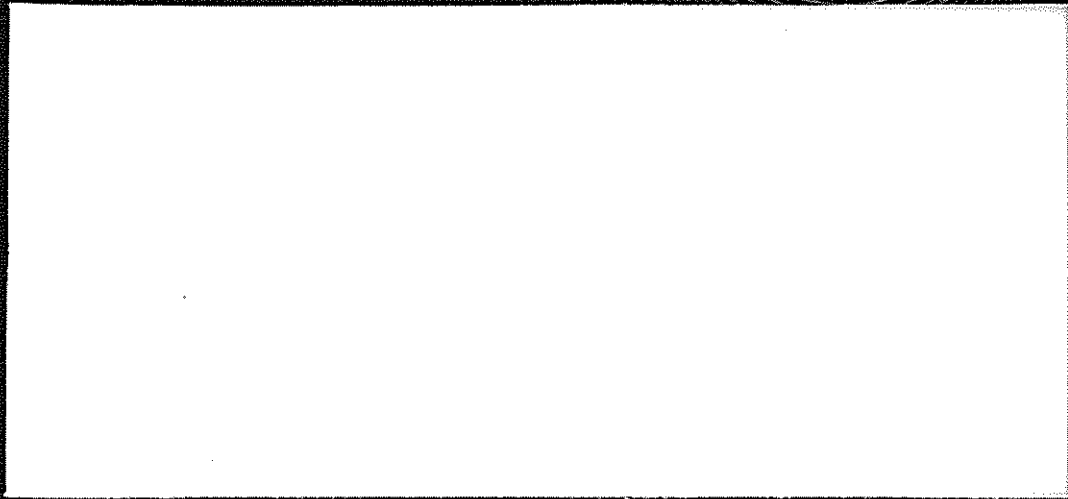




LE SPÉCIALISTE DE L'ENVIRONNEMENT



MAIRIE DE LA CHATRE

Ancienne usine à gaz
2 rue Joseph Ageorges
LA CHATRE (36)

Diagnostic approfondi et EDR

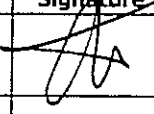


Rapport

Mairie de la Châtre

Diagnostic approfondi et EDR

Ancienne usine à gaz – 2 rue Joseph Ageorges – LA CHATRE (36)

Rapport

| Objet de l'indice | Date | Indice | Rédaction | | Vérification | | Validation | |
|-------------------|----------|--------|-----------------------|---|--------------------|---|------------------|---|
| | | | Nom | Signature | Nom | Signature | Nom | Signature |
| | 02/08/05 | | Corentin LEMONNIER |  | Sylvie TRAVERSE |  | Denis VALANCE |  |
| | | a | | | | | | |
| | | b | | | | | | |
| | | c | | | | | | |
| | | d | | | | | | |

| | |
|----------------------------|----------|
| Numéro de rapport : | RPe4664 |
| Numéro d'affaire : | A.9214 |
| N° de contrat : | C.302213 |
| Domaine technique : | SP.12 |

BURGÉAP

8-10-12 rue du Docteur Herpin
37 000 TOURS

Téléphone : 33(0)2.47.75.25.45

Télécopie : 33(0)2.47.75.02.07

e-mail : agence.de.tours@burgeap.fr

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| Résumé | 6 |
| 1 Objet de l'étude | 9 |
| 1.1 Le contexte | 9 |
| 1.2 Mission réalisée et méthodologie | 9 |
| 2 Etude documentaire – Diagnostic approfondi | 11 |
| 2.1 Historique | 11 |
| 2.1.1 Synthèse de l'historique | 11 |
| 2.1.2 Produits potentiellement présents | 11 |
| 2.1.3 Conclusion sur les sources de pollution | 12 |
| 2.2 Aménagement du site | 12 |
| 2.3 Contexte environnemental | 12 |
| 2.3.1 Contexte géologique | 12 |
| 2.3.2 Contexte hydrogéologique | 12 |
| 2.3.3 Eaux de surface | 17 |
| 2.4 Données disponibles concernant la pollution du site | 17 |
| 2.4.1 Données disponibles en 2002 | 17 |
| 2.4.2 Investigations réalisées en 2004 | 17 |
| 2.4.3 Synthèse | 18 |
| 3 Définition des scénarii d'étude et schéma conceptuel | 19 |
| 3.1 Méthodologie | 19 |
| 3.2 Identification du terme « source » | 19 |
| 3.3 Identification des cibles | 19 |
| 3.3.1 Sur le site | 19 |
| 3.3.2 Hors site | 19 |
| 3.3.3 Budget espace-temps et caractéristiques des cibles | 20 |
| 3.4 Identification des voies de transfert | 21 |
| 4 Evaluation détaillée des risques pour la santé | 25 |
| 4.1 Composés à prendre en compte | 25 |
| 4.1.1 Sélection | 25 |
| 4.2 Concentrations retenues | 28 |
| 4.2.1 Pour le contact direct | 28 |
| 4.2.2 Pour l'inhalation et les canalisations | 28 |
| 4.2.3 Relation dose-réponse des polluants retenus pour l'EDR | 28 |
| 5 Evaluation des concentrations dans les milieux d'exposition | 30 |
| 5.1 Concentrations de vapeurs dans l'air en intérieur et extérieur | 30 |
| 5.2 Pour les canalisations | 31 |
| 5.3 Dans la rivière l'Indre | 32 |
| 5.4 Dans la nappe alluviale | 33 |
| 5.5 Dans la nappe des sables du Trias | 34 |
| 6 Méthodologie de calcul des risques | 35 |
| 6.1 Estimation du risque pour les substances sans effet de seuil | 35 |
| 6.2 Estimation du risque pour les substances à effet de seuil | 35 |
| 6.3 Résultats des calculs de risques | 36 |
| 6.3.1 Atelier n°1 | 36 |
| 6.3.2 Atelier n°2 | 37 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 6.3.3 | La Chapelle | 37 |
| 7 | Evaluation des incertitudes | 39 |
| 7.1 | Concentrations et produits sélectionnés | 39 |
| 7.1.1 | Concentrations dans les sols | 39 |
| 7.1.2 | Concentrations dans l'air du sol | 40 |
| 7.1.3 | Concentrations dans la nappe | 40 |
| 7.1.4 | Produits pris en compte | 40 |
| 7.2 | Toxicité des composés | 41 |
| 7.3 | Caractéristiques des cibles : temps d'exposition | 41 |
| 7.4 | Caractéristiques des bâtiments | 42 |
| 7.5 | Caractéristiques des sols | 43 |
| 7.6 | Choix du modèle | 43 |
| 7.7 | Conclusion sur les incertitudes et l'évaluation du risque | 44 |
| 8 | Conclusion et recommandations | 46 |
| | FIGURES | 49 |
| | ANNEXES | 50 |

TABLEAUX

| | | |
|------------|--|----|
| Tableau 1 | : Piézométrie mesurée dans l'environnement du site | 13 |
| Tableau 2 | : Niveaux de nappe mesurés au droit du site | 14 |
| Tableau 3 | : Puits privés recensés dans l'environnement du site | 15 |
| Tableau 4 | : Caractéristiques des captages AEP à La Châtre | 16 |
| Tableau 5 | : Budget espace temps des cibles considérées | 20 |
| Tableau 6 | : Voies d'exposition étudiées pour les populations fréquentant le site | 21 |
| Tableau 7 | : Voies d'exposition étudiées pour les pêcheurs | 22 |
| Tableau 8 | : Voies d'exposition possibles pour les captages | 23 |
| Tableau 9 | : Synthèse des voies d'exposition et de transfert (schéma conceptuel) | 24 |
| Tableau 10 | : Choix des substances à retenir pour l'EDR | 27 |
| Tableau 11 | : Concentrations retenues pour les expositions | 28 |
| Tableau 12 | : Valeurs toxicologiques retenues | 29 |
| Tableau 13 | : Concentrations estimées dans l'air intérieur et extérieur | 30 |
| Tableau 14 | : Concentrations dans l'eau des canalisations | 32 |
| Tableau 15 | : Concentrations estimées dans l'Indre | 33 |
| Tableau 16 | : Risques sanitaires pour les usagers de l'atelier n°1 | 36 |
| Tableau 17 | : Risques sanitaires pour les usagers de l'atelier n°2 | 37 |
| Tableau 18 | : Risques sanitaires pour les usagers de la Chapelle | 37 |
| Tableau 19 | : Propriétés physico-chimiques des substances étudiées | 64 |

| FIGURES | | Version |
|----------------|---|----------------|
| Figure n°1-1 | Localisation du site | |
| Figure n°2 | Contexte géologique | |
| Figure n°3 | Piézométrie (novembre 2002) | |
| Figure n°4 | Implantation des investigations réalisées par ICF ENVIRONNEMENT | |
| Figure n°5 | Implantation des investigations réalisées par BURGÉAP | |
| Figure n°6 | Implantation des prélèvements de sédiments et piézométrie | |
| Figure n°7 | Résultats des observations de terrain (2002) | |
| Figure n°8 | Résultats des analyses | |
| Figure n°9 | Scénarii d'exposition | |
| Figure n°10 | Coupe géologique schématique | |

| ANNEXES | |
|--|----|
| - Annexe 1 - Fiches de l'essai de pompage réalisé sur le piézomètre Pz4 | 51 |
| - Annexe 2 - Suivi piézométrique de 2001 à 2004 | 52 |
| - Annexe 3 - Valeurs mensuelles de la pluie utile | 53 |
| - Annexe 4 - Chronique des hauteurs d'eau à Ste Sévère et à Ardente | 54 |
| - Annexe 5 - Fiches d'échantillonnage de sols | 55 |
| - Annexe 6 - Bordereaux d'analyses du laboratoire LEM (analyses de sols) | 56 |
| - Annexe 7 - Bordereau d'analyses du laboratoire LEM (analyses d'eau) | 57 |
| - Annexe 8 - Fiches de prélèvements d'eau | 58 |
| - Annexe 9 - Détail des investigations réalisées en 2004 | 59 |
| - Annexe 10 - Toxicologie et physico-chimie des substances retenues | 62 |
| - Annexe 11 - Propriétés physico-chimiques des substances étudiées | 63 |
| - Annexe 12 - Détail des calculs de risques sanitaires | 65 |
| - Annexe 13 - Résultats des calculs de risques | 66 |
| - Annexe 14 - Limites d'utilisation des études de pollution du milieu souterrain | 67 |

Résumé

La présente étude s'inscrit dans le cadre de l'évaluation de la connaissance de l'impact du site sur ses occupants (actuels et futurs). Elle a été réalisée conformément à la méthodologie définie par le ministère de l'environnement et du développement durable (MEDD).

Les aménagements prévus et pris en compte sur la zone d'étude sont les suivants :

- terrain utilisé en l'état actuel par la DDE ; présence d'ateliers et de bureaux,
- à l'avenir : terrain toujours utilisé par la DDE mais uniquement en tant que bureaux.

L'ensemble des investigations a permis de mettre en évidence :

- une zone polluée par HAP et BTEX en partie nord-est du site. En certains points, les terrains sont pollués dès la surface. Cette pollution des sols entraîne une pollution de la nappe alluviale (présence de teneurs importantes en HAP et BTEX) et, dans une moindre mesure, de la nappe du Trias,
- des pollutions ponctuelles des remblais par hydrocarbures et arsenic.

Les cibles pour lesquelles le risque sanitaire a été évalué sont :

- les travailleurs sur site, en distinguant le personnel administratif passant 8 h/j à l'intérieur du personnel technique considéré comme passant 4 h/j en intérieur et 4 h/j en extérieur,
- les pêcheurs de l'Indre,
- les puits de particuliers de Mme TEINTURIER (P2) et de M. BONNIN (P3),
- les captages AEP MOULIN RICHARD n°1 et 2.

Pour les cibles sur site (travailleurs)

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.

Etant donné les incertitudes et l'approche sécuritaire adoptée durant l'étude, nous considérons comme fondé de retenir :

1) des niveaux de risques qui seraient inacceptables *en l'état* avec les hypothèses retenues pour le bâtiment « la Chapelle » et l'atelier n°2. La mise en place d'un niveau imperméable (perméabilité inférieure à 10^{-8} m/s, argile ou géomembrane) permettrait de rendre les risques acceptables au droit de ces bâtiments.

2) des niveaux de risques acceptables avec les hypothèses retenues

- pour l'atelier n°1 utilisé en tant que tel comme atelier,
- pour l'atelier n°1 utilisé en tant que bureaux sous réserve d'assurer une ventilation suffisante (taux de 40 j^{-1}),
- en extérieur,
- pour les canalisations sous réserve qu'elles soient en fonte,

- pour le reste du site (hors tiers nord-est pollué).

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.

Compléments et/ou mesures compensatoires à mettre en œuvre

L'évaluation du risque présente un certain nombre d'incertitudes dont certaines pourraient être levées ou réduites à l'aide des points suivants :

- investigations (prélèvements de sols, d'air des sols, d'air ambiant) au droit des bâtiments « la Chapelle » et l'atelier n°2 afin de connaître les teneurs au droit des bâtiments,
- dans le cas où des canalisations existent au droit de la zone polluée, un prélèvement d'eau suivi d'analyses permettrait de lever l'incertitude liée au calcul,
- recueil des observations du personnel sur d'éventuelles odeurs de solvants dans le bâtiment « la Chapelle ».

Certaines mesures permettraient de limiter les flux estimés vers l'air extérieur de cette zone et de rendre les risques sanitaires les travailleurs intervenant dans le secteur de la Chapelle et de l'atelier n°2 (utilisés en tant qu'atelier ou bureaux), il s'agit de :

- mise en place d'une géomembrane ou d'une couche de terrains peu perméables (perméabilité inférieure à 10^{-8} m/s, argiles par exemple) au droit des bâtiments utilisés comme bureaux,
- ou purge jusqu'à la nappe des terrains pollués par HAP au droit des bâtiments utilisés comme bureaux.

La purge des terrains apparaît comme la solution la plus aisée à mettre en œuvre et permettant de gérer le plus efficacement le risque engendré par la pollution.

Nous rappelons que s'il n'est pas construit (ou utilisé) de bâtiment au droit de la zone polluée, les risques en extérieur sont acceptables.

Concernant les pêcheurs de l'Indre

Les calculs de dilution indiquent un impact du site négligeable sur la qualité de l'eau de l'Indre en période normale. Cependant, en période d'étiage, l'impact du site sur la qualité de l'eau de l'Indre pourrait être significatif. De plus, concernant le transfert de phase flottante, l'observation ponctuellement en été d'odeurs de bitumes et d'irisations traduit un impact possible du site sur l'Indre. *Par conséquent, les risques pour l'Indre sont considérés comme significatifs.*

Concernant les puits de particuliers

Les analyses effectuées sur les puits P2 et P3 n'ont mis en évidence que des traces de HAP sur ces ouvrages. Par conséquent, en raison de l'âge de pollution, l'impact du site apparaît négligeable sur ces ouvrages, dans les conditions actuelles de prélèvement. Cependant, nous ne disposons actuellement que d'une campagne de suivi de qualité de la nappe sur ces ouvrages. *Nous conseillons d'effectuer pendant au moins 2 ans un suivi de la qualité de la nappe sur les 2 ouvrages de particuliers ainsi que ceux situés sur le site.* Les paramètres recherchés seraient les HAP, les BTEX, l'ammonium, les cyanures et l'indice phénol. A l'issue de ces 2 années, un bilan serait fait sur l'évolution des teneurs et l'opportunité de poursuivre le suivi.

