux BTEX*				
Aromatic **C9-C10**	**0.03 mg/kg/j** (SF = 3000)	*Pyrène (C16) ** en considérant que la valeur retenue est protectrice /rapport aux RfD des autres composés de C9 à C16*	**0.05 mg/m3** (SF=3000)	*Naphta aromatiques*	Kidney effects (ing°) CNS effect, diminution du poids, rein, développement (inh°)
Aromatic **C11**-C12					
Aromatic C12-C16					
Aromatic C16-**C22**			Non défini	-	-
Aromatic >C22	Non défini				

SF : facteur de sécurité appliqué aux NOAEL ou autre valeurs pour établissement de la VTR sélectionnée
** US EPA-Derived Oral Toxicity Values for Compounds in the C9 - C32 Aromatic Fraction
Carbon number Compounds RfD mg/kg/d : C9 isopropylbenzene 0.1 mg/kg/d ; C10 naphthalene 0.02 mg/kg/d ; C12 acenaphthene 0.06 mg/kg/d ; C12 biphenyl 0.05 mg/kg/d ; C13 fluorene 0.04 mg/kg/d ; C14 anthracene 0.3 mg/kg/d ; C16 fluoranthene 0.04 mg/kg/d ; C16 pyrene 0.03 mg/kg/d :

Les aliphatiques C5-C8

Le n-hexane est le plus nocif des hydrocarbures saturés en C_6. Les propriétés toxicologiques de l'hexane commercial peuvent ainsi varier de manière significative en fonction de sa teneur en n-hexane. Les données expérimentales publiées se réfèrent en général au n-hexane pur (pureté supérieure à 95 %) ou à des mélanges dont la teneur en n-hexane est connue. En revanche, les observations chez l'homme font souvent suite à des expositions à des mélanges commerciaux de composition mal définie.

L'hexane que l'on trouve habituellement dans l'industrie correspond à un mélange d'hydrocarbures en C_6. Le constituant principal est le plus souvent le n-hexane de formule CH_3-$(CH_2)_4$-CH_3. Sa teneur se situe alors entre 40 et 50 %, mais il existe des mélanges commerciaux à teneur en n-hexane inférieur à 5 %.

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

Les deux approches du TPHCWG et du MADEP sont différentes et complémentaires. Une des différences repose sur la prise en compte par le MADEP des nombres de carbones (C) et par le TPHCWG de nombre de carbones équivalent (nC ou EC). Par ailleurs, l'approche du TPHCWG est plus complète, basée à la fois sur les propriétés physico-chimiques et l'ensemble des données toxicologiques disponibles à l'époque (1997).

Globalement on peut conclure que l'approche du MADEP est vraisemblablement plus adaptée pour la prise en compte d'un contact direct avec des hydrocarbures et que l'approche développée par le TPHCWG est plus appropriée quand il s'agit de rendre compte d'un transfert de ces hydrocarbures vers les différents milieux (air, eaux).

Dans une approche prudence et proportionnelle, nous retiendrons les caractéristiques physico-chimiques des classes définies par le TPHCWG et les valeurs toxicologiques présentées dans le tableau suivant. Les raisons des choix y font référence aux points suivants :

1. pour l'ensemble des classes, les facteurs de sécurité appliqués aux NOAEL ou LOAEL sont parfois élevés (SF variant de 100 à 10000), nous jugeons que la prise en compte d'un facteur de 10000 rend la confiance dans la valeur affichée très faible et la valeur douteuse n'est pas retenue ;

2. pour les composés aromatiques la principale raison est le fait que les BTEX et HAP sont considérés dans les études de risques sanitaires de manière distincte (substance par substance) compte tenu de leur potentiel cancérigène non pris en compte par les deux approches ici présentées ;

3. pour les composés aromatiques à nombre de carbone équivalent supérieur à 21, compte tenu de la présence uniquement de HAP dans l'approche du TPHCWG pour lesquels les principaux effets sont cancérigènes et compte tenu du point 2. ci-dessus, nous ne retiendrons pas de VTR ;

4. l'établissement de nouvelles valeurs toxicologiques de référence par l'US-EPA en 2005.

   En 2005, l'US-EPA dans la base de données IRIS donne pour le n-hexane une RfC de 0,7 mg/m^3, cette valeur repose sur les observations d'anciennes et de plus récentes études et sur le fait que le principal effet est la neurotoxicité de cette substance. Le facteur de sécurité de 300 appliqué au LOAEL tient compte de la variabilité intra-espèce, de l'utilisation d'un LOAEL et du manque de données pour les effets par voie inhalation. La valeur présentée de 18,4 mg/m^3 pour l'hexane commercial retenue que nous avions retenu par le passé est remplacé par cette nouvelle RfC.

   Dans cette fiche IRIS, l'US-EPA précise que la transposition de la toxicité voie inhalation à la voie orale n'est pas adaptée en l'absence totale d'étude des effets de l'exposition par voie orale au n-hexane. Ainsi, nous n'avons pas retenu de RfD pour les aliphatiques nC5 à nC8. Cette approche a été retenue en l'absence d'information, elle est cependant sans impact sur les risques qui sont généralement tirés par la voie inhalation. (NB la dérivation de la RFC donnerait une RfD de 0.2 mg/kg/j pour les adultes).

CHOIX DE VTR réalisé par BURGEAP	RfD équivalente (mg/kg/j)	*Raison du choix*	RfC équivalente (mg/m3)	*Raison du choix*	Effets
Aliphatic nC5-nC6	**-**	*Commentaire IRIS* (4.)	**0.7**	*Nouvelle estimation (4.)* (SF : 300)	neurotoxique
Aliphatic nC6-nC8					
Aliphatic nC8-nC10	**0.1**	*Approches TPHCWG et MADEP* (SF =1000)	**1**	*Approche TPHCWG (1.)* (SF = 1000)	Hepatoxique et neurotoxique
Aliphatic nC10-nC12					
Aliphatic nC12-nC16					
Aliphatic nC16-nC35	**2**	*Approches TPHCWG et MADEP* (SF =100)	Dérivation pour poussières si nécessaire	*Approches TPHCWG et MADEP Non volatils*	Tumeurs hepatiques
Aliphatic >nC35	**20**	*Approches TPHCWG et MADEP* (SF =100)	Dérivation pour poussières si nécessaire	*Approches TPHCWG et MADEP Non volatils*	Tumeurs hepatiques
Aromatic nC5-nC7	*Classe correspondant au benzène a prendre en tant que tel*				
Aromatic nC7-nC8	*Classe correspondant au toluène a prendre en tant que tel*				
Aromatic nC8-nC10	**0.03**	*Approche MADEP (et 2.)*	**0.2**	*Approche TPHCWG (C9 aromatiques)* (SF = 1000)	Diminution du poids
Aromatic nC10-nC12					
Aromatic nC12-nC16					
Aromatic nC16-nC21	**0.03**	*Approches TPHCWG et MADEP* (SF =3000)	Dérivation pour poussières si nécessaire	*Approches TPHCWG et MADEP Non volatils*	nephrotoxiques
Aromatic nC21-nC35	**-**	*Approche MADEP (3.)*	-	*Approches MADEP (3.)*	-

SF : facteur de sécurité appliqué aux NOAEL ou autre valeurs pour établissement de la VTR sélectionnée

HAM - HYDROCARBURES MONOAROMATIQUES

Benzène

A) Propriétés intrinsèques de la substance

Le benzène (CAS n° 71-43-2) est un liquide plus léger que l'eau (densité=0,88 à 15°C), incolore, d'odeur aromatique, perceptible à l'odorat à partir de 4.68 ppmV (INRS, 2004). Le facteur de conversion est 1ppmV = 3,25 mg/m^3.

La présence de benzène dans l'environnement est naturelle (feux de forêts, volcans) ou anthropique. L'automobile est en grande partie responsable de la pollution atmosphérique par le benzène (gaz d'échappement, émanation lors du remplissage des réservoirs), comme sous produit du pétrole, il entre dans la composition des essences. La fabrication du benzène et ses diverses utilisations libèrent également du benzène à l'atmosphère.

Parmi les composés des hydrocarbures, le benzène est rangé parmi les COV (composés organiques volatils) et plus précisément parmi les HAM (hydrocarbures aromatiques monocycliques). Il est soluble (1860 mg/l à 10°C), volatil : pression de vapeur de 6031 Pa (10°C) et constante de Henry de 0.56 kPa.m3/mol (25°C) et biodégradable en milieu aérobie.

Voies d'exposition et absorption

La principale voie d'exposition au benzène est l'inhalation, puis dans une moindre mesure, l'ingestion et le contact cutané.

Les taux d'absorption sont de 50% par inhalation (donnée sur l'homme), 97% du benzène ingéré est absorbé (donnée sur animaux), tandis que par contact cutané l'absorption est limitée (0,4 mg/cm²/h donnée sur l'homme) et reste secondaire par rapport à d'autres voies d'exposition.

Métabolisation

Non renseigné

B) Valeurs guides

Valeurs guides

La concentration admissible dans les eaux de boisson en France est de 1 µg/l (décret 21-12-2001). En Europe, l'OMS en 2004 donne pour valeur guide dans les eaux de boisson une concentration en benzène de 10µg/l.

L'objectif de qualité de l'air correspond en France à une concentration de 2 µg/m^3 (décret 2002-213 de février 2002). La commision européenne dans le rapport du projet INDEX (critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU) recommande un objectif de concentration dans l'air intérieur aussi bas que possible sans fixer de valeur.

Dans les sols on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

C) Profil toxicologique

Classement

Les symboles classant le benzène sont F (facilement inflammable) et T(toxique).

Les phrases de risque[5] qui le représentent sont :R45 (peut causer le cancer), R11, R48/23/24/25 (toxique : risque d'effets graves en cas d'exposition prolongée, par contact avec la peau et par ingestion).

Effets cancérigènes

Diverses observations en milieu professionnel ont établi qu'il est à l'origine de leucémies et les études expérimentales effectuées chez l'animal montrent les mêmes effets cancérogènes sur la moelle osseuse que chez l'homme.

Le benzène est actuellement le seul hydrocarbure aromatique monocycliques (HAM) considéré comme cancérogène pour l'homme. Il a été placé dans **le groupe 1** par le CIRC-IARC en 1987, dans la **classe A** par l'US-EPA en 1998 et en **catégorie 1** par l'UE.

Effets Mutagènes

Le benzène est génotoxique et induit des aberrations chromosomiques et des micronoyaux in vivo chez l'animal. Chez l'homme, aucune relation ne peut actuellement être établie entre les types de lésions chromosomiques observées in vitro et les effets sur la santé.

Effets sur la reproduction

Le benzène a été montré foetotoxique chez l'animal. Des études expérimentales ont montré des faibles poids de naissances, des malformations osseuses et des dommages de la moelle osseuse.

Chez l'homme, Aucun effet sur le développement du fœtus ou sur la fertilité masculine n'est reconnu pour une exposition au benzène. Chez la femme, bien que quelques études suggèrent une fréquence accrue des avortements chez les femmes exposées au benzène, aucun élément ne permet de conclure à une tératogénicité ou à une foetotoxicité.

Autres effets toxiques

La cible principale du benzène après une exposition à long terme est le système sanguin, avec des conséquences sur la moelle osseuse, une diminution des globules rouges, une anémie ou plus rarement une polyglobulie (lignée des globules rouges), une leucopénie ou parfois une hyperleucocytose (globules blancs), une thrombopénies (plaquettes). Ces manifestations sont réversibles après cessation de l'exposition.

A un stade plus important cette toxicité hématologique peut se manifester par une aplasie médullaire, dépression totale de la reproduction des cellules sanguines. Ces atteintes ont été décrites dans plusieurs études épidémiologiques, notamment chez des travailleurs exposés à de fortes concentrations de benzène.

Le Syndrome psycho-organique (troubles de la mémoire, de la concentration, de la personnalité, insomnie, diminution des performances intellectuelles correspondant à des effets sur le système nerveux central) a été décrit lors d'exposition chronique au benzène. Ce syndrome est également noté pour le toluène et les sylènes.

[5] La définition de ces phrases de risques est donnée dans le chapitre général méthodologique (chapitre 1)

Par ailleurs, des effets cardio-vasculaires ont été décrits lors de l'exposition par inhalation aux vapeurs de benzène.

Enfin, la myelotoxicité et la génotoxicité pourraient résulter de l'action synergique des divers composés issus du métabolisme hépatique du benzène (INCHEM, 1996).

Peu d'informations relatives aux autres effets toxiques du benzène sont disponible chez l'homme.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérigènes du benzène et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS : version 2, janvier 2004).

Benzène (Cas n°71-43-2)				
Voie d'exposition	Type d'effets considérés	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Leucémies	homme	ERUi = 2,2 à 7,8 10^{-6} $(\mu g/m^3)^{-1}$	US EPA (2000)
		homme	**ERUi = 6 10^{-6} $(\mu g/m^3)^{-1}$**	OMS (1997)
		homme	CR = 5.10^{-6} $(\mu g/m^3)^{-1}$	RIVM (2001)
		homme	$CT_{0.05}$ = 15 mg/m^3, correspond à ERUi = 3 10^{-6} $(\mu g/m^3)^{-1}$	Santé Canada (1991)
Ingestion	Leucémies	homme	ERUo = 1,5.10^{-2} à 5,5.10^{-2} $(mg/kg/j)^{-1}$	US EPA (2000)

Benzène (Cas n°71-43-2)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe Critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Inhalation	immunitaire	homme	10	MRL (0.003 ppm)= 10 $\mu g.m^{-3}$	ATSDR Prov. (2005)
		Cellules sanguines	homme	300	**RfC = 30 $\mu g.m^{-3}$**	US EPA (2003)
		Cellules sanguines, nerveux, immunitaire	homme	10	REL = 60 $\mu g.m^{-3}$	OEHHA (2002)
Chronique	Ingestion	Cellules sanguines	homme	300	**RfD = 4 .10^{-3} mg/kg/j**	US EPA (2003)

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

La sélection des VTR se base sur les principes évoqués au chapitre 1.

La VTR retenue pour les risques chroniques cancérigènes par ingestion correspond à la valeur que nous proposons de dériver à partir de l'ERUi de l'OMS (afin de conserver une cohérence dans l'évaluation des risques réalisée tout en conservant la méthodologie appliquée par l'US-EPA dans sa dérivation de l'ERUi vers l'ERUo) en prenant un taux d'absorption par inhalation de 50%, 100% par voir orale, un débit respiratoire de 20 m3/j et un poids de 70 kg).L'ERUo ainsi calculé et retenu est de $4{,}2\ 10^{-2}$ $(mg/kg/j)^{-1}$. Cette valeur est dans fourchette des ERUo proposé par l'US-EPA.

La VTR retenue pour les risques chroniques cancérigènes par inhalation est celle de l'OMS correspondant à un ERUi de 6.10^{-6} $(\mu g/m^3)^{-1}$ car cette valeur a été retenue en France sur recommandation du CSHPF, pour définir l'objectif de qualité de l'air fixé par le décret 2002-213 de février 2002 à 2 $\mu g/m^3$ valeur considérée par le CSHPF comme non différente de la concentration de 1,7 $\mu g/m^3$ dans l'air ambiant, susceptible de conduire à une probabilité d'excès de risque 1.10^{-5}.

La VTR retenue pour les risques chroniques non cancérigènes par inhalation est la valeur de 30 $\mu g/m^3$ établie par l'US-EPA (2003). Cette valeur est retenue car elle est relative aux effets toxiques non cancérigènes du benzène les plus graves (effets sur la moelle osseuse et les lignées sanguines) à partir d'observations chez l'homme et qu'elle apparaît conservative par le facteur de sécurité retenu ; La valeur proposée par l'ATSDR de 10 $\mu g/m^3$ qui est provisoire (draft de sept 2005) serait plus contraignante, elle devra de ce fait être discutée dans les incertitudes de l'évaluation.

La VTR retenue pour les risques chroniques non cancérigènes par ingestion est de 4.10^{-3} mg/kg/j établie par l'US-EPA (2003) à partir de la même étude et issue de la dérivation voie à voie.

Xylènes

A) Propriétés intrinsèques de la substance

Les xylènes (isomères m, p, et o,) (CAS n°1330-20-7) sont des liquides plus léger que l'eau (densité=de 0.86 à 0,88 à 15°C), incolore, d'odeur aromatique, perceptible à l'odorat à partir de 0.07 ppmV (INRS, 2005). Le facteur de conversion est 1 ppmV = 4,4 mg/m^3.

Les xylènes sont des solvants utilisés dans le nombreux produits, y compris de consommation courante : diluants, adhésifs, peintures, vernis, encres, laques ou en tant que matière première en synthèse organique. Par ailleurs, comme sous-produit du pétrole, ils entrent dans la composition des carburants et solvants pétroliers.

Parmi les composés des hydrocarbures, les xylènes sont rangés parmi les COV (composés organiques volatils) et plus précisément parmi les HAM (hydrocarbures aromatique monocyclique). Ils sont solubles (190 à 240 mg/l à 10°C), volatils : pression de vapeur de 340 à 460 Pa (10°C) et constante de Henry de 0.42 à 0.69 kPa.m3/mol (25°C).

Voies d'exposition et absorption

La principale voie d'exposition aux xylènes est l'inhalation, puis dans une moindre mesure, l'ingestion et le contact cutané.

Les taux d'absorption sont par inhalation : 59 à 64% des xylènes inhalés sont absorbés (donnée sur l'homme) ; par voie orale, chez l'animal, les xylènes sont rapidement et facilement absorbés (absence de données sur l'homme). Par voie cutanée avec les sols, aucune donnée n'est disponible.

Métabolisation

Non renseigné

B) Valeurs guides

La réglementation française (décret 21-12-2001) ne donne pas de valeur guide pour les xylènes dans les eaux de boisson. Par contre l'OMS (Guidelines for drinking-water quality, 2004) donne une concentration admissible dans les eaux de boisson de 500 µg/l.

En France le décret 2002-213 de février 2002 sur les objectifs de qualité de l'air ne propose pas de valeur guide pour les xylènes. L'OMS (Air quality Guidelines for Europe, 2000) ne propose pas non plus de valeur guide.

Dans les sols on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

C) Profil toxicologique

Classement

Les symboles classant les xylènes sont Xn (nocif) et Xi(irritant). Les phrases de risque[6] qui le représentent sont :

- R10 (inflammable),
- R20/R21 (nocif par inhalation et contact avec la peau)
- R38 (irritant pour la peau).

[6] La définition de ces phrases de risques est donnée dans le chapitre général méthodologique (chapitre 1)

Effets cancérigènes

Les xylènes n'ont pas de propriétés cancérogènes ou mutagènes connues. Ainsi l'US-EPA (IRIS 02/21/2003) considère qu'on ne dispose pas de données pertinentes sur les effets cancérogènes des xylènes chez l'homme et que les données disponibles chez l'animal ne sont pas concluantes ; l'US-EPA souligne également que tous les essais de génotoxicité réalisés avec ces substances se sont révélés négatifs.

Le CIRC- IARC a placé les xylènes dans le groupe 3 (1999).

Effets Mutagènes

Les xylènes ne sont pas considérés en l'état actuel des connaissances comme présentant des effets mutagènes (absence de classement par l'UE).

Effets sur la reproduction

Plusieurs études effectuées chez la souris et le rat montrent des effets embryotoxiques et foetotoxiques à des doses élevées mais pas forcément toxiques pour la mère. On observe des retards de croissance fœtale et d'ossification et des malformations du squelette.

Chez la femme, une étude fait état de troubles menstruels lors d'exposition inférieure à 100 ppm. Une augmentation du risque d'avortements spontanés et de malformations congénitales (notamment neurologiques) chez des enfants nés de mères exposées lors du premier semestre de grossesse a été relevée dans quatre études cas-témoin.

Les xylènes ne sont cependant pas classés quant à leurs effets sur la reproduction.

Autres effets toxiques

De nombreuses études épidémiologiques ont été menées chez des salariés exposés à long terme et de façon répétée aux vapeurs de xylènes. Ces études ont montré pour certains sujets une respiration difficile et à une altération de certaines fonctions pulmonaires. Une augmentation significative des irritations du nez et de la gorge a été notée chez des salariés exposés à une concentration moyenne de 14 ppm (61 mg/m^3) de vapeurs de xylènes. Les xylènes induisent également par voie pulmonaire des atteintes neurologiques.

Des troubles hématologiques ont été notés, mais compte tenu de la coexistence du benzène avec les xylènes étudiés, le lien de causalité ne peut être établi.

Enfin, concernant les effets immunologiques, une diminution du nombre des lymphocytes a été observée chez les travailleurs exposés.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques des xylènes.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS : version 2, mars 2004).

Xylènes (Cas n°1330-20-7)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe ou effet critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Inhalation	Système neurologique	homme	300	MRL (0.05 ppm)= 210 µg/m^3	ATSDR (2005)
		Système neurologique	rat	300	RfC = 100 µg/m^3	US EPA (2003)
		-	-	-	REL = 700 µg/m^3	OEHHA (2002)
		Système neurologique	rat	1000	TCA = 870 µg/m^3	RIVM (2001)
		feototoxicité	rat	1000	TC provisoire = 180 µg/m^3	Santé Canada (1991)
	Ingestion	Système neurologique	homme	300	MRL = 0.6 mg/kg/j	ATSDR (2005)
		Diminution poids corporel	rat	1000	RfD = 0,2 mg/kg/j	US EPA (2003)
		Syst. rénal	rat	1000	TDI = 0,15 mg/kg/j	RIVM (2001)
		Diminution poids corporel	rat	1000	DJT = 0.179 mg/kg/j	OMS (1996)
		Syst. hépatique	rat	100	TDI = 1.5 mg/kg/j	Santé Canada (1991)

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

La sélection des VTR repose sur les critères évoqués au chapitre 1.

La VTR retenue pour l'exposition chronique par inhalation aux xylènes est la RfC établie par l'US EPA (2003), soit 100 µg/m^3 qui correspond aux effets psycho-moteurs attribués généralement aux xylènes. Le niveau de confiance accordé à cette valeur par l'US-EPA est le niveau moyen, on peut considérer qu'il s'agit d'une valeur qui surestime le danger compte tenu de l'effet toxique retenu et du facteur d'ajustement adopté.

La VTR retenue pour l'exposition chronique par ingestion aux xylènes est la RfD établie par l'US EPA (2003), soit 0.2 mg/kg/j. On notera que cette valeur est du même ordre de grandeur que celles de l'OMS et du RIVM. Compte tenu de l'étude expérimentale menée, la prise en compte d'un facteur de sécurité de 1000 semble majorant (la valeur provisoire de l'ATSDR pourra être discutée si besoin). Enfin, la confiance accordée par l'US-EPA sur la RfD obtenue est moyenne.

Nous ne retiendrons pas de VTR spécifiques pour chaque isomère (bien que certaines bases de données en proposent) car les études pivots ayant servies à l'établissement des VTR des différents isomères sont basées sur des mélanges de xylènes.

HAP – HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYLCIQUES

A) Propriétés intrinsèques des HAP

Les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) sont formés lors de combustions incomplètes (bois, charbon, fioul, essence, goudrons de houille, cigarettes…) puis rejetés dans l'atmosphère où ils sont présents majoritairement dans la phase particulaire du fait de leur faible volatilité.

Il s'agit de molécules ayant deux (naphtalène) à plus de cinq (benzo-a-pyrène) noyaux benzeniques. Les propriétés toxiques et physicochimiques des molécules sont variables et dépendent en partie du nombre de noyaux benzenique. On compte 16 molécules les plus communément étudiées (liste de l'EPA reprise dans les paragraphes suivants).

Les émissions des cheminées et des fours à bois domestiques, des incinérateurs d'ordures ménagères, des unités de production de goudron et d'asphalte, des unités de craquage du pétrole, constituent les principales sources anthropiques. Ces sources stationnaires représentent environ 80 % des émissions. Les sources mobiles sont constituées par les échappements des véhicules essence et diesel.

La présence de HAP dans les eaux de surface provient du dépôt de particules en suspension dans l'atmosphère, des rejets de lixiviation des aires de stockage de charbon, des effluents des usines de traitement du bois et autres industries, on note par ailleurs que les HAP sont également contenus dans certains insecticides ou fongicides.

Les 16 HAP possèdent des propriétés physico-chimiques très variables :

- les solubilités (à 25°C) sont comprises entre $2{,}6.10^{-4}$ mg/l pour le B[g,h,i]P et 32 mg/l pour le naphtalène,
- les pressions de vapeur (à 25°C) sont comprises entre $1{,}3.10^{-8}$ Pa pour le B[g,h,i]P et 11.3 Pa pour le naphtalène (qui est le seul HAP que l'on peut classer dans les COV : Pv>10 Pa),
- les constantes de Henry (à 25°C) sont comprises entre $2{,}69.10^{-5}$ kPa.m3/mol pour B[g,h,i]P et 0.045 kPa.m3/mol pour le naphtalène.

On note que les propriétés physico-chimiques du B[a]P sont proches de celles du B[g,h,i]P : solubilité de 0.0016 mg/l (25 °C), une pression de vapeur de $7{,}32.10^{-7}$ Pa (25°C) et une constante de Henry de $4{,}63.10^{-5}$ kPa.m3/mol.

L'ensemble des HAP sont facilement sorbés sur les sols, en effet, leurs constantes de partage octanol-eau (logKOW) sont élevées et compris entre 3,3 (naphtalène) et 6,84 (B[k]F).

Voies d'exposition et absorption

L'inhalation et l'ingestion d'aliments constituent chez l'homme les 2 voies d'exposition principales aux HAP, alors que l'exposition par la consommation d'eau de boisson reste minime (1% d'après OMS, 1998). L'exposition par inhalation dépend spécifiquement de la taille des particules sur lesquelles les HAP sont adsorbés.

Taux d'absorption cutané

Wester et al. (1990) ont réalisés des mesures de taux d'absorption sur le B(a)P à partir d'échantillons de peau humaine. Il en ressort que 24,6 % de la dose B(a)P (en solution dans de l'acétone) ont été absorbé au niveau de la peau mais que seulement 0,09 % a traversé la barrière cutanée au bout de 24 heures.

Dans les mêmes conditions et pour la même quantité de B(a)P, pour une matrice sol , le taux d'absorption est de 13,2 % sur la peau du singe et 1,41 % sur la peau de l'homme avec 0,01 % ayant traversé la barrière cutanée. Ainsi, la présence de la matrice sableuse (ou sol) réduit la biodisponibilité du polluant. Wester et al. déduit donc une réduction de 75 % de l'absorption cutanée à partir du matrice sol par rapport à une matrice aqueuse.

Par voie cutanée, le taux d'absorption cutané du B(a)P est estimé à 3 % (fiche INERIS) après 24 heures sur un modèle *in vitro* de peau d'origine humaine (*Kao et al.,* 1985). La littérature montre que le taux est très variable en fonction de la durée et des cibles étudiées (entre 0,3 et 3 %).

Les études recensées et synthétisées par l'INERIS et l'INVS[7] les ont incité à prendre des taux d'absorption pour l'ensemble des HAP de 5 % pour 8 heures et 4 % pour 6 heures d'exposition. Ramené à la journée (24 h), le taux d'absorption serait de 16 %.

L'US-EPA[8] recommande de prendre en compte un taux de 13 % sur 24 heures.
Enfin, la base de donnée du logiciel RISC (dont les équations sont utilisées pour le calcul de la dose par contact cutané) propose un taux d'absorption cutané pour l'ensemble des HAP de 10%.

Compte tenu de la variabilité des données et dans la mesure où l'évaluation détaillée des risques doit être à la fois conservatrice et proportionnée, nous retiendrons un taux d'absorption cutané de 10 % pour les HAP excepté le phénanthrène pour lequel des études particulières[9] ont montré un taux plus important de 80 % .

Taux d'absorption orale

Le taux d'absorption orale du B(a)P est de 40 % chez l'homme (fiche INERIS). Pour les autres HAP, les taux ne sont pas disponibles ni sur l'homme ni sur les animaux excepté pour l'anthracène où il varie entre 53 et 74 % chez les animaux. Nous considérerons que l'ensemble des HAP possèdent un taux d'absorption orale identique à celui du B(a)P, soit 40 %.

Taux d'absorption inhalation

Les taux d'absorption des HAP par inhalation n'ont pas été étudiés en particulier. Nous prendrons donc un taux de 100%.

B) Concentrations dans l'environnement et valeurs guides

Concentrations dans l'environnement
Les concentrations moyennes dans l'air données par l'OMS (IPCS,1998) en milieu urbain varient de 0.001 µg/m^3 à 0.03 µg/m^3. Il est précisé que les concentrations dans l'air sont nettement plus importantes en hiver qu'en été du fait de la combusion plus importante à cette période pour le chauffage.
Les concentrations ubiquitaires dans les sols sont comprises entre 0.002 et 0.1 mg/kg en fonction du HAP considéré (INERIS, fiches toxicologiques).
Dans les eaux souterraines, les concentrations ubiquitaires sont comprises entre 0.2 et 1.8 ng/l (IPCS,1998).
Le potentiel de bioaccumulation des HAP dans les organismes aquatiques est élevé, les BCF pour les différents HAP (INERIS, fiches toxicologiques) varient de 10 à plus de 90 000. Dans les organismes terrestres, ce potentiel n'a pas été quantifié hormis pour le Benzo(a)pyrène (BaP) pour lequel le BCF varie en fonction des plantes considérées de 10^{-5} à 10^{-3} (INERIS, fiche toxicologique).

[7] Rapport d'évaluation du risque sanitaire résiduel pour les populations fréquentant les plages après dépollution du fioul de l'ERIKA. Juillet 2000
[8] dans l'ouvrage Risk assessment guidance for superfund, 2001
[9] voir fiche toxicologique de ce produit par l'INERIS

Valeurs guides

Les concentrations admissibles dans les eaux de boisson en France (décret 21-12-2001) est définie pour le B[a]P à 0.01 µg/l et pour la somme de plusieurs HAP (benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(g,h,i)pérylène, et indeno(1,2,3 –cd)pyrène) à 0.1 µg/l. Pour les autres HAP, aucune valeur n'est définie au niveau français ou européen.
On note que la valeur guide établie par l'OMS pour les eaux de boissons (Wtaer Quality Guidelines, 2004) est de 0.7 µg/l pour le B[a]P.

L'objectif de qualité de l'air en France (décret 2002-213 de février 2002) ne fait pas référence aux HAP. L'OMS donne une valeur guide à ne pas dépasser (Air quality guideline for Europe) pour le B[a]P de $1,2.10^{-4}$ µg/m^3.

La commision européenne dans le rapport du projet INDEX (critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU) recommande un objectif de concentration en naphtalène dans l'air intérieur (pour le long terme) de 10 µg/m3 proche de la limite olfactive la plus basse.

Dans les sols on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

C) Profil toxicologique

Classement
Parmi les HAP, seuls 5 d'entre eux présentent un symbole T (toxique), il s'agit grossièrement des substances les moins mobiles, les phrases de risques associées sont au minimum R45 (peut causer le cancer). Par ailleurs, deux d'entre elles (les benzo (b) et (k) fluoranthène) sont associées au symbole N (dangereux pour l'environnement).

Enfin, le naphtalène présente la phrase de risque R22 (toxique par ingestion).

	Classement symboles	Phrase de risque	classement cancérogénéicité		
			UE	CIRC (IARC)	EPA
Naphtalène	-	R22	3	2B	C
Acenaphtylène	-	-	-	-	D
Acenaphtène	-	-	-	-	-
Fluorène	-	-	-	3	D
Phénanthrène	-	-	-	3	D
Anthracène	-	-	-	3	D
Fluoranthène	-	-	-	3	D
Pyrène	-	-	-	3	D
Benzo(a)anthracène	T (toxique)	R45	Carc. cat (2)	2A	B2
Chrysene	-	R45	Carc. cat (2) Mut. cat (3)	3	B2
benzo(b)fluoranthène	T (toxique), N (dangereux pour l'environnement)	R45	Carc. cat (2)	2B	B2
benzo(k)fluoranthène	T (toxique), N (dangereux pour l'environnement)	R45	Carc. cat (2)	2B	B2

	Classement	Phrase de risque	classement cancérogénéicité		
Benzo(a)pyrène	T (toxique)	R45, R46, R60, R61	Carc. cat (2) Mut. cat (2) Repr. Cat (2)	2A	B2
Dibenzo(a,h)anthracène	T (toxique)	R45	Carc. cat (2)	2A	B2
benzo(g,h,i) pérylène	-	-	-	3	D
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	-	-	-	2B	B2

Effets cancérigènes

Le pouvoir cancérigène des HAP, ou plus exactement de mélanges d'HAP, chez l'homme, est basé sur les observations réalisées chez les travailleurs exposés par voie respiratoire et cutanée. Les HAP sont incriminés dans plusieurs études concernant des personnes atteintes de cancers des poumons, de la peau, de la vessie, des reins ou des fosses nasales.

Les études animales révèlent également l'apparition de tumeurs chez de nombreuses espèces lors d'une exposition à du benzo(a)pyrène.

Le benzo(a)pyrène est classé comme cancérigène chez l'homme par le CIRC-IARC (**groupe 2A**), l'US-EPA (**classe B2**) et l'UE (**Carc**. **2**).

La position de l'OMS dans différents ouvrages ou publications et aussi celle de l'US-EPA est de considérer que le B(a)P a valeur d'indicateur pour les HAP potentiellement cancérigènes, qui ont plus de 3 noyaux aromatiques.

Le tableau de synthèse des classifications des HAP par rapport à leur cancérogénicité montre que l'anthracène, le benzo(g,h,i)pérylène, l'acénaphtylène, le fluoranthène, le fluorène, le phénantrène et le pyrène sont classés 3 par le CIRC et/ou D par l'US-EPA. L'acénaphtène n'est pas classé.

Pour ces composés, les phrases de risque ne mentionnent pas non plus le caractère cancérigène, et l'article de Nisbet et et Lagoy (1992) proposant des facteurs d'équivalent toxique (TEF cité ci-après) mentionne l'absence de données précises leur ayant permis d'aboutir à ces valeurs.

Pour le naphtalène, le potentiel cancérigène n'a pas été prouvé et à la différence des HAP à plus de 3 noyaux aromatiques, il n'est pas mutagène directement. La phrase de risque de ce composé ne fait pas non plus mention de cancérogénicité (phrase R40 ou R45).

La position de l'IARC, récente (2002), place le naphtalène dans le groupe 2B, et non en 2A, en dépit des résultats chez l'animal sur 2 espèces ; ce point de vue, c'est-à-dire l'impossibilité actuelle de conclure que le naphtalène est un cancérogène probable pour l'homme, est partagé par un grand nombre des experts réunis par l'US-EPA (cf résultats de la réunion sur le site US-EPA, en date de septembre 2004).

Le mécanisme retenu par l'IARC (2002) est la formation de métabolites entraînant un turn-over important au niveau des épithéliums respiratoires et secondairement la formation de tumeurs. Le naphtalène pourrait avoir des effets clastogènes in vitro mais pas d'effets mutagènes.

Effets sur la reproduction

Des études ont montré que le BaP passe la barrière placentaire chez le rat et la souris. Le benzo[a]pyrène est embryotoxique chez la souris. D'après la bibliographie, aucune étude n'a été effectuée chez l'homme pour rechercher un éventuel effet du benzo[a]pyrène sur la reproduction.

Parmi les HAP, seul le benzo[a]pyrène est classé par l'union Européenne par rapport à ses effets potentiels sur la reproduction (**catégorie 2** associé aux phrases de risque R60 : peut altérer la fertilité et R61 : risques pendant la grossesse d'effets néfastes sur l'enfant).

Effets Mutagènes

Seul le benzo(a)pyrène est classé par l'Union Européenne pour ses effets mutagènes potentiels **catérogie 2** (associé à la phrase R46 : peut causer des altérations génétiques héréditaires).

Le chrysène est par ailleurs classé en catégorie 3 (substance préoccupante pour l'homme en raison des effets mutagènes possibles).

Le naphtalène n'est pas génotoxique en l'état des connaissances ce qui le différencie du benzo(a)pyrène et des autres HAP à plusieurs cycles qui ont des effets similaires à ceux du BaP chez l'homme et chez l'animal et pour lesquels l'approche par équivalents (TEF) est justifiée.

Autres effets toxiques

Les études actuelles sur les effets toxiques non cancérigènes du benzo(a)pyrène sur l'homme montrent que les effets principaux sont cutanés. Il a été observé des altérations cutanées (érythèmes, desquamation, hyper-kératose verruqueuse…) lors d'applications de benzo(a)pyrène à des fins thérapeutiques. De telles observations n'ont pas été décrites chez des personnes présentant des peaux saines.

Chez l'homme, aucune étude épidémiologique concernant l'effet de l'acénaphtène n'est disponible. L'exposition subchronique ou chronique à l'acénaphtène induit des troubles hépatiques, rénaux et hématologiques.

A notre connaissance, il n'existe pas de donnée disponible sur les effets toxiques non cancérigènes de l'anthracène, pour une exposition chronique, chez l'homme. Les études réalisées sur les souris montrent une augmentation de la mortalité et des signes cliniques sur le poids corporel et différents organes, l'ophtalmologie, l'hématologie et l'histopathologie.

L'organe cible pour les expositions au benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et Dibenzo(a,h)Anthracène est le système immunologique.

Chez l'homme une seule étude traite de l'effet induit par une exposition par voie pulmonaire au fluoranthène. Dans cette étude les salariés ont été exposés par voie pulmonaire à un mélange de HAPs contenant du fluoranthène, du perylène, du pyrène, du benz(a)pyrène, du chrysène, du benzo(a)anthracène, du dibenz(a,h)anthracène et du benzo(g,h,i)perylène. L'exposition à de fortes concentrations de ce mélange (concentration non précisée) induit une diminution du taux d'immunoglobulines sériques (IgA, IgG et IgM) (Szczeklik *et al.,* 1994). Cette étude n'a toutefois pas permis d'identifier l'effet spécifique du fluoranthène. Les organes cibles identifiés sont le système sanguin et les reins.

L'étude principale mettant en évidence l'effet du fluoranthène administré par voie orale est l'étude de l'US EPA de 1988 (a,b,c) dans laquelle les souris mâles et femelles ont été exposées par voie orale (gavage) à 125, 250 ou à 500 mg/kg/j de fluoranthène pendant 13 semaines. Cette étude a montré qu'à ces doses, le fluoranthène n'induisait pas d'effets sur le système respiratoire, cardiaque ou musculo-squelettique. Par contre, il a été montré une influence du fluoranthène sur l'augmentation du poids relatif du foie et l'augmentation du taux d'enzymes hépatiques.