Comme toute augmentation des prélèvements à l'avenir risque d'augmenter la migration de la pollution vers ces ouvrages et rendre l'utilisation de ces puits incompatible avec les usages (arrosage de potager), *nous recommandons d'informer le voisinage et de dépolluer la nappe au droit du site dans le secteur de Pz1 si la restriction des usages ne peut être faite.*

Concernant les ouvrages AEP

Compte tenu de l'âge de la pollution, du faible transfert de la nappe alluviale vers la nappe du Trias et du positionnement des captages AEP, nous considérons que la pollution présente au droit du site n'aura pas d'impact sur les captages AEP.

Du fait des impacts (potentiels au avérés) de la pollution actuellement présente sur site sur les usagers du site (travailleurs de la DDE), l'Indre et la nappe alluviale, nous préconisons la purge des terrains qui apparaît comme la solution la plus aisée à mettre en oeuvre et permettant de gérer le plus efficacement le risque engendré par la pollution.

1 Objet de l'étude

1.1 Le contexte

La Mairie de la Châtre possède un terrain situé 2 rue Joseph Ageorges à La Châtre (36). Sa superficie est de 3030 m² (cf. figure 1).

Le site a été occupé par une usine à gaz pendant près de 90 ans (de 1871 à 1959). Cette activité a principalement comme sous-produits des goudrons, des phénols, des eaux ammoniacales... La présence de tels produits sur le site a vraisemblablement entraîné une pollution du milieu souterrain par des HAP¹, des phénols, de l'ammoniac, du mercure...

Une explosion a eu lieu sur le site en 1873, entraînant une pollution du captage communal situé à proximité de l'usine à l'époque (l'historique dont nous disposons ne permet pas de localiser ledit captage). A la cessation de l'activité de l'usine à gaz, le terrain est revenu à la mairie de La Châtre en 1959. Les bâtiments, cuves, installations ont alors été démantelées et l'intégralité du site a été remblayé par des terrains issus de la démolition de l'usine (les fenêtres d'un bâtiment de l'époque ont du être relevées de 30 centimètres environ).

Depuis 1969, il est occupé par des bureaux et des ateliers de la Direction Départementale de l'Équipement.

Il existe actuellement sur le site des stockages divers (sel, huiles usagées, batteries, déchets...) et 2 cuves enterrées à hydrocarbures (gasoil et fuel) à double enveloppe récentes.

Le terrain, de topographie à peu près plane, est longé immédiatement en bordure est par l'Indre qui coule du sud vers le nord.

1.2 Mission réalisée et méthodologie

Ce site, actuellement occupé par la DDE de l'Indre, a fait l'objet d'un diagnostic initial de la pollution des sols et du sous-sol (9 sondages et 3 piézomètres) suivi d'une Evaluation Simplifiée des Risques (ESR) par ICF Environnement en décembre 1999 (projet 99 168). L'ESR a classé le site en classe 1 (site nécessitant des investigations approfondies) en considérant le transfert de la pollution du site par les eaux souterraines vers les captages situés à une distance inférieure à 1 kilomètre à l'aval du site.

Étant donné le classement et l'utilisation actuelle du site (bureaux et ateliers pour le personnel de la DDE), la Mairie de La Châtre a confié à BURGEAP la réalisation d'une étude comportant les volets suivants :

- un diagnostic approfondi sur l'intégralité du site de l'ancienne usine à gaz,
- une Evaluation Détaillée des Risques (EDR) conformément à la méthodologie du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable² (guide de Gestion des sites pollués, Diagnostic approfondi et évaluation détaillée des risques, version 0, juin 2000). Cette EDR est effectuée pour un usage du site identique à l'actuel (bureaux et ateliers), avec définition des éventuels objectifs de dépollution et les actions à mener le cas échéant. Elle étudie aussi l'impact potentiel d'une pollution présente au droit du site sur des captages cibles qui sont à définir,
- la définition des moyens de surveillance ultérieure du site, les servitudes et les recommandations constructives.

¹ Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

² MEDD

L'évaluation détaillée des risques pour les sites et sols pollués (EDR) est basée sur la même méthodologie que celle de l'évaluation détaillée des risques sanitaires pour les études d'impact des ICPE¹ et sur une démarche similaire à celle formalisée par l'Académie des Sciences des Etats-Unis en 1983.

Une EDR comprend classiquement 4 étapes successives :

- 1) l'identification du potentiel dangereux ou la caractérisation du terme source ;
- 2) l'évaluation des relations dose (exposition) / réponse (effets) ;
- 3) l'évaluation de l'exposition, qui consiste à déterminer les voies de transferts de la source vers les cibles et à quantifier l'exposition (concentration et durée) pour chacun des polluants et pour chacune des voies d'exposition ;
- 4) la quantification du risque sanitaire, qui correspond à la synthèse des informations issues de l'évaluation des expositions et de l'évaluation de la toxicité sous la forme d'une expression quantitative du risque. Les incertitudes sont évaluées et les résultats interprétés.

La démarche de l'EDR se doit de respecter 4 principes fondamentaux fixés par la Circulaire du 3/12/1993 et la loi du 2/02/1995 : le principe de précaution², le principe de proportionnalité³, le principe de spécificité⁴, et le principe de transparence⁵.

Le cadre réglementaire est fourni par la loi du 19/07/1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement et plus spécifiquement par les Circulaires du 3/12/1993 relative à la politique de réhabilitation et de traitement des sites pollués et du 10/12/99 relative aux principes de fixation des objectifs de réhabilitation des sites et sols pollués.

Suite à l'ESR réalisée par ICF ENVIRONNEMENT, la Mairie de La Châtre a défini un programme d'investigations complémentaires sur les bases du schéma conceptuel proposé par ICF ENVIRONNEMENT dans le cadre de l'ESR. Conformément à ce programme, la première phase du diagnostic approfondi a été réalisée et présentée dans le rapport BURGÉAP R.3850 daté du 17/02/03. Ce rapport concluait à la nécessité de compléments d'investigations afin de mieux caractériser la pollution observée au droit du site. Ces compléments ont été réalisés en septembre 2004. Le présent rapport présente les compléments du diagnostic approfondi et les résultats de l'EDR.

¹ Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

² principe « selon lequel l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable »

³ ce principe veille à ce qu'il y ait cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude, l'importance de la pollution et son incidence prévisible

⁴ l'étude doit prendre en compte la spécificité de l'usage futur du site

⁵ le choix des hypothèses, des outils à utiliser etc., doit être expliqué par l'évaluateur et cohérent

2 Etude documentaire – Diagnostic approfondi

2.1 Historique

2.1.1 Synthèse de l'historique

Les informations indiquées sont issues du rapport ICF ENVIRONNEMENT. Il y est indiqué que l'autorisation d'exploiter l'usine de distribution de gaz et d'eau date de 1872. Une explosion a lieu le 3 avril 1873. Elle semble avoir été provoquée par une accumulation de gaz dans la salle d'épuration. Dans le document relatif à cet explosion, il est indiqué qu'il était alors effectué des recherches au droit du réservoir contenant les eaux de goudron et ammoniacales en vue d'expliquer le mauvais goût des eaux distribuées en ville. Le résultat de ces recherches n'est pas indiqué.

En 1914, une demande d'installation d'un nouveau gazomètre est déposée sans qu'il soit visible sur les photographies aériennes.

En 1932, un nouveau gazomètre est installé.

L'activité de l'usine à gaz est arrêtée en 1959. L'ensemble du site est alors démoli, à l'exception du bâtiment « la Chapelle » (cf. figure 2), les déblais de démolition ayant servi à remblayer le site.

La DDE (subdivision de La Châtre) s'installe en 1969. Il y existe un atelier, un garage, des stockages de matériel et de sel, une cuve de gasoil double enveloppe enterrée (3 m³), une cuve de fuel double enveloppe enterrée (3 m³) (cf. figure 2).

2.1.2 Produits potentiellement présents

L'exploitation passée du site est celle d'une usine à gaz. Ce type d'usine avait pour objet la production de gaz manufacturé tel qu'il a été breveté par M. LEBON en 1798. Le procédé consiste en :

- une distillation à 1000°C de la houille. Celle-ci se décompose en produits volatils (gaz de houille brut) et en un résidu solide (coke). Ce dernier constitue un des principaux sous-produits d'une usine à gaz,
- une épuration physique (dégoudronnage) aboutissant au gaz épuré. Les sous-produits de cette phase sont du goudron brut (HAP), des eaux ammoniacales (NH₄⁺) et de l'huile saturée de naphthaline,
- une épuration chimique (ayant pour but de retirer l'hydrogène sulfuré) par des matières épurantes à base d'oxydes de fer aboutissant au gaz de distribution. Les sous-produits sont des matières épurantes usagées contenant de l'acide cyanhydrique. L'acide cyanhydrique est ensuite éliminé par absorption sur oxyde ou sulfures de fer et revivification. Ceci conduit à la formation de ferrocyanure ferrique (Bleu de Prusse).

Concernant les cyanures, ces produits sont habituellement « analytiquement absents dans les eaux naturelles¹ ». Dans les sols, leur présence est due à une source anthropique (usine à gaz, fours à coke, épuration des gaz dans les usines sidérurgiques, nettoyage des métaux et électroplacage...). De plus, on peut s'attendre à ce que les concentrations en cyanure dans les sols soient faibles puisque cet ion n'y est pas adsorbé ni retenu solidement².

¹ d'après « Brémond R. et Vuichard R. (1973) Paramètres de la qualité des eaux, Ministère de la protection de la nature et de l'environnement, SPEPE, Paris, 179 p. »

² Le cyanure Mai 1979 (révisé en juillet 1991) – Santé Canada

2.1.3 Conclusion sur les sources de pollution

Les installations les plus polluantes relatives à l'activité de l'usine à gaz sont la cuve de recueil des matières épurantes et la fosse à goudrons. Les produits à rechercher principalement sont les HAP (goudrons), BTEX¹, cyanures, ammoniacque, métaux.

2.2 Aménagement du site

Le terrain a été réaménagé et est actuellement occupé par la DDE de l'Indre. Des bureaux et ateliers existent actuellement et sont utilisés par la DDE (cf. figure 2). D'après les informations fournies par la Mairie de la Châtre, l'usage futur du site sera peu modifié par rapport à l'actuel. A terme, les ateliers de la DDE seront démenagés vers un autre site mais les bureaux seront conservés. Le site n'est pas intégralement recouvert.

2.3 Contexte environnemental

2.3.1 Contexte géologique

D'après la carte géologique de la Châtre au 1/50 000 (cf. extrait de la carte géologique sur la figure 3), les coupes de forages et de sondages et « l'Etude morphopédologique des plateaux Nord-occidentaux du Massif Central² », les formations rencontrées sur le bassin versant du site de l'ancienne usine à gaz de la Châtre sont des formations sédimentaires reposant sur le socle cristallophyllien avec de haut en bas :

- alluvions récentes et colluvions de fond de thalweg : il s'agit généralement de terrains sablo-argileux à galets de quartz et roches anciennes. Dans les vallons reposant sur les terrains du Lias, le remplissage est surtout argileux. L'épaisseur de cette formation atteint 5 m dans la vallée de l'Indre.
- le Trias représenté successivement de haut en bas par :
 - des argiles plus ou moins sableuses sur une épaisseur de 40 mètres ; on trouve des argiles vertes panachées de rouge qui passent progressivement au sommet à des marnes vertes renfermant des rognons de calcaire. Cette série présente ensuite une épaisseur de 5 à 12 m d'argiles rouges et vertes avec des chenaux sablo-gréseux surmontées par 5 mètres de sables kaoliniques très blancs ;
 - des dolomies généralement silicifiées d'épaisseur variable ;
 - des sables et grès grossiers ; cette série de grès possède des passages argileux pouvant atteindre 2 mètres ainsi que des bancs très grossiers voire des conglomérats.

L'horizon du Trias présente une épaisseur totale de 90 mètres au droit de la Châtre.

2.3.2 Contexte hydrogéologique

2.3.2.1 Niveaux aquifères

Le système aquifère de la vallée de l'Indre met en jeu :

¹ Benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes

² Thèse de Jean-Luc MELOUX, soutenue le 18/12/97, Université Blaise Pascal – Institut de Géographie - Clermont-Ferrand II

- la nappe des alluvions de l'Indre, dont l'extension latérale est limitée à environ 500 mètres. Cette nappe est en contact hydraulique avec l'Indre, par laquelle elle est drainée en période normale d'écoulement.
- la nappe des sables et grès du Trias, alimentée par les pluies, qui constitue l'horizon le plus sollicité au sein des formations sédimentaires. Cette nappe est exploitée pour l'alimentation en eau potable (AEP).

2.3.2.2 Caractéristiques hydrodynamiques des formations

Les débits spécifiques du réservoir aquifère du Trias, issus des dossiers BSS des ouvrages du bassin versant de la Châtre, se situent entre 0,8 et 7,8 m³/h/m. Ces valeurs donnent une approximation de la transmissivité du Trias comprise entre 2,2.10⁻⁴ et 2,2.10⁻³ m²/s. Ces valeurs correspondent à des perméabilités en rapport avec le caractère argileux du réservoir. Ces valeurs de transmissivité correspondent également au caractère captif du réservoir triasique qui est très souvent artésien sous les argiles et les marnes du Lias.

Un essai de pompage réalisé par BURGEAP sur le piézomètre court Pz2, crépiné dans les alluvions et situé sur le site de l'ancienne usine à gaz a fourni une valeur de transmissivité de 6,1.10⁻⁴ m²/s (cf. rapport BURGEAP R3850).

Un essai de pompage a été réalisé par BURGEAP sur le piézomètre Pz4 crépiné dans le Trias. Cet essai (dont le détail est fourni en annexe 1) a fourni une transmissivité de 4,5. 10⁻⁵ m²/s, soit dans la fourchette basse des données issues de la BSS.

2.3.2.3 Piézométrie mesurée (novembre 2002)

Lors de l'enquête de terrain effectuée en novembre 2002, des niveaux statiques synchrones ont pu être mesurés, aussi bien sur le site que dans les puits particuliers situés aux alentours. Seuls les piézomètres Pz1, Pz2 et Pz3 (cf. implantation sur la figure 2) et les puits P2 et P3 ont fait l'objet d'un nivellement. Les cotes de nappe sur les puits sont calculées à partir d'une cote repère approximative issue de la carte topographique. Ces mesures sont synthétisées dans le tableau suivant et reportées sur les figures 4 et 5.

| Puits ou piézomètre | Localisation | Nappe captée | Profondeur de l'ouvrage (m) | Profondeur nappe/sol | Cote repère | Date | Cote de la nappe en NGF |
|---------------------|---|--------------|-----------------------------|----------------------|-------------|------------|-------------------------|
| Pz1 | Site | Alluvions | 5,7 | 2,76 m | + 202,43 | 11/12/2002 | +199,66 |
| Pz2 | Site | Alluvions | 6,1 | 3,36 m | + 202,89 | 11/12/2002 | + 199,52 |
| Pz3 | Site | Alluvions | 4,7 | 2,52 m | + 203,38 | 11/12/2002 | + 200,86 |
| P2 | Mme Teinturier- La Châtre | Alluvions | 4,09 | 2,50 m | + 202,27 | 28/11/2002 | + 199,77 |
| P3 | M. BONIN | Alluvions | 5,54 | 4,11 | + 202,82 | 21/09/2004 | + 198,71 |
| P8 | 11-13 rue Jean Jaurès- La Châtre | Trias* | inconnue | 4,30 m | + 205 | 28/11/2002 | + 200,7 |
| P10 | A proximité de la station de pompage 5943X0006 - Montgivray | Alluvions | inconnue | 1,70 m | + 203 | 28/11/2002 | + 201,3 |
| P13 | M. Chabenat - La Châtre | Trias* | inconnue | 11 m | + 210 | 28/11/2002 | + 199 |
| P16 | Mme Laurent - La Châtre | Trias* | inconnue | 7,30 m | + 210 | 28/11/2002 | + 202,7 |

* d'après le contexte géologique (cf. figure 3)

Tableau 1 : Piézométrie mesurée dans l'environnement du site

Les piézomètres réalisés par ICF ENVIRONNEMENT ont été nivelés par BURGEAP. Les niveaux de nappe ci-après ont été mesurés :

| Ouvrage | Pz1 | Pz2 | Pz3 | Pz4 |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Cote du sol (m NGF) | + 202,43 | + 202,89 | + 203,38 | +202,82 |
| <i>date</i> | <i>03/11/99</i> | | | |
| Profondeur du niveau statique (mètres/sol) | 3,27 | 3,81 | 2,52 | * |
| Cote du niveau statique (m NGF) | + 199,16 | + 199,08 | +200,86 | |
| <i>date</i> | <i>11/12/02</i> | | | |
| Profondeur du niveau statique (mètres/sol) | 2,75 | 3,36 | 2,52 | * |
| Cote du niveau statique (m NGF) | + 199,66 | + 199,52 | + 200,86 | |
| <i>date</i> | <i>13/09/04</i> | | | |
| Profondeur du niveau statique (mètres/sol) | 2,96 | 3,50 | 2,67 | * |
| Cote du niveau statique (m NGF) | + 199,47 | + 199,39 | + 200,71 | |
| <i>date</i> | <i>22/09/04</i> | | | |
| Profondeur du niveau statique (mètres/sol) | 2,87 | 3,52 | 2,72 | 3,47 |
| Cote du niveau statique (m NGF) | + 199,56 | + 199,37 | + 200,66 | +199,35 |

* non réalisé à cette date

Tableau 2 : Niveaux de nappe mesurés au droit du site

L'Indre, au droit du site, a été mesurée à + 199,482 NGF¹ le 11/12/02.

Parallèlement, les cotes piézométriques sur la période 2001-2004 de l'ancien captage AEP 5943X0006, suivi par le réseau piézométrique Centre, sont fournies en annexe 2. Les fluctuations du niveau de la nappe au droit du captage sont pluridécimétriques.

Ces relevés piézométriques indiquent globalement un drainage de la nappe des alluvions par l'Indre.

Concernant la nappe du Trias, le piézomètre Pz4 réalisé en 2004 (cf. localisation sur la figure 2) ne capte que la nappe du Trias. Le niveau statique mesuré sur cet ouvrage le 22/09/04 indique une nappe située à 3,47 mètres de profondeur par rapport à la tête du piézomètre, soit une cote de +199,352 mNGF (pour une cote de la tête du piézomètre à +202,822 mNGF). Le niveau statique mesuré au toit du Trias est donc légèrement plus bas que celui de la nappe des alluvions (le niveau statique de la nappe des alluvions mesuré en Pz1 le même jour indique une nappe alluviale située vers la cote +199,556 mNGF, cf. tableau 2).

2.3.2.4 Apport par la pluie

La pluviométrie brute s'élève à 793 mm/an sur la période allant de 1977 à 2002. Parallèlement, l'évapotranspiration moyenne annuelle sur la région de La Châtre est estimée par la méthode de Turc à 700 mm. La pluie utile calculée à partir des précipitations moyennes interannuelles sur la zone d'étude à la station de Montgivray, commune limitrophe de La Châtre, pour une RFU de 75 mm, s'élève à 212 mm par an. Ceci représente un apport par la pluie d'environ 7,5 l/s/km². Les tableaux de valeurs de pluie utile sont donnés en annexe 3.

¹ Nivellement Général de la France

2.3.2.5 Niveaux captés – Inventaire des captages

Les captages d'eau pouvant être des cibles potentielles ont été recensés en consultant les données disponibles à la Banque du Sous-Sol (BSS), l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, la DDASS d'Indre et Loire et en réalisant une enquête de quartier. Cette enquête de quartier s'est déroulée dans un rayon de 1 500 mètres autour du site, en recherchant tout particulièrement les ouvrages situés à l'aval du site. Les captages privés recensés sont détaillés ci-dessous et sont implantés sur la figure 1 :

| n° plan | adresse | Profondeur (m) | Prof eau / sol mesurée le 28-29/11/02 | utilisation éventuelle - remarques |
|---------|----------------------------------|----------------|---|---|
| P1 | Mme Rapoport - 2 rue Nationale | bouché | | condamnation du puits depuis environ 50 ans |
| P2 | Mme Teinturier - 4 rue Ageorges | 4,09 | 2,50 m | souhaite mettre une pompe pour l'arrosage |
| P3 | M Bonnin, rue Ageorges | 5,54 | 4,11 (le 21/09/04) | absent lors de l'enquête, données fournies par Mme Teinturier : pompe pour fontaine et arrosage |
| P4 | M Dumont, rue Ageorges | bouché | | |
| P5 | M Boury- 2 rue Jean Jaurès | 8 m | sec | |
| P6 | M Labbé - 5 rue Jean Jaurès | bouché | d'après propriétaire, eau à environ 7 m | |
| P7 | 3 rue Jean Jaurès | bouché | | |
| P8 | 11 - 13 rue Jean Jaurès | inconnue | 4,30 m | propriétaire absent, absence de pompe, pas d'usage recensé |
| P9 | le Pont - Montgivray | bouché | | |
| P10 | | inconnue | 1,70 m / sol | puits isolé, sans propriétaire apparent, fermé |
| P11 | les Iles | bouché | eau à environ 5 m d'après les propriétaires | d'après les propriétaires, prof initiale du puits = 7m |
| P12 | la Jutine | | | absence de puits |
| P13 | M Chabenat - la Petite Grange | inconnue | 11 m / sol | non utilisé |
| P14 | M Tissandier | 25 m* | 5,70 m/sol* (199,3 NGF) | utilisation pour arrosage, eau à 20 m environ d'après lui. |
| P15 | Mme Moleau, 86 rue Jean Pacton | | | absence de puits |
| P16 | Mme Laurent - 18 rue Jean Pacton | inconnue | 7,30 m / sol | non utilisé |
| P17 | M Vivier - le Portail | inconnue | 1,15 m / sol | eau de surface, non utilisé |

* donnée BSS¹

Tableau 3 : Puits privés recensés dans l'environnement du site

Le forage le plus proche est celui de Mme TEINTURIER (n° P2, situé à 20 mètres du site). Son positionnement hydraulique est latéral par rapport au site. Cependant, sa grande proximité avec le site (20 m de distance) peut conduire à une contamination des eaux pompées par migration de la pollution présente au droit du site.

Le puits de M. BONNIN (n° P3, situé à 80 m du site) est position latérale ou aval-écoulement du site.

Nous étudierons dans un premier temps la migration possible de la pollution du site (et son éventuel impact sanitaire) vers ces ouvrages pour une utilisation à des fins d'arrosage. L'impact sur les autres ouvrages privés n'est pas étudié en raison de la plus grande distance entre eux et le site (et donc l'impact potentiel sur ceux-ci est plus faible).

¹ Banque du Sous-Sol

Les captages AEP les plus proches pouvant constituer des cibles potentielles sont les suivants (cf. localisation sur la figure 1) :

- puits de La Couarde (profondeur : 15,8 m, n° BSS : 5942X0030, à 4 000 m en position latérale hydrographique, en rive gauche de l'Indre),
- puits de La Couarde n° 2 (profondeur : 9,7 m, n° BSS : 5942X0007, à 4 000 m en position latérale hydrographique, en rive gauche de l'Indre),
- puits de La Couarde n° 3 (profondeur : 16,5 m, n° BSS : 5943X0020, à 4 000 m en position latérale hydrographique, en rive gauche de l'Indre),
- puits du Patureau (profondeur : 47,1 m, n° BSS : 5943X0025, à 2 000 m à l'aval hydrographique, en rive gauche de l'Indre),
- puits de La Grande Loute (profondeur : 67 m, n° BSS : 5943X0022, à 3 500 m à l'aval hydrographique, en rive droite de l'Indre),
- puits de MOULIN RICHARD n°1 (profondeur : 35,2 m, n° BSS : 5943X0008, à 250 m en position aval ou latéral hydrographique, en rive droite de l'Indre),
- puits de MOULIN RICHARD n°2 (profondeur : 17 m, n° BSS : 5943X0001, à 575 m en position aval ou latéral, en rive droite de l'Indre),
- puits des Ribattes (profondeur : 38,5 m, n° BSS : 5943X0006, situé à 1 750 m à l'aval hydrographique, en rive droite de l'Indre). D'après les indications fournies par l'Agence de l'Eau, ce forage n'est plus en exploitation pour cause de pollution par cyanures.

La synthèse des données piézométriques disponibles (cf. paragraphe 2.2.3) permet de préciser les captages sous influence potentielle du site (situés en aval). Les captages retenus comme cibles sont les plus proches du site et situés à l'aval. Ce sont :

- puits de MOULIN RICHARD n°1.
- puits de MOULIN RICHARD n°2.

Ces ouvrages exploitent la nappe des grès du Trias. Les caractéristiques en sont les suivantes (données fournies par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne - datant de 2000, BSS).

Tableau 4 : Caractéristiques des captages AEP à La Châtre

| N° BSS | Identité du préleveur | Nappe captée | Profondeur du forage | Volume annuel en m ³ /an en 2000 |
|-----------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|---|
| 5943X0008 | AEP1 Moulin Richard | Nappe des sables et grès du Trias | 35,7 m | 91 300 (≅ 10 m ³ /h) |
| 5943X0001 | AEP2 Moulin Richard | Nappe des sables et grès du Trias | 17 m | 277 000 (≅ 30 m ³ /h) |

On peut noter que les 2 analyses réalisées par la DDASS¹ en 1999 et 2001 sur ces 2 ouvrages n'ont pas mis en évidence de contaminations des eaux (y compris les HAP et l'indice phénol pour lesquels les teneurs sont inférieures au seuil de détection).

¹ Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

2.3.3 Eaux de surface

La commune de la Châtre est traversée par l'Indre, située en bordure est du site. Un relevé effectué le 11/12/02 sur l'échelle limnimétrique situé à proximité du site a donné une cote pour l'Indre égale à +199,48 NGF.

Par ailleurs, une chronique des hauteurs d'eau mesurées aux stations de Ste Sévère sur Indre en amont et de Ardenes sur les années 2001 et 2002 est présentée en annexe 4.

Le QMNA5 (débit d'étiage de référence de récurrence 5 ans) fourni par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne à Ardenes (station située à 20 km à l'aval de La Châtre) est de 0,873 m³/s (période allant de 1983 à 1993). Le module annuel en moyennes eaux est de 5,39 m³/s.

2.4 Données disponibles concernant la pollution du site

2.4.1 Données disponibles en 2002

Les résultats des investigations réalisées par ICF ENVIRONNEMENT et BURGEAP (en 2002) sont présentés en annexe 9 et sur les figures 5 à 8.

L'ensemble des observations et des analyses indique qu'il existe :

- une zone polluée par des goudrons (présence de HAP et BTEX) au niveau des sondages TM2, TM4, S3, S4, S5 et S9, et du piézomètre Pz1 sur des épaisseurs allant de 1 à plus de 8 mètres. Cette zone correspond à l'ancienne zone d'épuration de l'usine à gaz où ont probablement été stockés les goudrons (résidus du chauffage du charbon). Le point source (cuve à goudrons) n'a pas été localisé précisément mais l'observation des terrains indique une pollution des sols sur toute la hauteur investiguée en TM2. Il semblerait donc que la cuve soit localisée dans cette zone. Cette pollution descend sous le niveau statique de la nappe, jusqu'à au moins 8 mètres de profondeur. Les sondages n'ont pas tous traversé cet horizon, malgré les augmentations de profondeur de sondage réalisées par rapport au programme initial,
- des pollutions ponctuelles des sols par HAP en TM6 et TM9,
- une teneur anormale dans les sols en arsenic en TM9,
- la nappe est polluée par des HAP, des composés volatils, de l'ammonium et du phénol au droit du piézomètre Pz1,
- les cyanures libres sont détectés légèrement au-dessus du seuil analytique en Pz1. Néanmoins, la concentration mesurée (12 µg/l) est nettement inférieure à la CMA (50 µg/l),
- l'eau de la nappe au droit du piézomètre Pz2 n'est pas de bonne qualité (présence de phénol et benzène).

L'extension verticale de la pollution n'a pas été déterminée avec précision, ainsi que l'état de contamination du réservoir aquifère.

2.4.2 Investigations réalisées en 2004

Des compléments d'investigations ont été réalisés en 2004 en vue de compléter ces données :

- analyses d'échantillons d'eau prélevés dans les puits privés,
- constat d'impact de la pollution du site sur la nappe des grès au droit du site (extension verticale). Ceci a nécessité la réalisation d'un piézomètre plus profond,

- sondages en vue de délimiter l'extension verticale de la pollution.

Le détail des investigations réalisées en 2004 est présenté en annexe 9.

Ces investigations ont confirmé la présence de pollution par hydrocarbures dans la zone nord-est du site (présence de HAP, BTEX). Les sondages ont obtenu un refus sur le toit d'horizon compact, ce qui n'a pas permis de reconnaître en tout point la profondeur de la pollution. On peut toutefois observer que la pollution semble s'atténuer en profondeur.