Aucune étude épidémiologique ne traite des effets du fluorène chez l'homme lors d'une exposition chronique. Chez l'animal, l'exposition chronique au fluorène induit principalement des troubles hépatiques et hématologiques. L'étude principale de l'US EPA de 1988 (a,b,c) dans laquelle les souris mâles et femelles ont été exposées par voie orale (gavage) à 125, 250 ou à 500 mg/kg/j de fluorène pendant 13 semaines. Cette étude a montré qu'à la dose de 500 mg/kg/jour, les effets observés étaient une difficulté pour respirer, un ptosis (abaissement de la paupière supérieure, d'origine congénitale), une diminution du poids absolu du foie, une diminution du poids relatif du foie et de la rate, accompagnée par d'effets sur le système sanguin.

Pour le naphtalène, les données sont peu nombreuses. L'exposition par inhalation, par inhalation et passage cutané, par inhalation et absorption digestive sont responsables d'anémie hémolytique.

Plusieurs cas d'anémie hémolytique ont été décrits après inhalation et pénétration cutanée chez des nouveau-nés dont les vêtements et la literie ont été conservés avec des boules d'antimite (Cock, 1957 ; Dawnson *et al.,* 1958 ; Schafer, 1951 ; Valaes, 1963). Ces anémies ont aussi été décrites après inhalation par des nouveau-nés de médications contenant du naphtalène (Hanssler, 1964 ; Irle, 1964). Les cas survenus chez des nouveau-nés sont parfois associés à des troubles neurologiques comme une somnolence et une diminution des cris. Mais on peut dissocier ces troubles de ceux liés à la diminution des capacités de transport de l'oxygène.

Huit cas de cataracte ont été décelés chez un groupe de 21 employés d'une teinturerie industrielle où du naphtalène était utilisé. Sept cas sont survenus avant l'âge de 50 ans. Si l'hypothèse d'une causalité est possible, les niveaux d'exposition ne sont pas disponibles (Ghetti et Mariani, 1956).

Aucune étude concernant l'effet chronique du naphtalène après une exposition par voie orale n'est disponible. De plus, aucune relation directe entre l'exposition à long terme au naphtalène par voie cutanée et le développement de symptômes respiratoires, cardiovasculaires, gastro-intestinaux, rénaux et oculaires n'a été montrée (Ghetti et Mariani, 1956).

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérigènes des HAP et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.
Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada). La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS sur les HAP datant de décembre 2003).

D-1) Effets cancérigènes

Benzo-a-pyrene (Cas n°50-32-8)

On notera que les valeurs toxicologiques du B(a)P peuvent servir à établir des VTR pour les effets cancérigènes des autres HAP -Voir le chapitre sur les TEF (facteurs d'équivalent toxique).

Benzo(a)Pyrène (50-32-8)				
Voie d'exposition	Organe critique / type d'effet	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Tractus respiratoire	hamster	ERUi = $1{,}1\ 10^{-3}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$	OEHHA (2002)
		homme	ERUi (mélange HAP) = $8{,}7\ 10^{-2}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$	OMS (2000)
Orale	Cancer multi-site	Rats/souris	ERUo = $7{,}3$ $(mg/kg/j)^{-1}$	US EPA (1994)
		Rats/souris	ERUo = $0{,}2$ $(mg/kg/j)^{-1}$	RIVM (2001)
		hamster	ERUo = 12 $(mg/kg/j)^{-1}$	OEHHA (2002)

L'ERUi de 1,1 10^{-3} $(\mu g/m^3)^{-1}$ a été établi à partir de l'étude expérimentale de Thyssen *et al.,* 1981. Dans cette étude, des hamsters mâles 'Syrian golden' ont été exposés à 2,2, 9,5 et à 46,5 mg/m^3 de benzo[a]pyrène condensé dans des particules de chlorure de sodium. Aucune tumeur n'a été observée au niveau du tractus respiratoire chez le groupe témoin et chez les hamsters exposés à 2,2 mg/m^3 de benzo[a]pyrène. Par contre, pour les concentrations plus élevées, l'incidence des tumeurs du tractus respiratoire augmente avec la concentration de benzo[a]pyrène. Ainsi, le nombre de tumeurs est de 9/26 pour une concentration de 9,5 mg/m^3 et de 13/25 pour une concentration de 46,5 mg/m^3. Un modèle linéaire multi-étapes sans seuil à été appliqué aux résultats obtenus. Un facteur de correction interespèce de $(70/0,1)^{1/3}$ a été appliqué et un ERUi de 1,1 10^{-3} $(\mu g/m^3)^{-1}$ a été proposé par l'OEHHA pour le benzo[a]pyrène.

La valeur de 8,7 10^{-2} $(\mu g/m^3)^{-1}$ proposée par l'OMS correspond à un mélange de HAP issu de cokerie et non au benzo(a)pyrène uniquement. Cette valeur basée sur des observations sur les travailleurs de cokerie et sur différents type de cancers (du poumons mais aussi des types de cancer plus variés (vessie, estomac) représentatifs du caractére multi-sites de la cancérogénicité du BaP).

Par ailleurs, cette valeur a permis d'établir la valeur guide dans l'air en Europe (Air quality guidelines for Europe, 2000) de 1,2 10^{-4} $(\mu g/m^3)$ correspondant à la concentration à partir de laquelle la probabilité de cancer dépasse le seuil de 1 sur 10^5.

Enfin, la valeur de Santé Canada CT(0,05) = 1,6 mg/m^3 (correspondant à un ERUi de 3,1 10^{-5} $(\mu g/m^3)^{-1}$), n'est pas présentée sachant qu'à cette concentration aucun effet n'est observé.

L'ERUo de 1,1 10^{-3} $(mg/kg/j)^{-1}$, proposé par le RIVM a été établi à partir de 2 études : Kroese et al., 2001 et Culp et al., 1998. L'avis de l'AFSSA (2003) est que l'étude critique choisie par le RIVM est de bonne qualité et le modèle mathématique utilisé est bien adapté.

L'étude principale est celle de Kroese et al., 2001 dans laquelle des rats Wistar mâles et femelles ont été exposés, par gavage, 5 jours par semaine pendant 2 ans à des doses de 3, 10 et 30 mg/kg p.c de benzo[a]pyrène. Le benzo[a]pyrène est homogénéisé dans de l'huile de soja, de ce fait un groupe témoin ayant reçu l'excipient seul a été réalisé. Les effets cancérigènes principaux ont été observés au niveau du foie et du pré-estomac. Mais des sarcomes des tissus mous, au niveau de l'œsophage, de la peau et des glandes mammaires ainsi que des tumeurs du canal auditif, de la peau, de la cavité buccale, de l'intestin grêle et des reins ont été également constatés. A la dose de 10 mg/kg de benzo[a]pyrène, l'incidence combinée des papillomes et des carcinomes au niveau du pré-estomac est de 43/52 chez les rats mâles et de 30/51 chez les rats femelles. Au niveau du foie, l'incidence combinée des adénomes et carcinomes est de 38/52 chez les rats mâles et de 39/52 chez les rats femelles.

A partir de la dose de 10 mg/kg, retenue comme dose la plus faible induisant l'apparition significative de tumeurs, le RIVM a calculé des DVS (Dose Virtuellement Sûre) pour chaque type de tumeurs (foie, pré-estomac, tumeurs bénignes et malignes ou uniquement malignes et même toutes les tumeurs combinées) afin de choisir la plus significative. Ainsi le RIVM calcule une gamme de DVS allant de 5 à 19 ng/kg/j selon les types de tumeurs considérés. En prenant en compte les types de tumeurs les plus sensibles, le RIVM propose une DVS de 5 ng/kg/j pour un excès de risque de cancer de 10-6, ce qui correspond à un ERUo de 0,2 (mg/kg/j)-1.

On notera que la VTR de l'US-EPA : ERU_o de 7,3 $(mg/kg/j)^{-1}$, a été calculée à partir de trois d'études expérimentales pratiquées chez le rat et la souris. Il s'agit d'une moyenne géométrique pour laquelle l'étendue des différentes extrapolations est de 4,5 à 11,7 $(mg/kg/j)^{-1}$.

Naphtalène (Cas n°91-20-3)

Actuellement, nous jugeons que les valeurs disponibles pour rendre compte des effets cancérigènes du naphtalène ne sont pas adaptées. Il s'agit soit de valeurs en cours de discussion au sein de l'US-EPA (donc non validées), soit de valeurs de l'OEHHA (2005) présentées ci-après. Pour mémoire, l'ERUi est de 3,4 $.10^{-5}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$ et l'ERUo est de 0.12 $(mg/kg/j)^{-1}$.

Nous avons comparées ces valeurs à celles qui sont obtenues à partir de la VTR pour un mélange de HAP et d'un facteur d'équivalent toxique de 0,001. L'ERUi de l'OEHHA est environ 30 fois plus contraignant que celui ainsi calculé et l'ERUo de l'OEHHA environ 600 fois plus contraignant que celui calculé.

Ces grands écarts associés à la faiblesse des données spécifiques au naphtalène nous conduisent à retenir l'approche par équivalent toxique.

Facteur d'équivalent toxique des HAP (TEF)

La position de l'OMS dans différents ouvrages ou publications et aussi celle de l'US-EPA est de considérer que le B(a)P a valeur d'indicateur pour les HAP potentiellement cancérigènes, qui ont plus de 3 noyaux aromatiques. Différentes possibilités sont laissées à l'initiative de l'évaluateur de risque, en particulier celle de recourir à la méthode des équivalents toxiques (méthode proposée par l'OMS) que nous utiliserons dans la présente étude.

L'excès de risque unitaire (ERU) pour un composé *n* est donné par la relation suivante :

ERU (composé *n*)= TEF (composé *n*) x ERU (du BaP).

Les principaux TEF existants, considérés aussi bien pour la voie orale que la voie inhalation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

	US-EPA (1993)	Baars (2000)	Hempling et al. (1997)	WHO (1998)	Nisbet et Lagoy (1992)
Acenaphtène	nr	0.01	0	nr	0.001
Acenaphtylène	nr	0.001	0.01	nr	0.001
Anthracène	nr	nc	0.01	0.28-0.32	0.01
Benzo(a)anthracène	0.1	0.1	0.1	0.014-0.0145	0.1
Benzo(a)pyrène	1	1	1	1	1
benzo(b)fluoranthène	0.1	0.1	1	0.1-0.141	0.1
benzo(k)fluoranthène	0.01	0.1	0.1	0.01-0.1	0.1
benzo(g,h,i) pérylène	nr	nc	0.01	nr	0.01
Chrysene	0.001	0.01	0.01	0.001-0.1	0.01
Dibenzo(a,h)anthracène	1	1	1	0.89-5	5
Fluoranthène	nr	0.01	0.01	0.001-0.01	0.001
Fluorène	nr	nc	0	nr	0.001
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0.1	0.1	0.01	0.067-0.232	0.1
Naphtalène	nr	nc	0	nr	0.001
Phénanthrène	nr	0.001	0	nr	0.001
Pyrène	nr	0.001	nr	nr	0.001

La comparaison entre le tableau ci-dessus et le tableau de synthèse des classifications des HAP par rapport à leur cancérogénicité montre que pour l'anthracène, le benzo(g,h,i)pérylène, l'acénaphtylène, le fluoranthène, le fluorène, le phénantrène, le pyrène et l'acénaphtène, bien que classés 3 par le CIRC et/ou D par l'US-EPA, ou non classé, des TEF sont proposés par certains auteurs. Il en est de même pour le naphtalène dont les effets cancérigènes sont considérés comme non associés à ceux des autres HAP.

D-2) Effets toxiques non cancérigènes

Acénaphtène (83-29-9)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Subchronique	Orale	Syst. hépatique	souris	300	MRL = 0.6 mg/kg/j	ATSDR (1995)
Chronique	Orale	Syst. hépatique	souris	3000	**RfD = 0.06 mg/kg/j**	US EPA (1994)

La RfD de 0.06 mg/kg/j a été établie à partir d'une étude réalisée chez 4 groupes de 20 souris CD-1 exposées par gavage à 0, 175, 350 ou 700 mg/kg/jour d'acénaphtène pendant 90 jours. Un LOAEL de 350 mg/kg/jour ainsi qu'un NOAEL de 175 mg/kg/jour ont été déterminés chez la souris pour des atteintes hépatiques (augmentation de poids et hypertrophie cellulaire). Le NOAEL a servi à calculer un RfD de 6 10^{-2} mg/kg/jour pour des expositions chroniques à l'acénaphtène (US-EPA., 1989). Un facteur de 3000 a été appliqué (extrapolation de données animales vers l'homme : 10, variabilité au sein de la population humaine: 10, un facteur 10 pour l'extrapolation de données subchroniques à des données chroniques: 10, manque de résultats chez d'autres animaux et pour le manque de données sur le développement et la reproduction: 3).

La différence entre cette VTR (chronique) et celle de l'ATSDR (subchronique) est le facteur de sécurité supplémentaire appliqué pour le passage d'une exposition subschronique (3 mois) à une exposition chronique par l'US-EPA, l'étude pivot restant la même.

Anthracène (120-12-7)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Subchronique	Orale	Syst. hépatique	souris	100	MRL = 10 mg/kg/j	ATSDR (1995)
Chronique	Orale	aucun	souris	3000	**RfD = 0.3 mg/kg/j**	US EPA (1993)

La RfD de 0.3 mg/kg/j a été établie à partir d'une étude expérimentale pratiquée chez la souris (US-EPA, 1989). Les animaux mâles et femelles sont exposés à l'anthracène par gavage aux doses de 0, 250, 500 et 1000 mg/kg/j pendant au moins 90 jours. Les effets observés sont la mortalité les signes cliniques, le poids corporel, la consommation de nourriture, l'ophtalmologie, l'hématologie, les poids des différents organes, et l'histopathologie. Dans cette étude aucun effet n'est observé même pour la dose la plus élevée. Un NOAEL de 1000 mg/kg/j est défini. Un facteur de 3000 est appliqué, ce qui correspond à un facteur de 10 pour prendre en compte la variabilité inter-espèces, à un facteur de 10 pour prendre en compte la variabilité intra-espèces et un facteur de 30 pour prendre en compte à la fois l'extrapolation d'une exposition sub-chronique à chronique et l'absence de données sur le développement et la reproduction sur une deuxième espèce.

La différence entre cette VTR (chronique) et celle de l'ATSDR (subchronique) sont les facteurs de sécurité supplémentaires appliqués pour le passage d'une exposition subschronique (3 mois) à une exposition chronique et pour la manque de données sur le développement et la reproduction d'une seconde espèce, l'étude pivot restant la même.

Une valeur toxicologique est proposée par le RIVM issue des travaux du TPHCWG. Le TPHCWG établi une TDI de 0.04 mg/kg-day pour les aromatiques avec un nombre de carbone équivalent compris entre 9 et 16, compte tenu que l'anthracène appartient à cette catégorie, le RIVM lui applique le TDI correspondant. Cette valeur n'est pas retenue car nous jugeons les incertitudes liées à l'extrapolation du RIVM trop importantes (en particulier le TDI retenu pour la classe nC9-nC16 correspond en fait à la RfD du fluorène et fluoranthène – voir TPHCWG, vol.3, p.11).

Benzo(g,h,i)perylene (191-24-2)
Absence de valeur cohérente

Le RIVM a cependant établi un TDI de 0.03 mg/kg/j pour une exposition chronique par voie orale au benzo(g,h,i)perylène (1999-2000) (Baars *et al.,* 2001). La valeur toxicologique proposée par le RIVM est issue des travaux du TPHCWG. Le TPHCWG établi une RfD de 0.03 mg/kg-day pour les aromatiques avec un nombre de carbone équivalent compris entre 16 et 35, compte tenu que le benzo(g,h,i)pérylène appartient à cette catégorie, le RIVM lui applique le TDI correspondant. Cette valeur n'est pas retenue car nous jugeons les incertitudes liées à l'extrapolation du RIVM trop importantes (en particulier le TDI retenu pour la classe nC16-nC35 correspond en fait à la RfD du pyrène – voir TPHCWG, vol.3, p.11).

Fluoranthène (CAS n°206-44-0) et Fluorène (CAS n°86-73-7)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Subchronique	Orale	Syst. hépatique	souris	300	MRL = 0.4 mg/kg/j	ATSDR (1995)
Chronique	Orale	Nephrotoxicité	souris	3000	**RfD = 0.04 mg/kg/j**	US EPA (1993)

L'US-EPA s'est appuyé sur sa propre étude exposée ci-avant. Un NOAEL de 125 mg/kg/j établis pour des effets hématologiques et pour une diminution du poids du foie et de la rate a été retenu avec application d'un facteur de sécurité de 3000 (un facteur 10 pour la transposition de l'animal à l'homme, un facteur 10 pour la variabilité au sein de la population humaine, un facteur 3 pour le manque de données chez plusieurs espèces animales et un facteur 10 pour l'utilisation d'une étude subchronique). Cette valeur toxicologique est également proposée par le RIVM.

Naphtalène (Cas n°91-20-3)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Aiguë	Orale	Syst. nerveux	souris	90	MRL = 0,6 mg/kg/j	ATSDR (2005)
Subchronique	Orale	Syst. nerveux	souris	90	MRL = 0,6 mg/kg/j	ATSDR (2005)
Chronique	Inhalation	Syst. respiratoire	souris	300	MRL (0.7 ppb)= 4 µg/m^3	ATSDR (2005)
			souris	3000	RfC = **3 µg/m^3**	US EPA (1998)
			souris	1000	REL = 9 µg/m^3	OEHHA (2003)
	Orale	Diminution poids corporel	rat	3000	RfD = **0,02 mg/kg/j**	US EPA (1998)

La VTR chronique établie par l'US-EPA de 0.02 mg/kg/j est tirée de l'étude de Battelle, 1980, avec un NOAEL de 71,4 mg/kg/j (ajusté au temps d'exposition) associé à une baisse de 10 % du poids du corps des rats mâles exposés, par gavage, au naphtalène pendant 90 jours. Un facteur de sécurité de 3000 a été appliqué, 10 pour l'extrapolation de l'animal vers l'homme, un facteur de 10 afin de protéger la population sensible au naphtalène, un facteur de 10 pour l'extrapolation des données subchroniques vers des données chroniques et un facteur 3 pour le manque d'études.

La VTR chronique pour les effets toxiques non cancérigènes du naphtalène par inhalation de l'US-EPA reprend un LOAEL ajusté par le NTP, 1992 de 9,3 mg/m^3 pour une hyperplasie de l'épithélium respiratoire et une métaplasie de l'épithélium olfactif chez les souris. Ce LOAEL a été utilisé en lui appliquant un facteur de sécurité de 3000 (un facteur 10 pour l'extrapolation de la souris vers l'homme, un facteur 10 afin de protéger la population sensible au naphtalène, un facteur de 10 pour l'extrapolation d'un LOAEL vers un NOAEL et un facteur de 3 pour l'insuffisance des données).

Cette valeur est du même ordre de grandeur tout en demerant plus précautionneuse pour la santé que celles proposées par l'ATSDR en 2005.

Phénanthrène (Cas n°85-01-8)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Orale	Cf les travaux du TPHCWG[10]			TDI = 0.04 mg/kg/j	RIVM (1999-2000)

Le RIVM propose un TDI de 0.04 mg/kg/j pour une exposition chronique par voie orale au phénanthrène (Baars *et al.*, 2001). Cette valeur a été élaborée pour les hydrocarbures aromatiques comportant de 10 à 16 carbones et qui ne sont pas considérés comme cancérigènes (Baars *et al.,* 2001). La méthodologie ayant conduit à cette valeur de risque (et aussi à celles correspondant à d'autres fractions du pétrole) est issue des travaux réalisés en 1997 par le TPHCWG (Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group).

[10] Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working group.

Pyrène (Cas n° 129-00-0)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Orale	rein	souris	3000	RfD = 0.03 mg/kg/j	US-EPA (1989)

VTR de l'US-EPA de 0.03 mg/kg/j. Cette valeur a été établie à partir de l'étude expérimentale de US-EPA (1989) sur des souris pendant une durée sub-chronique (décrite ci-avant), le NOAEL défini de 75 mg/kg/j auquel un facteur de sécurité de 3000 a été appliqué a permis d'établir la VTR retenue.
Le facteur de sécurité se décompose comme suit : facteur 10 pour l'extrapolation d'une exposition subchronique à une exposition chronique, facteur 10 pour l'extrapolation des données animales à l'homme, facteur 10 pour la variabilité intra-espèce et un facteur 3 pour prendre en compte le manque de données sur la reproduction et le développement.

Valeurs toxicologiques de référence retenues

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

E-1) Effets cancérigènes

Le choix des valeurs toxicologiques de référence a été réalisé conformément à la position de l'INERIS[11] qui est reprise ci-après.

Pour une exposition par voie orale à un mélange de HAPs, l'INERIS propose d'utiliser l'approche substance par substance (TEF), car malgré les inconvénients que présente cette approche, elle est standardisée et permet d'évaluer le risque induit par tous les types de mélanges. De plus, l'approche par mélanges (approche par comparaison des potentiels toxiques des mélanges analogues et utilisation du benzo[a]pyrène comme indicateur d'un mélange) a été essentiellement élaborée dans le cas d'une exposition par inhalation.

L'INERIS appuie l'avis de l'AFSSA (2003) et propose de retenir l'ERUo établi par le RIVM de $0{,}2\ (mg/kg/j)^{-1}$. L'étude critique choisie par le RIVM est de bonne qualité et le modèle mathématique utilisé est bien adapté. La valeur plus prudente de l'US-EPA $(7.2\ (mg/kg/j)^{-1})$ n'est donc pas retenue.

Pour une exposition par inhalation à un mélange de HAPs, l'INERIS conseille de prendre en compte le seul Excès de Risque Unitaire (ERUi) spécifique du benzo[a]pyrène, soit l'ERUi de $1{,}1\ 10^{-3}\ (\mu g/m^3)^{-1}$ proposé par l'OEHHA et de lui appliquer les FET. On notera cependant que cet ERUi a été établi à partir d'étude sur les animaux et est relatif au seul cancer du poumon (à la différence de l'ERUi de l'OMS établi à partir de données humaines pour plusieurs types de cancer). Par ailleurs, la valeur de l'OMS, non retenue, correspond à la valeur guide pour l'air en Europe (Air quality guidelines for Europe, OMS, 2000).

Dans le cas où le mélange de HAPs est similaire au profil à celui de l'étude critique retenue par l'OMS, il est plus approprié de retenir, sans application des FET, la valeur de $8{,}7\ 10^{-2}\ (\mu g/m^3)^{-1}$ proposée par l'OMS (Le benzo[a]pyrène est alors considéré comme un indicateur d'un mélange de HAPs issu de cokeries). Cependant, ce cas est rarement rencontré en raison de la forte variabilité de la composition des mélanges en HAPs, même issus d'émissions de cokeries.

[11] INERIS. « Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) Evaluation de la relation dose réponse pour des effets cancérigènes : Approche substance par substance : FET) et approche par mélange. » Rapport final, 18 décembre 2003.

Pour certains mélanges particuliers tels les gaz d'échappement d'essence et de Diesel, les goudrons des toitures, les fumées de charbon et les fumées de bois, des potentiels cancérigènes exprimés en fonction du potentiel établi pour les émissions de fours à coke (OMS, 2000) sont à prendre en compte. Ces potentiels sont présentés dans le rapport INERIS.

TEF choisis et VTR associées

L'INERIS propose d'utiliser les TEF établis par Nisbet et LaGoy en 1992 en attribuant au dibenzo[a,h]anthracène un facteur de 1 au lieu de 5. Ces TEF sont considérés comme valables aussi bien pour la voie orale que la voie inhalation.

Les valeurs toxicologiques ainsi retenues sont présentées dans le tableau suivant. Les HAP pour lesquels les valeurs sont grisées sont discutés ci-après.

	TEF retenus	ERUo (mg/kg/j)-1	ERUi (µg/m3)-1
Naphtalène	0.001	0.0002	1.10E-06
Acenaphtylène	0.001	0.0002	1.10E-06
Acenaphtène	0.001	0.0002	1.10E-06
Fluorène	0.001	0.0002	1.10E-06
Phénanthrène	0.001	0.0002	1.10E-06
Anthracène	0.01	0.002	1.10E-05
Fluoranthène	0.001	0.0002	1.10E-06
Pyrène	0.001	0.0002	1.10E-06
Benzo(a)anthracène	0.1	0.02	1.10E-04
Chrysene	0.01	0.002	1.10E-05
benzo(b)fluoranthène	0.1	0.02	1.10E-04
benzo(k)fluoranthène	0.1	0.02	1.10E-04
Benzo(a)pyrène	**1**	**0.2**	**1.10E-03**
Dibenzo(a,h)anthracène	1	0.2	1.10E-03
benzo(g,h,i) pérylène	0.01	0.002	1.10E-05
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0.1	0.02	1.10E-04

Pour un certain nombre de HAP (acénaphtène, acénaphtylène, fluorène, fluoranthene, phénanthrène, anthracène, pyrène et benzo(g,h,i)pérylène), malgré l'absence de preuve sur leurs effets éventuellement cancérigènes (et les classements sur leur cancérogénicité associés), la position de l'INERIS suivie par BURGEAP de prendre en compte des TEF et des valeurs toxicologiques par voie orale, inhalation ou cutanée est fortement discutable et présente des incertitudes qu'il conviendra de souligner si nécessaire dans l'évaluation du risque sanitaire.

Pour le cas particulier du naphtalène, l'application des recommandations de l'INERIS n'est pas conforme à ce que l'on sait de la cancérogénicité du naphtalène (différente de celle des autres HAP) et de son caractère non génotoxique. Cependant, en l'absence de valeur de référence validée pour cette substance, afin de ne pas sous-estimer le risque cancérigène, les ERUo et ERUi présentés dans le tableau ci-dessus sont retenus. Cette approche fortement discutable devra être discutée dans les incertitudes de l'évaluation du risque sanitaire compte tenu en particulier du caractère volatil du naphtalène par rapport aux autres HAP considérés.

On notera en particulier pour le naphtalène, que l'ERUi calculé à partir du TEF retenu par l'INERIS , de $1{,}1\ 10^{-6}\ (\mu g/m^3)^{-1}$ est moins pénalisant (d'un facteur 30) que la valeur proposés par l'OEHHA sur laquelle aucune information n'est disponible.

E-2) Effets toxiques non cancérigènes

Acénaphtène (83-29-9)

La VTR retenue pour les effets toxiques non cancégirènes pour des expositions chroniques par ingestion est celle proposée par l'US-EPA : RfD de 0.06 mg/kg/j, seule valeur disponible pour des durées d'exposition chroniques.

La RfC de l'acénaphtène n'est pas disponible dans la littérature. Elle peut être dérivée à partir de la RfD (0,06 mg/kg/j), pour les adultes et enfants en prenant les paramètres présentés dans le chapitre 1 et un taux d'absorption de 40 % par voie orale.

La RfC ainsi calculée serait de 72 $\mu g/m^3$ pour l'adulte et 36 $\mu g/m^3$ pour l'enfant de moins de 7 ans.

Anthracène (120-12-7)

La VTR retenue pour les effets toxiques non cancérigènes pour des expositions chroniques par ingestion est celle proposée par l'US-EPA : RfD de 0.3 mg/kg/j, seule valeur disponible pour des durées d'exposition chroniques.

La RfC de l'anthracène n'est pas disponible dans la littérature. Elle peut être dérivée à partir de la RfD (0,3 mg/kg/j), pour les adultes et enfants en prenant les paramètres présentés dans le chapitre 1 et un taux d'absorption de 40 % par voie orale. La RfC ainsi calculée serait de 360 $\mu g/m^3$ pour l'adulte et 180 $\mu g/m^3$ pour l'enfant de moins de 7 ans.

Fluoranthène (CAS n°206-44-0) et Fluorène (CAS n°86-73-7

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques non cancérigènes du fluoranthène et du fluorène par ingestion est celle proposée par l'US-EPA : RfD de 0.04 mg/kg/j, seule valeur disponible pour des durées d'exposition chroniques.

Les RfC du fluoranthène et du fluorène ne sont pas disponibles dans la littérature. Elles peuvent être dérivées à partir de la RfD (0,04 mg/kg/j), pour les adultes et enfants en prenant les paramètres présentés dans le chapitre 1 et un taux d'absorption de 40 % par voie orale. La RfC ainsi calculée serait de 48 $\mu g/m^3$ pour l'adulte et 24 $\mu g/m^3$ pour l'enfant de moins de 7 ans.

Naphtalène (Cas n°91-20-3)

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques non cancérigènes du naphtalène par ingestion est celle proposée par l'US-EPA de 0.02 mg/kg/j.

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques non cancérigènes du naphtalène par inhalation est celle proposée par l'US-EPA de $3\ 10^{-3}\ mg/m^3$. Cette valeur est du même ordre de grandeur que celle proposée par l'ATSDR en 2005. Bien que le facteur de sécurité appliqué paraisse trop élevé, elle est retenue à titre de prudence afin de prendre en compte les travaux en cours sur les effets cancérogènes du naphtalène.

Phénanthrène (CAS n°85-01-8)

En l'absence d'autres valeurs spécifiques, compte tenu que l'absorption par voie cutanée du phénanthrène est importante au regard des autres HAP le TDI de 0.04 mg/kg/j est retenu, malgré les incertitudes importantes sur l'extrapolation réalisée par le RIVM.

La RfC du phénanthrène n'est pas disponible dans la littérature. Elle peut être dérivée à partir de la RfD (0,04 mg/kg/j), pour les adultes et enfants en prenant les paramètres présentés dans le chapitre 1 et un taux d'absorption de 40 % par voie orale. La RfC ainsi calculée serait de 48 µg/m^3 pour l'adulte et 24 µg/m^3 pour l'enfant de moins de 7 ans.

On notera que ces valeurs sont entâchées d'une incertitude importante.

Pyrène (CAS n°129-00-0)

En l'absence d'autres valeurs spécifiques, nous retiendrons pour les effets chroniques non cancérigènes par ingestion du phénanthrène une VTR de 0,03 mg/kg/j, seule valeur disponible pour des durées d'exposition chroniques.

La RfC du pyrène n'est pas disponible dans la littérature. Elle peut être dérivée à partir de la RfD (0,03 mg/kg/j), pour les adultes et enfants en prenant les paramètres présentés dans le chapitre 1 et un taux d'absorption de 40 % par voie orale. La RfC ainsi calculée serait de 36 µg/m^3 pour l'adulte et 18 µg/m^3 pour l'enfant de moins de 7 ans.

METAUX ET METALLOÏDES

Antimoine (Sb)

Les informations présentées ci-après sont tirées pour l'essentiel du rapport de l'AFFSA : Evaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement des limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine de sept.2004.

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

L'antimoine (Sb) est un métal blanc argenté à la dureté moyenne qui se casse facilement, il se situe à la frontière entre les métaux et les non-métaux. Les principales formes rencontrées dans l'environnement sont l'antimoin métal (Sb Cas n°7440-36-0), le trioxyde d'antimoine (Sb2O3, cas n° 1309-64-4), le tartrate d'antimoine et de potassium (cas n°28300-74-5) et le tartrate d'antimoine et de sodium (cas n°34521-09-0).

L'antimoine est peu abondant dans l'écorce terreste, le minéral le plus important est la stibine (SbS2) qui est associé à d'autres minéraux sulfurés dont la galène et la pyrite. Dans l'industrie, l'antimoine peut être utilisé avec d'autres métaux pour accroitre leurs duretés (alliages de plomb, d'etain, de zinc…), pour la fabrication de semi-conducteurs et peut être présent dans les platiques et les produits chimiques.

En milieu aqueux, l'antimoine est présent sous forme d'ions et de complexes solubles, la forme prédominante semble être pentavalente (AFSSA, 2004).

Du point de vue chimique, l'antimoine est très stable au contact de l'air et n'est attaqué ni par les acides, ni par les bases. En présence d'hydrogène, cependant, le trioxyde d'antimoine peut être réduit en trihydrure d'antimoine (SbH_3), gaz toxique.

L'oxyde d'antimoine est une poudre blanche qui ne s'évapore pas. Seule une petite part peut se dissoudre dans l'eau. La plupart de l'oxyde d'antimoine produit est ajouté aux textiles et aux plastiques pour empêcher leur prise au feu.

Voies d'exposition et absorption

Pour la population générale, l'alimentation est la principale voie d'exposition à l'antimoine.

Lors d'exposition professionnelle (métallurgie, mines, industries chimiques), la voie respiratoire est la voie principale d'exposition, l'antimoine est alors essentiellement sous forme de trioxyde d'antimoine.

Métabolisation

L'importance de l'absorption par le tractus digestif dépend de la forme chimique de l'antimoine et de sa solubilité. L'absorption intestinale serait chez l'animal de l'ordre de 5 à 20%. Pour l'homme les rares données observées montrent des taux d'absorption de l'ordre de 5%.

B) valeurs guides

La réglementation française (décret 21-12-2001) et la directive de la CE (03/11/98) donne une valeur guide de 5 µg/l pour l'antimoine. La valeur guide pour les eaux de boisson établie par l'OMS (2004) est de 20 µg/l.

Dans les sols et dans l'air on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

C) Profil toxicologique

Classement

Absence de classement pour l'antimoine.

Le symbole classant le trioxyde d'antimoine Xn (nocif). La phrase de risque qui le représente est R40 (possibilité d'effets irréversibles de type cancer).

Effets cancérigènes

L'antimoine n'est pas classé par rapport à sa cancérogénicité.

Le trioxyde d'antimoine est classé 2B par le CIRC (cancérogène possible) et dans la catégorie 3 pour l'union européenne. Il n'a pas fait l'objet de classement par l'US-EPA.

Des expositions professionnelles au trioxyde d'antimoine ont été associés à une augmentation de l'incidence de cancers du poumon, mais les études disponibles sont peu nombreuses et les données fragmentaires. Chez les animaux cependant, les études réalisées ont mis en évidence une augmentation des cancers du poumon.

Effets Mutagènes et sur la reproduction

Non renseigné

Autres effets toxiques

Le potentiel toxique des formes pentavalentes de l'antimoine (les plus présentes dans l'eau) semble être moins prononcé que celui des formes trivalentes. Par ailleurs, les formes organiques de l'antimoine semblent moins toxiques que les formes inorganiques. (AFFSA, 2004)

La toxicité de l'antimoine et de ses composés varie avec l'état chimique de l'élément. Sous sa forme métallique, l'antimoine est relativement inerte. Lors des expositions chroniques au trioxyde d'antimoine, les manifestations les plus fréquemment rencontrées sont : des signes d'atteintes des muqueuses (irritations bronchio-pulmonaires) et des signes cutanés. Dans des études à long terme, les animaux qui ont respiré les niveaux très bas d'antimoine ont subi une irritation de l'oeil, la perte de cheveux, des dommages aux poumons, et des problèmes de coeur. L'ensemble des symptômes observés sont :

- Inappétence, fatigue, irritabilité;
- peau: irritations, éruptions;
- Irritation des muqueuses;
- atteintes hépatiques et hématologiques;
- troubles gastro-intestinaux (ulcères, crampes, diarrhées et vomissements);
- respiratoires (toux, bronchite, emphysème, pneumoconiose); rhinite, pharyngite, cloison nasale perforée;
- électrocardiogramme perturbé.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancers issus de la synthèse réalisée par l'AFFSA pour la voie orale (Evaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement des limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, sept.2004), pour la voie inhalation, la seule VTR présentée est issue de l'US-EPA.

Différentes formes de l'antimoine (Sb)						
Exposition	Voie d'exposition	Effet ou Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Formes indistinctes						
Chronique	Ingestion	Baisse de longévité	rat	500	DJT= $8{,}6.10^{-4}$ mg/kg/j	OMS (1994)
Chronique	Ingestion	Perte de poids	rat	1000	Prov DJT = 6.10^{-3} mg/kg/j	OMS (2003)
Chronique	Ingestion	Baisse de longévité	rat	1000	RfD = $4.\ 10^{-4}$ mg/kg/j	US-EPA (1991)
Chronique	Ingestion	Changements histologiques	rat	300	DJT = $2.\ 10^{-4}$ mg/kg/j	Santé Canada (1997)
Trioxyde d'antimoine						
chronique	Inhalation	poumon	rat	300	RfC = $2.\ 10^{-4}$ mg/m^3	US-EPA (1995)

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

L'AFFSA dans son étude précise que les critères de choix de la DJT sont encore en discussion par la communauté scientifique.
Pour la voie orale, en l'absence d'élements permettant de faire un choix selon les critères affichés au paragraphe 1 du présent document, en raison du caractère provisoire de la DJT de l'OMS, et les potentiels effets synergiques de l'antimoine et de l'arsenic, la VTR de **l'US-EPA** de **$4.\ 10^{-4}$ mg/kg/j** sera retenue.
Pour la voie inhalation, la VTR établie par **l'US-EPA** pour le trioxyde d'antimoine de **$2.\ 10^{-4}$ mg/m^3** sera retenue en rappelant que cette substance est classée comme un cancérogène possible ou probable.

Arsenic

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

L'arsenic se présente généralement sous forme de cristaux gris, brillants, d'aspect métallique.

La masse molaire de l'arsenic est de 74,92 g/mol ; sa densité est de 5,727 et son point de fusion se situe entre 613 et 615°C (INERIS, 2004).

L'arsenic est assez répandu dans la nature en particulier dans les roches qui renferment plus de 99 % de l'arsenic présent dans la croûte terrestre sous forme de minerais. Ses principaux minerais sont : le mispickel (FeAsS), le réalgar (As_2S_2), l'orpiment (As_2S_3), la loellingite (As_2Fe). D'autres sources naturelles d'émission d'arsenic dans l'atmosphère sont l'activité volcanique et les feux de forêts.

Les composés de l'arsenic les plus couramment utilisés dans l'industrie sont le pentoxyde de diarsenic, l'arseniate de calcium, l'arsenite de cuivre, l'arsenite de sodium, le trichlorure d'arsenic et le trioxyde d'arsenic (As_2O_3) le plus important commercialement.

La majeure partie de l'arsenic anthropique atmosphérique provient des fumées émanant des industries de production d'As_2O_3 et de la combustion de produits fossiles (charbons, pétroles, huiles) qui contiennent un pourcentage important d'arsenic. En milieu réducteur et acide, on peut avoir dans les sols de l'arsine (gaz) dont la toxicité par inhalation est très élevée.

Voies d'exposition et absorption

Chez l'homme, l'absorption de l'arsenic est estimée à 95 % par voie orale et à 30 à 34 % par inhalation. La voie cutanée est une voie mineure d'absorption.