L'eau de la nappe du Trias (située vers 3,5 mètres de profondeur) est contaminée par la pollution présente dans les sols au droit du site. Des BTEX et des HAP y sont détectés. On peut cependant noter une nette atténuation des teneurs par rapport à celles mesurées dans la nappe alluviale. Les prélèvements d'eau effectués dans les captages de particuliers considérés comme cibles n'ont pas mis en évidence de teneurs anormales (des traces de HAP ont cependant été détectées dans les deux ouvrages).

2.4.3 Synthèse

L'ensemble des investigations a permis de mettre en évidence :

- une zone polluée par HAP et BTEX en partie nord-est du site. En certains points, les terrains sont pollués dès la surface. Cette pollution des sols entraîne une pollution de la nappe alluviale (présence de teneurs importantes en HAP et BTEX) et, dans une moindre mesure, de la nappe du Trias. Il n'a pas été mis en évidence d'impact significatif sur les puits de particuliers,
- des pollutions ponctuelles des remblais par hydrocarbures et arsenic.

3 Définition des scénarii d'étude et schéma conceptuel

3.1 Méthodologie

Pour l'usage futur du site, les modes d'exposition induisant un risque sanitaire (les risques pour la faune, la flore et les bâtiments sont exclus de la présente EDR) ou pour la ressource en eau sont identifiés. Le schéma conceptuel est présenté de façon à visualiser :

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

Le scénario retenu d'utilisation du site est le suivant : terrain utilisé en l'état actuel comme lieu de travail (ateliers et bureaux) pour le personnel de la DDE (adultes). Une grande partie du site est et restera imperméabilisée. Il n'existe pas de sous-sols sur le site. Il n'y a pas de cultures sur le site. Les risques considérés seront ceux liés à une exposition chronique. Ce scénario d'étude a été présenté dans le précédent rapport (R.3850 daté du 17/02/03).

3.2 Identification du terme « source »

Le point source de pollution est constitué par

- les terrains contenant notamment des goudrons,
- la nappe polluée.

3.3 Identification des cibles

Nous ne considérerons que les expositions chroniques.

3.3.1 Sur le site

Les cibles étudiées seront le personnel de la DDE travaillant sur site :

- pour le personnel administratif : 100 % du temps de travail dans les bureaux. Un temps de 30 minutes passées en extérieur est pris en compte, correspondant au temps passé à garer son véhicule par exemple,
- pour le personnel technique : 50% du temps en atelier, 50% en extérieur (nettoyage, chargement...). Un temps de 30 minutes passées en extérieur est pris en compte, correspondant au temps passé à garer son véhicule par exemple.

3.3.2 Hors site

Les cibles étudiées seront :

- les personnes pêchant dans l'Indre. En première approche, les concentrations en polluants dans l'Indre seront estimées,
- les captages d'eau sous influence du site.

3.3.3 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, 1999¹ ou de la base de donnée CIBLEX (ADEME, 2003).

Pour les durées d'exposition, nous avons pris le cas le plus défavorable pour les adultes qui travailleraient pendant 40 ans au même endroit, la variabilité de ces durées d'exposition est de plus en plus importante (une étude a montré que pour une grande part de la population active, le temps moyen dans une même entreprise était de 10 ans), ce paramètre sera discuté dans les incertitudes.

Tableau 5 : Budget espace temps des cibles considérées

| | atelier | bureau |
|---|----------|----------|
| Durée d'exposition (T) | 40 ans | 40 ans |
| Fréquence d'exposition (F1 en jour/an) | 220 j/an | 220 j/an |
| Fréquence en intérieur (F2-int en heure/jour) | 4 h/j | 8 h/j |
| Fréquence en extérieur (F2-ext en heure/jour) | 4,5 h/j | 0,5 h/j |

Les périodes de temps sur lesquelles l'exposition est moyennée (T_m) 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 cancérogènes quelque soit la cible considérée,
- T (correspondant à durée d'exposition) pour les effets toxiques non cancérogènes quelque soit la cible considérée.

Les volumes respiratoires moyens sont pris égaux à 20 m³/jour pour les adultes 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 m³/jour en période active et 17.5 m³/jour en période de sommeil.

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. Les données ayant permis de faire ce choix sont les suivantes :

¹ Enquête sur l'emploi du temps 1998-1999, Paris, INSEE 1999, Division : condition de vie des ménages.

- une moyenne de 62.55 kg pour les adultes (CIBLEX), le minimum et maximum étant respectivement de 42 et 83 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.

3.4 Identification des voies de transfert

Les possibilités de transfert de la pollution sont schématisées sur les figures 9 et 10. Il s'agit de :

- la volatilisation des produits des sols et/ou de la nappe dans l'atmosphère,
- la migration des produits des sols vers les canalisations,
- la migration des produits des sols vers la nappe alluviale et plus profondément la nappe du Trias (migration verticale),
- la migration des produits présents dans la nappe alluviale vers l'Indre (migration latérale),
- la migration des produits présents dans la nappe du Trias vers les captages (migration latérale).

Pour les cibles, les voies d'administration des polluants sont présentées dans les tableaux ci-après.

| Récepteur | Mode d'exposition | Sélection pour l'évaluation | Raison de la sélection ou de l'exclusion |
|---------------------------------|---|-----------------------------|---|
| Adultes travaillant sur le site | Inhalation de polluant sous forme gazeuse | | Sols pollués en surface et nappe polluée |
| | Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières du sol | | Sols pollués en surface et non recouverts intégralement |
| | Inhalation de vapeur d'eau polluée | | Canalisations dans les sols pollués en surface. |
| | Ingestion directe de sol et/ou de poussières | | Sols pollués en surface et non recouverts intégralement |
| | Ingestion d'aliments d'origine végétale cultivés sur le site | Non | Pas de cultures sur site |
| | Ingestion d'aliments d'origine animale à partir d'animaux élevés, chassés ou pêchés sur le site | Non | Pas d'élevage sur le site |
| | Ingestion d'eau contaminée (lors de l'arrosage par exemple) | | Canalisations dans les sols pollués en surface. |
| | Absorption cutanée de sols et/ou de poussières | | Sols pollués en surface et non recouverts intégralement |
| | Absorption cutanée d'eau polluée | | Canalisations dans les sols pollués en surface. |
| | Absorption cutanée de polluant sous forme gazeuse | Non | Négligeable devant les autres voies. |

Tableau 6 : Voies d'exposition étudiées pour les populations fréquentant le site

| Récepteur | Mode d'exposition | Sélection pour l'évaluation | Raison de la sélection ou de l'exclusion |
|-----------|---|-----------------------------|---|
| Pêcheurs | Inhalation de polluant sous forme gazeuse | OUI | Pollution de l'Indre par la pollution du site |
| | Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières du sol | Non | Sols non pollués |
| | Inhalation de vapeur d'eau polluée | OUI | Pollution de l'Indre par la pollution du site |
| | Ingestion directe de sol et/ou de poussières | Non | Sols non pollués |
| | Ingestion d'aliments d'origine végétale cultivés sur le site | Non | Pas de cultures sur site |
| | Ingestion d'aliments d'origine animale à partir d'animaux élevés, chassés ou pêchés sur le site | OUI | Activité de pêche |
| | Ingestion d'eau contaminée (lors de l'arrosage par exemple) | Non | Pas d'ingestion d'eau |
| | Absorption cutanée de sols et/ou de poussières | Non | Sols non pollués |
| | Absorption cutanée d'eau polluée | OUI | Pollution de l'Indre par la pollution du site |
| | Absorption cutanée de polluant sous forme gazeuse | Non | Cette voie est négligeable devant les autres |

Tableau 7 : Voies d'exposition étudiées pour les pêcheurs

| Récepteur | Mode d'exposition | Sélection pour l'évaluation | Raison de la sélection ou de l'exclusion |
|-----------------|---|-----------------------------|---|
| Captages privés | Inhalation de polluant sous forme gazeuse | OUI | Migration de substances à partir du site jusqu'aux captages |
| | Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières du sol | Non | Pas de poussières |
| | Inhalation de vapeur d'eau polluée | OUI | Migration de substances à partir du site jusqu'aux captages |
| | Ingestion directe de sol et/ou de poussières | Non | Pas de sols et poussières |
| | Ingestion d'aliments d'origine végétale cultivés sur le site | OUI | Arrosage des légumes cultivés avec de l'eau polluée |
| | Ingestion d'aliments d'origine animale à partir d'animaux élevés, chassés ou pêchés sur le site | Non | Non concerné |
| | Ingestion d'eau contaminée | OUI | Migration de substances à partir du site jusqu'aux captages |
| | Absorption cutanée de sols et/ou de poussières | Non | Non concerné |
| | Absorption cutanée d'eau polluée | OUI | Migration de substances à partir du site jusqu'aux captages |
| | Absorption cutanée de polluant sous forme gazeuse | Non | Négligeable devant les autres voies. |

Tableau 8 : Voies d'exposition possibles pour les captages

Pour les captages AEP, l'objectif pris en compte est le non-dépassement dans ces ouvrages des CMA¹ pour les substances retenues.

L'ensemble des expositions, par cible, est résumé dans le tableau suivant :

¹ Concentration Maximale Admissible

| Population cible | Source 1 : sols pollués par goudrons | Source 2 : nappe polluée |
|---|--|---|
| <i>Travailleurs sur site – exposition de type chronique</i> | <ul style="list-style-type: none"> - ingestion de sol et de poussières - inhalation de polluant sous forme gazeuse et adsorbé sur les poussières - absorption cutanée de polluant adsorbé sur les sols et poussières et sous forme gazeuse - inhalation, ingestion et contact cutané avec de l'eau polluée (canalisations) | <ul style="list-style-type: none"> - Inhalation de polluant sous forme gazeuse |
| <i>Pêcheurs</i> | Non concernés | <ul style="list-style-type: none"> - inhalation de polluant sous forme gazeuse (rivière polluée) - ingestion de poissons pêchés dans l'Indre - absorption cutanée de polluant sous forme gazeuse (rivière polluée) |
| <i>Captages AEP ou privés</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Migration des polluants des sols vers la nappe | <ul style="list-style-type: none"> - Migration de la pollution de la nappe vers les captages |

Tableau 9 : Synthèse des voies d'exposition et de transfert (schéma conceptuel)

Le schéma conceptuel est synthétisé sur les figures 9 et 10.

4 Evaluation détaillée des risques pour la santé

4.1 Composés à prendre en compte

4.1.1 Sélection

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

- les concentrations mesurées dans les différents milieux (sols et eaux de nappe),
- les concentrations du bruit de fond géochimique si elles sont disponibles (sources : « INRA, 1997, Teneurs en éléments trace métalliques dans les sols », Environmental Health Criteria OMS¹),
- les concentrations maximales admissibles dans les eaux potables (CMA du décret 12-01 ou en l'absence de valeurs, décret 89-3 et les valeurs guides de l'OMS)
- les principales propriétés physico-chimiques des composés : volatilité et solubilité (sources : fiches INERIS², RAIS³),
- la cancérogénicité des produits (CIRC⁴, USEPA⁵, Union Européenne).

Le tableau suivant reprend l'ensemble des éléments de choix des substances.

Remarque : seules les substances mises en évidence au moins 1 fois à des concentrations supérieures aux valeurs de référence sont présentées dans le tableau ci-dessous.

D'après les critères choisis et le tableau suivant, les produits retenus sont, pour l'ensemble des cibles, les produits volatils toxiques présents dans les sols et/ou dans la nappe, c'est à dire :

- le benzène,
- le toluène,
- l'éthylbenzène,
- les xylènes,
- les HAP. Dans un premier temps, au vu des concentrations élevées mesurées, seuls le naphthalène (le plus volatil) et le benzo[a]pyrène (composé de référence pour la toxicologie) sont retenus. Le poids de cette sélection sera évalué dans la discussion sur les incertitudes.

¹ Organisation Mondiale de la Santé

² Institut National de l'Environnement industriel et des Risques

³ Risk Assessment Information System

⁴ Centre International de Recherche sur le Cancer

⁵ United States Environmental Protection Agency

| CARACTERISTIQUES DES POLLUANTS | | CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX | | | | SELECTION ET ARGUMENTAIRE |
|--------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|---|
| | | Concentration maximale mesurée dans les eaux | Valeur de référence dans les eaux (2) | Concentration maximale mesurée dans les sols | Valeur de référence dans les sols (2) | |
| Physico-chimie | Toxicité | µg/l | µg/l | mg/kg MS | mg/kg MS | |
| volatilité | Classes de cancérogénicité (1) | | | | | |
| Ammonium | Non classé | 8130 | 100 | 808 | nd | Non - l'Indre à Montigivray est de mauvaise qualité en ce qui concerne les matières azotées, teneur dans les sols mesurée en profondeur |
| Cyanures | Non classé | 1800 | 50 | 1,1 | nd | Non - teneur faible dans les sols, produit - volatil que ceux retenus |
| Benzène | 1 / 2B | 16 500 | 1 | 271 | nd | Oui, substance volatile > valeurs de référence |
| toluène | 3 / D | 4 600 | 700 | 84 | nd | Oui, substance volatile > valeurs de référence |
| Ethylbenzène | 2B / D | 11 400 | 300 | 882 | Nd | Oui, substance volatile > valeurs de référence |
| xylènes | 3 / D | 6 270 | 500 | 1 117 | Nd | Oui, substance volatile > valeurs de référence |
| Phénol | 3 / D | 3150 | nd | 60,4 | Nd | Non, substance peu volatile |
| Arsenic | 1 / A | 28,9 | 10 | 74 | 1-25 | Non - pas de contact direct possible aux points aux teneurs élevées |
| Cuivre | 3 / D | 9,5 | 2 000 | 65,4 | 2-20 | Non - pas de contact direct possible aux points aux teneurs élevées |
| Naphtalène | 2B / C | 3967 | nd | 2868 | <0,002 | Oui - HAP le plus volatil de la famille, teneurs les + élevées |
| acénaphthylène | - / - | 180 | - | 37 | <0,01 | (5) |
| acénaphthène | - / D | 18 | - | 72 | <0,005 | (5) |
| fluorène | 3 / D | 110 | - | 478 | <0,01 | (5) |
| phénanthrène | 3 / D | 83 | - | 1 102 | <0,01 | (5) |
| anthracène | 3 / D | 17 | - | 423 | <0,01 | (5) |
| fluoranthène | 3 / D | 16 | - | 585 | <0,04 | (5) |
| pyrène | 3 / D | 10,5 | - | 486 | <0,02 | (5) |
| Benzo[a]anthracène | 2A/B2 | 3,2 | - | 245 | <0,02 | (5) |
| chrysène | 3/B2 | 2 | - | 179 | <1 | (5) |

| CARACTERISTIQUES DES POLLUANTS | | CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX | | | | | SELECTION ET ARGUMENTAIRE |
|--------------------------------|------------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|----------|---------------------------|
| Physico-chimie | Toxicité | Concentration maximale mesurée dans les eaux | Valeur de référence dans les eaux (2) | Concentration maximale mesurée dans les sols | Valeur de référence dans les sols (2) | | |
| volatilité | Solubilité | Classes de cancérogénicité (1) | µg/l | µg/l | mg/kg MS | mg/kg MS | |
| -- | -- | 2B/B2 | 1,25 | 0,1 (4) | 144 | <0,1 | |
| -- | -- | 2B/B2 | 0,8 | 0,1 (4) | 91 | <0,05 | |
| -- | -- | 2A/B2 | 1,73 | 0,01 | 196 | <0,002 | |
| -- | -- | 3/D | 0,5 | 0,1 (4) | 70 | <0,07 | |
| -- | -- | 2B/B2 | 0,8 | 0,1 (4) | 180 | <0,015 | |

Tableau 10 : Choix des substances à retenir pour l'EDR

Légende : Volatilité : ++ : P > 10 000 Pa ; + : 10 000 Pa > P > 100 Pa ; - : 100 Pa > P > 1 Pa ; -- : P < 1 Pa ou non déterminée

Solubilité : ++ : S > 1000 mg/l ; + : 1000 > S > 100 ; - : 100 > S > 1 ; -- : S < 1

nd : non mesuré ; nd : non défini

(1) cancérogénicité de l'IARC et US-EPA (voir annexe 10)

(2) définition des valeurs de référence voir paragraphe 4.1.1

(3) pour les formes présentes dans les conditions normales d'oxydo-réduction

(4) valeur définie pour la somme de 4 HAP

(5) en première approche, en raison des teneurs très élevées, seuls les HAP prépondérants sont retenus. Le poids de ce choix sera abordé dans les incertitudes.



4.2 Concentrations retenues

4.2.1 Pour le contact direct

Pour cette voie d'exposition, nous retenons les concentrations mesurées dans les sols en T3 (seul point où les sols ne sont pas recouverts) :

- BaP : 11 mg/kg,
- Naphtalène : 1 mg/kg.

En raison des faibles surfaces non recouvertes, nous ne considérerons pas, dans un premier temps, la voie par inhalation de poussières (négligeable devant les autres voies).

4.2.2 Pour l'inhalation et les canalisations

Les concentrations retenues en fonction des zones d'exposition sont présentées dans le tableau 11 suivant. Nous ne disposons pas de données au droit des bâtiments. Nous avons retenu les teneurs mesurées sur les sondages les plus proches des bâtiments.

Au vu des teneurs très élevées dans les sols, l'impact de la nappe, pour la voie inhalation de vapeurs sur site, sera dans un premier temps considérée comme négligeable par rapport aux sols. Ce point sera vérifié dans l'étude de sensibilité.

| Mode d'exposition | Volatilisation à partir des sols | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|---|
| | Inhalation | | | Inhalation et eau des canalisations |
| Lieu d'exposition | « la chapelle » (intérieur) | Atelier n°1 (intérieur) | Atelier n°2 (intérieur) | extérieur |
| Point de mesure retenu (profondeur) | TM12 (2 m) | TM11 (0 m) | TM4 (1,3 m) | Moyenne sur TM4, S3, TM12, TM11, TM2, S5 (profondeur moyenne : 1,3 m) |
| unité | mg/kg MS | mg/kg MS | mg/kg MS | mg/kg MS |
| benzène | 32 | 0,42 | 11 | 62 |
| Toluène | 84 | 0,65 | 34 | 30 |
| Ethylbenzène | 5,4 | 0,09 | 5,2 | 159 |
| Xylènes | 123 | 1,76 | 87 | 236 |
| Naphtalène | 200 | 41 | 90 | 706 |
| Benzo[a]pyrène | 55 | 150 | 67 | 98 |

Tableau 11 : Concentrations retenues pour les expositions

4.2.3 Relation dose-réponse des polluants retenus pour l'EDR

Les relations dose-réponse des composés présents dans les différents milieux sont données en annexe 10, la cancérogénicité des composés y est détaillée. Les taux d'absorption par voie y sont également détaillés.

Le tableau 10 présente les valeurs toxicologiques retenues (pour les effets toxiques à seuils et pour les effets cancérogènes).

Ces paramètres seront utilisés dans le cadre des calculs des expositions dans les parties suivantes du rapport. Les valeurs toxicologiques retenues sont les suivantes.

| Composé | Effets toxiques à seuil | | | Effets cancérigènes | | |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|---|--|---|
| | RfD mg/kg/j | RfC mg/m ³ | RfD _{cut} mg/kg/j | ERU _o (mg/kg/j) ⁻¹ | ERU _i (µg/m ³) ⁻¹ | ERU _c (mg/kg/j) ⁻¹ |
| benzène | * | 3. 10 ⁻² | * | * | 6. 10 ⁻⁶ | * |
| Toluène | * | 0,26 | * | * | nd | * |
| Ethylbenzène | * | 1 | * | * | nd | * |
| Xylènes | * | 0,1 | * | * | nd | * |
| Naphtalène | 2. 10 ⁻² | 3. 10 ⁻³ | 0,008 | 2. 10 ⁻⁴ | 8,7. 10 ⁻⁵ | 1,1. 10 ⁻⁶ |
| Benzo[a]pyrène | nd | nd | nd | 0,2 | 8,7. 10 ⁻² | 1,1. 10 ⁻³ |

* pour le contact direct, seuls les sols pollués par HAP sont directement accessibles en T3. Par conséquent, l'exposition par contact direct aux BTEX n'est pas étudiée

Tableau 12 : Valeurs toxicologiques retenues

Les caractéristiques physico-chimiques des substances retenues pour l'EDR sont synthétisées en annexe 11.

5 Evaluation des concentrations dans les milieux d'exposition

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

Pour l'évaluation des concentrations d'exposition dans l'air intérieur et dans l'air extérieur des bâtiments, le choix du modèle s'est porté sur le logiciel RISC v 4.0 (octobre 2001). Distribué par Waterloo hydrogeologic, ce logiciel a été développé par Lynn R. Spence et BP oil International.

Ce modèle considère, de manière conservatoire, une source de pollution infinie (absence de dégradation de la source de pollution au cours du temps).

La modélisation des expositions aux vapeurs dans l'air intérieur des bâtiments est conduite sur la base des équations de Johnson & Ettinger (1991). Les équations du modèle sont répertoriées dans la norme ASTM E 1739-95. Elles sont développées en annexe 12 de ce rapport. De manière synthétique, le modèle développé par Johnson et Ettinger repose sur deux processus de transferts des substances volatiles de la source sol vers l'air intérieur des bâtiments ou du sous-sol : la diffusion 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 modélisation des expositions aux vapeurs dans l'air extérieur est conduite sur la base des mesures réalisées dans les sols. La dilution du naphthalène dans l'air extérieur sera calculée grâce à un modèle boîte, utilisé par le logiciel RISC.

Les équations et l'ensemble des paramètres de calcul utilisés sont présentés en annexe 12, rappelons uniquement les paramètres clés suivants :

- les concentrations dans les sols et les eaux sont celles présentées dans le tableau 10 ;
- la porosité du sol a été prise égale à 30% répartie en 20% d'air (V_{air}/V_{sol}) et 10% d'eau (V_{eau}/V_{sol}),
- la perméabilité du sol à l'eau a été prise à 10^{-5} m/s,
- les taux de ventilation des bâtiments ont été pris égaux respectivement à $24j^{-1}$.

Les résultats sont les suivants :

| Lieu d'exposition | intérieur | | | extérieur |
|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | « la chapelle » | Atelier n°1 | Atelier n°2 | |
| unité | $\mu g/m^3$ | | | |
| benzène | 1 120 | 21 | 433 | 10,3 |
| Toluène | 1 250 | 13,9 | 570 | 2,1 |
| Ethylbenzène | 46,5 | 1,2 | 51 | 5,82 |
| Xylènes | 1 390 | 30,2 | 1 130 | 11,1 |
| Naphtalène | 17,8 | 5,9 | 9,3 | 0,2 |
| Benzo[a]pyrène | $7,6 \cdot 10^{-6}$ | $1,1 \cdot 10^{-5}$ | $8 \cdot 10^{-6}$ | $1 \cdot 10^{-8}$ |

Tableau 13 : Concentrations estimées dans l'air intérieur et extérieur

Commentaires sur les résultats

A titre de comparaison, nous reprenons ici des mesures réalisées par l'Observatoire Français de la qualité de l'air intérieur lors d'une campagne en 1999 (CSTB, rapport exécutif QAI, mars 2002) :

| | |
|-------------------------|--------------|
| RPe4864/A.9214/C.302213 | |
| CLe - STr - DV | |
| 02/08/05 | Page : 30/68 |

- 90 % des logements présentent des concentrations en benzène inférieures à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ¹. Les concentrations calculées ici sont nettement supérieures. En extérieur, la concentration calculée est nettement supérieure à la concentration ubiquitaire donnée par l'INERIS ($\approx 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Les concentrations calculées sont aussi nettement supérieures à la valeur guide de l'OMS ($1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$),
- pour le toluène, les valeurs calculées au droit de « la Chapelle » et de l'atelier n°2 sont nettement supérieures à celle issue de l'étude Nedellec ($47 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2001) et à la valeur guide de l'OMS ($260 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La valeur calculée au droit de l'atelier n°1 est inférieure à cette valeur. En extérieur, la concentration calculée est nettement supérieure à la concentration ubiquitaire donnée par l'INERIS ($\approx 0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$),
- pour l'éthylbenzène, les valeurs calculées sont nettement supérieures aux concentrations ubiquitaires données par l'INERIS ($< 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$),
- pour les xylènes, les valeurs calculées au droit de « la Chapelle » et de l'atelier n°2 sont nettement supérieures à la valeur proposée dans le projet européen INDEX ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Les teneurs calculées dans la Chapelle sont supérieures au seuil olfactif ($0,2$ à $1 \text{ mg}/\text{m}^3$),
- pour le naphtalène, les valeurs calculées au droit de « la Chapelle » et de l'atelier n°2 sont supérieures ou de l'ordre de la valeur proposée dans le projet européen INDEX ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En extérieur, la valeur calculée est inférieure à la concentration ubiquitaire donnée par l'INERIS,
- pour le BaP, les concentrations calculées sont inférieures à la valeur guide de l'OMS ($1,2 \cdot 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^3$).

5.2 Pour les 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 12. Les concentrations dans les sols prises en compte sont présentées dans le tableau 11 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 13 sont synthétisées dans le tableau suivant.

¹ D'autres études présentées dans l'« Inventaire des données françaises relatives à la qualité de l'air intérieur », Nedellec, 2001 montrent des valeurs moyennes de concentrations en benzène de $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et en toluène de $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$

| | Concentration dans l'eau du sol considérée | Concentration dans l'eau des canalisations | CMA |
|----------------|---|---|--------|
| | (µg/l) | (µg/l) | (µg/l) |
| Benzène | 91 800 | 282 | 1 |
| Toluène | 15 900 | 42 | 700 |
| Ethylbenzène | 43 000 | 198 | 300 |
| Xylènes | 94 700 | 333 | 500 |
| Naphtalène | 31 000 | 34 | 60 * |
| Benzo(a)pyrène | 1,62 | 0,0007 | 0.01 |

* Il n'existe pas de valeur de potabilité française pour le naphtalène. On peut établir une valeur de référence pour les effets à seuils en se basant sur la méthodologie de l'OMS, c'est-à-dire en considérant que l'ingestion d'eau constitue 10 % de la dose reçue pour un adulte de 60 kg consommant 2 litres d'eau par jour. La valeur alors obtenue est de 0,06 mg/l. Cette valeur est dérivée de la valeur de RfD proposée par l'USEPA. Cette valeur a été définie par l'USEPA à partir d'un NOAEL défini à partir d'une étude sur des rats gavés au naphtalène (exposition sub-chronique) auquel un facteur d'incertitude de 3000 a été appliqué (10 pour le passage de l'animal à l'homme, 10 pour prendre en compte la sensibilité de certaines populations au naphtalène, 10 pour le passage sub-chronique à chronique, 3 pour le manque d'études en exposition chronique).

Tableau 14 : Concentrations dans l'eau des canalisations

On voit que les teneurs calculées dans l'eau des canalisations sont nettement supérieures à la CMA pour le benzène.

De telles teneurs ne sont pas acceptables en l'état.

5.3 Dans la rivière l'Indre

Les concentrations en polluants dans l'Indre ont été estimées en considérant la dilution de ces teneurs dans l'Indre.

Le débit d'eau polluée en provenance du site et se diluant dans l'Indre a été estimé à l'aide de la formule de Darcy :

$$Q = k \times S \times i$$

Avec :
 Q : débit en provenance du site et arrivant dans l'Indre (m³/s)
 k : perméabilité des terrains (m/s)
 S : surface de la section traversée par ce débit (m²)
 i : gradient hydraulique (-)

La surface de la section a été calculée en considérant une hauteur d'alluvions mouillées de 4 mètres et une largeur de la zone polluée de 15 mètres (soit une section de 60 m²). La perméabilité a été prise à 10⁻⁴ m/s. le gradient hydraulique a été calculé à partir des données piézométriques de Pz2 et Pz3. La valeur obtenue est de 3,7 %. Le débit traversier ainsi obtenu est de 2,2. 10⁻⁴ m³/s.

Le module inter annuel en moyennes eaux de l'Indre est de 5,39 m³/s. Le facteur de dilution des eaux polluées en provenance du site dans l'Indre est de 24 500 (Q_{Indre} / Q_{venant du site}). Les concentrations ainsi estimées dans l'Indre sont présentées ci-dessous :

| substances | Conc. eaux souterraines au droit du site ($\mu\text{g/l}$) | Conc. dans l'Indre après dilution (facteur 24 500) ($\mu\text{g/l}$) | CMA ($\mu\text{g/l}$) | Conc. ubiquitaires dans les eaux de surface définies par l'INERIS ($\mu\text{g/l}$) |
|----------------|--|--|-------------------------|---|
| benzène | 5500 | 0,022 | 1 | < 1 |
| Toluène | 4600 | 0,19 | 700 | nd |
| Ethylbenzène | 15 | $6 \cdot 10^{-4}$ | 300 | <0,1 |
| Xylènes | 2730 | 0,11 | 500 | <0,1 |
| Naphtalène | 3000 | 0,12 | 60 | < 0,01 |
| Benzo[a]pyrène | 0,81 | $3,3 \cdot 10^{-5}$ | 0,01 | $\approx 0,001$ |

Tableau 15 : Concentrations estimées dans l'Indre

On voit donc que les concentrations estimées dans l'Indre sont très inférieures aux CMA. Elles sont aussi inférieures aux concentrations ubiquitaires données par l'INERIS, à l'exception du naphtalène (présent à l'état de traces).