Métabolisation

L'arsenic est transformé dans le sang et distribué rapidement aux divers organes (pour les composés trivalents, foie et rein surtout ; pour les pentavalents, répartition plus générale). Les composés traversent les barrières hématoméningée et placentaire. Les composés trivalents sont transformés en composés pentavalents et l'élimination se fait par le rein.

B) Valeurs guides

La concentration admissible dans les eaux de boisson en France est de 10 µg/l (décret 21-12-2001).

Dans l'air, aucune valeur guide n'a été déterminée par l'OMS. L'OMS précise cependant que la concentration de $6{,}6.10^{-3}$ µg/m^3 entraierait pour une exposition durant la vie entière un excès de risque de 1.10^{-5}.

C) Profil toxicologique

Classification

Le symbole classant l'arsenic est T (toxique). La phrase de risque qui le représente est :

- R23/25 (toxique par inhalation et par ingestion).

Le symbole classant le trioxyde de diarsenic est T+ (très toxique). Les phrases de risque qui le représentent sont :

- R45 : peut causer le cancer,

- R28 : également très toxique en cas d'ingestion,
- R34 : provoque des brûlures.

Effets cancérigènes

Au niveau de l'UE, le pentaoxyde et le trioxyde de di-arsenic sont placés en **catégorie 1**. L'arsenic inorganique est cancérigène pour l'homme : le CIRC-IARC l'a placé dans le **groupe 1** (1987). L'arsenic et l'ensemble de ses composés inorganiques sont également classés par l'US-EPA dans le **groupe A** (1998).

Il a été prouvé que la consommation d'eau contenant de fortes concentrations d'arsenic induit des cancers de la peau et peut être d'autres formes de cancers.

A partir de l'observation de populations de travailleurs (fonderies, fabrication de certains pesticides, travailleurs de vergers, négociants en vin) un risque de cancer des voies respiratoires lié à l'inhalation a été mis en évidence. Plusieurs études épidémiologiques ont révélé une élévation du nombre de cancer du poumon et de la peau chez les personnes exposées à l'arsenic. Le rôle des facteurs adjuvants tels que le tabac et le dioxyde de soufre serait important dans la fréquence d'apparition de ces cancers. D'autres localisations tumorales sont suspectées (foie, sang …) mais non prouvées.

Effets Mutagènes

Le pentoxyde d'arsenic, l'arseniate de plomb, l'arsenic, l'arsine ne sont pas classé mutagène.

Effets sur la reproduction

Aucun des composés de l'arsenic n'est classé reprotoxique par l'Union européenne.

Des études épidémiologiques ont montré que les enfants des femmes exposés professionnellement par inhalation à l'arsenic présentaient un taux de malformation supérieur à celui attendu et un poids de naissance légèrement diminué, sans que cela soit corrélé avec l'exposition à l'arsenic.

Autres effets toxiques

En toxicité chronique, les données fournies concernent l'arsenic inorganique (sans distinction entre les formes pentavalentes et trivalentes).

Les effets toxiques chroniques des dérivés inorganiques de l'arsenic sont des atteintes cutanées (hyperkératoses, hyper et hypo-pigmentation), des effets cardiovasculaires (troubles de la conduction, atteinte du système vasculaire périphérique), des atteintes du système nerveux (paresthésie des extrémités des pieds et des mains) et des effets hépatiques et hémoragiques (anémie et leucopénie).

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérigènes et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer de **l'arsenic inorganique**.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS (INERIS –DRC-01-25590-00DF258 ; oct.2004).

Arsenic - effets sans seuil				
Voie d'exposition	Type deffet considéré	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Cancer pulmonaire	homme	ERUi = $4{,}3.10^{-3}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$	US EPA (1998)
		homme	ERUi = $3{,}3.10^{-3}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$	OEHHA (2002)
		homme	ERUi = **$1{,}5.10^{-3}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$**	OMS (2000)
Ingestion	Cancer peau	homme	ERUo = **1,5 $(mg/kg/j)^{-1}$**	US EPA (1998)
		homme	ERUo = 1,5 $(mg/kg/j)^{-1}$	OEHHA (2002)

Arsenic – effets à seuil					
Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Inhalation	Syst. nerveux, cardiovasculaire et effets sur le développement	souris	1000	REL = 0,03 µg/m^3	OEHHA (2003)
	Système pulmonaire	homme	10	**TCA =** 1 µg/m^3	RIVM (2001)
Ingestion	Syst. cutané	homme	3	MRL = **0,0003 mg/kg/j**	ATSDR Prov. (2005)
		homme	3	RfD = **0,0003 mg/kg/j**	US EPA (1993)
		homme	2	TDI = 1.10^{-3} mg/kg/j	RIVM (2001)
		homme	-	DHTP = 0,015 mg/kg	OMS (1994)

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

La VTR retenue pour les effets **cancérigènes par ingestion** est celle proposée par l'US-EPA (IRIS 1998) et l'OEHHA (2002), soit un ERUo de **1,5 (mg/kg/j)$^{-1}$** (1998). Cette valeur a été établie à partir du rapport de synthèse réalisé par l'US EPA en 1988. Les études ayant fourni les valeurs pour l'établissement d'une relation dose effet sont celles de Tseng *et al.,* (1968) et Tseng (1977). Les effets critiques retenus sont le taux de prévalence de cancers cutanés en fonction des doses et de l'âge, selon un modèle multi-étapes de type linéaire et quadratique.

La VTR retenue pour les effets **cancérigènes par inhalation des formes inorganiques de l'arsenic** est celle proposée par l'OMS soit un ERUi de **1,5.10^{-3} (µg/m^3)$^{-1}$**, ce choix est réalisé compte tenu du nombre plus important d'études intégrées à l'élaboration de cette VTR.

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques **non cancérigènes par ingestion** des formes inorganiques de l'arsenic est celle proposée par l'US-EPA (1998) et l'ATSDR (2005), soit une RfD de **3.10^{-4} mg/kg/j** pour les atteintes cutanées. On note que le facteur de sécurité est faible (3) et que la VTR sélectionnée est plus conservatoire que celle proposée par l'OMS et le RIVM.

Par souci de cohérence, la VTR chronique retenue pour les effets toxiques **non cancérigènes par inhalation** des formes inorganiques de l'arsenic est une valeur que nous avons dérivée à partir de la RfD de l'US EPA en prenant en compte les paramètres du chapitre 1 et des taux d'absorption de 95% et 30 % respectivement pour la voie orale et la voie inhalation.

La VTR retenue est donc de **1,4 µg/m^3** pour des atteintes sur le système pulmonaire.

Cadmium

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le cadmium dans l'environnement n'est quasi jamais trouvé à l'état métallique, mais dans son état d'oxydation unique, c'est-à-dire +II. Le cadmium est un métal malléable trouvé le plus souvent dans l'environnement sous forme d'oxyde et de sels. La masse molaire du cadmium est de 112,4 g/mol. Sa densité est de 8,6 et son point de fusion est de 321 °C.

Le cadmium rejeté dans l'atmosphère provient de sources naturelles et anthropiques. Le cadmium présent dans la croûte terrestre peut être dispersé dans l'air par entraînement de particules provenant du sol et par les éruptions volcaniques. Cependant, les activités industrielles telles que le raffinage des métaux non ferreux, la combustion du charbon et des produits pétroliers, les incinérateurs d'ordures ménagères et la métallurgie de l'acier constituent les principales sources de rejet atmosphérique.

Dans l'eau, le cadmium provient de l'érosion naturelle, du lessivage des sols ainsi que des décharges industrielles et du traitement des effluents industriels et des mines.

Les principaux composés du cadmium sont l'oxyde de cadmium, le chlorure de cadmium, le sulfure de cadmium. Dans les sols, le cadmium existe sous forme soluble dans l'eau du sol : $CdCl_2$, $CdSO_4$, ou sous forme de complexe insoluble inorganiques ou organiques avec les composants du sol. Malgré une tension de vapeur faible, le cadmium métal émet des vapeurs en dessous de son point de fusion, soit 321 °C et même à l'état solide. Dans l'air les vapeurs de cadmium se transforment rapidement en oxyde. Ainsi, le cadmium se retrouve dans l'air principalement sous forme particulaire ; la principale forme étant l'oxyde de cadmium (les autres formes étant des sels de cadmium) (INERIS).

Voies d'exposition et absorption

Par voie pulmonaire, une fraction du cadmium se dépose le long du tractus respiratoire en fonction de la taille et de l'hydrosolubilité : pour l'oxyde de cadmium, elle varie de 10-30% pour les poussières à 25-50% pour les fumées. Cette absorption peut se poursuivre pendant plusieurs semaines même après une inhalation unique [INRS, fiches Biotox].

Par voie digestive, l'absorption est d'environ 5%. Le taux d'absorption du cadmium est directement lié à la forme chimique. Ce taux d'absorption peut être augmenté lors de carences alimentaires en calcium, en fer, en zinc, en cuivre ou en protéines.

Métabolisation

Le cadmium est transporté dans le sang fixé à l'hémoglobine ou aux métallothionéines. Il se concentre principalement dans le foie et les reins (entre 50 % et 70% de la charge totale) et peut également se retrouver dans le pancréas, la glande thyroïde, les testicules et les glandes salivaires. La demi-vie dans l'organisme est estimée comprise entre 20 et 30 ans.

Le cadmium est excrété dans les fécès, les urines et les phanères.

B) Valeurs guides

La concentration admissible dans les eaux de boisson en France et en Europe pour le cadmium est de 5 µg/l (décret 21-12-2001).

L'OMS propose pour les eaux de boisson (Drinking water guidelines, 2004) une concentration admissible de 3 µg/l.

L'OMS recommande une valeur guide de 5.10^{-3} µg/m^3 pour une exposition chronique par inhalation. Cette valeur de précaution non fondée formellement sur l'exploitation de relations dose-réponse a été établie sur la base du bruit de fond existant actuellement, pour limiter les apports de cadmium par la ration alimentaire en Europe, et protéger ainsi les générations futures vis-à-vis de possibles altérations des fonctions rénales.

C) Profil toxicologique

Classement

Le symbole classant le cadmium est T (toxique). Les phrases de risque qui le représentent sont :

- R22 (nocif en cas d'ingestion),
- R40 (possibilité d'effets irréversibles),
- R49 (peut causer le cancer par inhalation),
- R48/23/25 (risque d'effet grave pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation et par ingestion);

Effets cancérigènes

Les composés du cadmium sont reconnus comme cancérigènes pour l'homme par la voie respiratoire, ils induisent des cancers du poumon et des bronches, et non cancérogènes par la voie orale.

Le **chlorure** de cadmium, le **fluorure** de cadmium, **l'oxyde** de cadmium et le **sulfate** de cadmium sont classé en **catégorie 2** « substance devant être assimilée à des substances cancérogènes pour l'homme » par l'Union Européenne. Le **sulfure de cadmium** est quant à lui classé **catégorie 3** « substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles » par l'Union Européenne.
L'ensemble des composés du cadmium est placé dans le **groupe** 1 par l'IARC et le cadmium est considéré comme substance **probablement cancérigène** pour l'homme par **voie respiratoire** par l'US-EPA.

L'US-EPA précise que ce classement est lié à des études épidémiologiques par inhalation. Il ajoute que les études réalisées sur les rats et souris par administration orale (au nombre de 7), ne mettent pas en évidence d'incidence de cancer.

Différentes études réalisées en milieu professionnel, et correspondant à des expositions par inhalation, ont montré une augmentation significative de la mortalité par cancer pulmonaire en cas d'exposition au cadmium. L'augmentation du risque de cancer de la prostate n'est pas clairement établie.

Effets Mutagènes

Le cadmium métal n'est pas classée mutagène. Les chlorure et fluorure de cadmium sont classés **mutagènes 2,** substances devant être assimilées à des sustances mutagènes pour l'homme, par l'union européenne.

Certains composés du cadmium seraient susceptibles d'induire des abérrations chromosomiques.

Effets sur la reproduction

Le cadmium métal n'est pas classé reprotoxique. Les chlorure et fluorure de cadmium sont classés **reprotoxiques 2** par l'union européenne, substances devant être assimilées à des sustances altérant la fertilité ou causant des effets toxiques sur le développement dans l'espèce humaine.

Les rares études ayant cherché à identifier un effet du cadmium sur la fonction de reproduction chez l'homme n'ont pas montré de diminution de la fertilité ni d'effet sur la fonction endocrine.

Autres effets toxiques

Le principal organe cible est le rein. L'exposition chronique au cadmium entraîne l'apparition d'une néphropathie irréversible pouvant évoluer vers une insuffisance rénale. Une dégénérescence des cellules tubulaires rénales se manifeste précocement, elle est suivie par une réaction inflammatoire interstitielle puis une fibrose. Une atteinte glomérulaire a été observée chez des salariés exposés au cadmium (SFSP, 1999).

Par ingestion, les LOAEL les plus faibles induisant un dysfonctionnement rénal correspondent à une consommation quotidienne de 140 à 260 µg de cadmium pendant toute une vie (ce qui correspond à environ 14 à 26 µg/kg/semaine). Une dose de cadmium ingéré de 2 g environ induit des altérations rénales ce qui permet de définir un NOAEL de 0,0021 mg/kg/j.

Des troubles respiratoires sont rapportés pour des expositions cumulées atteignant des niveaux d'exposition plus élevés et lors d'expositions réalisées par inhalation. Ces troubles sont essentiellement liés aux effets irritants des particules de cadmium. Dans de conditions d'exposition professionnelle au cadmium, l'altération de la fonction pulmonaire ne survient qu'après 20 ans environ d'exposition.

Des atteintes du squelette liées à une interférence avec le métabolisme du calcium sont également observées pour les expositions à des concentrations importantes.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérigènes et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS (INERIS –DRC-01-25590-ETSC-Api/SD-N°00df249; janv.2004).

Cadmium - effets sans seuil				
Voie d'exposition	Type d'effet considéré	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Cancer pulmonaire	homme	**ERU_i = $1{,}8.10^{-3}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$**	US EPA (1992)

Cadmium – effets à seuil					
Voie d'exposition	Organe critique	Observation portant sur	Facteur de Sécurité	Valeur	Source
Inhalation	Rein	homme	30	REL = $2\ 10^{-2}$ µg/m^3	OEHHA (2003)
Ingestion	Rein	homme	10	MRL = $2\ 10^{-4}$ mg/kg/j	ATSDR (1999)

		homme	10	RfD = **1 10^{-3} mg/kg/j**	US EPA (1994)
		homme	-	TDI= 5 10^{-4} mg/kg/j	RIVM (2001)
		homme	-	DHTP = 7 10^{-3} mg/kg	OMS (1996)
		homme	100	REL = 5 10^{-4} mg/kg	OEHHA (2003)

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

La VTR retenue pour les effets **cancérigènes par inhalation des formes inorganiques du cadmium** est celle proposée par l'US EPA soit **$1{,}8.10^{-3}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$.**

Le cadmium n'étant considéré comme cancérigène que pour la voie inhalation, aucune dérivation voie à voie n'est réalisée à partir de l'ERUi retenu.

Pour les effets toxiques hors cancer par ingestion la valeur de l'ATSDR est controversée en raison de l'effet retenu (augmentation du taux de β2-microglobuline) qui ne constitue pas l'effet toxique majeur du cadmium. La VTR chronique retenue pour les effets toxiques **non cancérigènes par ingestion** est celle proposée par l'US-EPA et JECFA de **1.10^{-3} mg/kg/jour.**

Pour les **effets toxiques hors cancer par inhalation** il est pertinent de dériver une valeur à partir de la valeur par ingestion car les effets toxiques sont les mêmes par les deux voies. En prenant comme cible un enfant (poids corporel 15 kg et volume respiratoire journalier 10 m^3) et des taux d'absorption de 5 % et 25 % respectivement par voie orale et inhalation, on obtient la VTR retenue de **0,3 µg/m^3**.

Une valeur similaire a été calculée par l'OMS (Air Quality Guidelines, 2000) à partir des observations en milieu professionnel sur la base d'une concentration admissible dans l'air de travail de 100 µg/m^3/an/8 heures par jour. La VTR chronique retenue pour les effets toxiques non cancérigènes par inhalation est donc cette dernière valeur de 0,3 µg/m^3 en considérant que son degré de confiance est élevé.

Chrome

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le chrome peut exister sous plusieurs niveaux d'oxydation, principalement les niveaux d'oxydation III (chrome trivalent) et VI (chrome hexavalent). Les différentes formes chimiques qui sont trouvées dans l'environnement sont les ions Cr^{3+} et $Cr_2O_7^{2-}$, le trioxyde de chrome et certains composés du chrome VI qui sont le plus souvent d'origine anthropique. La masse molaire du chrome est de 52,0. Sa densité est de 7,14 et son point de fusion est de 1890°C.

Le chrome est un élément présent dans l'environnement de manière ubiquitaire qui est largement distribué dans la croûte terrestre, où il est principalement concentré dans les roches, avec comme principal minerai la chromite ($FeCr_2O_4$).

Comme précisé ci-dessus ce sont principalement les composés trivalents et éventuellement hexavalents qui sont détectés dans l'environnement en quantités significatives, le chrome issu de la roche-mère étant généralement sous forme trivalente. Bien que la thermodynamique indique que le chrome VI peut exister de manière naturelle dans les sols, il est le plus souvent introduit dans l'environnement par les activités industrielles.

Les principales sources d'émission de chrome dans l'atmosphère sont l'industrie chimique, la combustion de gaz naturel, de pétrole et de charbon, avec dissémination secondaire par le vent des poussières contaminées par ces différentes sources.

Le chrome est, à l'état de traces, indispensable au bon fonctionnement des organismes (végétaux, animaux et humains), et peut à ce titre être considéré comme un oligo-élément, l'insuffisance de chrome pouvant induire des carences. A l'opposé une trop forte concentration de chrome dans l'organisme peut engendrer des effets toxiques.

Ce sont les formes hexavalentes du chrome qui sont à la fois les plus solubles et les plus toxiques.

Voies d'exposition et absorption

Les composés du chrome VI pénètrent facilement dans l'organisme par toutes les voies d'exposition (orale, respiratoire et cutanée), alors que les composés du chrome III pénètrent difficilement et, en particulier, ils ne peuvent franchir la barrière cutanée.

L'absorption gastro-intestinale est estimée entre 0,5 et 2%.

Chez l'animal, lors d'une exposition par inhalation au chrome VI, l'absorption est importante, de l'ordre de 53 à 85%. Pour le chrome III, l'absorption est de l'ordre de 5 à 30%.

Le passage transcutané des composés les plus hydrosolubles du chrome VI est faible à travers la peau intacte (1 à 4 %) et n'a que peu d'incidence par rapport à l'exposition par inhalation. Concernant le coefficient de perméabilité cutanée depuis l'eau (cm/h), l'US EPA propose pour le chromate de sodium, un Kp de $2\ 10^{-3}$ et pour le dichromate de sodium, un Kp de 10^{-3}.

Métabolisation

Son transport est assuré par le sang (la teneur en chrome augmente surtout dans les hématies). Puis il est rapidement distribué et passe dans les organes où il s'accumule (au niveau des poumons, du foie, des reins, et des os). Son élimination est rapide et se fait essentiellement par voie urinaire (la demi-vie urinaire du chrome (VI) est de 15 à 41 heures).

.

B) Valeurs guides

La concentration admissible en chrome total dans les eaux de boisson en France est de 50 µg/l (décret 21-12-2001).

La valeur guide dans l'air, recommandée par l'OMS pour l'Europe (2000), est de $2{,}5.10^{-4}$ µg/m^3 pour le chrome VI. L'OMS précise cependant que la concentration de 1 µg/m^3 en chrome VI entraînerait pour une exposition durant la vie entière un excès de risque de 4.10^{-2}. L'effet critique retenu est le cancer pulmonaire.

C) Profil toxicologique

Classement

Aucun étiquetage n'est appliqué au chrome métallique.

Le symbole classant le trioxyde de chrome (composé de chrome VI) est T (toxique). Les phrases de risque qui le représentent sont :

- R49 : peut causer le cancer par inhalation,
- R25 : toxique par ingestion,
- R36 : provoque degrves brûlures
- R43 : peut entrainer un sensibilisation par contact avec la peau.

Effets cancérigènes

L'UE n'a pas établi de classification pour le chrome métal et pour les composés du chrome III ; Le trioxyde de chrome est clasé en **catégorie 1**, les autres composés du chrome VI sont classés en **catégorie 2**.

L'IARC a placé les composés du chrome VI dans le **groupe 1** et les composés du chrome III ainsi que le chrome métal dans le **groupe 3**.

L'US-EPA a placé les composés du chrome VI dans le **groupe A** par l**a voie respiratoire** et dans le **groupe D par la voie orale**, alors que les composés du chrome III ont été placés dans le **groupe D** quelle que soit la voie d'exposition.

Les composés du chrome VI sont cancérogènes pour l'homme par la voie respiratoire, ils induisent principalement des cancers du poumon et des bronches, mais ils ne sont pas cancérogènes par la voie orale.

Les composés du chrome III, élément essentiel en particulier pour le métabolisme des protides et des lipides, ne sont pas cancérogènes pour l'homme.

De nombreuses études épidémiologiques réalisées sur des salariés de la production de chromates ont mis en évidence un excès de risque pour le cancer du poumon, qui apparaît lié à l'exposition à des poussières, qui contiennent en fait des mélanges de chrome III et de chrome VI. Il semble en ressortir que les chromates les plus dangereux sont les plus solubles (chromates de calcium, de strontium et de zinc). D'autre part au niveau des usages, les opérations de chromage électrolytique mettant en œuvre du trioxyde de chrome sont également considérées comme cancérogènes.

L'exposition aux chromates pourrait également favoriser des cancers localisés dans la cavité nasale, le larynx ou l'estomac. A l'opposé il n'existe pas d'études montrant un excès de risque de cancer lors de l'exposition au chrome métal seul (IARC 1990).

Effets Mutagènes

Les chromate et dichromate de sodium, le dichromate d'ammonium, les chromate et dichromate de potassium, le dichlorodioxyde de chrome sont clasés en **catégorie 2** : « substances devant être assimilées à des substances mutagènes pour l'homme » par l'Union Européenne.

Effets sur la reproduction

Aucun des composés du chrome n'est classé reprotoxique par l'Union Européenne.

Les seules données connues concernant les effets éventuels du chrome sur la fonction de reproduction sont issues d'études réalisées chez la femme exposée professionnellement aux dichromates. Ces études semblent montrer une augmentation de l'incidence des complications au cours de la grossesse et de la naissance, ainsi qu'une augmentation des hémorragies post-natales, mais, bien qu'il existe un groupe témoin, la qualité globale des observations est insuffisante pour pouvoir établir avec certitude un lien causal avec les expositions au chrome.

Autres effets toxiques

Le chrome n'est pas volatil (INERIS) ce qui explique que les données toxicologiques par voie respiratoire ne concernent que le chrome particulaire.

Le tractus respiratoire est l'organe cible des effets lors de l'exposition par inhalation aux dérivés du chrome III et du chrome VI. Il s'agit alors d'atteintes au site de contact. Le chrome et ses dérivés peuvent avoir un effet sensibilisant qui se manifeste par de l'asthme et des dermatites, mais le nombre d'individus sensibilisés reste faible par comparaison aux concentrations parfois élevées.

Des atteintes hépatiques ont été décrites lors de l'exposition professionnelle au trioxyde de chrome, des atteintes oculaires ont également été mises en évidence lors de l'exposition directe aux dérivées du chrome.

Des dermites eczématiformes et des ulcérations sont observés lors d'exposition par la voie dermique.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérigènes et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS (INERIS-DRC-01-05590-00DF253, Déc.2004)

Chrome VI - effets sans seuil				
Voie d'exposition	Type d'effet considéré	Espèce	Valeur	Source
Inhalation	Cancer du poumon	homme	ERU_i = $1{,}2\ 10^{-2}\ (\mu g/m^3)^{-1}$	US-EPA (1998)
		homme	**ERU_i = $4\ 10^{-2}\ (\mu g/m^3)^{-1}$**	OMS (2000)

Chrome III – effets à seuil					
Voie d'exposition	Organe critique	Observation portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Inhalation	foie	homme	10	TCA = **60 µg/m^3 (métal insoluble)**	RIVM (2001)
Ingestion		rat	1000	RfD = 1,5 mg/kg/j	US EPA (1998)
		rat	1000	RfD = 1,5 mg/kg/j	ATSDR (2000)
		rat	100	TDI = **5 mg/kg/j** (métal insoloble)	RIVM (2001)
		rat	100	TDI = 5 10^{-3} mg/kg/j (soluble)	RIVM (2001)

Chrome VI aérosol - effets à seuil					
Voie d'exposition	Organe critique	Observation portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Inhalation	poumon, nez	homme	100	MRL = 0,005 µg/m^3	ATSDR (2000)
		homme	30	RfC = **0,008 µg/m^3**	US-EPA (1998)

Chrome VI Particulaire - effets à seuil					
Voie d'exposition	Organe critique	Observation portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Inhalation	Bronches poumons	-	30	MRL = 1 µg/m^3	ATSDR (2000)
		rat	300	RfC = **0,1 µg/m^3**	US-EPA (1998)
		rat	100	REL = 0,2 µg/m^3 (soluble sauf CrO_3)	OEHHA (2003)
		homme	300	REL = 2 10^{-3} µg/m^3(CrO_3)	OEHHA (2003)
Ingestion	-	rat	900	RfD = **3 10^{-3} mg/kg/j**	US-EPA (1998)
	Bronches poumons	rat	500	TDI = 5 10^{-3} mg/kg/j	RIVM (2001) prov
		rat	100	REL = 2 10^{-2} mg/kg/j (soluble sauf CrO_3)	OEHHA (2003)

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

Chrome III

La VTR chronique retenue pour **les effets toxiques non cancérigènes du chrome III** par **inhalation** est celle du RIVM qui est de **60 µg/ m^3.**

La VTR chronique retenue pour **les effets toxiques non cancérigènes du chrome III** par **ingestion** est celle proposée par le l'US-EPA et l'ATSDR qui est de **1,5 mg/kg/j**. Cette valeur est retenue par principe de sécurité, bien que les effets toxiques dans ces études ne soient pas marqués.

Chrome VI particulaire

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques **cancérigènes du chrome VI par inhalation** est celle de l'OMS datant de 2000 qui est de **4.10^{-2} $(\mu g/m^3)^{-1}$**. Cette valeur a été établie à partir de plusieurs études épidémiologiques (Hayes *et al.*, 1979 ; Langard, 1980 ; Langard *et al.,* 1990), dont certaines assez récentes complètent celle retenue par l'US EPA. Dans ces études l'effet retenu est la survenue de cancer pulmonaire, l'OMS a retenu la moyenne géométrique des ERUi de ces études.

Le choix de retenir la valeur établie par l'OMS repose sur le nombre d'études prises en compte (les autres organismes ne retenant que l'étude épidémiologique de Mancuso, 1975), par contre les incertitudes de l'évaluation devront intégrer la gamme d'ERUi synthétisée par l'OMS de **$1{,}1\ 10^{-2}$ à $1{,}3\ 10^{-1}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$**.

La VTR chronique retenue pour **les effets toxiques non cancérigènes du chrome VI (particulaire)** par **inhalation** est celle de l'US-EPA datant de 1998 qui est de **0,1 µg/m^3** pour les effets sur les bronches et les poumons. Cette VTR n'est applicable qu'aux composés du chrome VI sous forme particulaire et ne peut donc s'appliquer aux émissions atmosphériques de composés du chrome VI à l'état gazeux ou en aérosols. Le niveau de confiance de cette valeur est considéré comme **moyen** par l'US-EPA, on peut aussi considérer qu'elle surestime le danger par le choix de l'effet critique et du facteur de sécurité (10) retenu pour l'extrapolation à partir d'une étude subchronique.

La VTR chronique retenue pour **les effets toxiques non cancérigènes du chrome VI (particulaire)** par **ingestion** est celle proposée par l'US-EPA (1998), soit une RfD de **$3\ 10^{-3}$ mg/kg/j**. Le niveau de confiance accordé à cette valeur par l'US-EPA est faible, et compte tenu de sa construction mais surtout compte tenu de l'effet critique retenu, elle doit être appliquée avec prudence et discernement.

Chrome VI aérosol

La VTR chronique retenue pour **les effets toxiques non cancérigènes du chrome VI (aérosol)** par **inhalation** est celle de l'US-EPA datant de 1998 qui est de **0.008 µg/m^3** pour les effets sur le septum nasal.

Cuivre

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le cuivre est un solide lustré rougeâtre et inodore. Il est l'un des métaux les plus employés à cause de ses propriétés physiques et particulièrement de sa conductibilité électrique et thermique.

La masse molaire du cuivre est de 63,55 g/mol, sa densité est de 8,9 et son point de fusion est de 1083°C.

Le cuivre métallique peut facilement être moulé ou modelé. Il est utilisé en métallurgie dans la fabrication des alliages comme le bronze, le laiton (avec le zinc), etc. Il est très largement employé dans la fabrication de matériels électriques (fils, enroulements de moteurs, dynamos, transformateurs), dans la plomberie, dans les équipements industriels, dans l'automobile et en chaudronnerie.

Le cuivre est principalement produit par broyage de minerais sulfurés et enrichissement par flottation ou par lessivage acide des minerais oxydés suivi d'une fusion et d'un raffinage électrolytique ou thermique.

Dans l'air, la principale source de contamination est l'entraînement de poussières de sol par le vent. Par ordre d'importance, les autres sources d'exposition ubiquitaire sont : l'activité volcanique, la décomposition végétale, les feux de forêts et les aérosols marins.

Voies d'exposition et absorption

L'absorption de cuivre est possible par toutes les voies. Par voie orale, l'absorption gastro-intestinale est de 15 à 97% (INERIS, 2004). L'absorption pulmonaire de cuivre sous forme de poussières ou de fumées est possible mais le taux d'absorption par cette voie chez l'homme n'est pas déterminé (RIVM, 2001).

Métabolisation

Le cuivre est un élément essentiel chez l'homme et l'animal impliqué dans de nombreuses voies métaboliques, notamment pour la formation d'hémoglobine et la maturation des polynucléaires neutrophiles. De plus, c'est un co-facteur spécifique de nombreuses enzymes et métalloprotéines de structure.

En liaison avec ses fonctions organiques étendues, le cuivre présente une large distribution dans l'organisme via le sang associé à des protéines. Les plus fortes concentrations tissulaires en cuivre sont mesurées au niveau du foie, de la bile, du système nerveux central, du cœur et des reins ainsi que dans les os. Le foie est le principal organe cible.

B) Valeurs guides

On notera que les doses minimales journalières requises pour éviter une déficience en cuivre sont de 20 à 80 µg/kg/j (INERIS). L'OMS dans le document préparatoire aux valeurs guides pour les eaux de boissons rapportent des doses recommandées en cuivre (aux USA et au Canada) :

- de 0.9 mg/j pour les adultes et 1 à 1,3 mg/j pour les femmes enceintes et en période d'alaitement, ce qui correspond en prenant un poids de 60 kg à une dose minimale de 0.015 mg/kg/j ;
- de 0.44 mg/j pour les enfants de 4 à 8 ans (d'autres valeurs ne sont pas reprises ici), ce qui correspond en prenant un poids de 15 kg à une dose minimale de 0.03 mg/kg/j.

La dose tolérable maximale journalière par les aliments et compléments alimentaires est recommandée par l'IOM (2001) à 10 mg/jour pour les adultes, ce qui correspond pour un adulte à une dose maximale de 0.16 mg/kg/j.

La concentration admissible en cuivre dans les eaux de boisson en France et en Europe est de 2 mg/l (décret 21-12-2001).

C) Profil toxicologique

Classification

NA

Effets cancérigènes

Le cuivre est classé dans le **groupe 3** (inclassifiable) par le CIRC/IARC. L'US-EPA estime que le cuivre est non classifiable quant à sa cancérogénicité pour l'homme (**groupe D**).

Les données épidémiologiques disponibles pour lesquelles les taux de cuivre sériques ont été mesurés lors de cancers déclarés ne peuvent être retenues en raison d'une étiologie plurifactorielle de ces cancers. Au cours d'études prospectives où les taux sériques de cuivre ont été mesurés avant le développement de tumeurs, il est observé des relations entre des taux sériques en cuivre supérieurs à 1,25 mg/l et l'apparition de cancers. Toutefois, aucune certitude n'a pu être établie, ni de relations dose-effet. Quel que soit le type de données analysées, aucune certitude n'a pu être établie concernant le rôle cancérigène du cuivre chez l'homme.

Effets Mutagènes

Le cuivre et les principaux sels de cuivre II ne sont pas classés mutagènes par l'Union Européenne.

Effets sur la reproduction

Le cuivre et ses principaux sels ne sont pas classés reprotoxiques par l'Union Européenne.

Une étude réalisée au cours des années 1976-1978 aux Etats-Unis, montre qu'il n'existe pas de corrélation entre le risque abortif et une exposition au cuivre présent dans l'eau de boisson à des concentrations supérieures à 1mg/l.

Il n'existe pas d'autres données de toxicité spécifiques de la reproduction chez l'homme pour des expositions au cuivre par inhalation, voie orale ou voie cutanée.

Autres effets toxiques

Les données existantes chez l'homme par inhalation concernent des expositions professionnelles. Une centaine de salariés a fait l'objet d'un suivi médical complet (prélèvements sanguins, dosages sériques de cuivre et de protéines, tests hépatiques) sur une période de 4 ans. Les individus étaient exposés à des poussières de cuivre à raison de 464, 132 et 111 mg de cuivre/m^3 au cours de la première, seconde et troisième année. Une irritation des voies aériennes supérieures et des troubles gastro-intestinaux (anorexie, nausée, diarrhée) sont reportés (Suciu et al., 1981).

Chez d'autres salariés exposés à des poussières ou des fumées de cuivre, des syndromes de "fièvre des fumées de métaux" (fièvre, céphalée, sécheresse buccale, sueurs froides et douleurs musculaires) ont été observés notamment pour des concentrations de 0,075 à 0,12 mg de cuivre/m^3.

L'absorption de 5,7 à 637 mg de cuivre/kg/jour sous forme de sulfate de cuivre a entraîné chez des adultes une nécrose hépatique centrolobulaire et une nécrose tubulaire rénale. Cette atteinte rénale a été également décrite chez un enfant ayant absorbé une solution contenant environ 3 g de cuivre sous forme de sulfate de cuivre. Par voie cutanée, le cuivre et ses sels induisent une dermatite de contact allergique prurigineuse. Le niveau de sensibilisation correspond à un contact de 24 à 48 heures avec 0,5 à 5 % de sulfate de cuivre présent dans l'eau ou du pétrole. Il n'existe pas de données de toxicité chronique par voie cutanée chez l'homme et l'animal.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS (INERIS –DRC-02-25590-02DF54, Déc.2004).

Cuivre - autres effets toxiques -					
Voie d'exposition	Organe critique	Observation portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Inhalation	Syst. respiratoire et immunitaire	lapin	**600**	**TCA = 1 µg/m^3**	RIVM (2001)
Ingestion (subchronique)	Syst.digestif	-	**3**	**MRL= 0,01 mg/kg/j**	ATSDR (2004)
Ingestion	Syst.digestif	souris	**30**	**TDI = 0,14 mg/kg/j**	RIVM (2001)
		chien	10	DJT = 0,5 mg/kg/j	OMS (1996)

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques non cancérigènes du cuivre par inhalation est celle du RIVM soit **1 µg/m^3**. En raison du facteur de sécurité élevé, cette valeur sera considérée avec un niveau de confiance modéré.

Compte tenu des doses journalières recommandées pour le cuivre comme élément essentiel dans l'organisme, nous avons retenu pour les effets toxiques non cancérigènes du cuivre par ingestion la VTR du RIVM **de 0,14 mg/kg/j** qui correspond à une limite d'apport journalier recommandée.

Etain (Sn)

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

L'étain (tin en anglais, symbole Sn) peut se présenter sous forme inorganique (Cas n°7440-31-5), sous forme organique (dibutyletain : cas n° 683-18-1 et tributyletain : cas n°56-36-9).

L'étain est un élément naturel de la croûte terrestre. C'est un métal mou, blanc, argenté qui ne se dissout pas dans l'eau. Il est présent dans le laiton, bronze et quelques matériaux de soudure. Le métal est employé pour étamer les boite de conserve pour la nourriture, les boissons, et les aérosols.

La masse molaire de l'étain est de 118,69. Sa densité est de 7,3 g/ml et son point de fusion est de 231,9°C.

Les combinaisons avec d'autres produits chimiques s'appellent les composés d'étain inorganiques (chlorure stanneux, sulfure stanneux, oxyde stannique). Ceux-ci sont employés en pâte dentifrice, parfums, savons, additifs et colorants. L'étain peut également se combiner avec le carbone pour former des composés tels que le dibutylétain, le tributylétain, le triphenylétain. Ces composés sont employés pour faire des plastiques, des paquets de nourriture, des pipes en plastique, des pesticides, des peintures.

Voies d'exposition et absorption, métabolisation

Non renseigné

B) valeurs guides

Absence de valeur guide dans les eaux, les sols et l'air pour l'étain et ses différentes formes.

C) Profil toxicologique

Absence de classement pour l'étain et ses différentes formes.

Effets cancérigènes, Mutagènes et sur la reproduction

Non renseigné

Autres effets toxiques

L'étain métallique n'est pas très toxique en raison de sa faible absorption gastro-intestinale. Les études prouvent que l'ingestion de grandes quantités de composés d'étain inorganiques peut cependant poser des maux d'estomac, l'anémie, et des problèmes de foie et de rein. L'inhalation des vapeurs de produit métallique fondu issu de boîte en fer blanc entraîne des effets pulmonaires défavorables avec possibilité de pneumoconiose bénigne: la stannose.

L'inhalation, l'ingestion, ou le contact cutané avec quelques composés tels que le trimethylétain, et le triethylétain, peut altérer le cerveau et le système nerveux central. Dans des cas graves, cela peut causer la mort. Ils peuvent également affecter le système immunitaire chez les animaux, mais ceci n'a pas été examiné chez l'homme.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Des Valeurs toxicologiques sont données par l'ATSDR (2005) et présentées dans le tableau suivant.