En période d'étiage ($Q_{MNA5} = 0,873 \text{ m}^3/\text{s}$), la dilution serait alors d'un facteur 3 900. La concentration en benzène pourrait dépasser la CMA dans la rivière. En cas d'étiage sévère, l'impact serait encore plus important. De plus, ces considérations ne concernent que le transport en phase dissoute. Or il existe aussi une phase flottante au droit du site. Le transfert de celle-ci vers la rivière est difficile à caractériser mais probable en raison de la proximité entre le piézomètre sur lequel de telles observations ont été réalisées et l'Indre. Par ailleurs, il nous a été signalé lors de notre visite du site le 20/11/01 qu'en période d'été des odeurs de bitume et des irisations sur l'Indre sont parfois observées.

Malgré les teneurs faibles estimées dans l'Indre en période normale, les teneurs estimées en cas d'étiage et les observations indiquant un possible transfert de phase flottante du site vers l'Indre conduisent à considérer qu'il existe un impact avéré du site sur l'Indre. Cet impact est difficile à quantifier.

5.4 Dans la nappe alluviale

Il a été mis en évidence une pollution importante en HAP (jusque $3\,000 \mu\text{g/l}$ pour le naphtalène) et BTEX (jusque $5\,500 \mu\text{g/l}$ pour le benzène) de la nappe alluviale (située vers 2-3 mètres de profondeur). Ces teneurs ont été mesurées en Pz1, piézomètre le plus proche des puits de particuliers et sont associées à la présence de phase pure flottante sur la nappe.

En condition normale d'écoulement, les puits de particuliers sont situés en aval hydraulique par rapport au site ; les concentrations mesurées en 2004 sur les puits P2 et P3 viennent confirmer l'absence de migration¹ de la pollution vers ces ouvrages en condition normale et actuelle de sollicitation de la nappe. Ainsi, dans les conditions actuelles d'exploitation de la nappe, le site n'apparaît pas avoir d'impact sur ces puits.

Néanmoins, la modification du régime de prélèvement sur ces ouvrages pourrait modifier le sens d'écoulement et entraîner une augmentation notable des concentrations en BTEX et HAP qui viendraient rendre les usages (arrosage du potager) potentiellement inacceptables.

Ces éléments nous conduisent à conclure que :

- dans les conditions actuelles de sollicitation de la nappe (faibles), les risques induits par le site sur les usages actuels de la nappe alluviale sont négligeables compte tenu des écoulements mettant en évidence un drainage de la nappe par l'Indre²,

¹ Les traces de HAP mesurées peuvent provenir de la diffusion-dispersion de la pollution. Cependant, ces concentrations sont sans impact sanitaire.

² Notons cependant qu'une seule campagne (datée du 22/09/04) a été réalisée sur ces ouvrages en période intermédiaire.

- cependant, toute augmentation des prélèvements dans la nappe alluviale sur des puits proches du site pourrait conduire à une augmentation des concentrations dans ces ouvrages entraînant un risque sanitaire pour la consommation de végétaux arrosés avec cette eau.

Nous recommandons donc d'informer le voisinage et de dépolluer la nappe au droit du site dans le secteur de Pz1 si la restriction des usages ne peut être faite.

5.5 Dans la nappe des sables du Trias

La pollution au droit du site est présente en grande majorité dans la nappe alluviale et jusqu'à une quinzaine de mètres de profondeur. Le piézomètre Pz4 réalisé afin d'apprécier la migration verticale de la pollution a montré un abattement entre la nappe alluviale et les eaux contenues dans les 15 premiers mètres au toit du Trias d'un facteur de l'ordre de 100 pour le benzène et supérieur à 1000 pour les autres substances.

La pollution date vraisemblablement d'avant les années 30, c'est-à-dire il y a au moins 70 ans (date du milieu de l'exploitation).

La prise en compte de la transmissivité mesurée de l'ordre de $4,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ et d'une épaisseur sollicitée de 15 mètres donne une perméabilité de $3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. Les vitesses de migration verticale de la pollution qui sont fonction du gradient hydraulique (i) seraient comprises entre 0,1 et 1 m/an (avec $i = 10^{-3}$ ou 10^{-2})¹. Ainsi, avec différentes hypothèses de perméabilité et de gradient, le temps d'arrivée d'une pollution aux puits MOULIN RICHARD n°1 et 2, si ceux-ci étaient situés en aval hydraulique, serait supérieur à 70 ans, date approximative de la pollution.

De ce fait, la non mise en évidence de pollution sur les captages en 2004 ne suffit pas à garantir l'absence d'impact à long terme du site sur ces ouvrages.

Les débits captés par les ouvrages MOULIN RICHARD n°1 et 2 associés à la pluie utile de l'ordre de 7 l/s/km^2 permettent d'estimer le bassin versant sollicité par ces ouvrages ; de l'ordre de 500 m^2 pour MOULIN RICHARD n°1 et du km^2 pour MOULIN RICHARD n°2.

Compte tenu de leurs positions, soit dans une autre vallée que celle de l'Indre, soit à flanc de coteau en rive droite de l'Indre, il est peu probable que la zone d'alimentation de ces ouvrages se propage jusqu'au site de l'ancienne usine à gaz.

Par ailleurs, l'abattement des concentrations au droit du site entre la nappe alluviale et les eaux de la partie supérieure du Trias montrent que seul le benzène est susceptible de poser problème pour le captage des eaux dans cette frange de l'aquifère. En effet, les autres substances sont présentes à des concentrations inférieures au seuil de détection ou aux CMA.

Un calcul simple de propagation de la pollution² en considérant une perméabilité de 10^{-5} m/s , un gradient hydraulique de 0,01, une pollution s'étendant sur 15 mètres de profondeur dans la nappe du Trias sur une surface de 100 m^2 et une dégradation du benzène (taux de dégradation de $9,6 \cdot 10^{-4} / \text{j}$) donne une concentration en benzène, après plusieurs dizaines d'années, de $0,03 \text{ } \mu\text{g/l}$ (concentration stabilisée) au captage MOULIN RICHARD n°1 (à 250 mètres du site, considéré pour ce calcul majorant directement en aval).

Bien que les incertitudes sur de tels calculs soient importantes, compte tenu de l'ensemble des éléments mentionnés ci-dessus, nous considérons que la pollution présente au droit de l'ancienne usine à gaz n'aura par d'impact sur les ouvrages AEP du secteur.

¹ Calculé sur la base de la différence de niveaux entre le site et le puits MOULIN RICHARD n°1 (environ 2,5 mètres) et la distance entre le site et ce puits (250 mètres), soit $i = 10^{-2}$

² L'équation utilisée pour calculer la concentration dans l'eau souterraine à une certaine distance de la source est l'équation du modèle de Domenico, 1987 (équation d'advection-dispersion). Le modèle RISC version 4.0 (octobre 2001), distribué par Waterloo hydrogeologic et développé par Lynn R. Spencer et BP oil International, a été utilisé.

6 Méthodologie de calcul des risques

La méthodologie adoptée est celle préconisée par le guide EDR du MEDD.

L'évaluation du risque nécessite la prise en compte simultanée d'expositions par différentes voies et concerne l'ensemble des substances pour lesquelles on considèrera ici l'additivité des risques.

6.1 Estimation du risque pour les substances sans effet de seuil

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

$$\text{ERI (inh}^\circ) = \text{CI} \times \text{ERUI}$$

$$\text{ERI (ing}^\circ) = \text{DJE (ing}^\circ) \times \text{ERUo}$$

$$\text{ERI (cutané)} = \text{DJE (cutané)} \times \text{ERUC}$$

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 risques liés aux différentes durées d'exposition pouvant concerner un individu.

Par exemple, l'excès de risque individuel par ingestion et contact cutané de sols est :

$$\text{ERI} = \sum_{i=1}^n (\text{ERI}_{i, \text{ING}} + \text{ERI}_{i, \text{CUT}}), \text{ avec } n \text{ substances sélectionnées.}$$

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.

6.2 Estimation du risque pour les substances à effet de seuil

On définit un indice de risque (IR) pour chaque voie d'exposition de la manière suivante :

$$\text{IR}_{i, \text{ING}} = \frac{\text{DJE}_{i, \text{ING}}}{\text{RfDi}} \dots \text{et} \dots \text{IR}_{i, \text{INH}} = \frac{\text{CI}_{i, \text{INH}}}{\text{RfCi}}$$

En première approche, on sommera les indices de risque liés aux différentes voies d'administration du polluant, aux différentes substances et aux différentes durées d'exposition. Par exemple, l'indice de risque par ingestion et contact cutané de sol et/ou de poussières est :

$$\text{IR} = \sum_{i=1}^n (\text{IR}_{i, \text{ING}} + \text{IR}_{i, \text{CUT}}), \text{ avec } n \text{ substances sélectionnées.}$$

La somme des IR doit être inférieure à 1. 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.

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.

6.3 Résultats des calculs de risques

Les indices de risques et excès de risques individuels sont présentés dans le tableau 15 ci-dessous. Le détail des calculs est présenté en annexe 13.

6.3.1 Atelier n°1

| | Atelier n°1 | | | |
|---------------------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| | Indice de risques (IR) | composés tirant le risque: | Excès de risque individuel (ERI) | composés tirant le risque: |
| Inhalation de gaz (intérieur) | 0,305 | naphtalène | $7,6 \cdot 10^{-6}$ | benzène |
| Inhalation de gaz (extérieur) | 0,06 | Benzène, xylènes | $4 \cdot 10^{-6}$ | benzène |
| Contact cutané (extérieur) | $1,3 \cdot 10^{-5}$ | Naphtalène | $3,3 \cdot 10^{-7}$ | BaP |
| Ingestion de sols (extérieur) | $3,1 \cdot 10^{-6}$ | Naphtalène | $7,9 \cdot 10^{-8}$ | BaP |
| TOTAL pour l'atelier n°1 | 0,31 | | $1,2 \cdot 10^{-5}$ | |

Tableau 16 : Risques sanitaires pour les usagers de l'atelier n°1

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre de l'utilisation en l'état de l'atelier n°1 en prenant les concentrations correspondant au maximum dans les sols à proximité, et avec les hypothèses retenues, les risques sanitaires seraient inacceptables pour les effets cancérogènes pour le personnel technique (présent 4 heures par jour en intérieur et 4 heures par jour en extérieur).

Pour les effets non cancérogènes, les indices de risques seraient de l'ordre de 0.31 pour le personnel technique. Cet IR est inférieur à la valeur considérée comme acceptable (IR=1).

Pour les effets cancérogènes, les excès de risques individuels sont de l'ordre de $1.2 \cdot 10^{-5}$ au maximum pour les adultes. Cet ERI est supérieur à l'excès de risque considéré comme acceptable (ERI= 10^{-5} , circulaire du 10/12/99).

6.3.2 Atelier n°2

| | Atelier n°2 | | | |
|---------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| | Indice de risques (IR) | composés tirant le risque | Excès de risque individuel (ERI) | composés tirant le risque |
| Inhalation de gaz (intérieur) | 3,12 | Benzène, xylènes | $1,5 \cdot 10^{-4}$ | benzène |
| Inhalation de gaz (extérieur) | 0,06 | Benzène, xylènes | $4 \cdot 10^{-6}$ | benzène |
| Contact cutané (extérieur) | $1,3 \cdot 10^{-5}$ | Naphtalène | $3,3 \cdot 10^{-7}$ | BaP |
| Ingestion de sols (extérieur) | $3,1 \cdot 10^{-6}$ | Naphtalène | $7,9 \cdot 10^{-8}$ | BaP |
| TOTAL pour l'atelier n°2 | 3,18 | | $1,5 \cdot 10^{-4}$ | |

Tableau 17 : Risques sanitaires pour les usagers de l'atelier n°2

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre de l'utilisation en l'état de l'atelier n°2 en prenant les concentrations correspondant au maximum dans les sols à proximité, et avec les hypothèses retenues, les risques sanitaires seraient inacceptables tant pour les effets non cancérogènes que pour les effets cancérogènes pour le personnel technique (présent 4 heures par jour en intérieur et 4 heures par jour en extérieur).

Pour les effets non cancérogènes, les indices de risques seraient de l'ordre de 3,2 pour le personnel technique. Cet IR est supérieur à la valeur considérée comme acceptable (IR=1).

Pour les effets cancérogènes, les excès de risques individuels sont de l'ordre de $1,5 \cdot 10^{-4}$ au maximum pour les adultes. Cet ERI est supérieur à l'excès de risque considéré comme acceptable (ERI= 10^{-5} , circulaire du 10/12/99).

6.3.3 La Chapelle

| | La Chapelle | | | |
|-------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| | Indice de risques (IR) | composés tirant le risque | Excès de risque individuel (ERI) | composés tirant le risque |
| Inhalation de gaz (Intérieur) | 6,24 | Benzène, xylènes | $3,9 \cdot 10^{-4}$ | benzène |
| Inhalation de gaz (extérieur) | 0,007 | Benzène, xylènes | $4,5 \cdot 10^{-7}$ | benzène |
| TOTAL pour la Chapelle | 6,25 | | $3,9 \cdot 10^{-4}$ | |

Tableau 18 : Risques sanitaires pour les usagers de la Chapelle

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre de l'utilisation en l'état de la Chapelle en prenant les concentrations correspondant au maximum dans les sols à proximité, et avec les hypothèses retenues, les risques sanitaires seraient inacceptables tant pour les effets non cancérogènes que pour les effets cancérogènes pour le personnel administratif (présent 8 heures par jour en intérieur et 0,5 heure par jour en extérieur).

Pour les effets non cancérigènes, les indices de risques seraient de l'ordre de 6,2 pour le personnel administratif. Cet IR est supérieur à la valeur considérée comme acceptable (IR=1).

Pour les effets cancérigènes, les excès de risques individuels sont de l'ordre de $3,9 \cdot 10^{-4}$ au maximum pour les adultes. Cet ERI est supérieur à l'excès de risque considéré comme acceptable (ERI= 10^{-5} , circulaire du 10/12/99).

7 Evaluation des incertitudes

Comme le risque est tiré par le benzène, les xylènes et le naphtalène, la discussion sur les incertitudes porte principalement sur ces points et le choix de certaines hypothèses. Cette discussion vise à évaluer le poids du choix de certaines hypothèses sur les conclusions.

7.1 Concentrations et produits sélectionnés

7.1.1 Concentrations dans les sols

Concernant la « chapelle », les concentrations retenues sont celles mesurées sur le sondage TM12 situé à proximité immédiate du bâtiment. Les sondages S6 et TM1 situés à 5 mètres au sud du bâtiment ne présentent pas de pollution. Il existe donc une incertitude quant à la représentativité des concentrations retenues. La « chapelle » est un bâtiment datant de l'usine à gaz. Il est possible qu'il n'y ait pas eu de stockages au droit de ce bâtiment et que les teneurs en polluants soient plus faibles que celles mesurées en TM12. Seuls des sondages au droit du bâtiment (ou des mesures d'air) permettraient de vérifier ce point.

Les concentrations retenues sont celles mesurées à 2 mètres de profondeur car ce sont les plus élevées. Les teneurs entre 0,4 et 1,5 mètres de profondeur (plus superficielles) n'ont pas été prises en compte. Leur prise en compte viendrait renforcer les conclusions concernant le bâtiment « la Chapelle » (risques inacceptables).

Concernant l'atelier n°1, les concentrations retenues sont celles mesurées en TM11 de 0 à 0,7 mètres. Elles ont été privilégiées à celles mesurées en S4 entre 3 et 3,9 mètres de profondeur. Si les concentrations mesurées en S4 à 3 mètres de profondeur sont prises en compte, l'IR alors recalculé en ne prenant en compte que le naphtalène est légèrement inférieur à 1. Concernant les effets cancérigènes, les conclusions seraient renforcées puisque l'ERI serait supérieur à 10^{-5} . Ces deux sondages sont situés de part et d'autre du bâtiment. Par conséquent, le choix de la concentration retenue n'a pas d'impact sur les conclusions de l'EDR pour l'atelier n°1.

Concernant l'atelier n°2, les concentrations retenues sont celles mesurées en TM4 situé à proximité immédiate du bâtiment. Les sondages S1, TM3 et TM7 situés au nord et à l'ouest du bâtiment ne présentent pas de pollution. Par conséquent, il subsiste une incertitude quant à l'extension de la zone polluée sous le bâtiment. Cependant, en raison de l'historique (zone d'épuration), en l'absence de données complémentaires au droit de l'atelier, il apparaît justifié, au moins pour la moitié est du bâtiment, de retenir les concentrations mesurées en TM4. Seuls des sondages au droit du bâtiment (ou des mesures d'air) permettraient de vérifier ce point.

En extérieur et pour les canalisations, en raison de l'exposition sur l'ensemble de la zone, il est justifié de retenir la moyenne. Rappelons que les conclusions s'appliquent à la moitié nord (zone polluée).

Pour le contact direct, en l'absence de données complémentaires sur les sols de surface, il est justifié de retenir les mesures réalisées en T3.

En conclusion, le choix de retenir les teneurs moyennes définies zone par zone pour l'estimation des risques sanitaires n'est pas de nature à remettre en cause les conclusions de l'EDR. Il existe une incertitude sur la représentativité exacte de ces moyennes puisqu'elles ont été calculées à partir de mesures à différentes profondeurs. Cependant, au vu des résultats de l'EDR (risques nettement inacceptables), cette incertitude n'est pas de nature à modifier les conclusions de l'étude. Concernant, les risques liés au contact direct, au vu de l'état actuel du site (presque entièrement recouvert), ceux-ci ne constituent pas une voie prépondérante. Ce point pourrait être modifié dans le cas où les surfaces mises à nu sont augmentées.

7.1.2 Concentrations dans l'air du sol

Les BTEX et HAP n'ont pas été recherchés dans l'air du sol. Or ces produits tirent le risque. 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*.

Les concentrations de gaz et vapeurs dans l'air du sol ont été évaluées par modélisation (équation du logiciel RISC 4.0) en utilisant une équation fondée sur l'équilibre thermodynamique entre les phases (phase organique / phase aqueuse / phase gazeuse / phase absorbée sur les particules sol). Ainsi, le logiciel RISC considère que l'équilibre des phases se met en place de manière instantanée. La non prise en compte de la cinétique de cette réaction physico-chimique induit une sur-estimation de la concentration dans l'air du sol et donc une majoration du flux de substances volatiles et des risques calculés. Par ailleurs, le logiciel ne prend pas en compte les hétérogénéités spatiales du milieu poreux et de la pollution, ce qui sur-estime également les concentrations calculées.

La réalisation de prélèvements d'air du sol permettrait de lever l'incertitude pesant sur l'évaluation du risque au droit des bâtiments.

7.1.3 Concentrations dans la nappe

Seuls les sols ont été pris en compte, l'influence de la nappe ayant été considérée comme négligeable par rapport à celle des sols. La nappe superficielle apparaît fortement polluée essentiellement dans le tiers nord-est.

La prise en compte des solubilités (en raison de la présence de flottant) pour le benzène et, les xylènes et de la teneur mesurée en Pz1 pour le naphthalène dans la nappe conduit à des risques acceptables (IR = 0,001, ERI = $6 \cdot 10^{-8}$). Par conséquent, le choix de ne pas considérer la nappe ne modifie pas les conclusions de l'EDR pour les travailleurs sur site.

Par conséquent, dans le cas d'une purge des sols pollués jusqu'à la nappe, les risques seraient acceptables sur l'ensemble du site.

7.1.4 Produits pris en compte

Malgré les teneurs élevées en HAP, seuls deux d'entre eux (naphthalène et BaP) ont été retenus pour les calculs. La prise en compte de composés HAP supplémentaires ne ferait que confirmer la présence de risques inacceptables (ateliers n°1 et 2, « la Chapelle »).

En extérieur, pour l'inhalation, la prise en compte de l'ensemble des composés HAP ne modifie pas significativement l'ERI (augmentation de $0,01 \cdot 10^{-6}$). Par conséquent, l'hypothèse retenue ne modifie pas les conclusions de l'EDR pour l'inhalation en extérieur.

En extérieur, pour le contact direct (contact cutané), la prise en compte de l'ensemble des composés HAP détectés en T3 conduit à des risques acceptables (IR = $8 \cdot 10^{-4}$, ERI = $5,4 \cdot 10^{-7}$). Par conséquent, l'hypothèse retenue ne modifie pas les conclusions de l'EDR pour le contact direct en extérieur, toutes choses étant égales par ailleurs.

7.2 Toxicité des composés

Les Hydrocarbures aromatiques polycycliques

Pour une exposition par voie orale à un mélange de HAPs, nous avons suivi la proposition de l'INERIS [INERIS. « Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) Evaluation de la relation dose réponse pour des effets cancérogènes : Approche substance par substance : FET) et approche par mélange. » Rapport final, 18 décembre 2003] qui 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 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, les plus prudents parmi ceux existant dans la littérature sont considérés comme valables aussi bien pour la voie orale que la voie inhalation.

Concernant les ERUo et ERUj retenus, nous avons également suivi le document de synthèse de l'INERIS qui s'appuie sur l'avis de l'AFSSA (2003) et propose de retenir l'ERUo établi par le RIVM de $0,2 \text{ (mg/kg/j)}^{-1}$. L'étude critique choisie par le RIVM est de bonne qualité et le modèle mathématique utilisé est bien adapté.

Le benzène

La VTR retenue pour les risques chroniques non cancérogènes par inhalation est la valeur de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ établie par l'USEPA (2003). Cette valeur est retenue car elle est relative aux effets toxiques non cancérogènes 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 ; elle est jugée plus pertinente que la valeur plus faible de l'ATSDR, dérivée à partir d'effets sur le SNC chez la souris et que la valeur de l'OEHA dont le facteur de sécurité paraît faible.

La VTR retenue pour les risques chroniques cancérogènes par inhalation est celle de l'OMS correspondant à un ERUj de $6.10^{-6} \text{ (}\mu\text{g}/\text{m}^3\text{)}^{-1}$ car cette valeur a été retenue au sein de l'Union Européenne et par voie de conséquence 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 $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ valeur considérée par le CSHPF comme non différente de la concentration de $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans l'air ambiant, susceptible de conduire à une probabilité d'excès de risque 1.10^{-5} .

Les xylènes

La VTR retenue pour l'exposition chronique par inhalation aux xylènes est la RfC établie par l'US EPA (2003), soit $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ qui correspond aux effets psycho-moteurs attribués généralement aux xylènes.

7.3 Caractéristiques des cibles : temps d'exposition

Nous avons considéré une exposition dans les bâtiments (ateliers, chapelle) de 4 à 8 heures/jour, 220 jours/an pendant 40 ans en raison du réaménagement du site à terme en bureaux. Il est indiqué sur certains plans que « la Chapelle » est actuellement utilisée comme vestiaires et magasin. Il est possible que le personnel actuel de la DDE ne passe pas 8 heures/jour dans ce local. Si on considère que le personnel ne passe qu'une heure par jour dans ces locaux, ceci revient à diviser par 8 les niveaux de risques précédemment calculés. En prenant en compte un temps d'exposition plus faible, les risques cancérogènes restent inacceptables dans ce bâtiment.

En extérieur, pour l'exposition par inhalation, la prise en compte d'un temps d'exposition de 8 heures/jour, 220 jours/an pendant 40 ans conduirait à des risques qui resteraient acceptables.

Si, à terme, le site est réaménagé en bureaux, l'exposition en extérieur serait bien plus faible (de l'ordre de la demi-heure par jour). Par contre, les temps passés dans des bâtiments implantés au droit des ateliers 1 et 2 seraient deux fois plus importants (8 h/j) et les risques inacceptables pour un tel aménagement.

Pour le contact direct, comme cette voie ne peut être exclue en l'état actuel de l'aménagement du site, il apparaît raisonnable de conserver les temps d'exposition retenus.

7.4 Caractéristiques des bâtiments

Flux diffusif - Porosité du béton

L'utilisation d'un béton de haute qualité (porosité de 8 %) ou la prise en compte du vieillissement du béton et d'un dallage moins épais (augmentation de la porosité à 25 %, épaisseur du dallage de 10 cm) ne modifie pas sensiblement les concentrations en polluants dans les bâtiments.

Flux convectif

Les calculs de concentrations dans l'air intérieur combinent les flux diffusifs (liés à la porosité) et les flux convectifs (liés à la fissuration et à la dépression). Les conditions de simulations retenues donnent une part du flux diffusif entre 0,05 et 0,4 % du flux total. Par conséquent, le risque est tiré par le flux convectif.

Différence de pression entre air du sol et air intérieur

La différence de pression retenue entre l'air du sol et l'air des bâtiments est de 4 Pa (valeur conservatoire d'après Johnson et Ettinger) et joue un rôle dans le transport convectif de la pollution vers l'air des bâtiments.

La valeur par défaut proposée par le logiciel RISC est de 1 Pa. La prise en compte d'un tel ΔP conduit à une exposition diminuée d'un facteur de l'ordre de 4. Les risques alors recalculés restent inacceptables pour les cibles exposées en intérieur dans le bâtiment « la Chapelle » et l'atelier n°2. Par contre, au niveau de l'atelier n°1, les risques deviendraient acceptables ($ERI = 7 \cdot 10^{-6}$). En l'état actuel du site, ce bâtiment est peu isolé et cette valeur peut être retenue. Par contre, dans le cas d'aménagement de bureaux au droit de l'atelier n°1, comme cette valeur ne peut être déterminée avec précision, en l'absence de mesures particulières, le risque resterait inacceptable.

Ce choix de la différence de pression ne remet pas en cause les conclusions de l'EDR pour l'intérieur au droit des bâtiments « chapelle » et atelier n°2. Par contre, pour l'atelier n°1 utilisé en l'état, le risque serait acceptable.

Perméabilité des sols

La perméabilité intrinsèque retenue pour le calcul, estimée à partir des valeurs généralement rencontrées dans les alluvions modernes ou remblais, est de 10^{-8} cm^2 (correspondant à une perméabilité à l'eau de 10^{-5} m/s). Des variations de cette perméabilité peuvent exister dans l'espace. L'essai de pompage réalisé en Pz2 montre que la perméabilité à l'eau des alluvions peut être plus élevée (10^{-4} m/s) que celle retenue. La prise en compte d'une perméabilité à l'eau plus élevée (10^{-4} m/s , correspondant à une perméabilité intrinsèque de 10^{-7} cm^2) conduit à des expositions augmentées d'un facteur de l'ordre de 10. Ainsi, la prise en compte d'une perméabilité des terrains plus élevée conduit à renforcer les conclusions concernant l'intérieur des bâtiments, c'est à dire la mise en évidence d'un risque inacceptable.

En cas de mise en place d'une géomembrane ou d'une couche d'argile de perméabilité très faible, de l'ordre de 10^{-8} m/s , le flux est uniquement diffusif et donc beaucoup plus faible (de l'ordre de 0,05 à 0,4 % du flux total calculé). Dans ce cas, les risques deviennent acceptables.

Ventilation du bâtiment

Le taux de ventilation des bâtiments constitue également un paramètre qui joue directement sur les concentrations dans l'air. Plus le taux de ventilation est important, plus les concentrations sont faibles. Le taux de ventilation retenu est de 12 j^{-1} , la littérature indique des taux de ventilation variant de $0,72$ à $177,6 \text{ j}^{-1}$.

La prise en compte d'un taux de ventilation de 180 j^{-1} conduit :

- dans la Chapelle à un IR de 0,8 et un ERI de $5 \cdot 10^{-5}$, soit des niveaux de risque restant inacceptables,
- dans l'atelier n°2 à un IR de 0,4 et un ERI de $2 \cdot 10^{-5}$ soit des niveaux de risque restant inacceptables (ou de l'ordre de grandeur des valeurs considérées comme inacceptables).

Concernant l'atelier n°1 utilisé en l'état, un taux de ventilation de 35 j^{-1} permettrait d'avoir des risques acceptables. En raison des grandes ouvertures, ce taux apparaît réaliste. Par conséquent, le risque peut être considéré comme acceptable au droit de l'atelier n°1 utilisé en l'état.

Si l'atelier n°1 était réaménagé en bureaux, la ventilation devrait être augmentée (40 j^{-1}).

Par conséquent, augmenter le débit de ventilation n'apparaît pas comme un moyen efficace de gérer le risque pour les bâtiments « la Chapelle » et l'atelier n°2. Par contre, il permet d'atteindre des niveaux de risques acceptables au droit de l'atelier n°1 utilisé en l'état ainsi que dans le cas d'un réaménagement en bureaux (taux minimal de 40 j^{-1}).

Taille de la pièce

La pièce considérée correspond à la taille des bâtiments actuellement présents sur site (surface 100 m^2 , hauteur 2,5 mètres). Il est prévu de réaménager ces ateliers en bureaux. Nous envisageons le cas d'une pièce de 30 m^2 . L'exposition est dans ce cas environ 20-25 % plus élevée. Ceci conduit à renforcer les conclusions de l'EDR en intérieur.

7.5 Caractéristiques des sols

Porosité des sols

La porosité des sols retenue est de 30%. La prise en compte d'une porosité de 40 % conduit à augmenter les expositions de 20 à 30% et à renforcer les conclusions de l'EDR. La prise en compte d'une porosité de 20% conduit à réduire les expositions d'un facteur de l'ordre de 2. Ce choix de valeur de la porosité ne remet pas en cause les conclusions de l'EDR.