Différentes formes de l'étain (Sn)						
Exposition	Voie d'exposition	Effet ou Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Etain inorganique (Cas 7440-31-5)						
chronique	Ingestion	Système gastrique	homme	-	DJT = 2 mg/kg/j	JEFCA (2000)
Subchronique	Ingestion	Système hémato.	-	100	MRL = 0.3 mg/kg/j	ATSDR (2005)
Di butyle tain (Cas 683-18-1)						
Subchronique	Ingestion	Système immunologique		1000	MRL = 0.005 mg/kg/j	ATSDR (2005)
Tri butyle tain (Cas 56-36-9)						
Subchronique & chronique	Ingestion	Système immunologique		100	MRL = 0.0003 mg/kg/j	ATSDR (2005)

E) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques **non cancérigènes** de l'étain par **ingestion** est celle établie par l'ATSDR, soit **3.10^{-4} mg/kg/j**. Cette valeur a été établie à partir d'études pour le ributyl-étain, elle correspond donc à la toxicité la plus élevée des différentes formes **de l'étain.**

Compte tenu des écarts importants entre les valeurs toxicologiques de référence des différentes formes d'étain, une incertitude élevée de l'évaluation porte sur ce choix de VTR qui est réalisé afin de ne pas sous-estimer l'éventuelle toxicité de la forme en présence. Une discussion de ce choix devra être conduite et des mesures adaptées proposées afin de réduire cette incertitude.

Manganèse (Mn)

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le manganèse (Mn, CAS n°7439-96-5) est un constituant majeur de la croute terrestre, il est généralement associé à la présence de fer.

Dans l'industrie, il est utilisé avec le fer dans la fabrication d'alliages (fonte et acier, et métallurgie de l'aluminium, cuivre, nickel, etc.), il peut également être utilisé dans la coloration du verre, comme constituant de piles électrodes.

Le manganèse est un élément indispensable au fonctionnement physiologique normal chez toutes les espèces animales.

Voies d'exposition et absorption et métabolisation

La principale voie d'expostion au manganèse est l'alimentation. En milieu de travail, ce produit est absorbé principalement par les voies respiratoires. L'absorption cutanée est considérée négligeable. Il est faiblement absorbé par les voies digestives.

B) valeurs guides

La réglementation française (décret 21-12-2001) et la directive de la CE (03/11/98) donne une valeur guide de 50 µg/l pour le manganèse. La valeur guide pour les eaux de boisson établie par l'OMS (2004) est de 400 µg/l précisant qu'une concentration inférieure peut altérer l'apparence de l'eau (dépôts noirâtres).
L'OMS (Air quality Guidelines for Europe, 2000) propose une valeur guide pour le manganèse de 0,15 µg/m^3 pour une exposition moyenne annuelle.
Dans les sols, on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

C) Profil toxicologique

Classement

Absence de classement pour le manganèse. Le dioxyde de manganèse est classé Xn (nocif) et représenté par les phrases de risque R20/22 (nocif par inhalation et ingestion).

Effets cancérigènes, mutagènes et sur la reproduction

Le manganèse est placé dans la catégorie D (non classifiable) par l'US-EPA (1988), il n'est pas classé par l'union européenne ou l'OMS.

Autres effets toxiques

La toxicité du manganèse dépend de la voie d'exposition. Par voie orale, plusieurs maladies neurologiques peuvent être liées, soit à un défaut, soit à un excès de manganèse. Les effets provoqués par une surconsommation de manganèse concernent le système nerveux central (fatigue, tremblements, dystonie).

Par voie inhalation, depuis le début du XIXème siècle, le manganèse est connu comme toxique pour les travailleurs des industries lourdes.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancers issus de la recherche auprès des principales bases de données (ATSDR, OMS, US-EPA, RIVM et Health canada).

Manganèse						
Exposition	Voie d'exposition	Effet ou Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Formes indistinctes						
Chronique	Ingestion	-	homme	3	DJT = 0.06 mg/kg/j	OMS (2004)
Chronique	Ingestion	Systeme nerveux central	homme	1	RfD = 0,14 mg/kg/j	US-EPA (1996)
Chronique	Inhalation	Système neurologique	homme	1000	RfC = 5. 10^{-5} mg/m^3	US-EPA (1993)
Chronique	Inhalation	Système neurologique	homme	500	MRL = 4. 10^{-5} mg/m^3	ATSDR (2000)

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

La sélection des VTR repose sur les critères énoncés au chapitre méthodologie.
Pour la voie inhalation, la VTR établie par l'**ATSDR** (2000) de **4.10^{-5} mg/m^3** sera retenue, cette valeur est environ 3 fois plus faible (et donc prudente) que la valeur guide proposée par l'OMS.

Pour le risque chronique non cancérigène par **ingestion**, l'US-EPA propose une RfD orale (0,14 mg/kg/j) basée sur une dose sans effets (NOAEL) de 10 mg/j. Cette dose correspond pour une population moyenne à une dose sans effets irréversibles sur la santé de l'individu, ce qui ne veut pas dire que des doses supérieures impliquent des effets toxiques (US-EPA). Cette valeur est applicable sans facteur de sécurité pour l'ingestion d'aliments. Cependant, dans le calcul d'une exposition par l'eau de boisson ou le sol, IRIS recommande d'utiliser un facteur de sécurité de 3, abaissant ainsi la RfD à $4,67.10^{-2}$, qui a été arrondi à $4,6.10^{-2}$, afin de ne pas minimiser le risque.

La RfD = $4,6.10^{-2}$ mg/kg/j de l'US-EPA est retenue pour la boisson et les sols.

La RfD = $1,4.10^{-1}$ mg/kg/j de l'US-EPA est retenue pour l'ingestion de végétaux.

Mercure

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le mercure est le seul métal à se présenter sous forme liquide dans les conditions normales de température et de pression, conditions pour lesquelles il émet spontanément des vapeurs. La masse molaire du mercure métallique est de 200,59 g/mol, sa densité est de 13,55 et son point de fusion est de -38,9°C. Sa densité de vapeur est de 6,93.

Le mercure peut se présenter sous différentes formes :

- Le **mercure sous forme métallique (HgII) ou mercure élémentaire** (CAS n°7439-97-6) qui est toxique uniquement par inhalation. Le mercure est le seul métal pour lequel il peut y avoir une exposition environnementale significative à la forme élémentaire. Dans l'air, on va trouver le mercure essentiellement sous forme métallique. Il est à noter que ce métal a un fort potentiel de bioaccumulation, c'est-à-dire qu'il se fixera facilement dans les tissus lipidiques des êtres vivants.
- Le **mercure inorganique Hg** : essentiellement chlorure de mercure (CAS n°7487-94-7), sulfure de mercure (CAS n°1344-48-5), oxyde de mercure (CAS n°21908-53-2). Il se forme dans les sols par réduction du HgII et est toxique par voie orale et inhalation. Les composés inorganiques du mercure sont très peu volatils.
- Le **mercure organique** : essentiellement MeHg (méthylmercure, CAS n° 22967-92-6) mais aussi EtHg ou $(Me)_2Hg$. Il peut être formé par processus microbien à partir du mercure métallique. Sous cette forme, le mercure est toxique par voie orale et inhalation. L'acidification du milieu augmente le taux de méthylation, en particulier chez les organismes aquatiques (poissons, mollusques..).

Voies d'exposition et absorption

L'air ambiant et les amalgames dentaires sont les sources principales d'exposition aux vapeurs de mercure, alors que c'est la ration alimentaire qui est la source d'exposition aux composés du méthyle-mercure. L'exposition au méthyle-mercure aéroporté est de 2 ou 3 ordres de grandeur au-dessous de la prise quotidienne par la nourriture et, dans ce contexte, sera considérée comme insignifiante.

Le tableau suivant résume les taux d'absorption mis en évidence par les principales études sur l'absorption des différentes formes du mercure.

Voie d'exposition	**Mercure élémentaire**	**Mercure inorganique**	**Mercure organique**
Orale	< 0,01% (homme) * nd **	7 - 15% (homme) ** jusqu'à 10 % (homme) *	95% (homme) ** > 90 % (homme) *
Inhalation	75 - 85% (homme) ** 80 % (homme) *	40% (animal)**	-
Cutanée	2,6% (homme) **	faible	75% (animal) **

* source INRS, fiche biotox
** source INERIS, fiche de mai 2005
nd ** : la valeur affichée dans le tableau de synthèse de l'INERIS fait vraisemblablement référence à une forme inorganique (chlorure mercurique)

Métabolisation

Le métabolisme et le comportement physiologique du mercure varient considérablement en fonction de son degré d'ionisation. Il passe facilement les membranes pulmonaires en raison de sa forte diffusabilité et de sa liposolubilité. Il passe ensuite rapidement dans le système sanguin : 10 mn après la fin de l'exposition, 70 % du mercure est absorbé. L'accumulation se fait ensuite dans le foie et dans les reins.

B) Valeurs guides

La concentration admissible en mercure dans les eaux de boisson en France et en Europe est de 1 µg/l (décret 21-12-2001).

L'OMS (Air quality Guidelines for Europe, 2000) propose une valeur guide de 1 µg/m^3 pour les vapeurs de mercure inorganique pour une exposition moyenne annuelle. L'OMS précise cependant que des effets sur le système immunitaire ne peuvent être exclus à de plus faibles concentrations.

C) Profil toxicologique

Classement

Le symbole classant le mercure métal et ses composés inorganiques est T (toxique). Les phrases de risque qui les représentent sont :

- R23 (toxique par inhalation),
- R33 (danger d'effet cumuilatif)

Effets cancérigènes

En l'état actuel des connaissances, le mercure métallique n'est pas considéré comme cancérigène pour l'homme de même que les composés inorganiques du mercure.

L'IARC (1997) a placé le **mercure métal et les composés inorganiques du mercure** dans le groupe **3**, et le **méthylmercure** dans le groupe **2B**.

Le **mercure élémentaire** est classé **D**, « preuves non adéquates chez l'homme et preuves insuffisantes chez l'animal » par l'US EPA. Le **chlorure mercurique** et le **méthylmercure** sont classés **C** « Preuves inadéquates chez l'homme et preuves limitées chez l'animal » par l'US EPA en 1995.

Effets Mutagènes

Aucun des composés du mercure n'est classé mutagène par l'Union Européenne.

Il est cependant à noter que les dérivés minéraux solubles du mercure, comme ceux de nombreux métaux, exercent une action mutagène dans plusieurs systèmes expérimentaux. Ces observations sont toutefois insuffisantes à elles seules, pour en déduire un effet mutagène éventuel du mercure chez l'homme.

Effets sur la Reproduction

Chez les hommes, des cas d'oligospermie et de stérilité ont été observés chez des travailleurs exposés à l'oxyde mercurique dans une fabrique de batteries. Chez les femmes, une augmentation de l'incidence des avortements spontanés a été observée chez les sujets exposés aux vapeurs de mercure.

Les risques d'effets indésirables du méthylmercure sont accrus chez les femmes enceintes et allaitantes, mais l'OMS a estimé qu'elle ne disposait pas de données suffisantes pour recommander une dose de méthylmercure pour ce groupe de population.

Aucun des composés du mercure n'est classé reprotoxique par l'Union Européene.

Autres effets toxiques

- **Mercure élémentaire** : L'organe cible majeur est le système nerveux central. Des expositions à long terme et à faibles concentrations (25-80 µg/m^3) provoquent des tremblements, de l'irritabilité, une faible concentration intellectuelle et des troubles de la mémoire. On observe également une diminution de la capacité psychomotrice et de la neurotransmission. L'exposition à long terme au mercure élémentaire montre que le rein est également un organe cible.

En cas de contact avec des plaies ouvertes, le mercure, à des concentrations très élevées, peut provoquer des inflammations locales.

- **Mercure inorganique** : Le rein est l'organe cible après exposition par voie orale au mercure inorganique. En milieu industriel, l'exposition au mercure inorganique est associée à une protéinurie, et parfois à une néphropathie qui pourrait être d'origine immunitaire.

Pour les voies d'absorption par contact cutané et par inhalation, les informations ne sont pas disponibles.

- **Mercure organique** : La voie orale est la voie d'absorption principale du mercure organique et le cerveau est le principal organe cible. Les fonctions sensorielles telles que la vue et l'ouïe aussi bien que les zones du cerveau impliquées dans la coordination motrice sont généralement affectées.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, USEPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS (INERIS-DRC-00-N°25590–N°99DF389, version2, mai 2005).

Mercure – effets à seuil						
Exposition	Voie d'exposition	cible	espèce	Facteur de sécurité	valeur	source
Mercure élémentaire						
chronique	Inhalation	Système nerveux	homme	100	REL = 0,09 µg/m^3	OEHHA (2003)
				30	RfC = 0,3 µg/m^3	US EPA (1995)
				30	**MRL = 0,2 µg/m^3**	ATSDR (1999)
				30	TCA = 0,2 µg/m^3	RIVM (2001)

Mercure – effets à seuil						
Exposition	Voie d'exposition	cible	espèce	Facteur de sécurité	valeur	source
Mercure inorganique (* : chlorure mercurique)						
	Inhalation	Système nerveux	homme	100	REL = 0,09 µg/m^3	OEHHA (2003)
chronique	Inhalation	Système nerveux	homme	20	Valeur guide = 1 µg/m^3	OMS (2000)
	Ingestion		rat	1000	**RfD = 3.10^{-4} mg/kg/j ***	US EPA (1995)
	Ingestion	rein	rat	100	TDI = 2.10^{-3} mg/kg/j *	RIVM (2001)
Mercure Organique (méthyl mercure : *, acétate de phényl mercure : **)						
chronique	Orale	Effet sur le développement	enfant	10	TDI = 1.10^{-4} mg/kg/j *	RIVM (2000)
		Effet sur le développement	enfant	4,5	**MR = 3 10^{-4} mg/kg/j ***	ATSDR (1999)
		Syst. nerveux	homme	10	RfD = 10^{-4} mg/kg/j *	US EPA (2001)
		Syst. rénal	rat	100	RfD = 8 10^{-5} mg/kg/j **	US EPA (1996)
		-	homme	-	DJT= 4,7 10^{-4} mg/kg/j *	AFSSA 2002)
Mercure Total						
chronique	Orale	-	-	-	DHT= 5.10^{-3} mg/kg/sem.	OMS (2004)
		-	-	-	DJT = 7,1 10^{-4} mg/kg	AFSSA (2002)

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques **non cancérigènes** du mercure par **inhalation (élémentaire sous forme de vapeurs et inorganique sous forme de poussières)** est celle établie par l'ATSDR à **0,2 µg/m^3**. Cette valeur est jugée suffisante pour protéger le sous groupe le plus sensible (fœtus et enfants), elle est légèrement plus faible que celle établie par l'US-EPA avec un degré de confiance moyen ; quant à la valeur plus élevée préconisée par l'OMS, elle ne semble pas couvrir l'ensemble des effets toxiques du mercure.

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques **non cancérigènes** du mercure par **ingestion** est celle établie par l'US EPA, soit **3.10^{-4} mg/kg/j**. Cette valeur a été établie à partir d'études chez le rat, après ingestion de **chlorure mercurique**, elle correspond donc à la toxicité par ingestion des formes **inorganiques du mercure**, qui sont absorbées par la voie digestive, en tenant compte de plus d'effets très sensibles (immunitaires), elle est donc très protectrice. Elle ne concerne pas le mercure métal, qui n'étant pas absorbé par la voie digestive n'a pas, sur le principe à être pris en compte selon cette voie d'absorption.

Nickel

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le nickel peut se présenter sous différentes formes : Poussière de nickel, Sels solubles de nickel (CAS n° 7440-02-0), Sulfure de nickel (nickel Sulfide) (CAS n° 12035-72-2), Carbonyl de nickel (CAS n° 13463-39-3).

La masse molaire du nickel est de 58,69 g/mol, sa densité est de 8,9 et son point de fusion est de 1455°C.

Les principales sources anthropiques sont la combustion de charbon ou de fuel, l'incinération des déchets, l'épandage des boues d'épuration, l'extraction et la production de nickel, la fabrication de l'acier, le nickelage et les fonderies de plomb.

Le nickel est obtenu principalement à partir des minerais de nickel sulfurés (pyrrhotite nickeliferreuse, pentlandite, chalcopyrite) dans lesquels sont également présents le fer et le cuivre.

Le nickel est utilisé dans la production d'aciers inoxydables et d'aciers spéciaux. Il est également employé dans la production d'alliages non ferreux utilisés par exemple dans la fabrication de pièces de monnaie, d'outils, d'ustensiles de cuisine.

Voies d'exposition et absorption

Les voies d'exposition au nickel dans la population générale sont l'inhalation d'air ou de fumée de tabac qui contient du nickel, l'ingestion de nourriture ou d'eau contaminée, ou un contact cutané avec des pièces ou d'autres métaux constitués de nickel.

Par inhalation, le taux d'absorption se situe entre 20 et 35%.

L'absorption par ingestion est faible du fait que la plus grande partie du nickel ingéré est éliminée par les fécès. Pour le sulfate de nickel, le taux d'absorption par ingestion varie de 0,7 à 27% ; il est de 3% chez des volontaires ayant ingéré 5,6 mg de nickel sous forme de sulfate. Par ailleurs, le taux d'absorption par ingestion est nettement plus élevé chez des sujets à jeun que lorsque le produit est ingéré au cours d'un repas.

Métabolisation

La déposition, la rétention et l'absorption pulmonaire des composés du nickel sont régies par les propriétés physico-chimiques des particules : dans le cas de particules solubles dans les milieux biologiques déposées dans les alvéoles, la demi-vie peut être de quelques heures ; dans le cas de particules insolubles, la clairance demande plusieurs semaines, voire plusieurs années. Même en cas de dépôts pulmonaires de fortes doses de produits insolubles, la concentration de nickel dans le sang reste très faible ; elle est plus élevée dans le cas de composés solubles.

Au niveau des organes, le nickel ne se retrouve en quantité appréciable que dans les reins et les poumons. Il est excrété rapidement dans l'urine à des taux très variables et un peu également dans la sueur. En cas d'ingestion, la plus grande partie du nickel est éliminé par les féces.

B) Valeurs guides

La concentration admissible en nickel dans les eaux de boisson en France et en Europe est de 20 µg/l (décret 21-12-2001).

Dans l'air, aucune valeur guide n'a été déterminée par l'OMS. L'OMS précise cependant que la concentration de $2{,}5.10^{-2}$ µg/m^3 entraînerait pour une exposition durant la vie entière un excès de risque de 1.10^{-5}.

C) Profil toxicologique

Classification

Le symbole classant le nickel est Xn (nocif). Les phrases de risque qui le représentent sont :

- R40 (possibilité d'effets irréversibles),
- R43 (peut entrainer une sensibilisation par contact avec la peau),

Le symbole classant le monoxyde de nickel est T (toxique). Les phrases de risque qui le représentent sont :

- R49 (peut causer le cancer par inhalation),
- R43 (peut entrainer une sensibilisation par contact avec la peau),

Effets cancérigènes

L'Union Européenne classe le nickel dans le **groupe 3. Mais l**e dioxyde de nickel, le disulfure de di-nickel, le monoxyde de nickel, le sulfure de nickel et le trioxyde de di-nickel sont quant-à eux classés dans **le groupe 1.**

Le CIRC-IARC a placé dans le groupe 1 tous les composés du nickel (oxydes, sulfates et sulfures) et le nickel métal dans le **groupe 2B** en raison de preuves jugées insuffusantes chez l'homme.

Les **sulfures de nickel et les poussières de nickel** sont placé en **classe A** par l'US-EPA (1995), mais les autres formes du nickel n'ont pas été évalués par cette instance.

Une augmentation des cancers des fosses nasales et des poumons a été mise en évidence chez les travailleurs d'usines de production de nickel (traitement des minerais, hydrométallurgie) exposés par inhalation, et des expérimentations sur l'animal ont montré l'induction de cancers après injection de nickel métal ou de monoxyde de nickel par voie sous-cutanée ou intra-péritonéale. A l'opposé aucun des essais réalisés par voie orale n'a mis en évidence d'effets cancérogènes du nickel ou de ses composés selon cette voie.

Effets Mutagènes

Aucun des composés du nickel n'est classé mutagène par l'Union Européenne.

Effets sur la reproduction

Aucun des composés du nickel n'est classé reprotoxique par l'Union Européenne.

Le nickel ionisé traverse la barrière placentaire. Ses composés minéraux exercent chez le rat des effets foetotoxiques, avec réduction du poids du fœtus, augmentation de la fréquence des résorptions et de la mortinatalité. Chez la souris et le hamster, ils induisent en plus une incidence accrue des malformations au niveau du cerveau, des yeux de la voûte palatine et du squelette.
Les composés du nickel semblent exercer d'autre part un effet sur la fertilité des mâles.

Autres effets toxiques

Le nickel est connu depuis longtemps comme l'allergène le plus courant pour la peau. L'exposition professionnelle semble moins importante pour cette sensibilisation que le contact journalier avec des objets usuels (bijoux, pièces de monnaie…). 40 à 50 % de personnes sensibilisées développent des dermatoses eczématiformes récidivantes. De nombreux cas d'asthme sont liés à une exposition à des composés solubles du nickel. En milieu professionnel, cet asthme peut être associé à une dermatose de contact, à un urticaire ou une rhinite.

L'inhalation de composés de nickel peut avoir des effets sur les voies respiratoires et le système immunitaire. Les composés solubles sont plus toxiques que les composés insolubles. De nombreux cas d'asthmes sont liés à une exposition à des composés solubles du nickel.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérigènes et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS (INERIS-DRC-01-DR029, Déc.2003).

Nickel - effets sans seuil				
Voie d'exposition	Type d'effet considéré	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Cancer du Poumon et du larynx	homme	ERU_i = **$3{,}8\ 10^{-4}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$**	OMS (2000)
		homme	ERU_i = $2{,}6\ 10^{-4}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$	OEHHA (2002)

Nickel – effets à seuil					
Voie d'exposition	Organe critique	Observation portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Inhalation (subchronique)	Système respiratoire	Homme et animale	30	MRL = $0.2\ \mu g/m^3$	ATSDR (2005)
Inhalation	Système respiratoire	Homme et animale	30	MRL = **$9\ 10^{-2}$ µg/m³**	ATSDR (2005)
		rat	100	TCA= $5\ 10^{-2}\ \mu g/m^3$	RIVM (2001)
		lapin	1000	TC = $1{,}8\ 10^{-2}\ \mu g/m^3$	Health Canada (1993)
Ingestion	Diminution poids organes	rat	300	RfD = **2.10^{-2} mg/kg/j**	US EPA (1996)
		rat	100	TDI= 5.10^{-2} mg/kg/j	RIVM (2001)
		-	-	RfD = 5.10^{-3} mg/kg/j	JECFA
	Rein	rat	1000	RfD = $8\ 10^{-3}$ mg/kg/j	ITER (1999)

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

Pour les effets **cancérigènes par inhalation**, on retient la valeur établie récemment par l'OMS à partir du registre des cancers du poumon observés en Norvège chez des travailleurs en raffinerie de nickel entre 1968 et 1987 (Andersen et coll.,1992, 1996) soit **$3{,}8\ 10^{-4}$ ($\mu g/m^3$)$^{-1}$**. Ces études ont été publiées récemment, elles tiennent compte des éventuels facteurs de confusion (tabagisme en particulier).

Compte tenu de l'absence d'évidence d'effets cancérigènes du nickel par ingestion et contact cutané, l'ERUi ci-dessus ne sera pas dérivé en ERUo.

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques **non cancérigènes du nickel par inhalation** est celle de l'ATSDR (2005) de **0,09 $\mu g/m^3$**. Cette valeur établie à partir d'études sur l'homme et présentant un facteur de sécurité faible est préférée à celle plus conservatoire du RIVM (0,05 $\mu g/m^3$) établie à partir détudes sur les rats.

La VTR chronique retenue pour les effets **toxiques non cancérigènes du nickel par ingestion** est celle de l'US-EPA soit **0,02 mg/kg/j**.

Plomb

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le plomb est un métal de couleur gris-bleu, mou et malléable. La masse molaire du plomb est de 207,20, sa densité est de 11,34 et son point de fusion est de 327,5°C. Les composés inorganiques du plomb ne sont pas volatils tandis que les composés organiques peuvent être volatils.

Dans l'air, les émissions de plomb sont principalement anthropiques, cependant depuis les deux dernières décennies, avec la disparition de la consommation de l'essence plombée, la pollution atmosphérique par le plomb a considérablement diminuée.

Le plomb peut être présent sous plusieurs formes, qui dépendront essentiellement des conditions redox et de pH du milieu, mais aussi des espèces rencontrées dans le sol. Ce métal peut ainsi se trouver sous la forme inorganique (ions libres en solution (Pb^{2+}), complexe (Pb^{2+}/acide fulvique), ions adsorbés dans des colloïdes ($Pb^{2+}/Fe(OH)_3$), mais c'est sa forme organique (essentiellement tétraalkyl de plomb) qui est la plus toxique pour l'homme. Le plomb tétraéthyl est un additif des carburants plombés.

Voies d'exposition et absorption

Le plomb pénètre dans l'organisme essentiellement par voie digestive (50% pour l'enfant de 2 ans et 5 à 10% pour l'adulte) et par voie pulmonaire (20 à 30%).

La principale voie d'absorption est digestive, les sources étant constituées par les aliments (le lait, l'eau, les boissons) et également les écailles de peinture, les poussières présentes en milieu domestique et les poussières présentes dans le sol ingérées particulièrement par les jeunes enfants (2 à 3 ans) par portage main-bouche.

Métabolisation

Le plomb absorbé passe dans la circulation sanguine ou plus de 90% est fixé aux globules rouges au niveau de la membrane et de l'hémoglobine ; le reste diffuse dans le sérum. Il est ensuite distribué à tous les organes et tissus, richement vascularisés. Le plomb ne s'accumule pas dans les poumons. Il travrse la barrière placentaire et peut s'accumuler dans les tissus fœtaux.

Le plomb inorganique n'est pas métabolisé dans l'organisme. Le plomb absorbé est éliminé par la voie urinaire. Le plomb, en raison de sa similarité avec le calcium peut également être excrété dans le lait.

B) Valeurs guides

La concentration admissible en plomb dans les eaux de boisson en France aujourd'hui est de 25 µg/l (décret 21-12-2001), cette valeur sera abaissée à partir du 25 décembre 2013 à 10 µg/l qui correspond à la valeur guide au niveau Européen (directive 98/83/CE) et à la valeur recommandée par l'OMS (water quality guidelines, 2004).

L'objectif de qualité de l'air correspond en France à une concentration de 0,5 µg/m^3 en moyenne annuelle (décret 2002-213 de février 2002). L'OMS préconise également de ne pas dépasser le seuil de 0,5 µg/m^3 en exposition moyenne annuelle.

C) Profil toxicologique

Classification

Le symbole classant le plomb est T (toxique). Les phrases de risque qui le représentent sont :
- R20/22 (également nocif par inhalation et par ingestion),
- R33 (danger d'effet cumuilatif)
- R61 (risque pendant la grossesse d'effet néfaste pour l'enfant),
- R62 (risque possible d'altération de la fertilité),

Effets cancérigènes

L'Union Européenne classe le plomb et ses dérivés dans les catégories suivantes:

- Catégorie 3 : les chromates, sulfochromates et sulfochromates molybdates de plomb sont des substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles mais pour lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation satisfaisante.
- Catégorie 1 : l'arséniate de plomb est cancérogène pour l'homme.

L'IARC classe le plomb et ses dérivés dans les groupes suivants :
- Groupe 2A pour le plomb et ses dérivés inorganiques
- Groupe 1 : les chromates et arséniates de plomb sont considérés séparément et classés comme cancérigènes pour l'homme (1987).
- Groupe 3 : les composés organiques ne peuvent être classés pour leur cancérogénicité pour l'homme (1987).

Enfin, l'US-EPA le classe dans le groupe B2 : le plomb et ses dérivés inorganiques pourraient être potentiellement cancérigènes pour l'homme (1989).

Chez l'homme une conjonction de données indique qu'une exposition professionnelle pourrait être associée à un risque accru de cancer bronchique ou du rein (pour des expositions de longue durée).

Une première méta-analyse réalisée par Fu et Boffetta (1995) a en effet montré, au travers de toutes les études de cohortes et cas-témoin publiées jusqu'en 1990, l'existence d'un risque accru de cancers respiratoires, gastriques et vésicaux. Le risque relatif pour le cancer du rein était également accru, mais n'atteignait pas le seuil de signification. Il subsiste cependant à l'égard de ces analyses des réserves relatives à la prise en compte non systématiquement de facteurs de confusion éventuels. En effet, certaines études ne précisent pas l'intervention de facteurs tels que le tabac et les habitudes alimentaires. Par ailleurs, certains auteurs considèrent que l'excès de cancer bronchique chez les fondeurs serait multifactoriel, d'autres composés que le plomb tels que l'arsenic, le chrome hexavalent ou les hydrocarbures aromatiques polycycliques, jouant un rôle majeur (Gerhardsson et Ndberg, 1993; Lundstrom et al., 1997).
Il subsiste des doutes sur le mécanisme, sur les co-expositions, et sur le rôle direct ou indirect des composés du plomb suspectés.

Effets Mutagènes

Aucun des composés du plomb n'est classé mutagène par l'Union Européenne.

il n'est pas exclu que chez l'homme l'exposition au plomb ait un rôle facilitant l'expression de certaines tumeurs en particulier par atteinte des protéines de réparation de l'ADN, les composés inorganiques du plomb ne semblant pas posséder d'effets génotoxiques directs sur l'ADN. Il n'est pas non plus exclu que les composés inorganiques du plomb aient un effet cancérogène à seuil.

Le mécanisme de l'effet mutagène et clastogène du plomb n'est pas clair. L'ensemble des réponses semble suggérer un mécanisme indirect (dérèglement enzymatique) plutôt qu'une lésion directe du matériel génétique.

Effets sur la reproduction

Le plomb et l'ensemble de ses composés sont classés **R1** par l'Union Européenne.

Chez l'homme, les études suggèrent qu'une exposition à long terme au plomb de plusieurs années, de l'ordre de 6 à 10 ans (plombémie supérieure à 400 µg/L), provoque une réduction de la production des spermatozoïdes et, donc, un risque d'hypofertilité. Par ailleurs, le plomb perturbe la sécrétion d'hormones sexuelles.

Les enfants sont par contre à fortiori la cible privilégiée des effets du plomb sur la croissance de l'os. Plusieurs études mettent en évidence une corrélation négative entre plomb d'une part, poids, taille et périmètre thoracique des enfants d'autre part.

Par ailleurs, l'exposition à de faibles doses de plomb entraine des effets ur le développement neuro-comportemental dans la petite enfance.

Autres effets toxiques

Si l'exposition par ingestion prédomine dans la population générale, et l'inhalation en milieu professionnel, ces deux voies sont le plus souvent indiscernables l'une de l'autre. Pour pallier la difficulté qui consiste à identifier ces différentes voies et sources d'exposition, les effets du plomb sur l'homme sont identifiés à partir de la dose interne de plomb mesurée dans le sang (plombémie).

Les principaux effets toxiques liés à une exposition chronique au plomb sont des neuropathies motrices avec déficit intellectuel, des altérations des reins et du système reproducteur (infertilité masculine), ainsi que des inhibitions de la synthèse de l'hémoglobine, et de la vitesse de la conduction nerveuse, effets qui ont pu être associés à des plombémies précises par l'ATSDR. On considère actuellement qu'une plombémie de 100 µg/L est une concentration critique à ne pas dépasser.

Le plomb s'accumule dans l'organisme et sa toxicité se manifeste vraisemblablement sans seuil de dose ainsi les jeunes enfants, pourraient, selon l'OMS présenter des déficits cognitifs et des troubles dans le métabolisme de la vitamine D, pour des plombémies inférieures à 100 µg/L.

Des études réalisées en milieu professionnel ont montré que le plomb peut exercer un effet dépresseur sur la glande thyroïde pour des niveaux d'exposition élevés (Tuppurainen *et al.*, 1988 ; Robins *et al.*,1983).

Pour des expositions moins importantes, des troubles d'ordre neurologiques ont été observés chez l'adulte comme chez l'enfant : irritabilité, troubles du sommeil, anxiété, perte de mémoire, confusion, sensation de fatigue.

L'exposition chronique au plomb produit aussi des effets sur le système nerveux périphérique (paresthésie, faiblesse musculaire, crampes…), des effets hématologiques (anémies), des effets rénaux et des effets cardio-vasculaires (l'implication possible du plomb dans une hypertension artérielle est cependant controversée).

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérigènes du plomb et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS (INERIS-DRC-01-25590-ETSC-APi/SD –N°00df257, Janv.2003).

Plomb - effets sans seuil				
Voie d'exposition	Type d'effet considéré	Organe critique	Valeur	Source
Inhalation	Tumeurs rénales	rat	ERUi = $1{,}2\ 10^{-5}\ (\mu g.m^{-3})^{-1}$	OEHHA (2002)
Ingestion		rat	ERUo = $8{,}5\ 10^{-3}\ (mg/kg/j)^{-1}$	OEHHA (2002)

Plomb – effets à seuil					
Voie d'exposition	Organe Cible	Facteur de sécurité	Espèce	Valeur	Source
Inhalation	SNC, Rein, Cellule sanguine, Reproduction et développement	-	homme	Objectif qualité de l'air= **0,5 µg/m³**	OMS (2000)
Ingestion		-	homme	DJT = **3,5 10⁻³ mg/kg/j**	OMS (1993)
		-	homme	TDI = $3{,}6\ 10^{-3}$ mg/kg/j	RIVM (2001)

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

Selon l'US-EPA, les connaissances actuelles sur la pharmacocinétique du plomb indiquent que la dérivation d'un ERU selon les méthodes conventionelles ne décrierait pas correctement le risque potentiel. Ainsi, le groupe d'évaluation de l'US-EPA recommande de ne pas déterminer de valeur numérique d'ERU. Cependant, l'IARC s'est prononcé sur le caractère cancérigène probable des sels inorganiques de plomb, et sur le caractère non cancérigène des composés organiques. Dans une approche sécuritaire, et en l'absence d'information sur la spéciation du plomb, nous proposons de tenir compte des valeurs proposées par l'OEHHA. Pour les effets **cancérigènes par inhalation**, on retient la valeur de **$1{,}2\ 10^{-5}\ (\mu g.m^{-3})^{-1}$**. Pour les effets **cancérigènes par ingestion**, on retient la valeur de **$8{,}5\ 10^{-3}\ (mg/kg/j)^{-1}$**.

La VTR chronique retenue pour les **effets toxiques non cancérigènes du plomb** et de ses composés inorganiques par **ingestion** est celle proposée par l'OMS (1993) de **$3{,}5\ 10^{-3}$ mg/kg/j**. L'établissement de cette valeur, qui fait référence à des études chez l'homme, n'a nécessité l'application d'aucun facteur de sécurité. Cette valeur sera peut-être réévaluée dans l'avenir compte tenu du caractére relativement ancien des études de base et de l'évolution des connaissances, pour mise en cohérence avec la valeur guide pour l'air ci-dessous) ; on peut considérer qu'elle sous-estime peut être le danger.

L'US-EPA dans sa base de donnée IRIS (2004) ne propose pas de RfD considérant que des effets sur la santé peuvent se produire sans signe manifeste de toxicité, en particulier chez les enfants. Ainsi, dans le cadre d'études portant spécifiquement sur les risques liés au plomb, des méthodes spécifiques d'évaluation (basées sur les niveaux de plomb dans le sang) doivent être mises en œuvre.

La VTR chronique retenue pour les **effets toxiques non cancérigènes** du plomb et de ses composés inorganiques par **inhalation** est la valeur guide pour la qualité de l'air recommandée par l'OMS (2000) en Europe, établie à **0,5 µg/m³**.

On peut considérer que cette valeur guide est une valeur de référence par sa construction et qu'elle prend bien en considération l'ensemble des effets toxiques du plomb qui sont liés à la plombémie. On peut lui accorder un degré de confiance **élevé**, en remarquant qu'elle présente sans doute une pertinence plus forte que la valeur ci-dessus pour l'exposition par ingestion, pour laquelle les études ont été moins poussées en termes se seuils de plombémie acceptables.

Zinc

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le zinc est un métal essentiel, c'est à dire nécessaire en quantité généralement faible, à la vie d'un grand nombre d'organismes. Il entre naturellement dans l'atmosphère à partir du transport par le vent de particules du sol, des éruptions volcaniques, des feux de forêts, d'émission d'aérosols marins. Les apports anthropiques de zinc dans l'environnement résultent de trois groupes d'activités dont les sources minières et industrielles et les épandages agricoles.

Il existe dans l'eau sous diverses formes : ion hydraté ($Zn(H_2O)2+$), zinc complexé par les ligands organiques (acides fulviques et humiques), zinc adsorbé sur de la matière solide, oxydes de zinc, etc…

La masse molaire du zinc est de 65,38 g/mol, sa densité est de 7,14 et son point de fusion est de 419°C.

La spéciation du zinc va dépendre de nombreux facteurs tels que le pH et le potentiel redox. Le zinc s'accumule à la surface des sols sous forme oxydée (Zn2+). Sa mobilité dans le sol est faible et est retardée par les oxydes ou hydroxydes de fer et manganèse. Le zinc est présent dans l'écorce terrestre principalement sous forme de sulfure (blende), accessoirement sous forme d'oxydes tels que la smithsonite ($ZnCO_3$), l'hémimorphite ($Zn_4[(OH_2Si_2O_7]H_2O$), ou l'hydrozincite ($Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$). Le zinc est principalement utilisé pour les revêtements de protection des métaux contre la corrosion (galvanoplastie, métallisation, traitement par immersion).

Voies d'exposition et absorption

La pénétration du zinc dans l'organisme se fait principalement par voie orale (via la nourriture). En milieu professionnel, l'exposition par inhalation peut être également importante. La voie cutanée reste marginale bien que le zinc fasse partie de certaines préparations pharmaceutiques ou cosmétiques.

Les taux d'absorption chez l'homme varient de 8 à 81 % par ingestion, ils ne sont pas connus pour l'exposition par voie inhalation ou cutanée. Chez les animaux, les taux d'absorption par voie cutanée sont faibles : compris entre 1.6 et 6.1 %.

Métabolisation

Le zinc absorbé est transporté de façon active au niveau du plasma. Le zinc se répartit de façon non sélective dans les différents organes et tissus. La voie d'élimination du zinc inhalé est peu connue. Une partie au moins est éliminée via les urines. Le zinc ingéré est excrété principalement dans les fécès, et, dans une moindre mesure, dans les urines. Une faible partie du zinc est également éliminée par la salive, les cheveux et la transpiration.

B) Valeurs guides

Le zinc est un élément essentiel de notre alimentation, la dose journalière recommandée est de :

- 5,6 à 13 mg/j pour les enfants de 2 mois à 19 ans (Joint FAO/WHO Expert Comitee on Food Additives) et 10 mg/j chez les enfants de 1 à 10 ans (INERIS, NAS, NRC, 1989). En prenant un poids de 15 kg (enfant de 0 à 6 ans), la dose journalière recommandée serait comprise entre 0,3 et 0,9 mg/kg/j ;

- 8,8 à 14,4 mg/j pour les adultes (Joint FAO/WHO Expert Comitee on Food Additives), la variabilité des doses chez les hommes et les femmes est également mise en évidence avec des doses recommandées variant de 7-9 mg/j pour les femmes et 9 à 10 mg/j chez les hommes. En prenant un adulte de 60 kg, la dose journalière recommandée serait comprise entre 0,1 et 0,2 mg/kg/j.

La limite entre la dose nécessaire et la dose néfaste est parfois très difficile à déterminer.

La concentration admissible en zinc dans les eaux de boisson en France est de 5 mg/l (décret 21-12-2001).

Les valeurs utilisées pour la population générale, en France, concernant la qualité des eaux de consommation sont celles proposées par le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles, cependant le zinc n'est par concerné par ce décret. Néanmoins, pour des raisons de nuisance des consommateurs, **l'OMS a fixé une valeur guide de 3 mg/l** pour laquelle l'eau est opalescente et a un goût astringent.

C) Profil toxicologique

Classification

Parmi les différents composés du zinc, seuls le chlorure et le sulfate de zinc sont classés Xn (dangereux pour l'environnement). Le sulfate de zinc est classé par ailleurs Xi (irritant) et le chlorure de zinc O (corrosif). Les phrases de risque qui les caractérisent sont (INRS, 2002) :

- R50/R53 (très toxiques pour les organismes aquatiques, peut entrainer des effets néfastes à long temer sur els organismes aquatiques) ;
- R34 (peut provoquer des brûlures) pour le chlorure de zinc ;
- R36/38 (irritant pour les yeux et la peau) pour le sulfate de zinc.

Effets cancérigènes

Le zinc n'est pas classé par le CIRC-IARC (2002) ni par l'Union Européenne. Le zinc est classé dans le **groupe D** « Preuves insuffisantes chez l'homme et l'animal » par l'US-EPA (1991).

Deux études réalisées en milieu professionnel et correspondant à des expositions par inhalation, n'ont pas montré d'augmentation significative de l'incidence des cancers en relation avec l'exposition au zinc.

Effets Mutagènes

Le zinc et ses dérivés n'ont pas fait l'objet d'une classification par l'Union Européenne.

Effets sur la reproduction

Le zinc et ses dérivés n'ont pas fait l'objet d'une classification par l'Union Européenne.

Aucune donnée n'est disponible concernant la toxicité du zinc inhalé sur la reproduction et le développement humain. Par voie orale, des femmes enceintes supplémentées en sulfate de zinc à la dose de 0,3 mg zinc/kg/j durant les six derniers mois de grossesse, n'ont pas présenté de troubles de la reproduction.

Le zinc est nécessaire au développement foetal. Une carence en zinc peut-être à l'origine de troubles chez les embryons.

Autres effets toxiques

On connaît peu de choses sur la toxicité à long terme du zinc par inhalation. Il a été rapporté que des travailleurs dans la métallurgie présentaient une fréquence plus élevée de problèmes gastro-intestinaux. Sur 15 travailleurs ayant entre 7 et 20 ans d'expérience, 12 avaient fréquemment des douleurs abdominales ou épigastriques, des nausées, des vomissements, des ulcères et des épisodes de constipation. Toutefois, ces individus avaient pu être exposés à d'autres composés chimiques (arsenic, sulfure d'hydrogène) (McCord et al., 1926). Aucun effet hépatique ou rénal n'a été décelé chez des travailleurs exposés durant plusieurs années au zinc (Batchelor et al., 1926 ; Hamdi, 1969).

Des études par inhalation de chlorure de zinc sur les rats, cobaye et souris (INRS, 2002) ont montré des effets sur le sang, le poids du cerveau et des testicules à des concentrations de l'ordre de 120 mg/m^3.

Par voie orale, des crampes d'estomacs, des nausées et des vomissements ont été observés chez des volontaires ayant ingéré du sulfate de zinc en tablette (2 mg zinc/kg/j) durant 6 semaines (Samman and Roberts, 1987). L'ingestion d'oxyde de zinc a également été associée à de tels symptômes (Callender et Gentzkow, 1937 ; Anonyme, 1983). De nombreux cas d'anémies ont été décrits chez des personnes supplémentées en zinc durant de longues périodes (1 à 8 ans) (Porter et al., 1977 ; Patterson et al., 1985 ; Hale et al., 1988 ; Hoffman et al., 1988 ; Broun et al., 1990 ; Gyorffy et Chan, 1992).

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France.

Zinc – effets à seuil -					
Voie d'exposition	Cible	Espèce	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Ingestion	Syst. sanguin	homme	3	RfD = 0,3 mg/kg/j	ATSDR (2005)
		homme	3	RfD = 0,3 mg/kg/j	US EPA (2005)
		homme	2	TDI = **0,5 mg/kg/j**	RIVM (2001)

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

La VTR chronique retenue pour **les effets toxiques non cancérigènes** du zinc par ingestion est celle du RIVM. En effet, les valeurs proposées par l'ATSDR et l'US-EPA correspondent à la dose minimale journalière recommandée pour les enfants, le RIVM ayant tenu compte de cet apport nécessaire pour établir la valeur de **0,5 mg/kg/j.**

Pour les **effets toxiques hors cancer par inhalation**, en l'absence de, la RfD est dérivée pour obtenir une VTR et cela malgré le commentaire de l'US-EPA sur l'existence de données insuffisante pour estimer une RfC pour le zinc. En prenant comme cible un enfant (poids corporel 15 kg et volume respiratoire journalier 10 m^3) et des taux d'absorption de 80 % et 100 % respectivement par voie orale et inhalation, on obtient une VTR de **600 µg/m³**, valeur qui sera retenue mais discutée.

3 Autres substances

COV – COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS

Cresols

A) Propriétés intrinsèques de la substance

Aux conditions ambiantes, le o-cresol (2-méthylphénol) et le p-cresol (4-méthylphénol) se trouvent sous forme de solide cristallisé transparent et le m-cresol (3-méthylphénol) se trouve sous forme d'un liquide transparent brunissant au contact de l'air (densités liquides comprises entre 1.017 et 1.034). Ils possèdent une odeur acre et douceatre et sont détectables à partir d'environ $2{,}8.10^{-4}$ ppm soit 1 µg/m^3 (INRS, 2005) avec 1ppmV = 4.4 mg/m^3.

Les cresols (CAS m :108-39-4, o :95-48-7, p :106-44-5) sont principalement utilisés comme solvants, désinfectants et produits intermédiaires dans l'industrie chimique (notamment la production de résines synthétiques). Ils sont également rejetés dans l'atmosphère via les gaz d'échappement des véhicules, le raffinage du pétrole, le goudron et la pâte à papier.

Les cresols sont des composés organo-solubles dont la solubilité dans l'eau est de l'ordre de 2.10^4 mg/l à 25°C, la pression de vapeur est comprise entre 15 et 40 Pa à 25°C et la constante de Henry entre $7{,}33.10^{-5}$ et 2.10^{-4} kPa.m3/mol.

Voies d'exposition et absorption et métabolisation

Non renseigné

B) valeurs guides

La réglementation française (décret 21-12-2001) ne propose pas de valeur guide pour l'eau potable. L'OMS (Air quality Guidelines for Europe, 2000) ne propose pas de valeur guide.

En milieu professionnel, la valeur guide moyenne d'exposition (VME), qui est pour les crésols une valeur non réglementaire est de 22 mg/m^3 pour les crésols (1319-77-3) tous isomères confondus (INRS, 2005).

C) Profil toxicologique

Classement

Les symboles classant les cresols sont T (toxique) et C (provoque des brûlures). Les phrases de risque qui les représentent sont :

- R24 (toxique par le contact avec la peau),
- R25 (toxique par ingestion),
- R34 (provoque des brûlures).

Effets cancérigènes

Les trois isomères des crésols sont classés C par l'US-EPA (cancérigènes possibles) en 1986.
Ils n'ont pas fait l'objet de classement par l'Union Européenne, ni par l'OMS qui considère que les données sont insuffisantes pour juger de leur potentiel cancérgiène.

Effets Mutagènes, sur le développement ou la reproduction

Les trois isomères des crésols ont produit des résultats positifs lors d'études sur la génotixicicté (US-EPA, 1990).

Autres effets toxiques

A fortes doses, et quelques soient les voies d'exposition, les crésols induisent des symptômes de type vomissement, diarrhées, perte d'appétit, mots de tête, perturbations mentales, etc. (Sittig, 1981). Les empoisonnements par voie orale atteignent le foie et les reins (OEHHA, 2003). Une coloration de la peau et des éruptions cutanées en cas d'exposition prolongées avec la peau peuvent se produire.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancers. Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, USEPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada).

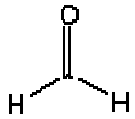
Ensemble des cresols						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Orale	Système nerveux central	rats	1000	TDI = 0,05 mg/kg/j	RIVM (2000)
Chronique	inhalation	-	-	-	TCA = 0,17 mg/m^3	RIVM (2000) prov
Chronique	inhalation	Diminution du poids et neurotoxicité	rats	300	REL = 0,6 mg/m^3	OEHHA (2000)
En particulier m et o-cresol (Cas n°108-39-4 , 95-48-7)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Orale	Système nerveux central , poids	rats	1000	RfD = 0,05 mg/kg/j	USEPA (1990)

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues

La valeur toxicologique de référence pour les effets hors cancer par ingestion des cresols (méthylphénols) retenue est la valeur toxicologique définie par l'USEPA et le RIVM de 0,05 mg/kg/j. Etant donné le facteur de sécurité appliqué (1000) lors de la dérivation de cette valeur, elle semble être conservatoire.

La valeur toxicologique de référence pour les effets par inhalation de cresols retenue est la valeur provisoire du RIVM de 0,17 mg/m^3. Cette valeur toxicologique a été établie par dérivation de la valeur toxicologique proposée pour la voie d'exposition orale (poids de 70 kg et volume respiratoire de de 20m^3). Compte tenu des commentaires formulés par les autres organismes sur le manque de données et le seuil olfactif qui serait bas (de l'ordre du µg/m^3), la confiance accordée à cette valeur est faible.

Formaldéhyde (CAS n°50-00-0)



A) Propriétés intrinsèques de la substance

Le formaldéhyde est un gaz incolore, d'odeur piquante et suffocante. Il est préparé par oxydation catalytique de méthanol en phase vapeur en utilisant de l'air comme agent oxydant et de l'argent chauffé à une température de 600 à 720 °C ou des oxydes de fer ou de molybdène portés à une température de 270 à 380°C comme catalyseurs.

Le formaldéhyde est utilisé dans la fabrication des résines phénoplastes, aminoplastes, polyacétals. Il est également employé comme germicide, insecticide, fongicide et comme fixateur pour les spécimens histologiques. Il est d'autre part utilisé dans des domaines divers tels que l'industrie du papier, le tannage du cuir, la photographie, l'analyse chimique, la fabrication de substances chimiques organiques, de soie artificielle, d'esters de cellulose, de teintures et d'explosifs.

La masse molaire du formaldéhyde est de 30,03. Son facteur de conversion est le suivant : 1 ppm = 1,25 mg/m^3. La densité du formaldéhyde est de 1,036. Le seuil olfactif est compris entre 0,06 ppm et 1 ppm. Sa solubilité est de 5,5.10^5 mg/l.

Principales voies d'exposition et absorption

Le taux d'absorption par inhalation est de 100%. Par ingestion, le taux d'absorption est de 90% (INERIS).

B) Valeurs guide

La valeur guide recommandée par l'OMS dans les eaux de boisson est de 900 µg/l (Guidelines for Drinking Water Quality – 3ème Ed, 2004).
Pour l'air, la valeur guide recommandée par l'OMS (Air quality Guidelines for Europe) est de 100 µg/m^3 pour une exposition de 30 min.

C) Profil toxicologique

Classement

Le symbole classant le formaldéhyde est T, toxique.

Les phrases de risque qui représentent le formaldéhyde sont :

- R23/24/25 : Toxique par inhalation, par contact cutané, par ingestion,
- R34 : provoque des brûlures,
- R40 : possibilité d'effets irréversibles,
- R43 : peut entrainer une sensibilisation par contact avec la peau.

Effets cancérigènes

La substance est probablement cancérigène pour les humains (US-EPA : **B1**, IARC : **2A**), puisque les preuves chez les humains sont limitées, mais suffisantes chez les animaux.

L'Union Européenne le classe en **catégorie 3** : substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possibles.

Les différentes classifications énoncées dans ce paragraphe font uniquement référence aux propriétés cancérigènes du formaldéhyde par inhalation. Le formaldéhyde par voie digestive ne conduit pas au développement de tumeurs cancéreuses (OMS, 1996).

Des études épidémiologiques ont observé une relation entre exposition au formaldéhyde à des concentrations supérieures à 1 $mg.m^{-3}$ et des cas de cancers nasopharyngé et sino nasal. Sur le plan expérimental, des preuves de cancer nasal chez le rat exposé au formaldéhyde ont été avancées.

Effets Mutagènes

Le Formaldéhyde n'est pas classé mutagène par l'Union Européenne.

La plupart des tests de mutagenèse réalisés in vitro sont positifs, quel que soit le matériel utilisé. Le formaldéhyde est très réactif, il se lie de manière covalente avec les protéines et l'ADN monocaténaire : il se forme des ponts ADN-protéines.

Les résultats des tests réalisés in vivo sont discordants, mais ils sont généralement négatifs. Le formaldéhyde est susceptible de se lier avec l'ADN de la muqueuse respiratoire nasale de rat pour former des adduits et des ponts ADN-protéines.

En revanche, on n'a pas d'effet mutagène ou de liaison covalente de formaldéhyde avec l'ADN à distance du point de contact avec l'organisme, chez les mammifères.

Les tests réalisés sur des cellules humaines in vitro sont tous positifs. Les résultats des examens effectués dans des populations humaines exposées sont discordants ; ils sont encore trop peu nombreux pour permettre d'apprécier les effets mutagènes du formaldéhyde chez l'homme.

Effets sur la reproduction

Le Formaldéhyde n'est pas classé reprotoxique par l'Union Européenne.

En étude expérimentale, aucun effet tératogène n'a été mis en évidence. Des effets foetotoxiques apparaissent aux plus fortes doses (supérieures ou égales à 1 mg/m^3 pendant 22 heures par jour par inhalation ; 185 mg/kg par jour par voie orale).

Autres effets toxiques

Des études portant sur des professionnels exposés au formaldéhyde mettent en évidence une prévalence de signes d'irritation cutanée, d'irritation des muqueuses oculaires et des voies respiratoires, des manifestations évoquant une pathologie respiratoire chronique et des lésions de l'épithélium respiratoire nasal. Le formaldéhyde est également un puissant allergène sur les plans cutanés et respiratoires, pouvant aller jusqu'au choc anaphylactique.

Les études existantes ne permettent pas aujourd'hui d'affirmer que le formaldéhyde est, de lui même, cause d'allergie respiratoire. En milieu professionnel, plusieurs travaux ont en effet permis de constater l'absence d'effet sur le système immunitaire, avec en particulier une recherche infructueuse de la présence d'anticorps spécifiques (Dykewicz *et al.,* 1991; Grammar *et al.,* 1990; Kramps *et al.*, 1989).

Il semblerait, cependant, exister chez certains sujets une sensibilité particulière au formaldéhyde qui se traduit par des altérations du système immunitaire, à l'origine de pathologies asthmatiques.

La concentration la plus faible associée à une irritation des voies respiratoires chez les humains est de $0,1mg.m^{-3}$ après une exposition à court terme, même si certains individus peuvent détecter la présence de la substance à des concentrations inférieures. L'irritation des yeux et la diminution du flux de la muqueuse nasale débutent entre 0,5 et 2 $mg.m^{-3}$. Au delà, des sensations de piqûres apparaissent dans le nez et les yeux, ainsi qu'un mal de tête. Une diminution des fonctions respiratoires est observée à une concentration de $3,7mg.m^{-3}$ en cas d'exercice, notamment chez les personnes asthmatiques. Entre 5 et 25 $mg.m^{-3}$, des larmoiements tolérables puis intenses apparaissent de façon durable. Œdème pulmonaire et pneumonie pouvant être mortelle sont notés pour des concentrations comprises entre 37 et 60 $mg.m^{-3}$. A des concentrations supérieures, la mort survient.

D) Relation Dose / effet et Dose / réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérigènes et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, USEPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France.

Formaldéhyde (50-00-0) - effets cancérigènes -				
Voie d'exposition	Type d'effet considéré	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Cancer nasal	rat	ERUi = **$1{,}3.10^{-5}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$**	US EPA (1991)
		rat	ERUi = 6.10^{-6} $(\mu g/m^3)^{-1}$	OEHHA (2002)

L'US-EPA propose une valeur d'excès de risque unitaire par inhalation (ERUi) de $1{,}3.10^{-5}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$ soit $1{,}1.10^{-5}$ ppm^{-1}. Cette valeur a été calculée à partir de l'étude de Kerns *et al.,* (1983), qui avait pour but de déterminer l'incidence de tumeurs nasales malignes chez des rats Wistar mâles, exposés par inhalation à différentes concentrations d'aldéhyde pendant deux ans.

Formaldéhyde (50-00-0) - autres effets toxiques					
Voie d'exposition	Cible	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Inhalation	Système respiratoire	homme	30	MRL = 10 µg/m^3	ATSDR (1999)
			10	REL = **3 µg/m^3**	OEHHA (2003)
Ingestion	Système gastro-intestinal	rat	100	MRL = 0,2 mg/kg/j	ATSDR (1999)
		rat	100	RfD = 0,2 mg/kg/j	US EPA (1990)
		rat	100	DJT = 0,15 mg/kg/j	OMS (1989)

L'ATSDR propose un MRL de 0,008 ppm (0,01 mg/m^3) pour une exposition chronique par inhalation. Le MRL est dérivé d'un LOAEL de 0,24 ppm (0,3 mg/m^3) défini à partir d'une étude sur l'homme mettant en évidence l'augmentation de lésions de l'épithélium nasal en atmosphère professionnel (Holmstrom *et al.,* 1989). Un facteur de 30 est retenu (3 pour l'utilisation d'un LOAEL, 10 pour la variabilité au sein de la population).

L'OEHHA propose un REL de 3 µg/m3 pour une exposition chronique par inhalation. Le MRL est dérivé d'un NOAEL de 0,032 mg/m^3 défini à partir d'une étude sur l'homme mettant en évidence l'augmentation de lésions de l'épithélium nasal en atmosphère professionnel (Holmstrom *et al.,* 1992). Dans ce cas, seul un facteur de 10 est retenu pour la variabilité au sein de la population.

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

La VTR retenue pour les effets **cancérigènes par inhalation** est la valeur de l'ERUi proposée par l'US-EPA de **1,3 10^{-5} $(\mu g/m^3)^{-1}$**. Cette valeur a été calculée à partir de l'étude de Kerns *et al.,* (1983), qui avait pour but de déterminer l'incidence de tumeurs nasales malignes chez des rats Wistar mâles, exposés par inhalation à différentes concentrations d'aldéhyde pendant deux ans.

La VTR retenue pour les effets toxiques pour une exposition **chronique par inhalation** est la valeur **de 3 $\mu g/m^3$** de l'OEHHA, basé sur un NOAEL, et non un LOAEL, définit à partir d'une étude plus récente que celle utilisée par l'ATSDR.

Phenol

A) Propriétés intrinsèques de la substance

Le phenol (CAS n°108-95-2) se trouve sous forme d'un solide cristallisé dans les conditions ambiantes, la densité du liquide à 20°C est de 1,049. Dégageant une odeur particulière à la fois acre et douçâtre, le seuil olfactif du phénol varie entre 0,006 et 7,9 ppm (INERIS, 2005), l'INRS, 2005 donne une limite olfactive de l'ordre de 0.04 ppm soit de 0,15 mg/m^3 (1ppmV = 3,8 mg/m^3).

Le phenol est principalement utilisé en synthèse organique. Il constitue la matière première dans la fabrication des résines phénoliques, de nylon, etc. Il est également utilisé pour la désinfection, dans la fabrication de dissolvants pour peintures et vernis, dans la fabrication de laques, de peintures, de caoutchouc, d'adhésifs, de durcisseurs, de matériaux isolants et dans l'industrie pharmaceutique.

Le phenol est rangé parmi les COV (composés organiques volatils), sa solubilité dans l'eau est de 8.10^4 mg/l à 25°C, la pression de vapeur est égale à 47 Pa à 25°C et sa constante de Henry est égale à $7,7.10^{-5}$ kPa.m^3/mol. Sa capacité d'adsorption est modérée (log KOW=1.46 et logKOC=2.43).

Dégradation

Le phenol se dégrade tant en conditions aérobies qu'anaérobies

Voies d'exposition et absorption

Le phénol pénètre rapidement dans l'organisme par toutes les voies, la voie cutanée étant prépondérante. Chez l'homme, les études ont montré que le phénol est absorbé à 90% par voie orale, environ 70 à 80% par voie cutanée et environ 60 à 88 % du phénol inhalé est retenu dans l'organisme (RIVM, 2001).

Métabolisation

La métabolisation intervient dans le foie et dans le tractus gastro-intestinal. Il est éliminé rapidement, essentiellement dans les urines, sous forme de dérivé sulfoconjugué ou glucuroconjugué. Il faut noter que le métabolisme varie avec la dose mais aussi avec le régime alimentaire.

B) valeurs guides

La réglementation française (décret 21-12-2001) indique une valeur guide pour les phenols dans les eaux potables de 0,5 µg/l, cette valeur est vraisemblablement basée sur des critères de gout. Ni l'OMS, ni l'union européenne ne donnent de valeurs guides pour les eaux.

L'OMS (Air quality Guidelines for Europe, 2000) ne propose pas de valeur guide.

On note que dans la réglementation du travail, la valeur limite réglementaire indicative pour l'union européenne (fixée par arrêté du 30 juin 2004) est une VME de 7,8 mg/m^3.

Dans les sols on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

C) Profil toxicologique

Classement

Les symboles classant le phenol sont T (toxique), Xn (nocif) et C (corrosif). Les phrases de risque qui le représentent sont :

- R23/ R24/ R25 (toxique par inhalation, par le contact avec la peau, par ingestion),
- R48/20/21/22 (risques d'effets graves pour la santé lors d'exposition prolongées par inhalation et ingestion),
- R34 (provoque des brûlures).

Effets cancérigènes

L'acétone est **classé D** par l'US EPA (preuves insuffisantes chez l'homme et l'animal) et **groupe 3** par le CIRC-IARC (ne peut être classé pour sa cancérogénéicité pour l'homme).
Le phénol n'est pas considéré en l'état actuel des connaissances comme présentant des effets cancérigènes par l'UE (absence de classement).
Aucune étude réalisée en milieu professionnel ne permet d'établir une relation sûre entre l'exposition au phénol et l'occurrence de cancers, le phénol étant rarement le seul produit utilisé.

Effets Mutagènes

Le phénol est classé mutagène **catégorie 3** (substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets mutagènes) par l'Union Européenne (JOCE, 2004).

Effets sur le développement ou la reproduction

Le phénol n'est pas considéré en l'état actuel des connaissances comme présentant des effets reprotoxiques par l'UE (absence de classement).
Chez le cobaye, une exposition aux vapeurs de phénol à raison de 100 à 200 mg/m^3 entraîne notamment une diminution pondérale. Par ailleurs, certaines études portant sur des rats ou des souris tendraient à montrer une corrélation entre l'ingestion de phénol et des effets sur la fonction de reproduction, un retard de croissance des fœtus, des paralysies pour les nouveaux-nés et une plus grande mortalité à la naissance.

Autres effets toxiques

Plusieurs études réalisées en milieu professionnel rapportent des cas d'intoxication chronique au phenol connue sous le nom de marasme phénique. Chez un salarié exposé pendant 13 ans à des vapeurs de phenol, les symptômes observés étaient une anorexie, une perte de poids, des céphalées, de vertiges, une hyper-salivation et des urines teintées en noires (Merliss, 1972). Dans les cas sévères, on note une atteinte hépatique et rénale pouvant aller jusqu'à la mort.
Une étude (Baker et al 1978 repris par ATSDR, 1998) menée sur plusieurs dizaines de personnes ayant durant plusieurs semaines été exposées à des concentrations dans l'eau correspondant à des doses de 0.14 à 3.4 mg/kg/j a montré l'augmentation de symptomes gastointestinaux (nausées, rots).

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancers.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, USEPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada).

Phenol (Cas n°108-95-2)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Orale	poids maternel et ossification	rats	300	RfD = 0,3 mg/kg/j	USEPA (2002)
		reproduction	rats	1000	TDI = 0,04 mg/kg/j	RIVM (2001)
		Reins	rats	100	DJA = 0,12 mg/kg/j	Santé Canada (2000)
Chronique	Inhalation	hépathiques, pulmonaires, rénaux et cardio-vasculaires	Singes, rats, souris	1000	TCA = 0,02 mg/m^3	RIVM (2001) prov
		Foie, système nerveux	Singes, rats, souris	100	REL = 0,2 mg/m^3	OEHHA (2003)

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues

La sélection des VTR repose sur les critères énoncés au chapitre 1.

La valeur toxicologique de référence pour les effets hors cancer par ingestion de phénol retenue est la VTR définie par le RIVM de 0,04 mg/kg/j à laquelle le RIVM accorde un degré de confiance élevé. Etant donné le facteur de sécurité appliqué (1000) lors de la dérivation de cette valeur toxicologique de référence, elle semble être conservatoire, le principe de prudence est retenu. Compte tenu de la grande variabilité des VTR (variant de 0.04 à 0.3 mg/kg/j) une discussion devra être conduite en cas de calcul d'un IR supérieur à 1.

La valeur toxicologique de référence pour les effets par inhalation de phénol retenue est celle proposée par le RIVM, soit 0,02 mg/m^3 car malgré son caractère provisoire (du fait du peu de données toxicologiques concernant les effets par inhalation du phénol) et la faible fiabilité que lui accorde le RIVM, elle demeure conservatoire et permet de se prémunir contre les éventuelles nuisances olfactives dont la limite de détection est variable et comprise entre 22 et 150 µg/m^3 Le principe de prudence est donc retenu

Trimethylbenzènes

A) Propriétés intrinsèques de la substance

Propriétés physico-chimiques et origine

Le 1,3,5 triméthylbenzène (ou mésytilène, cas n° 108-67-8) et le 1,2,4 triméthylbenzène (ou pseudocumène, casn° 95-63-6) sont des liquides plus légers que l'eau (d=0,87 et 0,88 respectivement) incolores, possédant une odeur caractéristique aromatique décelable dès 0.23 ppm (soit de l'ordre de 1,1 mg/m^3) pour le 1,3,5 et dès 0.15 ppm (soit de l'ordre de 0,75 mg/m^3) pour le 1,2,4 (INRS, 2004).

Il s'agit d'intermédiaires de synthèse présent dans les solvants pétroliers utilisés pour la formualtion de diluants, peintures, pesticides (white spirit, etc.) et constituant de carburants et de goudrons.

Voies d'exposition et absorption et métabolisation

Le mésitylène est rapidement absorbé par voie digestive ou inhalation. Une faible proporition est éliminée sous forme inchangée par les poumons, le reste est métabolisé et excrété par voie urinaire.

Non renseigné pour le pseudocumène.

B) Valeurs guides

Il n'existe pas pour les triméthylbenzènes de valeur réglementaire ou valeur guide pour les eaux de boisson en France ou en Europe. L'OMS n'a pas non plus établi de valeur guide pour les eaux de boissons.

Il n'existe pas de recommandation ou réglementation de concentrations dans l'air en France ou en Europe, l'OMS ne formule pas non plus de recommandations.

En exposition professionnelle, la valeur limite réglementaire indicative (VME) définie pour l'Union Européenne par l'arrêté du 30 juin 1994 est de 100 mg/m^3 (INRS, 2004) aussi bien pour le 1,2,4 que pour le 1,3,5 triméthylbenzène.

C) Profil toxicologique

Classement

Les symboles classant le mésitylène sont Xi (irritant), N (dangereux pour l'environnement). Les phrases de risque qui le représentent sont :

- R10 (inflammable),
- R37 (irritant pour le système respiratoire),
- R51/53 (toxique et possibilité d'effets irréversibles pour l'environnement aquatique).

Les symboles classant le pseudocumène (1,2,4 triméthylbenzène) sont Xi (irritant), N (dangereux pour l'environnement) et Xn (toxique). Les phrases de risque qui le représentent sont :

- R10 (inflammable),
- R20 (toxique par inhalation),
- R36/37/38 (irritant pour les yeux, le système respiratoire et la peau),
- R51/53 (toxique et possibilité d'effets irréversibles pour l'environnement aquatique).

Effets cancérigènes

Ils n'ont pas fait l'objet de classement par l'Union Européenne, l'US-EPA ou l'OMS.

Effets Mutagènes

L'effet génotoxique du mésitylène pur n'a pas été évalué. Un mélange d'hydrocarbures aromatiques composés essentiellement d'éthyltoluène et de triméthylbenzènes dont 8,4 % de mesitylène n'est mutagène ni pour des bactéries ni pour les hamsters (INRS, 2004).

Effets sur la reproduction

L'effet sur la reproduction du mésitylène pur n'a pas été évalué. Un mélange d'hydrocarbures aromatiques composés essentiellement d'éthyltoluène et de triméthylbenzènes dont 8,4 % de mesitylène à des concentrations élevées (1500 ppm) a entrainé une toxicité maternelle et sur le développement chez la souris. A des concentrations plus faibles (100 ppm), il n'a pas été observé d'effet sur la reproduction maternelle ni sur le fœtus. (INRS, 2004)

Autres effets toxiques

On ne dispose pas d'études sur l'homme. Sur les animaux (rats), des expositions à des concentrations élevées de triméthylbenzènes (1700 ppm) ont induits différents effets dont une irritation des muqueuses pulmonairses, une baisse du poids corporel et une dépression du système nerveux central.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

On ne dispose pas dans la littérature de valeur toxicologique de référence pour le mésytilène et le pseudocumène. Les sites consultés sont l'ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada.

Dans la base de donnée du RAIS, des valeurs provisoires sont mises en ligne. Les sources de données ne sont pas précisées et il est spécifié que ces valeurs sont à utiliser uniquement dans les projets particulier (DOE-ORR) de l'US-EPA, l'utilisation de ces valeurs en dehors de ce contexte devant faire l'objet d'un contact auprès de RAIS.

A titre indicatif, elles sont de 0,006 mg/m^3 pour la voie inhalation et 0,05 mg/kg/j pour la voie orale.

E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

L'absence de valeur toxicologique de référence dans les bases de données de référence et les commentaires associés aux valeurs provisoires mises en ligne par RAIS nous amènent à ne pas considérer de VTR pour les triméthylbenzènes.

Ces substances étant présentes dans les mélanges de type essence ou gasoil, la prise en compte des classes d'hydrocarbures comprenant les triméthylbenzènes (aromatiques C8-10 et C10-12 voir le TPH Working Group) permet de les intégrer à l'évaluation des risques sanitaires potentiellement induits par leur présence.

- Annexe 8 -
Paramètres retenus

Cette annexe contient 17 pages

REx00862-03/AX.00222/CExZ060043	
VL / RHE / YRa	
18/10/07	Annexes

1 Inhalation de vapeurs dans l'air intérieur - bâtiment de plain pied 2
2 Inhalation de vapeurs dans l'air extérieur 7
3 Inhalation de substances adsorbées sur les poussières 9
4 Ingestion et contact cutané avec les sols et poussières 10
5 Calculs des concentrations dans les eaux des canalisations enterrées sur site 13
6 Autoconsommation de végétaux 15

1 Inhalation de vapeurs dans l'air intérieur - bâtiment de plain pied

Modèle en source infinie utilisé

Le logiciel RISC v 4.0 (octobre 2001) a été utilisé pour l'évaluation des expositions dans l'air. Distribué par Waterloo hydrogeologic, ce logiciel a été développé par Lynn R.Spence et BP oil International.

Le modèle utilisé considère une source de pollution infinie (pas de diminution au cours du temps).

La modélisation des expositions aux vapeurs est conduite sur la base des équations de Johnson & Ettinger (1991). Les équations du modèle sont répertoriées dans la norme ASTM E 1739-95.

La diffusion (équations de Millington and Quirck et équation de Fick) entraîne les polluants à travers le sol jusqu'à la zone d'influence du bâtiment où le phénomène convectif intervient. Le mouvement convectif, dû à une différence de pression entre l'air du sol et l'air intérieur des bâtiments (occasionnée par la combinaison du vent, du chauffage et des mécanismes de ventilation), transporte les vapeurs par les fissures des fondations et de la dalle béton.

La concentration dans l'air intérieur est calculée à partir des équations suivantes (utilisées dans le logiciel RISC):

$$C_{\text{int}} = \frac{C^*_{\text{int}} \times \left[\exp\left(\frac{Q_{sol} \times L_{crack}}{D_{crack} \times A_{crack}}\right) \right]}{\left[\exp\left(\frac{Q_{sol} \times L_{crack}}{D_{crack} \times A_{crack}}\right) + \left[\frac{D_{eff} \times A_B}{Q_B \times L_T}\right] + \left[\frac{D_{eff} \times A_B}{Q_{sol} \times L_T}\right] \times \left[\exp\left(\frac{Q_{sol} \times L_{ceack}}{D_{crack} \times A_{crack}}\right) - 1 \right] \right]}$$

avec C^*_{int} : concentration dans les vapeurs dans le bâtiment dans le cas d'un sol nu
D_{eff} : coefficient de diffusion effectif (cm²/s) calculé à partir de la porosité et de la teneur en eau des différents horizons de sols entre la source de pollution et le dallage par application des équations de Millington et Qurick détaillées ci-après
C_{vs} : concentration de vapeur dans la source (g/cm^3)
Q_{sol} : débit de gaz en provenance du sol dans le bâtiment (cm^3/s), calculé à partir de la différence de pression et de la perméabilité des sols sous dallage
D_{crack} : coefficient de diffusion effectif dans les fondations (cm²/s), calculé par RISC à partir de la porosité et de la teneur en eau des sols sous dallage par application des équations de Millington et Qurick détaillées ci-après
A_{crack} : surface de fissures à travers lesquelles les vapeurs rentrent dans le bâtiment (cm²), correspondant au produit entre le taux de fissuration et la surface du dallage
A_B : surface des bâtiments (cm^2)
Q_B : taux de ventilation du bâtiment (m^3/s), calculé à partir du nombre d'échanges d'air par jour et du volume du bâtiment
L_T : distance de la source au plancher (cm)

$$C^*\text{int} = \frac{Deff \times A \times Cvs}{Qb \times Lt}$$

Q_b : taux de ventilation du bâtiment (m^3/s), calculé à partir du nombre d'échanges d'air par jour et du volume du bâtiment
L_t : distance de la source au plancher (cm)

$$Qsol = \frac{2 \times \Pi \times (\Delta P) \times kv \times Xcrack}{\mu \ln[2 \times Zcrack / rcrack]}$$

avec ΔP : gradient de pression entre le bâtiment et l'extérieur (g/cm²-s²)
k_v : perméabilité intrinsèque des sols (cm²)
μ : viscosité des vapeurs (g/cm-s)
X_{crack} : longueur du cylindre représentant la fissure, correspondant au périmètre du bâtiment considéré
r_{crack} : rayon équivalent de la fissure, calculé par le rapport entre (fraction des fissures dans le dallage x surface du dallage) et le périmètre du bâtiment considéré
Zcrack : profondeur des fissures sous le sol, correspondant à l'épaisseur du dallage considéré
π : 3.14159

Calcul des coefficients de diffusion

Le coefficient de diffusion réel (appelé diffusion effective, Dsa dans l'air et Dw dans l'eau) est calculé par la solution analytique développée par Millington and Quirk (1981) à partir de la porosité des sols, de la teneur en air et en eau et des coefficients de diffusion de la substance dans l'air et dans l'eau.

$Dsa = Dair \times \theta_{air} \times \tau_{air}^{-1}$ (1)

$Dw = (Deau/ H) \times \theta_{eau} \times \tau_{eau}^{-1}$ (2)

Le coefficient de diffusion dans le milieu poreux est ensuite défini comme la somme des deux termes précédents.

le coefficient de tortuosité (τ^{-1})est défini de la manière suivante : dans l'air du sol : $\tau_{air}^{-1} = \theta_{air}^{7/3} / \theta^2$ et dans la phase aqueuse du sol : $\tau_{eau}^{-1} = \theta_{eau}^{7/3} / \theta^2$, avec :

H	constante de Henry adimensionnelle,
θ	porosité totale,
θ_{eau}	teneur en eau du sol,
θ_{eau}	teneur en gaz du sol.

Choix dans l'air du sol à la source

La concentration dans l'air du sol est calculée correspond à la valeur minimale issue des équations suivantes :

$$C_{vs} = (C_t \times \rho_b \times K_H) / (\theta_a \times K_H + \theta_w + \rho_b \times F_{oc} \times K_{oc})$$

Equation utilisée quand Cw<Solubilité

Avec C_t : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)
ρ_b : densité du sol (g/cm^3)
F_{oc} : fraction de carbone organique dans le sol (g co/g sol)
K_{oc} : coefficient de partition du carbone organique (mgl/g)
K_H : constante de Henry ((mg/l)/(mg/l))
θ_a : teneur en air dans les sols (cm^3 d'air/ cm^3 de sol)
θ_w : teneur en eau dans les sols (cm^3 d'eau/ cm^3 de sol)

$$C_{wi} = X. S \text{ et } C_{eaudusol} = \frac{C_{airdusol}}{H}$$

Equation utilisée en présence de phase résiduelle dans les sols (Cw>Solubilité)

Avec C_{wi} : concentration de la substance i dans l'eau du sol (mg/l),
H : constante de Henry (-)
X : fraction molaire de la substance i dans le mélange (-)
S : solubilité de la substance i (mg/l)

Choix des paramètres

Pour l'exposition dans l'air intérieur les paramètres suivants ont été retenus.