Fraction organique des sols

La fraction organique des sols retenue est de 1 %. La prise en compte d'une teneur élevée (5 %) conduit à réduire les expositions d'un facteur de l'ordre de 4. L'IR et l'ERI ainsi calculés en intérieur restent nettement supérieurs aux valeurs considérées comme acceptables pour l'atelier n°2 et « la Chapelle ». Par contre, les risques seraient acceptables au droit de l'atelier n°1.

7.6 Choix du modèle

Compte tenu de la non prise en compte des phénomènes de convection par HESP et de la perméabilité relativement importante des terrains de surface, le choix de prendre RISC, modèle prenant en compte et la convection et la diffusion, est fondé.

La modélisation réalisée considère une source infinie de polluants dans les sols, les flux et concentrations calculées dans l'air intérieur sont donc des concentrations stables ne prenant pas en compte la disparition du terme source par les flux vers les bâtiments ou l'air extérieur. Comme les risques non cancérigènes sont inacceptables pour les bâtiments « la Chapelle » et atelier n°2, ceci ne modifie pas les conclusions de l'EDR. Concernant l'atelier n°1 pour lequel l'ERI est légèrement supérieur à la valeur considérée comme acceptable, ceci conduit à réduire les expositions et conduit à un risque acceptable (site dépollué au bout de 20 ans).

Nous rappelons que les teneurs calculées en xylènes dans le bâtiment « la Chapelle » seraient supérieures au seuil olfactif. La validité de ce calcul pourrait être croisée avec les observations du personnel travaillant actuellement sur site (présence d'odeurs ou non).

Concernant les teneurs estimées dans les canalisations, si des canalisations existent actuellement sur le site et passent au droit de la zone polluée, un prélèvement et analyse de cette eau permettrait de valider (ou non) ce calcul. Nous rappelons que les canalisations considérées sont en PEHD, matériau pour lequel la perméation aux polluants est relativement élevée. La mise en place de canalisations en fonte (le PVC n'est pas suffisant) permettrait de rendre nulle cette perméation et ainsi acceptables les teneurs dans l'eau distribuée.

7.7 Conclusion sur les incertitudes et l'évaluation du risque

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

Ainsi, 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 :

- pour le bâtiment « la Chapelle » et l'atelier n°2, les risques sanitaires sont inacceptables au sens de la circulaire ministérielle du 10 décembre 1999,
- pour l'atelier n°1 utilisé en l'état, les risques sanitaires sont acceptables au sens de la circulaire ministérielle du 10 décembre 1999. Si ce bâtiment est réaménagé en bureaux, les risques sont acceptables sous réserve d'une ventilation suffisante (40 j^{-1}),
- en extérieur, les risques sanitaires sont acceptables au sens de la circulaire ministérielle du 10 décembre 1999,
- pour les canalisations implantées au droit de la zone polluée (tiers nord-est du site, délimité par les sondages TM4, S3, TM12, S5, TM11, TM2), les teneurs dans les canalisations ne seraient pas acceptables en l'état. La mise en œuvre de canalisations en fonte ou de canalisation PE protégées par un tubage permettrait de rendre acceptables les risques. Dans le cas où des canalisations passent actuellement au droit des zones polluées, un prélèvement et analyse des eaux des canalisations permettrait aussi de vérifier ce point,
- pour le reste du site (hors zone polluée définie ci-dessus), les risques sont acceptables en intérieur et en extérieur.

L'évaluation du risque présente un certain nombre d'incertitudes dont certaines pourraient être levées ou réduites à l'aide des points suivants :

- investigations (prélèvements de sols, d'air des sols, d'air ambiant) au droit des bâtiments « la Chapelle » et l'atelier n°2 afin de connaître les teneurs au droit des bâtiments,
- dans le cas où des canalisations existent au droit de la zone polluée, un prélèvement d'eau suivi d'analyses permettrait de lever l'incertitude liée au calcul,
- recueil des observations du personnel sur d'éventuelles odeurs de solvants dans le bâtiment « la Chapelle ».

Certaines mesures détaillées dans les paragraphes 7.1.3 et 7.4 permettraient de limiter les flux estimés vers l'air extérieur de cette zone et de rendre les risques sanitaires pour le gardien ou tout autre travailleur dédié à ce secteur acceptable, il s'agit de :

- mise en place d'une géomembrane ou d'une couche de terrains peu perméables (perméabilité inférieure à 10^{-8} m/s, argiles par exemple) au droit des bâtiments utilisés comme bureaux,
- ou purge jusqu'à la nappe des terrains pollués par HAP au droit des bâtiments utilisés comme bureaux.

8 Conclusion et recommandations

La présente EDR s'inscrit dans le cadre de l'évaluation de la connaissance de l'impact du site sur ses occupants (actuels et futurs). Elle a été réalisée conformément à la méthodologie définie par le ministère de l'environnement et du développement durable (MEDD).

Les aménagements prévus et pris en compte sur la zone d'étude sont les suivants :

- terrain utilisé en l'état actuel par la DDE ; présence d'ateliers et de bureaux,
- à l'avenir : terrain toujours utilisé par la DDE mais uniquement en tant que bureaux.

L'ensemble des investigations a permis de mettre en évidence :

- une zone polluée par HAP et BTEX en partie nord-est du site. En certains points, les terrains sont pollués dès la surface. Cette pollution des sols entraîne une pollution de la nappe alluviale (présence de teneurs importantes en HAP et BTEX) et, dans une moindre mesure, de la nappe du Trias,
- des pollutions ponctuelles des remblais par hydrocarbures et arsenic.

Les cibles pour lesquelles le risque sanitaire a été évalué sont :

- les travailleurs sur site, en distinguant le personnel administratif passant 8 h/j à l'intérieur du personnel technique considéré comme passant 4 h/j en intérieur et 4 h/j en extérieur,
- les pêcheurs de l'Indre,
- les puits de particuliers de Mme TEINTURIER (P2) et de M. BONNIN (P3),
- les captages AEP MOULIN RICHARD n°1 et 2.

Pour les cibles sur site (travailleurs)

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. 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).

Etant donné les incertitudes et l'approche sécuritaire adoptée durant l'étude, nous considérons comme fondé de retenir :

1) des niveaux de risques qui seraient inacceptables *en l'état* avec les hypothèses retenues pour le bâtiment « la Chapelle » et l'atelier n°2. La mise en place d'un niveau imperméable (perméabilité inférieure à 10^{-8} m/s, argile ou géomembrane) permettrait de rendre les risques acceptables au droit de ces bâtiments.

2) des niveaux de risques acceptables avec les hypothèses retenues

- pour l'atelier n°1 utilisé en tant que tel comme atelier,
- pour l'atelier n°1 utilisé en tant que bureaux sous réserve d'assurer une ventilation suffisante (taux de 40 j^{-1}),
- en extérieur,
- pour les canalisations sous réserve qu'elles soient en fonte ou protégées par un tubage étanche,
- pour le reste du site (hors tiers nord-est pollué).

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.

Compléments et/ou mesures compensatoires à mettre en œuvre

L'évaluation du risque présente un certain nombre d'incertitudes dont certaines pourraient être levées ou réduites à l'aide des points suivants :

- investigations (prélèvements de sols, d'air des sols, d'air ambiant) au droit des bâtiments « la Chapelle » et l'atelier n°2 afin de connaître les teneurs au droit des bâtiments,
- dans le cas où des canalisations existent au droit de la zone polluée, un prélèvement d'eau suivi d'analyses permettrait de lever l'incertitude liée au calcul,
- recueil des observations du personnel sur d'éventuelles odeurs de solvants dans le bâtiment « la Chapelle ».

Certaines mesures détaillées dans les paragraphes 7.1.3 et 7.4 permettraient de limiter les flux estimés vers l'air extérieur de cette zone et de rendre les risques sanitaires les travailleurs intervenant dans le secteur de la Chapelle et de l'atelier n°2 (utilisés en tant qu'atelier ou bureaux), il s'agit de :

- mise en place d'une géomembrane ou d'une couche de terrains peu perméables (perméabilité inférieure à 10^{-8} m/s, argiles par exemple) au droit des bâtiments utilisés comme bureaux,
- ou purge jusqu'à la nappe des terrains pollués par HAP au droit des bâtiments utilisés comme bureaux.

Nous rappelons que s'il n'est pas construit (ou utilisé) de bâtiment au droit de la zone polluée, les risques en extérieur sont acceptables.

Concernant l'usage de la nappe au droit du site

Compte tenu des concentrations dans la nappe au droit du site, l'accès à la nappe devra être proscrit (absence de puits ou de drainage).

Concernant les pêcheurs de l'Indre

Les calculs de dilution indiquent un impact du site négligeable sur la qualité de l'eau de l'Indre en période normale. Cependant, en période d'étiage, l'impact du site sur la qualité de l'eau de l'Indre pourrait être significatif. De plus, concernant le transfert de phase flottante, l'observation ponctuellement en été d'odeurs de bitumes et d'irisations traduit un impact possible du site sur l'Indre. *Par conséquent, les risques pour l'Indre sont considérés comme significatifs. L'impact du site sur l'Indre pourrait être précisé en réalisant un suivi de la qualité de l'Indre en amont et en aval et en réalisant une campagne complémentaire de prélèvements et analyses de sédiments sur la berge de l'ancienne usine à gaz.*

Concernant les puits de particuliers

Les analyses effectuées sur les puits P2 et P3 n'ont mis en évidence que des traces de HAP sur ces ouvrages. Par conséquent, en raison de l'âge de pollution, l'impact du site apparaît négligeable sur ces ouvrages, dans les conditions actuelles de prélèvement. Cependant, nous ne disposons actuellement que d'une campagne de suivi de qualité de la nappe sur ces ouvrages. *Nous conseillons d'effectuer pendant au moins 2 ans un suivi de la qualité de la nappe sur les 2 ouvrages de particuliers ainsi que ceux situés sur le site.* Les paramètres recherchés seraient les HAP, les BTEX, l'ammonium, les cyanures et l'indice phénol. A l'issue de ces 2 années, un bilan serait fait sur l'évolution des teneurs et l'opportunité de poursuivre le suivi.

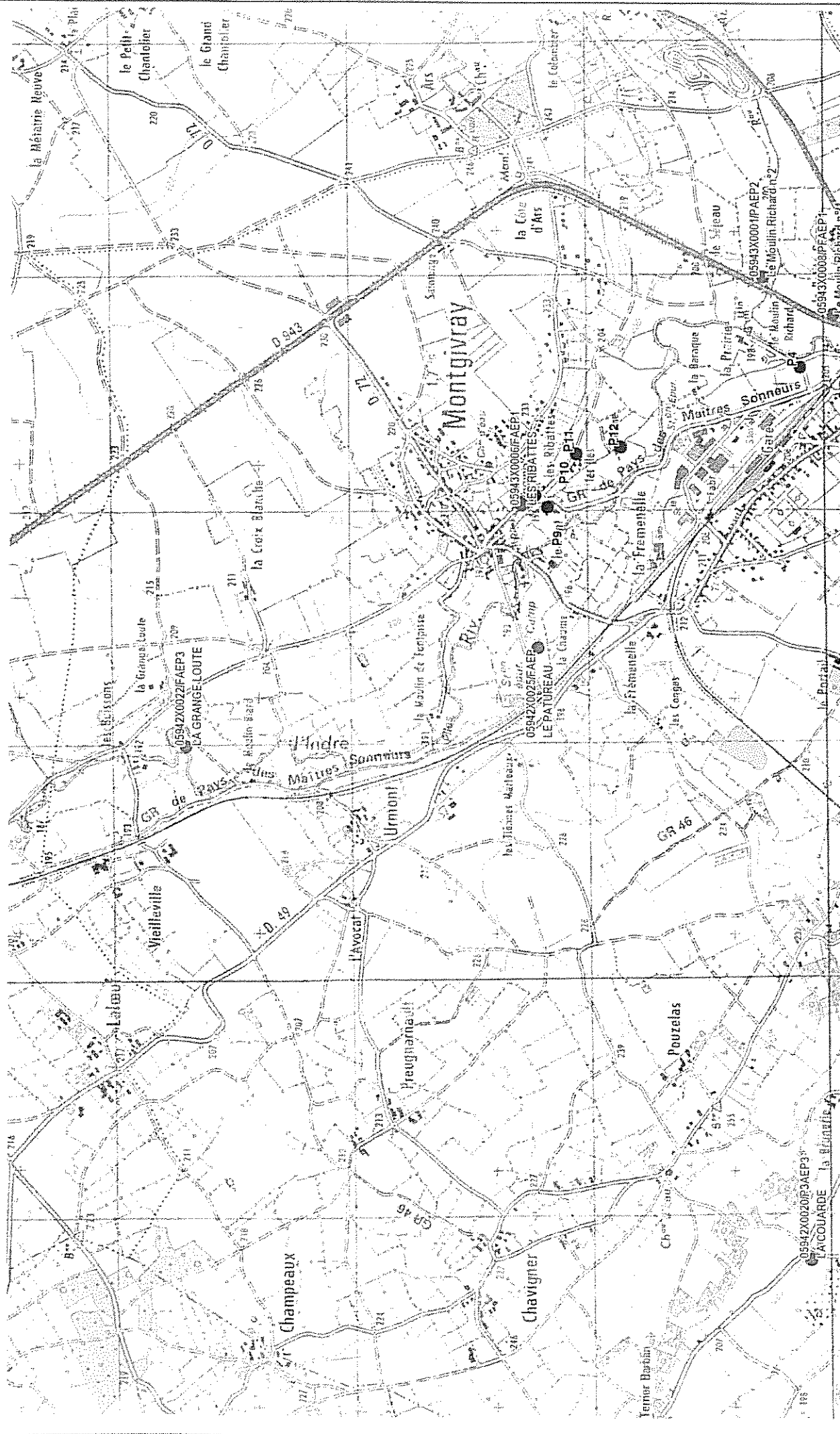
Comme toute augmentation des prélèvements à l'avenir risque d'augmenter la migration de la pollution vers ces ouvrages et rendre l'utilisation de ces puits incompatible avec les usages (arrosage de potager), nous recommandons d'informer le voisinage, et de dépolluer la nappe au droit du site dans le secteur de Pz1 si la restriction des usages ne peut être faite.

Concernant les ouvrages AEP

Compte tenu de l'âge de la pollution, du faible transfert de la nappe alluviale vers la nappe du Trias et du positionnement des captages AEP, nous considérons que la pollution présente au droit du site n'aura pas d'impact sur les captages AEP.

Du fait des impacts (potentiels au avérés) de la pollution actuellement présente sur site sur les usagers du site (travailleurs de la DDE), dans les eaux de l'Indre et dans la nappe alluviale, nous préconisons la purge des terrains qui apparaît comme la solution la plus aisée à mettre en oeuvre et permettant de gérer le plus efficacement le risque engendré par la pollution.

FIGURES



05942X0020F3AEP3
LA COUARDE la Grande Loutre

05943X0001PAEP2
Le Moulin Richard n°2

05943X0008PAEP1
Le Moulin Richard n°1