Les paramètres des sols et bâtiments

- fraction de carbone organique dans les sols : la matière organique permettant au polluant de se fixer et de se dégrader, retenir la plus petite valeur de matière organique dans les sols est l'hypothèse majorante du risque. Dans ce cadre, nous retiendrons 0.1 % ;
- la porosité :

Formations	Aménagements	Porosité totale	Teneur en air	Teneur en eau
Remblais	Aménagements de plain-pied sans excavation	0.25	0.13	0.12
Limons	Sous-sol uniquement	0.2	0.1	0.1

- densité du sol ρ_b : 1,7 g/cm^3 ;
- le coefficient de diffusion D_{eff} dans les sols est calculé à partir de :
  - coefficients de diffusion dans l'eau et l'air,
  - la constante de Henry,
  - les porosités et teneurs en gaz et eau ci-dessus ;
- le coefficient de diffusion D_{eff} dans les structures (béton et fondations) est calculé à partir d'une porosité totale de 12 %[1], constituée de 5 % d'eau et de 7% d'air ;
- la profondeur de la structure sous le niveau du sol : 0.15 m (correspondant à l'épaisseur de la dalle) pour les bâtiments de plain-pied ;
- la profondeur de la structure sous le niveau du sol : 2.5 m pour les sous-sols ;
- la distance de la source-sol au dallage L_t a été prise égale à 1 cm (cas de polluants peu volatils ou de sols peu perméables) : le modèle considéré ne tient pas compte de l'évolution de la source de pollution et des flux en fonction du temps (source infinie). Mais, compte tenu de la faible volatilité des substances considérées et des paramètres de sols peu favorables aux transferts de vapeur, nous retiendrons la profondeur de 1 cm par défaut.
- surface des fissures du béton A_{crack} : 2.10^{-4} (valeur par défaut proposée par l'US-EPA et le RIVM).
- la différence de pression entre l'air des bâtiments et l'air du sol ΔP : 40 g/cm-s² (valeur conservatoire définie par Johnson et Ettinger). Cette différence de pression varie dans la littérature de 0 à 20 Pa (1 Pa = 10 g/cm-s²). L'effet du vent et de la température (chauffage) induit des variations de pression comprises typiquement entre 4 et 5 Pa (Loureiro et al. 1990 ; Grimsrud et al. 1983). Johnson et Ettinger considère qu'un ΔP de 4 Pa est conservatoire. On notera qu'en présence d'un vide sanitaire, le RIVM préconise de prendre une différence de pression entre le vide sanitaire et le sol de 1 Pa (report n°711701021 de mars 2001, Evaluation and revision of the CSOIL parameter set) ;

[1] Cette valeur est déterminée pour un béton ordinaire de rapport E/C = 0,48, d'après « Caractérisation des pâtes de ciments et des bétons – Méthodes, analyse, interprétation ». Véronique BAROGHEL-BOUNY. LCPC, 1994.

- la perméabilité du sol à l'eau a été prise à

Formations	Scénario	Perméabilité (m/s)	Perméabilité (cm²)
Remblais	Aménagements de plain-pied sans excavation	10^{-5}	10^{-8}
Limons	Sous-sol uniquement	10^{-5}	10^{-8}

- la perméabilité intrinsèque est obtenue à partir de la formule ci-dessous :

$$k_i = \frac{K \times \mu}{\rho \times g}$$

avec μ : viscosité dynamique de l'eau (1,002. 10^{-3}. Pa.s)
ρ : masse volumique de l'eau (1 000 kg/m^3)
g : accélération de la pesanteur (m/s²)

- Taille des espaces clos :
  - pour les pavillons : aucun projet précis n'est actuellement arrêté. Dans ce cadre, nous considérerons dans un premier temps des données standard : superficie de 100 m² (10 m sur 10 m) et un volume de 250 m^3 (hauteur sous plafond de 2.5 m) ; le périmètre associé a été pris égal à 40 m ;
  - pour les sous-sols : aucun projet précis n'est actuellement arrêté pour les sous-sols. Dans ce cadre, nous considérerons dans un premier temps que l'emprise des sous-sols est identique à celle de 2 appartements. Sur une base hypothétique, nous retiendrons : superficie de 200 m² (20 m sur 10 m) et un volume de 500 m^3 (hauteur sous plafond de 2.5 m) ; le périmètre associé a été pris égal à 60 m ;
  - pour les bâtiments des activités tertiaires retenues sont celles d'un bureau (valeur standard) : superficie de 40 m² (8 m sur 5 m) et un volume de 100 m^3 (hauteur sous plafond de 2.5 m) ; le périmètre associé a été pris égal à 26 m ;
- le taux de ventilation retenu
  - pour les pavillons et bâtiments tertiaires est de 0.5 h^{-1} ou encore 12 j^{-1}, valeur habituelle rencontrée dans les modèles intégrés de calcul de risque[1]. Dans l'arrêté du 24 mars 1982, le taux de renouvellement d'air minimal moyen modulé en fonction des pièces de l'habitat est de 0.5 vol/h (soit 12 j^{-1}). L'arrêté modifié du 28 octobre 1983 permet dans le cas où un dispositif mécanique module automatiquement le renouvellement d'air d'abaisser la ventilation moyenne à 0.3 vol/h (soit 7,2 j^{-1}) ;
  - dans les sous-sols, dans la mesure où ceux-ci serviront de parkings, les taux de ventilation sont nettement plus importants. Nous considérerons un taux de ventilation de 3 changements d'air par heure (72 j^{-1}). Cette valeur est pénalisante par rapport à celle de 10 changement d'air par heure recommandée par l'IRC (Institut de Recherche en Construction, Canada) pour obtenir de basses teneurs en CO dans les garages ;

[1] Le rapport RIVM/CLARINET(report 711701030/2002 , « Variation in calculated human exposure. Comparaison of calculations with seven European human exposure models ») montre que 3 modeles prennent en compte un renouvellement d'air de 0,5 h^{-1}, deux d'entre eux prennent un taux de 1,25 h^{-1}, et l'un d'entre eux prend un taux de 0,3 h^{-1}.

- Pour la contribution du sous-sol vers le rez de chaussée, nous avons considéré un abattement d'un facteur 10 entre l'air du niveau inférieur et l'air du niveau supérieur. NB : Cette valeur est issue de mesures sur sites, mais sans distinction pour le cas d'un vide sanitaire ou d'une cave ou du type de fondation : plancher, béton… (HESP, Veerkamp et ten Berge, 1994). Cette valeur est préconisée par le modèle intégré HESP et recommandée par le RIVM (report n°711701021 de mars 2001, Evaluation and revision of the CSOIL parameter set).

  On notera que les contributions du vide sanitaire vers l'habitat dans 77 maisons ont été évaluées par Fast et al[1], 1987 à 10,6% en moyenne (la valeur médiane estde 15,3% et le centile 95 de 39%). Dans 700 maisons neuves, les contributions du vide sanitaire vers l'habitat a été mesurée en moyenne à 7% par Stoop and al[2]. 1998.

[1] Fast and al. 1987. De bijdrage van verontreiniging dan de lucht in woningen. Report n°6 in de publicatiereeks milieubeheer. VROM The Netherlands

[2] Stoop and al. 1998. Results of the second Dutch National survey on radon in dwellings. RIVM n°610058006

2 Inhalation de vapeurs dans l'air extérieur

Dans l'air extérieur, la modélisation des expositions est conduite sur la base des équations de Millington and Quirck et de l'équation de Fick. La dilution par le vent est ensuite calculée dans une boite de taille fixée. Comme pour l'air intérieur, la source de pollution est considérée comme infinie.

Le calcul des concentrations diluées par le vent est effectué à l'aide de l'équation générique utilisée dans le logiciel RISC (modèle boite) :

$$C_{i,air-ext} = \frac{F}{v} . \frac{L}{H}$$

avec Ci, air-ext : concentration moyenne dans l'air extérieur (µg/m3) à la hauteur de l'organe respiratoire (H)
F : flux de polluant à l'interface sol/air extérieur (µg/m²/s)
L : longueur de la zone de mélange (correspondant à la longueur de la zone polluée) (en m)
v : vitesse moyenne du vent (m/s).
H : hauteur de la zone de mélange (m) correspondant à la hauteur de l'organe respiratoire de la cible

Le flux vers l'air extérieur est calculé à partir de l'équation de FICK (flux diffusif seul) suivante :

$$\phi(g/m^2 - j) = D_{eff} * \frac{\partial C}{\partial z}$$

où : - dC/dz : gradient de concentration (g/m^3-m) entre la concentration à la source (la concentration dans les gaz à l'équilibre avec les sols pollués ou les eaux de la nappe polluée).

- le coefficient de diffusion effectif (Deff en m²/j) dans le sol prend en considération à la fois la diffusion dans la phase aqueuse et dans la phase gazeuse[1] est donné ci-après.

Le coefficient de diffusion réel (appelé diffusion effective, Dsa dans l'air et Dw dans l'eau) est calculé par la solution analytique développée par Millington and Quirck (1981) à partir de la porosité des sols, de la teneur en air et en eau et des coefficients de diffusion de la substance dans l'air et dans l'eau.

$Dsa = Dair \times \theta_{air} \times \tau air^{-1}$ (1)

$Dw = (Deau/ H) \times \theta_{eau} \times \tau eau^{-1}$ (2)

Le coefficient de diffusion dans le milieu poreux est ensuite défini comme la somme des deux termes précédents. Le coefficient de tortuosité (τ^{-1}) est défini de la manière suivante :

dans l'air du sol : $\tau air^{-1} = \theta_{air}^{7/3} / \theta^2$ et dans la phase aqueuse du sol : $\tau eau^{-1} = \theta_{eau}^{7/3} / \theta^2$, avec :

H constante de Henry adimensionnelle,
θ porosité totale,
θ_{eau} teneur en eau du sol,
θ_{eau} teneur en gaz du sol.

La concentration dans l'air du sol à la source est calculée à l'aide des équations génériques page 3.

[1] Dans la notice d'utilisation de VOLASOII, il est souligné qu' zone non saturée, le coefficient de diffusion dans la phase gazeuse est approximativement 10^4 fois plus grand que le coefficient de diffusion dans la phase aqueuse (Glotfely & Schomburg,1991).

Les paramètres suivants ont été utilisés :

- les paramètres de sols sont identiques à ceux considérés pour les calculs vers l'air intérieur ;
- la longueur de la zone polluée considérée est de :
    - 10 mètres correspondant à la dimension maximale des jardins (diagonale) ;
    - 125 mètres (diagonale) pour les parkings aériens et 90 m pour les espaces verts (bande autour du site) du site 1a ;
    - 60 mètres (diagonale) pour les parkings aériens et 30 m pour les espaces verts (bande autour du site) du site 1c ;
    - 35 mètres (diagonale) pour les parkings aériens et 30 m pour les espaces verts (bande autour du site) du site 2 ;
- la vitesse du vent retenue à 1 mètre de 1,5 m/s.

  Dans un premier temps, nous retiendrons 1 m comme hauteur de respiration pour les enfants comme pour les adultes.
- la profondeur de la source, L_t sous le sol, est prise égale à 1 cm : le modèle considéré ne tient pas compte de l'évolution de la source de pollution et des flux en fonction du temps (source infinie). Mais, compte tenu de la faible volatilité des substances considérées et des paramètres de sols peu favorables aux transferts de vapeur, nous retiendrons la profondeur de 1 cm par défaut. Ce choix et ses incidences seront discutés dans les incertitudes.

  Pour les parkings aériens, nous avons pris en compte au dessus des sols « pollués » une couche de terrain de 10 cm d'épaisseur de porosité 2% (correspondant à la porosité efficace d'un béton) rempli à 50% d'eau (source : HESP).

3 Inhalation de substances adsorbées sur les poussières

L'équation utilisée est issue du modèle intégré HESP (ou VOLASOIL) :

Cpart = Cs x TSP x fr x frs

Avec Cpart : concentration de polluant sous forme particulaire (mg/m^3)
Cs : concentration dans les sols de surface (mg/kg)
TSP : concentration de particules en suspension (kg/m^3)
fr : fraction des poussières présentes dans l'air pouvant être réellement inhalées
frs : fraction de sol dans les poussières (-)

Cette équation a été appliquée pour le calcul de la concentration de poussières dans l'air atmosphérique.

Les paramètres suivants ont été utilisés :

- les concentrations dans les sols de surface ;
- fraction du sol dans les poussières : dans l'air extérieur de 0,5 et dans l'air intérieur de 0.8 (valeurs par défaut du logiciel HESP) ;
- quantités de particules en suspension dans l'air extérieur (TSP_e) : 0,07 mg/m^3 et dans l'air intérieure TPSi de 0,05 mg/ m^3 (valeurs par défaut du logiciel HESP) ;
- par ailleurs, la quantité de poussières réellement inhalée dépend de la taille de ces poussières, par défaut, nous considérerons que 75 % des poussières totales dans l'air sont réellement inhalées (valeur par défaut du logiciel HESP).

4 Ingestion et contact cutané avec les sols et poussières

Ingestion de sols et poussières

Le calcul de la dose a été réalisé avec l'équation générique suivante (guide EDR MEDD/BRGM/INERIS, 2000) :

$$DJE_{i,s} = \frac{C_{i,s} * Q_{sol} * T * F}{P * T_m}$$

avec : $DJE_{i,s}$: dose journalière du composé i liée à l'ingestion de sols (en mg/kg/j)
$C_{i,s}$: concentration du composé i dans les sols (mg/kg)
Q_{sol} : taux d'ingestion de sols (kg/j)
T : durée d'exposition (années)
F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an),
P : poids corporel de la cible (kg)
T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

Le choix de la valeur des paramètres d'exposition est explicité dans le présent rapport. Les quantités de sols et de poussières ingérées considérés sont argumentés ci-après.

Les taux d'ingestion de sols contaminés (en extérieur) couramment utilisées dans des études françaises et d'autres pays sont de 150 mg/j pour un enfant de 3 ans et de 50 mg/j pour un adulte. Ces données sont par ailleurs dans la fourchette des valeurs décrites dans la littérature : entre 0,6 et 480 mg/j chez l'adulte et entre 2 et 250 mg/j chez l'enfant (cité par KISSEL et al., 1998). La valeur de 480 mg/jour correspond à la réalisation de travaux de jardinage (Hawley 1985), non considérés de manière particulière dans la présente étude, la valeur de 250 mg/jour pour les enfants correspond à une valeur élevée surconservatoire donc non retenue.

Les valeurs retenues pour l'ingestion de sols et de poussières en extérieur sont donc de 150 mg/j pour un enfant en bas age et 50 mg/j pour un adulte. Ces valeurs sont représentatives d'une journée d'activité en extérieur sans prise en compte d'un temps de présence sur la journée.

Ainsi, à ces taux d'ingestion de sols seront associées les fréquences d'exposition F1 (j/an) et non à des facteurs F2 (h/j) pour les adultes et enfants dans leurs jardins.

Concernant le taux d'ingestion de poussières (en intérieur), à partir d'hypothèses sur la surface corporelle et les fréquences de contact avec le sol et les poussières, Hawley (Hawley 1985) estime qu'un adulte ingère une quantité de sols et de poussières de :

- 0,5 mg par jour dans sa pièce de séjour,
- 110 mg par jour, s'il fréquente une zone empoussiérée comme un grenier ou un sous-sol,

La valeur retenue pour l'ingestion de sols et de poussières en intérieur est de 0.5mg/j pour un enfant et un adulte.

Contact cutané avec les sols et poussières

Nous avons utilisé le modèle d'exposition suivant, utilisé dans le logiciel RISC, permettant de calculer la dose absorbée par contact cutané :

$$DJE_{cut} = C_{sol}.S.AAF.AF.\frac{1}{P}.\frac{T.F}{Tm}.10^{-6}$$

Avec DJE_c : Dose Journalière d'Exposition par contact cutané (mg/kg PC/j)
S : surface du corps exposée (cm²)
AAF : taux d'absorption dermique dépendant du composé (mg/mg)
AF : facteur d'adhérence des sol / poussières à la peau (mg/cm²/ev)
T : durée d'exposition (années)
F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an),
P : poids corporel de la cible (kg)
T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

Le choix de la valeur des paramètres d'exposition est explicité ci-dessous.

Les surfaces de peau potentiellement au contact avec les sols et poussières prises en compte sont issues de la synthèse réalisée à partir des données définies par l'US-EPA dans les ouvrages « Exposure Factor Handbook » (EFH) d'août 1997 et par l'ADEME dans la base de donnée CIBLEX (2003).

Les surfaces de peau totale sont en moyenne par classe d'âge et pour le sexe masculin et féminin les suivants :

- pour les adultes (d'âge supérieur à 17 ans pour CIBLEX), la surface totale est de 17300 cm², variant de 13400 à 20900 cm²,
- pour les enfants de 0 à 7 ans, la surface totale est de 6400 cm², variant de 2400 à 8400 cm²,
- pour les enfants de 7 à 12 ans, la surface totale est de 10900 cm², variant de 7100 à 13300 cm²,
- pour les enfants de 12 à 17 ans, la surface totale est de 15300 cm², variant de 9900 à 18800 cm²,

Pour l'US-EPA, le rapport entre la surface des jambes, des bras et des mains sur la surface totale est de 4 pour les adultes, ce ratio sera appliqué aux différentes classes d'âge. Ainsi pour l'exposition durant l'année entière, nous considérerons une moyenne entre les surfaces suivantes a) tête[1], jambes, bras et mains en été et b) tête et mains en hiver. Le tableau suivant donne la synthèse des valeurs retenues.

	Adultes (> 17 ans)	Enfants 0-7 ans
Surface totale (cm²)	17300	6400
Surface exposée en été (cm²)	6250	2730
Surface exposée en hiver (cm²)	2180	1380
Surface moyenne exposée (cm²)	4210	2050

Les facteurs d'adhérence des sols / poussières sur la peau varient en fonction du type d'activité des cibles et des partie du corps concernées. Les valeurs par défaut des logiciels sont de 0,2 mg/cm²/ev pour RISC, 1 mg/cm²/j pour RBCA, HESP recommande pour une exposition de type résidentiel un facteur de 0,0375 kg/m²/j pour l'adulte. L'US-EPA recommande pour les résidents des facteurs respectifs de 0,2 pour les enfants et 0,07 pour les adultes (mg/cm²). Nous prendrons dans le cadre de la présente étude un facteur identique pour les adultes et les enfants de 0,2 mg/cm²/ev. qui correspond à la valeur la plus fréquemment trouvée dans la littérature et qui à la lecture des valeurs présentées dans le EFH, paraît conservatoire pour les expositions étudiées.

[1] les surfaces moyennes des têtes dans Ciblex sont de 1310 cm² pour les adultes, de 900 cm² pour les enfants de 0 à 7 ans, de 1210 pour les enfants de 7 à 12 ans et de 1380 cm² pour les enfants de 12 à 17 ans.

Les taux d'absorption dermique dépendent des composés, le logiciel HESP qui ne prend pas en compte cette variabilité n'a pas été retenu dans le cadre de l'évaluation des expositions par cette voie. Ces valeurs sont prises en compte quand elles existent, pour les composés dont les taux ne sont pas disponibles du fait de la part minoritaire de cette voie d'exposition dans l'exposition globale, nous prendrons les valeurs pas défaut du modèle intégré RISC. Les valeurs retenues sont présentées dans l'annexe relative aux relations doses-réponses.

5 Calculs des concentrations dans les eaux des canalisations enterrées sur site

La concentration dans les eaux des canalisations d'amenée d'eau potable qui seront enfouies dans les terrains peut être évaluée par l'équation suivante (issue du modèle intégré HESP correspondant au seul outil permettant de calculer ces concentrations) :

$$C_{canalisation} = C_{eau-exterieur} \times D_{PEHD} \times dt \times \frac{2.\pi \times R_{\text{int}erne} \times L}{D_e \times Q}$$

Ccanalisation : concentration dans l'eau de la canalisation (mg/l) sur une journée
Ceau-extérieur : concentration dans l'eau interstitielle des sols au contact de la canalisation (mg/l)
Dpehd : coefficient de perméation du PEHD pour le composé étudié (m^2/j)
Rinterne : rayon interne de la canalisation (m)
L : longueur de la zone polluée traversée par la canalisation (m)
De : Epaisseur de la canalisation (m)
Q : Débit d'eau transitant dans la canalisation (m^3/j)
dt : Durée de stagnation de l'eau dans la canalisation (=1 jour, valeur par défaut de HESP : Veerkamp, 1994). Ce facteur permet de prendre en compte la correction (sur une journée) liée à une période de stagnation.

Les données nécessaires à cette évaluation sont les concentrations dans l'eau du sol et les coefficients de perméation des composés à travers le type de conduite étudiée. En l'absence de renseignements sur le type de conduite utilisées sur le site, nous nous sommes placés dans le cas le plus défavorable de conduite en PEHD, matériau à travers lequel la migration de vapeur est la plus importante (d'un facteur 100 par rapport aux conduites en PVC), les conduites en fonte font quant à elles obstacle aux polluants.

Les données existantes sont issues de la notice du logiciel HESP et sont reprises ci-dessous.

Composé	Perméation au PEHD (m²/j)	Composé	Perméation au PEHD (m²/j)
B(a)P	2E-07	Naphtalène	5E-07
B(a)A	2E-07	Fluoranthène	5E-07
B(k)F	2E-07	Anthracène	5E-07
B(g,h,i)périlène	2E-07	Phénanthrène	2E-07
Chrysène	2.E-07	Indéno(cd)pyrène	2E-07

Compte tenu de ces valeurs (identiques pour deux familles distinctes les plus volatils et les autres), nous avons considéré que pour les autres HAP, les facteurs de perméation sont de 5.10^{-7} m²/j.

Composé	Perméation au PEHD (m²/j)
BTEX	
Benzène	$1.4\ 10^{-6}$
Xylènes	$1.6\ 10^{-6}$
Phénols	$8.5\ 10^{-10}$

Par ailleurs, les paramètres liés aux canalisations pris en compte sont les suivants :

- longueur de la zone polluée considérée est de 200 mètres (remarque : en l'absence de projet précis, dans un premier temps, nous avons considéré que les canalisations pourront traverser les sites selon la plus grande dimension, à savoir la diagnoale).
- le rayon interne de la canalisation et son épaisseur ne sont pas connus. Les dimensions standard de tuyauterie d'AEP ont donc été considérés :

  * industriel /résidentiel (immeuble) : Rayon interne : 50 mm, épaisseur 4 mm[1] ;

  * résidentiel / tertiaire (petite taille) : Rayon interne : 9,8 mm, épaisseur 2,7 mm (VeerKamp, 1994).

- le débit transitant a été pris égal

  * tertiaire petite taille (bureaux) : à 0.25 m^3/j (25 l/j/personne avec 10 occupants en moyenne) ;

  * résidentiel (immeuble) : à 16 m^3/j (200 l/j/personne avec 4 personnes occupant en moyenne un appartement, sachant qu'il y a 20 appartements au maximum dans un bâtiment).

  * résidentiel (pavillons) : à 0.8 m^3/j (200 l/j/personne avec 4 personnes occupant en moyenne un pavillon).

- la concentration dans l'eau des sols a été calculée à partir de concentration dans les sols (en prenant en compte la loi de Raoult et donc les fractions molaires des substances dans le mélange) de la manière suivantes (équation RISC 4.0 ou RBCA) :

$$Cw = \text{minimum entre}$$

$$C_{wi,1} = Csi.\ \rho_b\ /\ [H_i.\theta_a + Kd_i.\ \rho_b + \theta_w\ ]$$

$$C_{wi,2} = X.\ S$$

C_{wi} : concentration de la substance i dans l'eau du sol (mg/l)
Csi : concentration de la substance i dans le sol (mg/kg)
ρ_b : densité du sol (kg/l)
θ_a : teneur en air du sol (-)
θ_w : teneur en air du sol (-)
H_i : constante de Henry de la substance i (-)
Kd_i : constante d'adsorption de la substance i (l/kg)
X : fraction massique de la substance i dans le mélange (-)
S : solubilité de la substance i (mg/l)

- la concentration dans l'eau des sols a été calculée à partir de concentration dans les gaz du sol, de la manière suivante :

$$C_{eaudusol} = \frac{C_{airdusol}}{H}$$ H : constante de Henry (-)

[1] Donnée issue des catalogues M. BRICOLAGE et LEROY MERLIN, pour des canalisations d'amenée d'eau potable NF.

6 Autoconsommation de végétaux

A) Concentration dans les végétaux à partir des pollutions du sol

Les mécanismes de transfert sont complexes et les facteurs de bioconcentration (BCF) traduisant l'accumulation d'un composé dans une plante varient d'une plante à une autre en fonction des mécanismes de transferts (racines, feuilles, ...) et sont spécifiques de chaque composé.

Les BCF (en poids sec) peuvent être estimés à partir d'études expérimentales, ou en l'absence de données calculées par des modèles plus ou moins simples, voir point D) ci-après.

Nous avons évalué le transfert du polluant du sol vers les plantes à partir des équations suivantes (réécrites par nos soins dans excel), en distinguant la partie racinaire, la tige et la feuille de la plante :

$$C_{aerien,i}(poids\,\sec) = BCF_{sol-aerien}(poids\,\sec) \times C_{sol}$$

$$C_{racine,i}(poids\,\sec) = BCF_{sol-racine}(poids\,\sec) \times C_{sol}$$

où C_{sol} : concentration dans le sol, en mg/kg MS.
Caerien,i : concentration de la substance i dans partie aérienne du végétal (tige et feuille) mg/kg de poids sec
Cracine,i : concentration de la substance i dans la racine du végétal mg/kg de poids sec

C) Consommation de végétaux autoproduits.

La dose journalière d'exposition à un polluant *i* par ingestion de végétaux (VI_i) s'exprime par l'équation générique suivante:

$$VI_i = \frac{C_{vgt,i} \times Q_{vgt} \times f_{vgt} \times f_{a,ing} \times T \times F}{P \times Tm}$$

avec : $C_{vgt,i}$: concentration moyenne du contaminant *i* dans les produits du jardin, en mg/kg de poids frais
Q_{vgt} : consommation journalière de végétaux, en kg/j
f_{vgt} : fraction de végétaux consommés produits sur le site
$f_{a,\,ing}$: fraction de polluants ingérés qui sont absorbés
T : durée d'exposition (années)
F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an),
P : poids corporel de la cible (kg)
T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

Les paramètres suivants ont été considérés :

Rapport poids frais / poids sec

Pour passer de la concentration en poids sec à la concentration en poids frais dans le végétal, le taux d'humidité du végétal doit être considéré. Ce taux varie en fonction des végétaux entre 0.95 pour la salade et 0.74 pour les petits pois). Les valeurs proposées par les modèles intégrés HESP et VOLASOIL sont retenues :

$C_{\text{poids frais –aérien}} = 0{,}117 . C_{\text{poids sec}}$ pour les parties aériennes du végétal (taux d'humidité de 0.883)

$C_{\text{poids frais -racine}} = 0{,}202 . C_{\text{poids sec}}$ pour les parties racinaires du végétal (taux d'humidité de 0.798)

Le taux de consommation de légumes provenant du potager sur une année est variable. La base CIBLEX (juin 2003) donne une autarcie de la population française pour la consommation de végétaux de 23 à 26 % pour les légumes feuilles, pommes de terre et légumes racinaires (population non agricole), de 13% pour les légumes fruits. Nous prendrons donc un taux maximaliste de 26%.

Ne connaissant pas les végétaux cultivés à l'avenir sur le site (légumes-racines, légumes-feuilles, verger…), nous avons considéré un mélange de végétaux défini par la base de données CIBLEX pour des enfants et adultes vivant en région parisienne. Les résultats sont repris dans le tableau suivant. Les légumes graines (céréales) sont supposés provenir pour une part négligeable de l'autoproduction. Les légumes tiges sont pris en compte avec les légumes feuilles.

	Consommation totale				Autoconsommation prise en compte	
	légumes-fruits (g/j)	légumes racines y compris pomme de terre (g/j)	légumes-feuilles (g/j)	légumes graines (g/j)	Quantité de légumes feuilles (g/j)	Quantité de légumes racines (g/j)
Adultes	190	90	42	190	10.92	23.4
Enfants	130	65	17	120	4.42	16.9

La fraction de polluant réellement ingéré a été pris égal à 100%.

FACTEURS de BIOCONCENTRATION

A) Calcul des BCF depuis les sols –composés organiques

Les facteurs de bioconcentration que nous avons pris en compte sont issus des fiches de l'INERIS ou des monographies de INCHEM ou encore de la base de données de RAIS.

En l'absence de valeurs de BCF pour les substances organiques, ceux-ci ont été évalués à partir des équations développées par :

- Briggs et al. (1982) pour les composés organiques et les parties racinaires des végétaux. L'équation de base a cependant été modifiée pour prendre en compte un facteur d'ajustement proposé par l'US-EPA,
- Travis et Arm (1988) pour les composés organiques et les parties aériennes des végétaux.

Les équations utilisées sont données ci-après, elles correspondent à celles utilisées par le modèle intégré RISC 4.0 (distribué par Waterloo Hydrogeologics) et doivent être appliquées à des concentrations dans les sols (et non dans l'eau des sols), il s'agit de BCF exprimés en poids sec:

$$BCF_{sol->racine}(enpoids\,\text{sec}) = \frac{\left[10^{(0.778*\log Kow - 1.52} + 0.82\right]*0.01}{Koc.foc} / 0.202$$

Le facteur 0.202 correspond au taux de matière sèche dans les parties racinaires du végétal

$$BCF_{sol->aerien}(enpoids\,\text{sec}) = [10^{(1.588-0.578\log Kow)}]$$

Ces BCF sont exprimés en (mg/kg végétal sec) par (mg/kg de sol)

C) Calcul des BCF depuis les sols –composés inorganiques

En l'absence de valeurs de BCF pour les substances inorganiques, ceux-ci ont été évalués à partir des équations développées par Baes, 1984.

D) Synthèse des BCF considérés

Les BCF considérés sont synthétisés dans le tableau suivant.

Composé	BCF veg-tige (poids sec)	Source de données	BCF veg-racine (poids sec)	Source de données
Aliphatique C_{10}-C_{12}	$2.2\ 10^{-2}$	calculé	$4.5\ 10^{-3}$	calculé
Aliphatique C_{12}-C_{16}	$4.6\ 10^{-3}$	Calculé	$1.9\ 10^{-3}$	Calculé
Aliphatique C_{16}-C_{21}	$2.8\ 10^{-4}$	Calculé	$4.2\ 10^{-4}$	Calculé
Aliphatique C_{21}-C_{40}	$2.8\ 10^{-4}$	Calculé	$4.2\ 10^{-4}$	Calculé
Aromatique C_{10}-C_{12}	0.37	Calculé	$1.1\ 10^{-2}$	Calculé
Aromatique C_{12}-C_{16}	0.22	Calculé	$1.1\ 10^{-2}$	Calculé
Aromatique C_{16}-C_{21}	$7.4\ 10^{-2}$	Calculé	$1.4\ 10^{-2}$	Calculé
Aromatique C_{21}-C_{40}	$1.2\ 10^{-2}$	Calculé	$2.2\ 10^{-2}$	Calculé
Antimoine	0.9	HESP	0.6	HESP
Arsenic	$3\ 10^{-2}$	HESP	$2\ 10^{-2}$	HESP
Cadmium	0.7	HESP	0.55	-
Chrome	0.02	-	0.002	-
Cuivre	0.1	HESP	0.1	HESP
Etain	0.03	HESP	0.015	HESP
Mercure	0.8	-	0.09	-
Nickel	0.1	HESP	$7\ 10^{-3}$	HESP
Plomb	0.02	HESP	0.001	HESP
Zinc	0.4	HESP	0.1	HESP
Naphtalene	0.48	calculé	2.7 10-4	calculé
Fluorene	0.15	calculé	2 10-4	calculé
Phénanthrene	0.1	calculé	1.7 10-4	calculé
Anthracene	0.1	calculé	1.8 10-4	calculé
Fluoranthene	4 10-2	calculé	1.8 10-4	calculé
Pyrene	5.9 10-2	calculé	1.1 10-4	calculé
Benzo(a)anthracene	1.7 10-2	calculé	1.7 10-4	calculé
Chrysene	1.9 10-2	calculé	1.5 10-4	calculé
Benzo(b)fluoranthene	5.9 10-3	calculé	2.1 10-4	calculé
Benzo(k)fluoranthene	4.3 10-3	calculé	3.3 10-4	calculé
Benzo(a)pyrene	1.4 10-3	calculé	6.9 10-5	calculé
Dibenz(a,h)anthracène	6.8 10-3	calculé	5.3 10-5	calculé
Benzo(g,h,i)pérylène	5.7 10-3	calculé	6.5 10-5	calculé
Indéno(1,2,3,c,d)pyrene	5.2 10-3	calculé	7.4 10-5	calculé

- Annexe 9 -
Détail des calculs des concentrations, des doses (DJE) et des risques (IR et ERI)

Cette annexe contient 32 pages

- Annexe 10 -
Feuilles de calculs des incertitudes et tests de sensibilités de l'EDR

Cette annexe contient 27 pages

REx00862-03/AX.00222/CExZ060043	
VL / RHE / YRa	
18/10/07	Annexes

INHALATION DE VAPEURS EN INTERIEUR
SCENARIO Parkings souterrains (site 1a)

Etude de sensibilité : prise en considération des fosses de sables de fonderie

		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	15
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	6
F1=fréquence d'exposition en intérieur	jour/an	330	330	330	330
F2 intérieur=fréquence d'exposition en intérieur	heure/jour	19	18	0,5	0,5
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	70
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6	40	6
Surface du batiment	m²			200	200
Volume intérieur du batiment	m^3			500	500
Taux de ventilation	j^{-1}			72	72

Concentration dans les sols

		Concentration maximale? Moyenne? Percentile 90?
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	
BTEX		
Benzène	mg/kg	
M+p-Xylène	mg/kg	

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Flux de vapeurs vers l'air intérieur (mg/m²/j)
3,80E-03	4,33E-05
1,80E-02	7,27E-05
9,10E-01	3,67E-03

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air intérieur

		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV					
Formaldéhydes	mg/m^3			2,41E-07	2,41E-07
BTEX					
Benzène	mg/m^3			4,04E-07	4,04E-07
M+p-Xylène	mg/m^3			2,04E-05	2,04E-05

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air intérieur

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV									
Formaldéhydes	mg/m^3			4,53E-09	4,53E-09			2,59E-09	3,88E-10
BTEX									
Benzène	mg/m^3			7,61E-09	7,61E-09			4,35E-09	6,52E-10
M+p-Xylène	mg/m^3			3,84E-07	3,84E-07			2,19E-07	3,29E-08

Indice de risque ou Exces de risque individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air intérieur

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV								
Formaldéhydes			1,51E-06	1,51E-06			3,37E-11	5,05E-12
BTEX								
Benzène			2,54E-07	2,54E-07			2,61E-11	3,91E-12
M+p-Xylène			3,84E-06	3,84E-06			0,00E+00	0,00E+00
Somme des IR & ERI INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR			**5,60E-06**	**5,60E-06**			**5,97E-11**	**8,96E-12**

INHALATION DE VAPEURS EN INTERIEUR
SCENARIO Habitations sur un niveau de sous-sol (site 1a)

Etude de sensibilité : prise en considération des fosses de sables de fonderie

		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	15
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	6
F1=fréquence d'exposition en intérieur	jour/an	330	330	330	330
F2 intérieur=fréquence d'exposition en intérieur	heure/jour	19	18	0,5	0,5
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	70
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6	40	6
Surface du batiment	m²	100	100		
Volume intérieur du batiment	m^3	250	250		
Taux de ventilation	j^{-1}	12	12		

Concentration dans les sols

		Concentration maximale? Moyenne? Percentile 90?
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	
BTEX		
Benzène	mg/kg	
M+p-Xylène	mg/kg	

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Flux de vapeurs vers l'air intérieur (mg/m²/j)
3,80E-03	
1,80E-02	
9,10E-01	

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air intérieur

		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV					
Formaldéhydes	mg/m^3	2,41E-08	2,41E-08		
BTEX		0,00E+00	0,00E+00		
Benzène	mg/m^3	4,04E-08	4,04E-08		
M+p-Xylène	mg/m^3	2,04E-06	2,04E-06		

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air intérieur

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV									
Formaldéhydes	mg/m^3	1,72E-08	1,63E-08			9,84E-09	1,40E-09		
BTEX									
Benzène	mg/m^3	2,89E-08	2,74E-08			1,65E-08	2,35E-09		
M+p-Xylène	mg/m^3	1,46E-06	1,38E-06			8,34E-07	1,18E-07		

Indice de risque ou Exces de risque individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air intérieur

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV								
Formaldéhydes	5,74E-06	5,44E-06			1,28E-10	1,82E-11		
BTEX								
Benzène	9,64E-07	9,13E-07			9,91E-11	1,41E-11		
M+p-Xylène	1,46E-05	1,38E-05			0,00E+00	0,00E+00		
Somme des IR & ERI INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR	**2,13E-05**	**2,02E-05**			**2,27E-10**	**3,23E-11**		

INHALATION DE VAPEURS EN EXTERIEUR
SCENARIO Jardin privatif (site 1a)

Etude de sensibilité : prise en considération des fosses de sables de fonderie

		Résident adulte	Résident enfant	sident adulte pa	Résident enfant park
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	15
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	6
F1=fréquence d'exposition en extérieur	jour/an	330	330	330	330
F2 intérieur=fréquence d'exposition en extérieur	heure/jour	1	1	0,5	0,5
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	70
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6	40	6
Hauteur de respiration de la cible	m	1	1		
Longueur de la boite, dans la direction principale du vent	m	10	10		
Vitesse moyenne du vent	m/j	129600	129600		

Concentration dans les sols

		Concentration maximale? Moyenne? Percentile 90?
HAP		
Naphtalène	mg/kg	
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	
BTEX		
Benzène	mg/kg	
M+p-Xylène	mg/kg	
Autres		
Arochlor 1254	mg/kg	

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	**Flux de vapeurs vers l'air extérieur** (mg/m²/j)
9,03E-01	8,24E-01
3,80E-03	6,26E-02
1,80E-02	2,44E-02
9,10E-01	9,80E-01
8,02E-03	1,96E-03

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air extérieur

		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
HAP					
Naphtalène	mg/m^3	6,36E-05	6,36E-05		
OHV					
Formaldéhydes	mg/m^3	4,83E-06	4,83E-06		
BTEX					
Benzène	mg/m^3	1,88E-06	1,88E-06		
M+p-Xylène	mg/m^3	7,56E-05	7,56E-05		
Autres					
Arochlor 1254	mg/m^3	1,52E-07	1,52E-07		

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air extérieur

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
HAP									
Naphtalène	mg/m^3	2,40E-06	2,40E-06			1,37E-06	2,05E-07		
OHV									
Formaldéhydes	mg/m^3	1,82E-07	1,82E-07			1,04E-07	1,56E-08		
BTEX									
Benzène	mg/m^3	7,09E-08	7,09E-08			4,05E-08	6,07E-09		
M+p-Xylène	mg/m^3	2,85E-06	2,85E-06			1,63E-06	2,44E-07		
Autres									
Arochlor 1254	mg/m^3	5,71E-09	5,71E-09			3,26E-09	4,89E-10		

Indice de risque ou Exces de risques individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air extérieur

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
HAP								
Naphtalène	7,98E-04	7,98E-04			1,51E-09	2,26E-10		
OHV								
Formaldéhydes	6,07E-05	6,07E-05			1,35E-09	2,03E-10		
BTEX								
Benzène	2,36E-06	2,36E-06			2,43E-10	3,64E-11		
M+p-Xylène	2,85E-05	2,85E-05			0,00E+00	0,00E+00		
Autres								
Arochlor 1254	5,71E-06	5,71E-06			1,86E-12	2,79E-13		
Somme des IR & ERI INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR	**8,96E-04**	**8,96E-04**			**3,10E-09**	**4,65E-10**		

INHALATION DE VAPEURS EN EXTERIEUR
SCENARIO Parkings aériens associés aux habitations (site 1a)

Etude de sensibilité : prise en considération des fosses de sables de fonderie

		Résident adulte	Résident enfant	sident adulte pa	Résident enfant park
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	15
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	6
F1=fréquence d'exposition en extérieur	jour/an	330	330	330	330
F2 intérieur=fréquence d'exposition en extérieur	heure/jour	1	1	0,5	0,5
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	70
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6	40	6
Hauteur de respiration de la cible	m			1	1
Longueur de la boite, dans la direction principale du vent	m			125	125
Vitesse moyenne du vent	m/j			129600	129600

Concentration dans les sols

		Concentration maximale? Moyenne? Percentile 90?
HAP		
Naphtalène	mg/kg	
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	
BTEX		
Benzène	mg/kg	
M+p-Xylène	mg/kg	
Autres		
Arochlor 1254	mg/kg	

	Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Flux de vapeurs vers l'air extérieur (mg/m²/j)
HAP		
Naphtalène	9,03E-01	2,49E-03
OHV		
Formaldéhydes	3,80E-03	2,37E-04
BTEX		
Benzène	1,80E-02	7,35E-05
M+p-Xylène	9,10E-01	2,93E-03
Autres		
Arochlor 1254	8,02E-03	5,96E-06

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air extérieur

		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
HAP					
Naphtalène	mg/m³			2,40E-06	2,40E-06
OHV					
Formaldéhydes	mg/m³			2,29E-07	2,29E-07
BTEX					
Benzène	mg/m³			7,09E-08	7,09E-08
M+p-Xylène	mg/m³			2,83E-06	2,83E-06
Autres					
Arochlor 1254	mg/m³			5,75E-09	5,75E-09

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air extérieur

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
HAP									
Naphtalène	mg/m³			4,52E-08	4,52E-08			2,58E-08	3,88E-09
OHV									
Formaldéhydes	mg/m³			4,31E-09	4,31E-09			2,46E-09	3,69E-10
BTEX									
Benzène	mg/m³			1,34E-09	1,34E-09			7,63E-10	1,14E-10
M+p-Xylène	mg/m³			5,32E-08	5,32E-08			3,04E-08	4,56E-09
Autres									
Arochlor 1254	mg/m³			1,08E-10	1,08E-10			6,19E-11	9,28E-12

Indice de risque ou Exces de risques individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air extérieur

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
HAP								
Naphtalène			1,51E-05	1,51E-05			2,84E-11	4,27E-12
OHV								
Formaldéhydes			1,44E-06	1,44E-06			3,20E-11	4,80E-12
BTEX								
Benzène	0,00E+00	0,00E+00	4,45E-08	4,45E-08			4,58E-12	6,87E-13
M+p-Xylène	0,00E+00	0,00E+00	5,32E-07	5,32E-07			0,00E+00	0,00E+00
Autres								
Arochlor 1254			1,08E-07	1,08E-07			3,53E-14	5,29E-15
Somme des IR & ERI INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR			**1,72E-05**	**1,72E-05**			**6,50E-11**	**9,75E-12**

INHALATION DE VAPEURS EN INTERIEUR
SCENARIO Bureaux de plain-pied (1a)

Etude de sensibilité : prise en considération de la poche d'hydrocarbures en limite du site

		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	0
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	0
F1=fréquence d'exposition en intérieur	jour/an	330	330	220	0
F2 intérieur=fréquence d'exposition en intérieur	heure/jour	19	18	8	0
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	0
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6	40	0
Surface du batiment	m²			40	
Volume intérieur du batiment	m^3			100	
Taux de ventilation	j^{-1}			12	

Concentration dans les sols

		Concentration maximale
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	
BTEX		
Benzène	mg/kg	
M+p-Xylène	mg/kg	
Hydrocarbures totaux (TPH)		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Flux de vapeurs vers l'air intérieur (mg/m²/j)
3,80E-03	2,86E-05
1,80E-02	1,35E-04
9,10E-01	6,82E-03
	2,31E+01
	5,93E-01
	7,16E+00
	1,84E+00

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air intérieur

		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
OHV					
Formaldéhydes	mg/m³			9,53E-07	
BTEX					
Benzène	mg/m³			4,50E-06	
M+p-Xylène	mg/m³			2,27E-04	
Hydrocarbures totaux (TPH)					
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³			7,69E-01	
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³			1,98E-02	
Aromatic nC10-nC12	mg/m³			2,39E-01	
Aromatic nC12-nC16	mg/m³			6,12E-02	

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air intérieur

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
OHV									
Formaldéhydes	mg/m³			1,92E-07				1,09E-07	
BTEX									
Benzène	mg/m³			9,04E-07				5,17E-07	
M+p-Xylène	mg/m³			4,56E-05				2,61E-05	
Hydrocarbures totaux (TPH)									
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³			1,54E-01				8,83E-02	
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³			3,97E-03				2,27E-03	
Aromatic nC10-nC12	mg/m³			4,79E-02				2,74E-02	
Aromatic nC12-nC16	mg/m³			1,23E-02				7,03E-03	

Indice de risque ou Exces de risque individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air intérieur

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
OHV								
Formaldéhydes			6,38E-05				1,42E-09	
BTEX								
Benzène			3,01E-05				3,10E-09	
M+p-Xylène			4,56E-04				0,00E+00	
Hydrocarbures totaux (TPH)								
Aliphatic nC10-nC12			1,54E-01				0,00E+00	
Aliphatic nC12-nC16			3,97E-03				0,00E+00	
Aromatic nC10-nC12			2,40E-01				0,00E+00	
Aromatic nC12-nC16			6,15E-02				0,00E+00	
Somme des IR & ERI INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR			**4,60E-01**				**4,52E-09**	

INHALATION DE VAPEURS EN EXTERIEUR
SCENARIO Espaces verts (1a)

Etude de sensibilité : prise en considération de la poche d'hydrocarbures en limite du site

		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	0
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	0
F1=fréquence d'exposition en extérieur	jour/an	330	330	220	0
F2 intérieur=fréquence d'exposition en extérieur	heure/jour	1	1	0,5	0
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	0
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6	40	0
Hauteur de respiration de la cible	m	1	1		
Longueur de la boite, dans la direction principale du vent	m	90	90		
Vitesse moyenne du vent	m/j	129600	129600		

Concentration dans les sols

		Concentration maximale? Moyenne? Percentile 90?
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	
BTEX		
Benzène	mg/kg	
M+p-Xylène	mg/kg	
Hydrocarbures totaux (TPH)		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Flux de vapeurs vers l'air extérieur (mg/m²/j)
3,80E-03	6,26E-02
1,80E-02	2,44E-02
9,10E-01	9,80E-01
	3,14E+03
	8,07E+01
	9,75E+02
	2,51E+02

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air extérieur

		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
OHV					
Formaldéhydes	mg/m³	4,35E-05	4,35E-05		
BTEX					
Benzène	mg/m³	1,69E-05	1,69E-05		
M+p-Xylène	mg/m³	6,81E-04	6,81E-04		
Hydrocarbures totaux (TPH)					
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³	2,18E+00	2,18E+00		
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³	5,60E-02	5,60E-02		
Aromatic nC10-nC12	mg/m³	6,77E-01	6,77E-01		
Aromatic nC12-nC16	mg/m³	1,74E-01	1,74E-01		

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air extérieur

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
OHV									
Formaldéhydes	mg/m³	1,64E-06	1,64E-06			9,36E-07	1,40E-07		
BTEX									
Benzène	mg/m³	6,38E-07	6,38E-07			3,64E-07	5,47E-08		
M+p-Xylène	mg/m³	2,56E-05	2,56E-05			1,46E-05	2,20E-06		
Hydrocarbures totaux (TPH)									
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³	8,21E-02	8,21E-02			4,69E-02	7,04E-03		
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³	2,11E-03	2,11E-03			1,21E-03	1,81E-04		
Aromatic nC10-nC12	mg/m³	2,55E-02	2,55E-02			1,46E-02	2,19E-03		
Aromatic nC12-nC16	mg/m³	6,55E-03	6,55E-03			3,75E-03	5,62E-04		

Indice de risque ou Exces de risques individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air extérieur

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
OHV								
Formaldéhydes	5,46E-04	5,46E-04			1,22E-08	1,82E-09		
BTEX								
Benzène	2,13E-05	2,13E-05			2,19E-09	3,28E-10		
M+p-Xylène	2,56E-04	2,56E-04			0,00E+00	0,00E+00		
Hydrocarbures totaux (TPH)								
Aliphatic nC10-nC12	8,21E-02	8,21E-02			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC12-nC16	2,11E-03	2,11E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC10-nC12	1,27E-01	1,27E-01			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC12-nC16	3,28E-02	3,28E-02			0,00E+00	0,00E+00		

Somme des IR & ERI INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR	**2,45E-01**	**2,45E-01**			**1,44E-08**	**2,15E-09**		

INHALATION DE VAPEURS EN EXTERIEUR
SCENARIO Parkings aériens associés aux bureaux (1a)
Etude de sensibilité : prise en considération de la poche d'hydrocarbures en limite du site

		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	0
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	0
F1=fréquence d'exposition en extérieur	jour/an	330	330	220	0
F2 intérieur=fréquence d'exposition en extérieur	heure/jour	1	1	0,5	0
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	0
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6	40	0
Hauteur de respiration de la cible	m			1	1
Longueur de la boite, dans la direction principale du vent	m			125	125
Vitesse moyenne du vent	m/j			129600	129600

Concentration dans les sols

		Concentration maximale? Moyenne? Percentile 90?
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	
BTEX		
Benzène	mg/kg	
M+p-Xylène	mg/kg	
Hydrocarbures totaux (TPH)		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Flux de vapeurs vers l'air extérieur (mg/m²/j)
3,80E-03	2,37E-04
1,80E-02	7,35E-05
9,10E-01	2,93E-03
	9,46E+00
	2,43E-01
	2,94E+00
	7,56E-01

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air extérieur

		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
OHV					
Formaldéhydes	mg/m³			2,29E-07	2,29E-07
BTEX					
Benzène	mg/m³			7,09E-08	7,09E-08
M+p-Xylène	mg/m³			2,83E-06	2,83E-06
Hydrocarbures totaux (TPH)					
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³			9,13E-03	9,13E-03
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³			2,35E-04	2,35E-04
Aromatic nC10-nC12	mg/m³			2,83E-03	2,83E-03
Aromatic nC12-nC16	mg/m³			7,29E-04	7,29E-04

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air extérieur

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	
OHV									
Formaldéhydes	mg/m³			2,87E-09				1,64E-09	
BTEX									
Benzène	mg/m³			8,90E-10				5,09E-10	
M+p-Xylène	mg/m³			3,55E-08				2,03E-08	
Hydrocarbures totaux (TPH)									
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³			1,15E-04				6,55E-05	
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³			2,95E-06				1,68E-06	
Aromatic nC10-nC12	mg/m³			3,56E-05				2,03E-05	
Aromatic nC12-nC16	mg/m³			9,16E-06				5,23E-06	

Indice de risque ou Exces de risques individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air extérieur

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	
OHV								
Formaldéhydes			9,57E-07				2,13E-11	
BTEX								
Benzène	0,00E+00	0,00E+00	2,97E-08				3,05E-12	
M+p-Xylène	0,00E+00	0,00E+00	3,55E-07				0,00E+00	
Hydrocarbures totaux (TPH)								
Aliphatic nC10-nC12			1,15E-04				0,00E+00	
Aliphatic nC12-nC16			2,95E-06				0,00E+00	
Aromatic nC10-nC12			1,78E-04				0,00E+00	
Aromatic nC12-nC16			4,58E-05				0,00E+00	
Somme des IR & ERI INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR			**3,43E-04**				**2,44E-11**	

INHALATION DE POUSSIERES
SCENARIO Espaces verts (1a)

Etude de sensibilité : prise en considération de la poche d'hydrocarbures en limite du site

		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	0
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	0
F1=fréquence d'exposition en extérieur	jour/an	330	330	220	0
F2 intérieur=fréquence d'exposition en extérieur	heure/jour	1	1	0,5	0
F1=fréquence d'exposition en intérieur	jour/an	330	330	220	0
F2 intérieur=fréquence d'exposition en intérieur	heure/jour	19	18	8	0
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	0
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non cancérigène)	an	40	6	40	0
TSPe=Concentration de particules en suspension dans l'air extérieur	kg/m^3	7,E-08	7,E-08	7,E-08	7,E-08
TSPi=Concentration de particules en suspension dans l'air intérieur	kg/m^3	5,00E-08	5,00E-08	5,00E-08	5,00E-08
frse = fraction de sol dans les poussières en extérieur	(-)	0,5	0,5	0,5	0,5
frsi = fraction de sol dans les poussières en intérieur	(-)	0,8	0,8	0,8	0,8
Facteur de rétention des particules dans les poumons	(-)	0,75	0,75	0,75	0,75

Concentration dans les sols DE SURFACE

		Concentration maximale
Métaux		
Arsenic	mg/kg	38
Cadmium	mg/kg	0,72
Chrome	mg/kg	100
Cuivre	mg/kg	481
Nickel	mg/kg	70
Plomb	mg/kg	590
Zinc	mg/kg	580
Mercure élémentaire	mg/kg	5,1
Mercure inorganique	mg/kg	5,1
Mercure organique	mg/kg	
HAP		
Naphtalène	mg/kg	0,2
Acénaphtylène	mg/kg	
Acénaphtène	mg/kg	
Fluorène	mg/kg	0,036
Phénanthrène	mg/kg	0,61
Anthracène	mg/kg	0,065
Fluoranthène	mg/kg	0,78
Pyrène	mg/kg	0,65
Benzo(a)anthracène	mg/kg	0,54
Chrysène	mg/kg	0,56
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg	0,69
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg	0,37
Benzo (a)pyrène	mg/kg	0,77
Bibenzo(a,h)anthracène	mg/kg	0,06
Benzo(g,h,i)périylène	mg/kg	0,72
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	mg/kg	0,46
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	0,3
BTEX		
M+p-Xylène	mg/kg	0,8
o-Xylène	mg/kg	0,8
Hydrocarbures totaux (TPH)		
Aliphatic nC5-nC6	mg/kg	
Aliphatic nC6-nC8	mg/kg	
Aliphatic nC8-nC10	mg/kg	
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	9,6
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	14,4
Aliphatic nC16-nC35	mg/kg	604,8
Aromatic nC5-nC7 benzène	mg/kg	
Aromatic nC7-nC8 toluène	mg/kg	
Aromatic nC8-nC10	mg/kg	
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	9,6
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	14,4
Aromatic nC16-nC21	mg/kg	182,4
Aromatic nC21-nC35	mg/kg	422,4
Autres		
Antimoine	mg/kg	110
Etain	mg/kg	300
Managnèse	mg/kg	1770
Phénols	mg/kg	0,016
Crésols	mg/kg	0,053
Cyanures	mg/kg	0,3

Concentration de polluant sous forme particulaire

		INTERIEUR	EXTERIEUR
Métaux			
Arsenic	mg/m^3		1,33E-06
Cadmium	mg/m^3		2,52E-08
Chrome	mg/m^3		3,50E-06
Cuivre	mg/m^3		1,68E-05
Nickel	mg/m^3		2,45E-06
Plomb	mg/m^3		2,07E-05
Zinc	mg/m^3		2,03E-05
Mercure élémentaire	mg/m^3		1,79E-07
Mercure inorganique	mg/m^3		1,79E-07
Mercure organique	mg/m^3		0,00E+00
HAP			
Naphtalène	mg/m^3		7,00E-09
Acénaphtylène	mg/m^3		0,00E+00
Acénaphtène	mg/m^3		0,00E+00
Fluorène	mg/m^3		1,26E-09
Phénanthrène	mg/m^3		2,14E-08
Anthracène	mg/m^3		2,28E-09
Fluoranthène	mg/m^3		2,73E-08
Pyrène	mg/m^3		2,28E-08
Benzo(a)anthracène	mg/m^3		1,89E-08
Chrysène	mg/m^3		1,96E-08
Benzo(b)fluoranthène	mg/m^3		2,42E-08
Benzo(k)fluoranthène	mg/m^3		1,30E-08
Benzo (a)pyrène	mg/m^3		2,70E-08
Bibenzo(a,h)anthracène	mg/m^3		2,10E-09
Benzo(g,h,i)périylène	mg/m^3		2,52E-08
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	mg/m^3		1,61E-08
OHV			
Formaldéhydes	mg/m^3		1,05E-08
BTEX			
M+p-Xylène	mg/m^3		2,80E-08
o-Xylène	mg/m^3		2,80E-08
Hydrocarbures totaux (TPH)			
Aliphatic nC5-nC6	mg/m^3		0,00E+00
Aliphatic nC6-nC8	mg/m^3		0,00E+00
Aliphatic nC8-nC10	mg/m^3		0,00E+00
Aliphatic nC10-nC12	mg/m^3		3,36E-07
Aliphatic nC12-nC16	mg/m^3		5,04E-07
Aliphatic nC16-nC35	mg/m^3		2,12E-05
Aromatic nC5-nC7 benzène	mg/m^3		-
Aromatic nC7-nC8 toluène	mg/m^3		-
Aromatic nC8-nC10	mg/m^3		0,00E+00
Aromatic nC10-nC12	mg/m^3		3,36E-07
Aromatic nC12-nC16	mg/m^3		5,04E-07
Aromatic nC16-nC21	mg/m^3		6,38E-06
Aromatic nC21-nC35	mg/m^3		1,48E-05
Autres			
Antimoine	mg/m^3		3,85E-06
Etain	mg/m^3		1,05E-05
Managnèse	mg/m^3		6,20E-05
Phénols	mg/m^3		5,60E-10
Crésols	mg/m^3		1,86E-09
Cyanures	mg/m^3		1,05E-08

Concentration moyenne de POUSSIERES inhalées (air intérieur et extérieur)

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	
Métaux									
Arsenic	mg/m^3	3,76E-08	3,76E-08	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	7,16E-09	
Cadmium	mg/m^3	7,12E-10	7,12E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,36E-10	
Chrome	mg/m^3	9,89E-08	9,89E-08	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,88E-08	
Cuivre	mg/m^3	4,76E-07	4,76E-07	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	9,06E-08	
Nickel	mg/m^3	6,92E-08	6,92E-08	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,32E-08	
Plomb	mg/m^3	5,83E-07	5,83E-07	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,11E-07	
Zinc	mg/m^3	5,74E-07	5,74E-07	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,09E-07	
Mercure élémentaire	mg/m^3	5,04E-09	5,04E-09	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	9,61E-10	
Mercure inorganique	mg/m^3	5,04E-09	5,04E-09	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	9,61E-10	
Mercure organique	mg/m^3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
HAP									
Naphtalène	mg/m^3	1,98E-10	1,98E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	3,77E-11	
Acénaphtylène	mg/m^3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Acénaphtène	mg/m^3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Fluorène	mg/m^3	3,56E-11	3,56E-11	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	6,78E-12	
Phénanthrène	mg/m^3	6,03E-10	6,03E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,15E-10	
Anthracène	mg/m^3	6,43E-11	6,43E-11	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,22E-11	
Fluoranthène	mg/m^3	7,71E-10	7,71E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,47E-10	
Pyrène	mg/m^3	6,43E-10	6,43E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,22E-10	
Benzo(a)anthracène	mg/m^3	5,34E-10	5,34E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,02E-10	
Chrysène	mg/m^3	5,54E-10	5,54E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,05E-10	
Benzo(b)fluoranthène	mg/m^3	6,82E-10	6,82E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,30E-10	
Benzo(k)fluoranthène	mg/m^3	3,66E-10	3,66E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	6,97E-11	
Benzo (a)pyrène	mg/m^3	7,61E-10	7,61E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,45E-10	
Bibenzo(a,h)anthracène	mg/m^3	5,93E-11	5,93E-11	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,13E-11	
Benzo(g,h,i)périylène	mg/m^3	7,12E-10	7,12E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,36E-10	
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	mg/m^3	4,55E-10	4,55E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	8,66E-11	
OHV									
Formaldéhydes	mg/m^3	2,97E-10	2,97E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	5,65E-11	
BTEX									
M+p-Xylène	mg/m^3	7,91E-10	7,91E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,51E-10	
o-Xylène	mg/m^3	7,91E-10	7,91E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,51E-10	
Hydrocarbures totaux (TPH)									
Aliphatic nC5-nC6	mg/m^3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Aliphatic nC6-nC8	mg/m^3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Aliphatic nC8-nC10	mg/m^3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Aliphatic nC10-nC12	mg/m^3	9,49E-09	9,49E-09	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,81E-09	
Aliphatic nC12-nC16	mg/m^3	1,42E-08	1,42E-08	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	2,71E-09	
Aliphatic nC16-nC35	mg/m^3	5,98E-07	5,98E-07	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,14E-07	
Aromatic nC5-nC7 benzène	mg/m^3								
Aromatic nC7-nC8 toluène	mg/m^3								
Aromatic nC8-nC10	mg/m^3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Aromatic nC10-nC12	mg/m^3	9,49E-09	9,49E-09	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,81E-09	
Aromatic nC12-nC16	mg/m^3	1,42E-08	1,42E-08	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	2,71E-09	
Aromatic nC16-nC21	mg/m^3	1,80E-07	1,80E-07	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	3,44E-08	
Aromatic nC21-nC35	mg/m^3	4,18E-07	4,18E-07	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	7,96E-08	
Autres									
Antimoine	mg/m^3	1,09E-07	1,09E-07	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	2,07E-08	
Etain	mg/m^3	2,97E-07	2,97E-07	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	5,65E-08	
Managnèse	mg/m^3	1,75E-06	1,75E-06	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	3,33E-07	
Phénols	mg/m^3	1,58E-11	1,58E-11	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	3,01E-12	
Crésols	mg/m^3	5,24E-11	5,24E-11	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	9,98E-12	
Cyanures	mg/m^3	2,97E-10	2,97E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	5,65E-11	

Indice de risque ou Exces de risques individuel Pour l'inhalation de POUSSIERES (air intérieur et extérieur)

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	
Métaux								
Arsenic	2,68E-05	2,68E-05	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,07E-08	
Cadmium	2,37E-06	2,37E-06	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	2,44E-10	
Chrome	1,65E-06	1,65E-06	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	7,53E-07	
Cuivre	4,76E-04	4,76E-04	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Nickel	7,69E-04	7,69E-04	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	5,01E-09	
Plomb	1,17E-03	1,17E-03	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,33E-09	
Zinc	9,56E-07	9,56E-07	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Mercure élémentaire	2,52E-05	2,52E-05	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Mercure inorganique	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Mercure organique	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
HAP								
Naphtalène	6,59E-08	6,59E-08	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	4,14E-14	
Acénaphtylène	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Acénaphtène	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Fluorène	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	7,46E-15	
Phénanthrène	1,26E-08	1,26E-08	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,26E-13	
Anthracène	1,79E-10	1,79E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,35E-13	
Fluoranthène	1,61E-08	1,61E-08	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,62E-13	
Pyrène	1,79E-08	1,79E-08	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,35E-13	
Benzo(a)anthracène	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,12E-11	
Chrysène	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,16E-12	
Benzo(b)fluoranthène	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,43E-11	
Benzo(k)fluoranthène	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	7,67E-12	
Benzo (a)pyrène	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,60E-10	
Bibenzo(a,h)anthracène	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,24E-11	
Benzo(g,h,i)périylène	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	1,49E-12	
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	9,53E-12	
OHV								
Formaldéhydes	9,89E-08	9,89E-08	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	7,35E-13	
BTEX								
M+p-Xylène	7,91E-09	7,91E-09	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
o-Xylène	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Hydrocarbures totaux (TPH)								
Aliphatic nC5-nC6	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Aliphatic nC6-nC8	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Aliphatic nC8-nC10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Aliphatic nC10-nC12	9,49E-09	9,49E-09	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Aliphatic nC12-nC16	1,42E-08	1,42E-08	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Aliphatic nC16-nC35	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Aromatic nC5-nC7 benzène	-	-	-		-	-	-	
Aromatic nC7-nC8 toluène	-	-	-		-	-	-	
Aromatic nC8-nC10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Aromatic nC10-nC12	4,75E-08	4,75E-08	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Aromatic nC12-nC16	7,12E-08	7,12E-08	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Aromatic nC16-nC21	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Aromatic nC21-nC35	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Autres								
Antimoine	5,44E-04	5,44E-04	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Etain	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Managnèse	4,38E-02	4,38E-02	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Phénols	7,91E-10	7,91E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Crésols	3,08E-07	3,08E-07	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Cyanures	3,30E-08	3,30E-08	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	

Somme des IR et ERI INHALATION DE POUSSIERES	**4,68E-02**	**4,68E-02**	**0,00E+00**		**0,00E+00**	**0,00E+00**	**7,71E-07**	

EXCIPE FRANCE
REx05862
A.X.00222/CExZ060043
ANNEXE 10B

INGESTION DE SOLS ET POUSSIERES EN EXTERIEUR
SCENARIO Espaces verts (1a)

Etude de sensibilité : prise en considération de la poche d'hydrocarbures en limite du site

		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	0
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	0
F1=fréquence d'exposition en extérieur	jour/an	330	330	220	0
F2 intérieur=fréquence d'exposition en extérieur	heure/jour	1	1	0,5	0
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	0
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non cancérigène)	an	40	6	40	0
Quantité de sols et poussières ingérée	kg/j	5,00E-05	1,50E-04		

Concentration dans les sols DE SURFACE

		Concentration maximale
Métaux		
Arsenic	mg/kg	38
Cadmium	mg/kg	0,72
Chrome	mg/kg	100
Cuivre	mg/kg	481
Nickel	mg/kg	70
Plomb	mg/kg	590
Zinc	mg/kg	580
Mercure élémentaire	mg/kg	5,1
Mercure inorganique	mg/kg	5,1
Mercure organique	mg/kg	0
HAP		
Naphtalène	mg/kg	0,2
Acénaphtylène	mg/kg	0
Acénaphtène	mg/kg	0
Fluorène	mg/kg	0,036
Phénanthrène	mg/kg	0,61
Anthracène	mg/kg	0,065
Fluoranthène	mg/kg	0,78
Pyrène	mg/kg	0,65
Benzo(a)anthracène	mg/kg	0,54
Chrysène	mg/kg	0,56
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg	0,69
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg	0,37
Benzo (a)pyrène	mg/kg	0,77
Bibenzo(a,h)anthracène	mg/kg	0,06
Benzo(g,h,i)périylène	mg/kg	0,72
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	mg/kg	0,46
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	0,3
BTEX		
Benzène	mg/kg	0
Toluène	mg/kg	0
Ethylbenzène	mg/kg	0
M+p-Xylène	mg/kg	0,8
o-Xylène	mg/kg	0,8
Hydrocarbures totaux (TPH)		
Aliphatic nC5-nC6	mg/kg	0
Aliphatic nC6-nC8	mg/kg	0
Aliphatic nC8-nC10	mg/kg	0
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	9,6
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	14,4
Aliphatic nC16-nC35	mg/kg	604,8
Aromatic nC5-nC7 benzène	mg/kg	0
Aromatic nC7-nC8 toluène	mg/kg	0
Aromatic nC8-nC10	mg/kg	0
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	9,6
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	14,4
Aromatic nC16-nC21	mg/kg	182,4
Aromatic nC21-nC35	mg/kg	422,4
Autres		
Antimoine	mg/kg	110
Etain	mg/kg	300
Managnèse	mg/kg	1770
Phénols	mg/kg	0,016
Crésols	mg/kg	0,053
Cyanures	mg/kg	0,3

Dose journalière d'exposition (DJE)
INGESTION DE SOLS ET POUSSIERES en EXTERIEUR

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
Métaux									
Arsenic	mg/kg/j	2,86E-05	3,44E-04			1,64E-05	2,94E-05		
Cadmium	mg/kg/j	5,42E-07	6,51E-06			3,10E-07	5,58E-07		
Chrome	mg/kg/j	7,53E-05	9,04E-04			4,31E-05	7,75E-05		
Cuivre	mg/kg/j	3,62E-04	4,35E-03			2,07E-04	3,73E-04		
Nickel	mg/kg/j	5,27E-05	6,33E-04			3,01E-05	5,42E-05		
Plomb	mg/kg/j	4,45E-04	5,33E-03			2,54E-04	4,57E-04		
Zinc	mg/kg/j	4,37E-04	5,24E-03			2,50E-04	4,49E-04		
Mercure élémentaire	mg/kg/j	3,84E-06	4,61E-05			2,20E-06	3,95E-06		
Mercure inorganique	mg/kg/j	3,84E-06	4,61E-05			2,20E-06	3,95E-06		
Mercure organique	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
HAP									
Naphtalène	mg/kg/j	1,51E-07	1,81E-06			8,61E-08	1,55E-07		
Acénaphtylène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Acénaphtène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Fluorène	mg/kg/j	2,71E-08	3,25E-07			1,55E-08	2,79E-08		
Phénanthrène	mg/kg/j	4,60E-07	5,52E-06			2,63E-07	4,73E-07		
Anthracène	mg/kg/j	4,90E-08	5,88E-07			2,80E-08	5,04E-08		
Fluoranthène	mg/kg/j	5,88E-07	7,05E-06			3,36E-07	6,04E-07		
Pyrène	mg/kg/j	4,90E-07	5,88E-06			2,80E-07	5,04E-07		
Benzo(a)anthracène	mg/kg/j	4,07E-07	4,88E-06			2,32E-07	4,18E-07		
Chrysène	mg/kg/j	4,22E-07	5,06E-06			2,41E-07	4,34E-07		
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg/j	5,20E-07	6,24E-06			2,97E-07	5,35E-07		
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg/j	2,79E-07	3,35E-06			1,59E-07	2,87E-07		
Benzo (a)pyrène	mg/kg/j	5,80E-07	6,96E-06			3,32E-07	5,97E-07		
Bibenzo(a,h)anthracène	mg/kg/j	4,52E-08	5,42E-07			2,58E-08	4,65E-08		
Benzo(g,h,i)périylène	mg/kg/j	5,42E-07	6,51E-06			3,10E-07	5,58E-07		
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	mg/kg/j	3,47E-07	4,16E-06			1,98E-07	3,56E-07		
OHV									
Formaldéhydes	mg/kg/j	2,26E-07	2,71E-06			1,29E-07	2,32E-07		
BTEX									
Benzène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Toluène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Ethylbenzène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
M+p-Xylène	mg/kg/j	6,03E-07	7,23E-06			3,44E-07	6,20E-07		
o-Xylène	mg/kg/j	6,03E-07	7,23E-06			3,44E-07	6,20E-07		
Hydrocarbures totaux (TPH)									
Aliphatic nC5-nC6	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC6-nC8	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC8-nC10	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg/j	7,23E-06	8,68E-05			4,13E-06	7,44E-06		
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg/j	1,08E-05	1,30E-04			6,20E-06	1,12E-05		
Aliphatic nC16-nC35	mg/kg/j	4,56E-04	5,47E-03			2,60E-04	4,69E-04		
Aromatic nC5-nC7 benzène	mg/kg/j	-	-			-	-		
Aromatic nC7-nC8 toluène	mg/kg/j	-	-			-	-		
Aromatic nC8-nC10	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC10-nC12	mg/kg/j	7,23E-06	8,68E-05			4,13E-06	7,44E-06		
Aromatic nC12-nC16	mg/kg/j	1,08E-05	1,30E-04			6,20E-06	1,12E-05		
Aromatic nC16-nC21	mg/kg/j	1,37E-04	1,65E-03			7,85E-05	1,41E-04		
Aromatic nC21-nC35	mg/kg/j	3,18E-04	3,82E-03			1,82E-04	3,27E-04		
Autres									
Antimoine	mg/kg/j	8,29E-05	9,95E-04			4,74E-05	8,52E-05		
Etain	mg/kg/j	2,26E-04	2,71E-03			1,29E-04	2,32E-04		
Managnèse	mg/kg/j	1,33E-03	1,60E-02			7,62E-04	1,37E-03		
Phénols	mg/kg/j	1,21E-08	1,45E-07			6,89E-09	1,24E-08		
Crésols	mg/kg/j	3,99E-08	4,79E-07			2,28E-08	4,11E-08		
Cyanures	mg/kg/j	2,26E-07	2,71E-06			1,29E-07	2,32E-07		

Indice de risque ou Exces de risques individuel
pour l'INGESTION DE SOLS ET POUSSIERES en EXTERIEUR

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
Métaux								
Arsenic	9,54E-02	1,15E+00			2,45E-05	4,42E-05		
Cadmium	5,42E-04	6,51E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Chrome	5,02E-05	6,03E-04			0,00E+00	0,00E+00		
Cuivre	2,59E-03	3,11E-02			0,00E+00	0,00E+00		
Nickel	2,64E-03	3,16E-02			0,00E+00	0,00E+00		
Plomb	1,27E-01	1,52E+00			2,16E-06	3,89E-06		
Zinc	8,74E-04	1,05E-02			0,00E+00	0,00E+00		
Mercure élémentaire	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Mercure inorganique	1,28E-02	1,54E-01			0,00E+00	0,00E+00		
Mercure organique	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
HAP								
Naphtalène	7,53E-06	9,04E-05			1,72E-11	3,10E-11		
Acénaphtylène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Acénaphtène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Fluorène	0,00E+00	0,00E+00			3,10E-12	5,58E-12		
Phénanthrène	1,15E-05	1,38E-04			5,25E-11	9,45E-11		
Anthracène	1,63E-07	1,96E-06			5,60E-11	1,01E-10		
Fluoranthène	1,47E-05	1,76E-04			6,72E-11	1,21E-10		
Pyrène	1,63E-05	1,96E-04			5,60E-11	1,01E-10		
Benzo(a)anthracène	0,00E+00	0,00E+00			4,65E-09	8,37E-09		
Chrysène	0,00E+00	0,00E+00			4,82E-10	8,68E-10		
Benzo(b)fluoranthène	0,00E+00	0,00E+00			5,94E-09	1,07E-08		
Benzo(k)fluoranthène	0,00E+00	0,00E+00			3,19E-09	5,73E-09		
Benzo (a)pyrène	0,00E+00	0,00E+00			6,63E-08	1,19E-07		
Bibenzo(a,h)anthracène	0,00E+00	0,00E+00			5,17E-09	9,30E-09		
Benzo(g,h,i)périylène	0,00E+00	0,00E+00			6,20E-10	1,12E-09		
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0,00E+00	0,00E+00			3,96E-09	7,13E-09		
OHV								
Formaldéhydes	1,13E-06	1,36E-05			0,00E+00	0,00E+00		
BTEX								
Benzène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Toluène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Ethylbenzène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
M+p-Xylène	3,01E-06	3,62E-05			0,00E+00	0,00E+00		
o-Xylène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Hydrocarbures totaux (TPH)								
Aliphatic nC5-nC6	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC6-nC8	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC8-nC10	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC10-nC12	7,23E-05	8,68E-04			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC12-nC16	1,08E-04	1,30E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC16-nC35	2,28E-04	2,73E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC5-nC7 benzène	-	-			-	-		
Aromatic nC7-nC8 toluène	-	-			-	-		
Aromatic nC8-nC10	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC10-nC12	2,41E-04	2,89E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC12-nC16	3,62E-04	4,34E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC16-nC21	4,58E-03	5,50E-02			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC21-nC35	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Autres								
Antimoine	4,14E-01	4,97E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Etain	7,53E-01	9,04E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Managnèse	2,22E-02	2,67E-01			0,00E+00	0,00E+00		
Phénols	3,01E-07	3,62E-06			0,00E+00	0,00E+00		
Crésols	7,99E-07	9,58E-06			0,00E+00	0,00E+00		
Cyanures	1,88E-05	2,26E-04			0,00E+00	0,00E+00		
Somme des IR et ERI INGESTION DE SOL ET POUSSIERES	**1,44E+00**	**1,73E+01**			**2,68E-05**	**4,82E-05**		

EXCIPE FRANCE
REx05862
A.X.00222/CExZ060043
ANNEXE 10B

INGESTION DE SOLS ET POUSSIERES EN INTERIEUR
SCENARIO Espaces verts (1a)

Etude de sensibilité : prise en considération de la poche d'hydrocarbures en limite du site

		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	0
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	0
F1int=fréquence d'exposition en intérieur	jour/an	330	330	220	0
F2int= fréquence d'exposition en intérieur	heure/jour	19	18	8	0
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	0
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non cancérigène)	an	40	6	40	0
Quantité de sols et poussières ingérée	kg/j	5,00E-07	5,00E-07		

Concentration dans les sols DE SURFACE

		Concentration maximale
Métaux		
Arsenic	mg/kg	38
Cadmium	mg/kg	0,72
Chrome	mg/kg	100
Cuivre	mg/kg	481
Nickel	mg/kg	70
Plomb	mg/kg	590
Zinc	mg/kg	580
Mercure élémentaire	mg/kg	5,1
Mercure inorganique	mg/kg	5,1
Mercure organique	mg/kg	0
HAP		
Naphtalène	mg/kg	0,2
Acénaphtylène	mg/kg	0
Acénaphtène	mg/kg	0
Fluorène	mg/kg	0,036
Phénanthrène	mg/kg	0,61
Anthracène	mg/kg	0,065
Fluoranthène	mg/kg	0,78
Pyrène	mg/kg	0,65
Benzo(a)anthracène	mg/kg	0,54
Chrysène	mg/kg	0,56
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg	0,69
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg	0,37
Benzo (a)pyrène	mg/kg	0,77
Bibenzo(a,h)anthracène	mg/kg	0,06
Benzo(g,h,i)périylène	mg/kg	0,72
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	mg/kg	0,46
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	0,3
BTEX		
Benzène	mg/kg	0
Toluène	mg/kg	0
Ethylbenzène	mg/kg	0
M+p-Xylène	mg/kg	0,8
o-Xylène	mg/kg	0,8
Hydrocarbures totaux (TPH)		
Aliphatic nC5-nC6	mg/kg	0
Aliphatic nC6-nC8	mg/kg	0
Aliphatic nC8-nC10	mg/kg	0
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	9,6
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	14,4
Aliphatic nC16-nC35	mg/kg	604,8
Aromatic nC5-nC7 benzène	mg/kg	0
Aromatic nC7-nC8 toluène	mg/kg	0
Aromatic nC8-nC10	mg/kg	0
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	9,6
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	14,4
Aromatic nC16-nC21	mg/kg	182,4
Aromatic nC21-nC35	mg/kg	422,4
Autres		
Antimoine	mg/kg	110
Etain	mg/kg	300
Managnèse	mg/kg	1770
Phénols	mg/kg	0,016
Crésols	mg/kg	0,053
Cyanures	mg/kg	0,3

Dose journalière d'exposition (DJE)
INGESTION DE SOLS ET POUSSIERES en INTERIEUR

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
Métaux									
Arsenic	mg/kg/j	2,86E-07	1,15E-06			1,64E-07	9,82E-08		
Cadmium	mg/kg/j	5,42E-09	2,17E-08			3,10E-09	1,86E-09		
Chrome	mg/kg/j	7,53E-07	3,01E-06			4,31E-07	2,58E-07		
Cuivre	mg/kg/j	3,62E-06	1,45E-05			2,07E-06	1,24E-06		
Nickel	mg/kg/j	5,27E-07	2,11E-06			3,01E-07	1,81E-07		
Plomb	mg/kg/j	4,45E-06	1,78E-05			2,54E-06	1,52E-06		
Zinc	mg/kg/j	4,37E-06	1,75E-05			2,50E-06	1,50E-06		
Mercure élémentaire	mg/kg/j	3,84E-08	1,54E-07			2,20E-08	1,32E-08		
Mercure inorganique	mg/kg/j	3,84E-08	1,54E-07			2,20E-08	1,32E-08		
Mercure organique	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
HAP									
Naphtalène	mg/kg/j	1,51E-09	6,03E-09			8,61E-10	5,17E-10		
Acénaphtylène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Acénaphtène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Fluorène	mg/kg/j	2,71E-10	1,08E-09			1,55E-10	9,30E-11		
Phénanthrène	mg/kg/j	4,60E-09	1,84E-08			2,63E-09	1,58E-09		
Anthracène	mg/kg/j	4,90E-10	1,96E-09			2,80E-10	1,68E-10		
Fluoranthène	mg/kg/j	5,88E-09	2,35E-08			3,36E-09	2,01E-09		
Pyrène	mg/kg/j	4,90E-09	1,96E-08			2,80E-09	1,68E-09		
Benzo(a)anthracène	mg/kg/j	4,07E-09	1,63E-08			2,32E-09	1,39E-09		
Chrysène	mg/kg/j	4,22E-09	1,69E-08			2,41E-09	1,45E-09		
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg/j	5,20E-09	2,08E-08			2,97E-09	1,78E-09		
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg/j	2,79E-09	1,12E-08			1,59E-09	9,56E-10		
Benzo (a)pyrène	mg/kg/j	5,80E-09	2,32E-08			3,32E-09	1,99E-09		
Bibenzo(a,h)anthracène	mg/kg/j	4,52E-10	1,81E-09			2,58E-10	1,55E-10		
Benzo(g,h,i)périylène	mg/kg/j	5,42E-09	2,17E-08			3,10E-09	1,86E-09		
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	mg/kg/j	3,47E-09	1,39E-08			1,98E-09	1,19E-09		
OHV									
Formaldéhydes	mg/kg/j	2,26E-09	9,04E-09			1,29E-09	7,75E-10		
BTEX									
Benzène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Toluène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Ethylbenzène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
M+p-Xylène	mg/kg/j	6,03E-09	2,41E-08			3,44E-09	2,07E-09		
o-Xylène	mg/kg/j	6,03E-09	2,41E-08			3,44E-09	2,07E-09		
Hydrocarbures totaux (TPH)									
Aliphatic nC5-nC6	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC6-nC8	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC8-nC10	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg/j	7,23E-08	2,89E-07			4,13E-08	2,48E-08		
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg/j	1,08E-07	4,34E-07			6,20E-08	3,72E-08		
Aliphatic nC16-nC35	mg/kg/j	4,56E-06	1,82E-05			2,60E-06	1,56E-06		
Aromatic nC5-nC7 benzène	mg/kg/j	-	-			-	-		
Aromatic nC7-nC8 toluène	mg/kg/j	-	-			-	-		
Aromatic nC8-nC10	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC10-nC12	mg/kg/j	7,23E-08	2,89E-07			4,13E-08	2,48E-08		
Aromatic nC12-nC16	mg/kg/j	1,08E-07	4,34E-07			6,20E-08	3,72E-08		
Aromatic nC16-nC21	mg/kg/j	1,37E-06	5,50E-06			7,85E-07	4,71E-07		
Aromatic nC21-nC35	mg/kg/j	3,18E-06	1,27E-05			1,82E-06	1,09E-06		
Autres									
Antimoine	mg/kg/j	8,29E-07	3,32E-06			4,74E-07	2,84E-07		
Etain	mg/kg/j	2,26E-06	9,04E-06			1,29E-06	7,75E-07		
Managnèse	mg/kg/j	1,33E-05	5,33E-05			7,62E-06	4,57E-06		
Phénols	mg/kg/j	1,21E-10	4,82E-10			6,89E-11	4,13E-11		
Crésols	mg/kg/j	3,99E-10	1,60E-09			2,28E-10	1,37E-10		
Cyanures	mg/kg/j	2,26E-09	9,04E-09			1,29E-09	7,75E-10		

Indice de risque ou Exces de risques individuel
pour l'INGESTION DE SOLS ET POUSSIERES en INTERIEUR

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
Métaux								
Arsenic	9,54E-04	3,82E-03			2,45E-07	1,47E-07		
Cadmium	5,42E-06	2,17E-05			0,00E+00	0,00E+00		
Chrome	5,02E-07	2,01E-06			0,00E+00	0,00E+00		
Cuivre	2,59E-05	1,04E-04			0,00E+00	0,00E+00		
Nickel	2,64E-05	1,05E-04			0,00E+00	0,00E+00		
Plomb	1,27E-03	5,08E-03			2,16E-08	1,30E-08		
Zinc	8,74E-06	3,50E-05			0,00E+00	0,00E+00		
Mercure élémentaire	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Mercure inorganique	1,28E-04	5,12E-04			0,00E+00	0,00E+00		
Mercure organique	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
HAP								
Naphtalène	7,53E-08	3,01E-07			1,72E-13	1,03E-13		
Acénaphtylène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Acénaphtène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Fluorène	0,00E+00	0,00E+00			3,10E-14	1,86E-14		
Phénanthrène	1,15E-07	4,60E-07			5,25E-13	3,15E-13		
Anthracène	1,63E-09	6,53E-09			5,60E-13	3,36E-13		
Fluoranthène	1,47E-07	5,88E-07			6,72E-13	4,03E-13		
Pyrène	1,63E-07	6,53E-07			5,60E-13	3,36E-13		
Benzo(a)anthracène	0,00E+00	0,00E+00			4,65E-11	2,79E-11		
Chrysène	0,00E+00	0,00E+00			4,82E-12	2,89E-12		
Benzo(b)fluoranthène	0,00E+00	0,00E+00			5,94E-11	3,56E-11		
Benzo(k)fluoranthène	0,00E+00	0,00E+00			3,19E-11	1,91E-11		
Benzo (a)pyrène	0,00E+00	0,00E+00			6,63E-10	3,98E-10		
Bibenzo(a,h)anthracène	0,00E+00	0,00E+00			5,17E-11	3,10E-11		
Benzo(g,h,i)périylène	0,00E+00	0,00E+00			6,20E-12	3,72E-12		
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0,00E+00	0,00E+00			3,96E-11	2,38E-11		
OHV								
Formaldéhydes	1,13E-08	4,52E-08			0,00E+00	0,00E+00		
BTEX								
Benzène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Toluène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Ethylbenzène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
M+p-Xylène	3,01E-08	1,21E-07			0,00E+00	0,00E+00		
o-Xylène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Hydrocarbures totaux (TPH)								
Aliphatic nC5-nC6	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC6-nC8	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC8-nC10	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC10-nC12	7,23E-07	2,89E-06			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC12-nC16	1,08E-06	4,34E-06			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC16-nC35	2,28E-06	9,11E-06			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC5-nC7 benzène	-	-			-	-		
Aromatic nC7-nC8 toluène	-	-			-	-		
Aromatic nC8-nC10	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC10-nC12	2,41E-06	9,64E-06			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC12-nC16	3,62E-06	1,45E-05			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC16-nC21	4,58E-05	1,83E-04			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC21-nC35	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Autres								
Antimoine	4,14E-03	1,66E-02			0,00E+00	0,00E+00		
Etain	7,53E-03	3,01E-02			0,00E+00	0,00E+00		
Managnèse	2,22E-04	8,89E-04			0,00E+00	0,00E+00		
Phénols	3,01E-09	1,21E-08			0,00E+00	0,00E+00		
Crésols	7,99E-09	3,19E-08			0,00E+00	0,00E+00		
Cyanures	1,88E-07	7,53E-07			0,00E+00	0,00E+00		
Somme des IR et ERI INGESTION DE SOL ET POUSSIERES	**1,44E-02**	**5,75E-02**			**2,68E-07**	**1,61E-07**		

EXCIPE FRANCE
REx05862
A.X.00222/CExZ060043
ANNEXE 10B

CONTACT CUTANE AVEC LES SOLS ET POUSSIERES EN EXTERIEUR
SCENARIO Espaces verts (1a)

Etude de sensibilité : prise en considération de la poche d'hydrocarbures en limite du site

		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	0
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	0
F1=fréquence d'exposition en extérieur	jour/an	330	330	220	0
F2 extérieur=fréquence d'exposition en intérieur	heure/jour	1	1	0,5	0
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	0
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6	40	0
S=surface du corps exposée	cm^2	4210	1380		
AF=facteur d'adhérence	$mg/cm^2/ev$	0,2	0,2		

Concentration dans les sols DE SURFACE		Concentration maximale	Taux d'adsorpt° dermique AAF (mg/mg)
Métaux			
Arsenic	mg/kg	38	0,03
Cadmium	mg/kg	0,72	0,001
Chrome	mg/kg	100	0,04
Cuivre	mg/kg	481	0,01
Nickel	mg/kg	70	0,01
Plomb	mg/kg	590	0,01
Zinc	mg/kg	580	0,01
Mercure élémentaire	mg/kg	5,1	0,03
Mercure inorganique	mg/kg	5,1	0,05
Mercure organique	mg/kg	0	0,05
HAP			
Naphtalène	mg/kg	0,2	0,1
Acénaphtylène	mg/kg	0	0,1
Acénaphtène	mg/kg	0	0,1
Fluorène	mg/kg	0,036	0,1
Phénanthrène	mg/kg	0,61	0,8
Anthracène	mg/kg	0,065	0,1
Fluoranthène	mg/kg	0,78	0,1
Pyrène	mg/kg	0,65	0,1
Benzo(a)anthracène	mg/kg	0,54	0,1
Chrysène	mg/kg	0,56	0,1
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg	0,69	0,1
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg	0,37	0,1
Benzo (a)pyrène	mg/kg	0,77	0,1
Bibenzo(a,h)anthracène	mg/kg	0,06	0,1
Benzo(g,h,i)pérylène	mg/kg	0,72	0,1
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	mg/kg	0,46	0,1
OHV			
Formaldéhydes	mg/kg	0,3	0,1
BTEX			
Benzène	mg/kg	0	0,1
Toluène	mg/kg	0	0,1
Ethylbenzène	mg/kg	0	0,1
M+p-Xylène	mg/kg	0,8	0,1
o-Xylène	mg/kg	0,8	0,1
Hydrocarbures totaux (TPH)			
Aliphatic nC5-nC6	mg/kg	0	0,1
Aliphatic nC6-nC8	mg/kg	0	0,1
Aliphatic nC8-nC10	mg/kg	0	0,1
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	9,6	0,1
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	14,4	0,1
Aliphatic nC16-nC35	mg/kg	604,8	0,1
Aromatic nC5-nC7 benzène	mg/kg	0	0,1
Aromatic nC7-nC8 toluène	mg/kg	0	0,1
Aromatic nC8-nC10	mg/kg	0	0,1
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	9,6	0,1
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	14,4	0,1
Aromatic nC16-nC21	mg/kg	182,4	0,1
Aromatic nC21-nC35	mg/kg	422,4	0,1
Autres			
Antimoine	mg/kg	110	0,001
Etain	mg/kg	300	0,001
Managnèse	mg/kg	1770	0,001
Phénols	mg/kg	0,016	0,1
Crésols	mg/kg	0,053	0,1
Cyanures	mg/kg	0,3	0,1

Dose journalière d'exposition (DJE)
CONTACT CUTANE AVEC LES SOLS ET POUSSIERES en extérieur

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
Métaux									
Arsenic	mg/kg/j	1,45E-05	1,90E-05			8,27E-06	1,63E-06		
Cadmium	mg/kg/j	9,14E-09	1,20E-08			5,22E-09	1,03E-09		
Chrome	mg/kg/j	5,08E-05	6,65E-05			2,90E-05	5,70E-06		
Cuivre	mg/kg/j	6,10E-05	8,00E-05			3,49E-05	6,86E-06		
Nickel	mg/kg/j	8,88E-06	1,16E-05			5,08E-06	9,98E-07		
Plomb	mg/kg/j	7,49E-05	9,82E-05			4,28E-05	8,41E-06		
Zinc	mg/kg/j	7,36E-05	9,65E-05			4,21E-05	8,27E-06		
Mercure élémentaire	mg/kg/j	1,94E-06	2,55E-06			1,11E-06	2,18E-07		
Mercure inorganique	mg/kg/j	3,24E-06	4,24E-06			1,85E-06	3,64E-07		
Mercure organique	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
HAP									
Naphtalène	mg/kg/j	2,54E-07	3,33E-07			1,45E-07	2,85E-08		
Acénaphtylène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Acénaphtène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Fluorène	mg/kg/j	4,57E-08	5,99E-08			2,61E-08	5,13E-09		
Phénanthrène	mg/kg/j	6,19E-06	8,12E-06			3,54E-06	6,96E-07		
Anthracène	mg/kg/j	8,25E-08	1,08E-07			4,71E-08	9,27E-09		
Fluoranthène	mg/kg/j	9,90E-07	1,30E-06			5,66E-07	1,11E-07		
Pyrène	mg/kg/j	8,25E-07	1,08E-06			4,71E-07	9,27E-08		
Benzo(a)anthracène	mg/kg/j	6,85E-07	8,98E-07			3,92E-07	7,70E-08		
Chrysène	mg/kg/j	7,11E-07	9,32E-07			4,06E-07	7,99E-08		
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg/j	8,75E-07	1,15E-06			5,00E-07	9,84E-08		
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg/j	4,69E-07	6,16E-07			2,68E-07	5,28E-08		
Benzo (a)pyrène	mg/kg/j	9,77E-07	1,28E-06			5,58E-07	1,10E-07		
Bibenzo(a,h)anthracène	mg/kg/j	7,61E-08	9,98E-08			4,35E-08	8,56E-09		
Benzo(g,h,i)pérylène	mg/kg/j	9,14E-07	1,20E-06			5,22E-07	1,03E-07		
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	mg/kg/j	5,84E-07	7,65E-07			3,34E-07	6,56E-08		
OHV									
Formaldéhydes	mg/kg/j	3,81E-07	4,99E-07			2,18E-07	4,28E-08		
BTEX									
Benzène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Toluène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Ethylbenzène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
M+p-Xylène	mg/kg/j	1,02E-06	1,33E-06			5,80E-07	1,14E-07		
o-Xylène	mg/kg/j	1,02E-06	1,33E-06			5,80E-07	1,14E-07		
Hydrocarbures totaux (TPH)									
Aliphatic nC5-nC6	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC6-nC8	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC8-nC10	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg/j	1,22E-05	1,60E-05			6,96E-06	1,37E-06		
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg/j	1,83E-05	2,40E-05			1,04E-05	2,05E-06		
Aliphatic nC16-nC35	mg/kg/j	7,67E-04	1,01E-03			4,38E-04	8,62E-05		
Aromatic nC5-nC7 benzène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC7-nC8 toluène	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC8-nC10	mg/kg/j	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC10-nC12	mg/kg/j	1,22E-05	1,60E-05			6,96E-06	1,37E-06		
Aromatic nC12-nC16	mg/kg/j	1,83E-05	2,40E-05			1,04E-05	2,05E-06		
Aromatic nC16-nC21	mg/kg/j	2,31E-04	3,03E-04			1,32E-04	2,60E-05		
Aromatic nC21-nC35	mg/kg/j	5,36E-04	7,03E-04			3,06E-04	6,02E-05		
Autres									
Antimoine	mg/kg/j	1,40E-06	1,83E-06			7,98E-07	1,57E-07		
Etain	mg/kg/j	3,81E-06	4,99E-06			2,18E-06	4,28E-07		
Managnèse	mg/kg/j	2,25E-05	2,94E-05			1,28E-05	2,52E-06		
Phénols	mg/kg/j	2,03E-08	2,66E-08			1,16E-08	2,28E-09		
Crésols	mg/kg/j	6,72E-08	8,82E-08			3,84E-08	7,56E-09		
Cyanures	mg/kg/j	3,81E-07	4,99E-07			2,18E-07	4,28E-08		

Indice de risque ou Exces de risques individuel
pour le CONTACT CUTANE AVEC LES SOLS ET POUSSIERES (extérieur)

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0	Résident adulte	Résident enfant	Bureaux adulte	0
Métaux								
Arsenic	5,08E-02	6,65E-02			1,24E-05	2,44E-06		
Cadmium	1,83E-04	2,40E-04			0,00E+00	0,00E+00		
Chrome	1,69E-03	2,22E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Cuivre	4,36E-04	5,72E-04			0,00E+00	0,00E+00		
Nickel	4,44E-04	5,82E-04			0,00E+00	0,00E+00		
Plomb	2,14E-01	2,80E-01			3,64E-06	7,15E-07		
Zinc	1,84E-03	2,41E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Mercure élémentaire	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Mercure inorganique	7,70E-02	1,01E-01			0,00E+00	0,00E+00		
Mercure organique	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
HAP								
Naphtalène	3,17E-05	4,16E-05			7,25E-11	1,43E-11		
Acénaphtylène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Acénaphtène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Fluorène	0,00E+00	0,00E+00			1,31E-11	2,57E-12		
Phénanthrène	3,87E-04	5,07E-04			1,77E-09	3,48E-10		
Anthracène	6,87E-07	9,01E-07			2,36E-10	4,63E-11		
Fluoranthène	6,19E-05	8,11E-05			2,83E-10	5,56E-11		
Pyrène	6,87E-05	9,01E-05			2,36E-10	4,63E-11		
Benzo(a)anthracène	0,00E+00	0,00E+00			1,96E-08	3,85E-09		
Chrysène	0,00E+00	0,00E+00			2,03E-09	3,99E-10		
Benzo(b)fluoranthène	0,00E+00	0,00E+00			2,50E-08	4,92E-09		
Benzo(k)fluoranthène	0,00E+00	0,00E+00			1,34E-08	2,64E-09		
Benzo (a)pyrène	0,00E+00	0,00E+00			2,79E-07	5,49E-08		
Bibenzo(a,h)anthracène	0,00E+00	0,00E+00			2,18E-08	4,28E-09		
Benzo(g,h,i)pérylène	0,00E+00	0,00E+00			2,61E-09	5,13E-10		
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0,00E+00	0,00E+00			1,67E-08	3,28E-09		
OHV								
Formaldéhydes	1,90E-06	2,50E-06			0,00E+00	0,00E+00		
BTEX								
Benzène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Toluène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Ethylbenzène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
M+p-Xylène	5,08E-06	6,65E-06			0,00E+00	0,00E+00		
o-Xylène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Hydrocarbures totaux (TPH)								
Aliphatic nC5-nC6	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC6-nC8	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC8-nC10	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC10-nC12	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC12-nC16	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC16-nC35	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC5-nC7 benzène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC7-nC8 toluène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC8-nC10	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC10-nC12	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC12-nC16	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC16-nC21	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC21-nC35	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Autres								
Antimoine	6,98E-03	9,15E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Etain	1,27E-02	1,66E-02			0,00E+00	0,00E+00		
Managnèse	3,74E-04	4,91E-04			0,00E+00	0,00E+00		
Phénols	5,08E-07	6,65E-07			0,00E+00	0,00E+00		
Crésols	1,34E-06	1,76E-06			0,00E+00	0,00E+00		
Cyanures	3,17E-05	4,16E-05			0,00E+00	0,00E+00		

Somme des IR et ERI CONTACT CUTANE SOL (extérieur)	**3,67E-01**	**4,81E-01**			**1,64E-05**	**3,23E-06**		

EXCIPE FRANCE
REx05862
A.X.00222/CExZ060043
ANNEXE 10B

INHALATION DE VAPEURS EN INTERIEUR
SCENARIO Pavillons ou immeubles de plain-pied (site 1a)

Etude de sensibilité : prise en considération de la poche d'hydrocarbures en limite du site

		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	15
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	6
F1=fréquence d'exposition en intérieur	jour/an	330	330	330	330
F2 intérieur=fréquence d'exposition en intérieur	heure/jour	19	18	0,5	0,5
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	70
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6	40	6
Surface du batiment	m²	100	100		
Volume intérieur du batiment	m^3	250	250		
Taux de ventilation	j^{-1}	12	12		

Concentration dans les sols

		Concentration maximale? Moyenne? Percentile 90?
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	
BTEX		
Benzène	mg/kg	
M+p-Xylène	mg/kg	
Hydrocarbures totaux (TPH)		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	245
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	2100
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	245
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	2100

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Flux de vapeurs vers l'air intérieur (mg/m²/j)
3,80E-03	2,86E-05
1,80E-02	1,35E-04
9,10E-01	6,82E-03
2,04E+03	1,53E+01
5,24E+01	3,94E-01
6,33E+02	4,75E+00
1,62E+02	1,22E+00

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air intérieur

		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV					
Formaldéhydes	mg/m³	9,53E-07	9,53E-07		
BTEX					
Benzène	mg/m³	4,50E-06	4,50E-06		
M+p-Xylène	mg/m³	2,27E-04	2,27E-04		
Hydrocarbures totaux (TPH)					
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³	5,10E-01	5,10E-01		
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³	1,31E-02	1,31E-02		
Aromatic nC10-nC12	mg/m³	1,58E-01	1,58E-01		
Aromatic nC12-nC16	mg/m³	4,06E-02	4,06E-02		

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air intérieur

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV									
Formaldéhydes	mg/m³	6,82E-07	6,46E-07			3,90E-07	5,54E-08		
BTEX									
Benzène	mg/m³	3,22E-06	3,05E-06			1,84E-06	2,62E-07		
M+p-Xylène	mg/m³	1,63E-04	1,54E-04			9,29E-05	1,32E-05		
Hydrocarbures totaux (TPH)									
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³	3,65E-01	3,46E-01			2,09E-01	2,97E-02		
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³	9,39E-03	8,90E-03			5,37E-03	7,63E-04		
Aromatic nC10-nC12	mg/m³	1,13E-01	1,07E-01			6,48E-02	9,20E-03		
Aromatic nC12-nC16	mg/m³	2,91E-02	2,76E-02			1,66E-02	2,36E-03		

Indice de risque ou Exces de risque individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air intérieur

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV								
Formaldéhydes	2,27E-04	2,15E-04			5,07E-09	7,20E-10		
BTEX								
Benzène	1,07E-04	1,02E-04			1,10E-08	1,57E-09		
M+p-Xylène	1,63E-03	1,54E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Hydrocarbures totaux (TPH)								
Aliphatic nC10-nC12	3,65E-01	3,46E-01			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC12-nC16	9,39E-03	8,90E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC10-nC12	5,67E-01	5,37E-01			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC12-nC16	1,45E-01	1,38E-01			0,00E+00	0,00E+00		

Somme des IR & ERI INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR	**1,09E+00**	**1,03E+00**			**1,61E-08**	**2,29E-09**		

INHALATION DE VAPEURS EN INTERIEUR
SCENARIO Parkings souterrains (site 1a)

Etude de sensibilité : prise en considération de la poche d'hydrocarbures en limite du site

		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	15
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	6
F1=fréquence d'exposition en intérieur	jour/an	330	330	330	330
F2 intérieur=fréquence d'exposition en intérieur	heure/jour	19	18	0,5	0,5
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	70
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6	40	6
Surface du batiment	m²			350	350
Volume intérieur du batiment	m^3			500	500
Taux de ventilation	j^{-1}			72	72

Concentration dans les sols

		Concentration maximale? Moyenne? Percentile 90?
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	
BTEX		
Benzène	mg/kg	
M+p-Xylène	mg/kg	
o-Xylène	mg/kg	
Hydrocarbures totaux (TPH)		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Flux de vapeurs vers l'air intérieur (mg/m²/j)
3,80E-03	4,33E-05
1,80E-02	7,27E-05
9,10E-01	3,67E-03
2,04E+03	5,76E+00
5,24E+01	1,48E-01
6,33E+02	1,79E+00
1,62E+02	4,59E-01

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air intérieur

		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV					
Formaldéhydes	mg/m^3			4,21E-07	4,21E-07
BTEX					
Benzène	mg/m^3			7,07E-07	7,07E-07
M+p-Xylène	mg/m^3			3,57E-05	3,57E-05
o-Xylène	mg/m^3			0,00E+00	0,00E+00
Hydrocarbures totaux (TPH)					
Aliphatic nC10-nC12	mg/m^3			5,60E-02	5,60E-02
Aliphatic nC12-nC16	mg/m^3			1,44E-03	1,44E-03
Aromatic nC10-nC12	mg/m^3			1,74E-02	1,74E-02
Aromatic nC12-nC16	mg/m^3			4,46E-03	4,46E-03

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air intérieur

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV									
Formaldéhydes	mg/m^3			7,93E-09	7,93E-09			4,53E-09	6,80E-10
BTEX									
Benzène	mg/m^3			1,33E-08	1,33E-08			7,61E-09	1,14E-09
M+p-Xylène	mg/m^3			6,72E-07	6,72E-07			3,84E-07	5,76E-08
o-Xylène	mg/m^3			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Hydrocarbures totaux (TPH)									
Aliphatic nC10-nC12	mg/m^3			1,06E-03	1,06E-03			6,03E-04	9,04E-05
Aliphatic nC12-nC16	mg/m^3			2,71E-05	2,71E-05			1,55E-05	2,32E-06
Aromatic nC10-nC12	mg/m^3			3,27E-04	3,27E-04			1,87E-04	2,81E-05
Aromatic nC12-nC16	mg/m^3			8,40E-05	8,40E-05			4,80E-05	7,20E-06

Indice de risque ou Exces de risque individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air intérieur

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV								
Formaldéhydes			2,64E-06	2,64E-06			5,89E-11	8,84E-12
BTEX								
Benzène			4,44E-07	4,44E-07			4,56E-11	6,85E-12
M+p-Xylène			6,72E-06	6,72E-06			0,00E+00	0,00E+00
o-Xylène			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Hydrocarbures totaux (TPH)								
Aliphatic nC10-nC12			1,06E-03	1,06E-03			0,00E+00	0,00E+00
Aliphatic nC12-nC16			2,71E-05	2,71E-05			0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC10-nC12			1,64E-03	1,64E-03			0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC12-nC16			4,20E-04	4,20E-04			0,00E+00	0,00E+00
Somme des IR & ERI INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR			**3,15E-03**	**3,15E-03**			**1,05E-10**	**1,57E-11**

INHALATION DE VAPEURS EN INTERIEUR
SCENARIO Habitations sur un niveau de sous-sol (site 1a)

Etude de sensibilité : prise en considération de la poche d'hydrocarbures en limite du site

		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	15
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	6
F1=fréquence d'exposition en intérieur	jour/an	330	330	330	330
F2 intérieur=fréquence d'exposition en intérieur	heure/jour	19	18	0,5	0,5
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	70
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6	40	6
Surface du batiment	m²	100	100		
Volume intérieur du batiment	m^3	250	250		
Taux de ventilation	j^{-1}	12	12		

Concentration dans les sols

		Concentration maximale? Moyenne? Percentile 90?
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	
BTEX		
Benzène	mg/kg	
M+p-Xylène	mg/kg	
Hydrocarbures totaux (TPH)		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Flux de vapeurs vers l'air intérieur (mg/m²/j)
3,80E-03	
1,80E-02	
9,10E-01	
2,04E+03	
5,24E+01	
6,33E+02	
1,62E+02	

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air intérieur

		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV					
Formaldéhydes	mg/m^3	4,21E-08	4,21E-08		
BTEX		0,00E+00	0,00E+00		
Benzène	mg/m^3	7,07E-08	7,07E-08		
M+p-Xylène	mg/m^3	3,57E-06	3,57E-06		
Hydrocarbures totaux (TPH)					
Aliphatic nC10-nC12	mg/m^3	5,60E-03	5,60E-03		
Aliphatic nC12-nC16	mg/m^3	1,44E-04	1,44E-04		
Aromatic nC10-nC12	mg/m^3	1,74E-03	1,74E-03		
Aromatic nC12-nC16	mg/m^3	4,46E-04	4,46E-04		

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air intérieur

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV									
Formaldéhydes	mg/m^3	3,01E-08	2,85E-08			1,72E-08	2,45E-09		
BTEX									
Benzène	mg/m^3	5,06E-08	4,79E-08			2,89E-08	4,11E-09		
M+p-Xylène	mg/m^3	2,55E-06	2,42E-06			1,46E-06	2,07E-07		
Hydrocarbures totaux (TPH)									
Aliphatic nC10-nC12	mg/m^3	4,01E-03	3,80E-03			2,29E-03	3,26E-04		
Aliphatic nC12-nC16	mg/m^3	1,03E-04	9,76E-05			5,89E-05	8,37E-06		
Aromatic nC10-nC12	mg/m^3	1,24E-03	1,18E-03			7,11E-04	1,01E-04		
Aromatic nC12-nC16	mg/m^3	3,19E-04	3,02E-04			1,82E-04	2,59E-05		

Indice de risque ou Exces de risque individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air intérieur

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV								
Formaldéhydes	1,00E-05	9,52E-06			2,24E-10	3,18E-11		
BTEX								
Benzène	1,69E-06	1,60E-06			1,73E-10	2,46E-11		
M+p-Xylène	2,55E-05	2,42E-05			0,00E+00	0,00E+00		
Hydrocarbures totaux (TPH)								
Aliphatic nC10-nC12	4,01E-03	3,80E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC12-nC16	1,03E-04	9,76E-05			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC10-nC12	6,22E-03	5,89E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC12-nC16	1,60E-03	1,51E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Somme des IR & ERI INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR	**1,20E-02**	**1,13E-02**			**3,97E-10**	**5,65E-11**		

INHALATION DE VAPEURS EN EXTERIEUR
SCENARIO Jardin privatif (site 1a)

Etude de sensibilité : prise en considération de la poche d'hydrocarbures en limite du site

		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte pa	Résident enfant park
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	15
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	6
F1=fréquence d'exposition en extérieur	jour/an	330	330	330	330
F2 intérieur=fréquence d'exposition en extérieur	heure/jour	1	1	0,5	0,5
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	70
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6	40	6
Hauteur de respiration de la cible	m	1	1		
Longueur de la boite, dans la direction principale du vent	m	10	10		
Vitesse moyenne du vent	m/j	129600	129600		

Concentration dans les sols

		Concentration maximale? Moyenne? Percentile 90?
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	
BTEX		
Benzène	mg/kg	
M+p-Xylène	mg/kg	
o-Xylène	mg/kg	
Hydrocarbures totaux (TPH)		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Flux de vapeurs vers l'air extérieur (mg/m²/j)
3,80E-03	6,26E-02
1,80E-02	2,44E-02
9,10E-01	9,80E-01
2,04E+03	3,14E+03
5,24E+01	8,07E+01
6,33E+02	9,75E+02
1,62E+02	2,51E+02

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air extérieur

		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV					
Formaldéhydes	mg/m³	4,83E-06	4,83E-06		
BTEX					
Benzène	mg/m³	1,88E-06	1,88E-06		
M+p-Xylène	mg/m³	7,56E-05	7,56E-05		
o-Xylène	mg/m³	0,00E+00	0,00E+00		
Hydrocarbures totaux (TPH)					
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³	2,42E-01	2,42E-01		
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³	6,23E-03	6,23E-03		
Aromatic nC10-nC12	mg/m³	7,52E-02	7,52E-02		
Aromatic nC12-nC16	mg/m³	1,93E-02	1,93E-02		

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air extérieur

		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV									
Formaldéhydes	mg/m³	1,82E-07	1,82E-07			1,04E-07	1,56E-08		
BTEX									
Benzène	mg/m³	7,09E-08	7,09E-08			4,05E-08	6,07E-09		
M+p-Xylène	mg/m³	2,85E-06	2,85E-06			1,63E-06	2,44E-07		
o-Xylène	mg/m³	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Hydrocarbures totaux (TPH)									
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³	9,12E-03	9,12E-03			5,21E-03	7,82E-04		
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³	2,35E-04	2,35E-04			1,34E-04	2,01E-05		
Aromatic nC10-nC12	mg/m³	2,83E-03	2,83E-03			1,62E-03	2,43E-04		
Aromatic nC12-nC16	mg/m³	7,28E-04	7,28E-04			4,16E-04	6,24E-05		

Indice de risque ou Exces de risques individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air extérieur

	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV								
Formaldéhydes	6,07E-05	6,07E-05			1,35E-09	2,03E-10		
BTEX								
Benzène	2,36E-06	2,36E-06			2,43E-10	3,64E-11		
M+p-Xylène	2,85E-05	2,85E-05			0,00E+00	0,00E+00		
o-Xylène	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00		
Hydrocarbures totaux (TPH)								
Aliphatic nC10-nC12	9,12E-03	9,12E-03			0,00E+00	0,00E+00		
Aliphatic nC12-nC16	2,35E-04	2,35E-04			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC10-nC12	1,42E-02	1,42E-02			0,00E+00	0,00E+00		
Aromatic nC12-nC16	3,64E-03	3,64E-03			0,00E+00	0,00E+00		

Somme des IR & ERI INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR	**2,73E-02**	**2,73E-02**			**1,59E-09**	**2,39E-10**		

INHALATION DE VAPEURS EN EXTERIEUR
SCENARIO Parkings aériens associés aux habitations (site 1a)

Etude de sensibilité : prise en considération de la poche d'hydrocarbures en limite du site

		Résident adulte	Résident enfant	sident adulte pa	Résident enfant park
P=Poids corporel	Kg	60	15	60	15
T=Durée d'exposition	an	40	6	40	6
F1=fréquence d'exposition en extérieur	jour/an	330	330	330	330
F2 intérieur=fréquence d'exposition en extérieur	heure/jour	1	1	0,5	0,5
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérigène)	an	70	70	70	70
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6	40	6
Hauteur de respiration de la cible	m			1	1
Longueur de la boite, dans la direction principale du vent	m			125	125
Vitesse moyenne du vent	m/j			129600	129600

Concentration dans les sols		
		Concentration maximale? Moyenne? Percentile 90?
OHV		
Formaldéhydes	mg/kg	
BTEX		
Benzène	mg/kg	
M+p-Xylène	mg/kg	
Hydrocarbures totaux (TPH)		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Flux de vapeurs vers l'air extérieur (mg/m²/j)
3,80E-03	2,37E-04
1,80E-02	7,35E-05
9,10E-01	2,93E-03
2,04E+03	9,46E+00
5,24E+01	2,43E-01
6,33E+02	2,94E+00
1,62E+02	7,56E-01

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air extérieur					
		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV					
Formaldéhydes	mg/m³			2,29E-07	2,29E-07
BTEX					
Benzène	mg/m³			7,09E-08	7,09E-08
M+p-Xylène	mg/m³			2,83E-06	2,83E-06
Hydrocarbures totaux (TPH)					
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³			9,13E-03	9,13E-03
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³			2,35E-04	2,35E-04
Aromatic nC10-nC12	mg/m³			2,83E-03	2,83E-03
Aromatic nC12-nC16	mg/m³			7,29E-04	7,29E-04

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air extérieur									
		Effets toxiques à seuil				Effets cancérigènes (sans seuil)			
		Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV									
Formaldéhydes	mg/m³			4,31E-09	4,31E-09			2,46E-09	3,69E-10
BTEX									
Benzène	mg/m³			1,34E-09	1,34E-09			7,63E-10	1,14E-10
M+p-Xylène	mg/m³			5,32E-08	5,32E-08			3,04E-08	4,56E-09
Hydrocarbures totaux (TPH)									
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³			1,72E-04	1,72E-04			9,83E-05	1,47E-05
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³			4,42E-06	4,42E-06			2,53E-06	3,79E-07
Aromatic nC10-nC12	mg/m³			5,34E-05	5,34E-05			3,05E-05	4,58E-06
Aromatic nC12-nC16	mg/m³			1,37E-05	1,37E-05			7,85E-06	1,18E-06

Indice de risque ou Exces de risques individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air extérieur								
	Indice de risques (IR)				Exces de risques individuel (ERI)			
	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park	Résident adulte	Résident enfant	Résident adulte park	Résident enfant park
OHV								
Formaldéhydes			1,44E-06	1,44E-06			3,20E-11	4,80E-12
BTEX								
Benzène	0,00E+00	0,00E+00	4,45E-08	4,45E-08			4,58E-12	6,87E-13
M+p-Xylène	0,00E+00	0,00E+00	5,32E-07	5,32E-07			0,00E+00	0,00E+00
Hydrocarbures totaux (TPH)								
Aliphatic nC10-nC12			1,72E-04	1,72E-04			0,00E+00	0,00E+00
Aliphatic nC12-nC16			4,42E-06	4,42E-06			0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC10-nC12			2,67E-04	2,67E-04			0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC12-nC16			6,87E-05	6,87E-05			0,00E+00	0,00E+00
Somme des IR & ERI INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR			**5,14E-04**	**5,14E-04**			**3,66E-11**	**5,48E-12**