

**Ancienne décharge du Letten à
HAGENTHAL-LE-BAS (68) – Evaluation
détaillée de risques pour la santé humaine
et la ressource en eau**
Volet 3 : EDR santé humaine

GIORB
Groupement d'Intérêts
pour la sécurité des Décharges
de la Région Bâloise

Mai 2008 – A47862/A

GIDRB

**Postfach
CH-4002 BÂLE (SUISSE)**

AGENCE NORD EST

15, rue du Tanin – B.P. 312 - LINGOLSHEIM
67834 TANNERIES CEDEX
Tél. : 03.88.78.90.60 – Fax : 03.88.76.16.55



Sommaire

	Page
1. Introduction	5
1.1. Contexte et objectifs	5
2. Principe et méthodologie de l'EDR.....	7
2.1. Notion de risque et ses trois dimensions	7
2.2. Méthodologie de l'Evaluation Détaillée des Risques.....	8
2.3. Critères de qualification du risque retenus	11
3. Schéma conceptuel	13
3.1. Contexte et objectifs	13
3.2. La source : le dépôt du Letten	13
3.3. L'environnement immédiat du site de la décharge	13
3.4. Substances et leurs transferts.....	15
3.5. Analyse quantitative des transferts et choix des points d'exposition.....	16
3.5.1. Exposition / transfert directs	16
3.5.2. Exposition / transfert indirects	18
3.6. Schéma conceptuel de transferts et d'exposition, scénarios d'exposition retenus	20
3.7. Le cas particulier de la prise en compte de la voie cutanée	22
4. Modèles de transfert retenus	25
4.1. Modèle de transfert des gaz du sol vers l'air ambiant.....	25
4.2. Modèle de transfert des eaux de surface vers l'air ambiant	25
4.3. Modèle de transfert percutané	26
5. Modèles de quantification des risques - Modèles d'exposition retenus.....	27
5.1. Expression des Doses Journalière d'Exposition (DJE)	27
5.2. Choix des fréquences et des durées d'exposition.....	27
5.2.1. Pour l'enfant dans le cadre d'activités ludiques et la promenade	27
5.2.2. Pour l'adulte dans le cadre de la promenade.....	27
5.2.3. Pour l'adulte dans le cadre du travail forestier.....	28
5.2.4. Temps moyens d'exposition	28
5.3. Paramètres d'exposition	28
5.3.1. Poids corporels retenus	28
5.3.2. Surfaces corporelles exposées (contact cutané)	28
5.3.3. Facteurs d'adhérence et facteurs d'absorption	29
5.3.4. Quantités d'eau ingérées dans le cadre des activités ludiques de l'enfant	30
5.3.5. Quantités de sol ingérées.....	30

5.4.	Choix des substances et des concentrations	31
5.4.1.	Problématique posée	31
5.4.2.	Méthodologie suivie.....	32
5.4.3.	Substances et concentrations retenues pour les expositions par inhalation.....	32
5.4.4.	Substances et concentrations retenues pour les expositions par ingestion d'eau et contact cutané avec les eaux	33
5.4.5.	Substances et concentrations retenues pour les expositions par ingestion de sol et contact cutané avec les sols.....	35
5.5.	Indices de quantification des risques.....	36
6.	Relations Doses / Effets et choix des Valeurs Toxicologiques de Référence.....	37
6.1.	Les Valeurs Toxicologiques.....	37
6.2.	Les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)	38
6.2.1.	Définition	38
7.	Résultat de l'Evaluation Détaillée des Risques pour la Santé par point d'exposition	41
7.1.	Au droit et dans le proche environnement de la décharge.....	41
7.1.1.	Promenade sur le chemin traversant la décharge	41
7.1.2.	Travaux forestiers.....	42
7.1.3.	Source ES3	44
7.2.	En aval de la décharge : drain n°2.....	45
7.3.	Analyse de sensibilité et des incertitudes	47
7.3.1.	Analyse qualitative des incertitudes.....	47
7.3.2.	Analyse de sensibilité et des incertitudes : Scénarios au droit de la décharge et au pied de la décharge.....	49
7.3.3.	Analyse de sensibilité et des incertitudes : source ES3.....	52
7.3.4.	Analyse de sensibilité et des incertitudes : drain n°2.....	53
8.	Conclusions - Recommandations	55

Liste des tableaux

Tableau 1 : Modalités et voies d'exposition envisagées au droit et dans l'environnement de la décharge du Letten (<i>en couleur : voies d'exposition retenues dans l'EDR</i>).....	21
Tableau 2 : Surfaces corporelles exposées (contact avec l'eau).....	28
Tableau 3 : Facteurs d'adhérence retenus (contact cutané avec les sols).....	29
Tableau 4 : IR et ERI pour le scénario promenade au droit de la décharge (enfants)	41
Tableau 5 : IR et ERI pour le scénario promenade au droit de la décharge (adultes)	42
Tableau 6 : IR et ERI pour le scénario travail forestier au pied de la décharge (adultes)	43
Tableau 7 : IR et ERI pour le scénario jeu près de la source ES3 (enfants).....	44
Tableau 8 : IR et ERI pour le scénario jeu au niveau de la flaqué temporaire près du drain 2 (enfants, concentrations maximales)	45
Tableau 9 : IR et ERI pour le scénario promenade aux abords de la flaqué temporaire près du drain 2 (adultes, concentrations maximales).....	46
Tableau 10 : IR et ERI pour le scénario promenade au droit de la décharge (adultes)	51
Tableau 12 : IR et ERI pour le scénario jeu près de la source ES3 (enfants) - Etude de sensibilité (intégration des substances non détectées en concentration égale à la LIQ)	53

Liste des figures

Figure 1 : Les trois dimensions du risque	8
Figure 2 : Etapes successives de l'EDR.....	10
Figure 3 : Echelle des risques pour l'homme	12
Figure 4 : Schéma conceptuel de transfert et d'exposition du site du Letten (en plan)	23
Figure 5 : Schéma conceptuel de transfert et d'exposition du site du Letten (en coupe).....	24

*Groupement d'Intérêt pour la sécurité des Décharges de la Région de Bâle (GIDRB)
Ancienne décharge du Letten à HAGENTHAL (68)
Volet 3 : Evaluation Détaillée des Risques pour la Santé humaine*

A47862/A

1. Introduction

1.1. Contexte et objectifs

Le présent document constitue le **troisième volet de l'Evaluation Détaillée des Risques pour la Santé humaine et la Ressource en eau** de l'ancienne décharge du Letten à HAGENTHAL (68).

L'étude comprend les volets suivants :

- Volet 1 : Investigations réalisées,
- Volet 2 : Etat des connaissances, qui inclut l'évaluation détaillée des risques pour la ressource en eau,
- **Volet 3 : Evaluation Détaillée des Risques pour la santé humaine,**
- Volet 4 : Résultats bruts et annexes,
- Volet 5 : Etude toxicologique.

Le contexte et les objectifs de l'étude sont rappelés dans le volet 1 (rapport ANTEA A46162/A [48]¹). On rappelle ici que ces cinq volets forment une unité indissociable.

Le présent rapport expose :

les méthodes et moyens mis en œuvre pour la quantification et la qualification des risques pour la Santé humaine et la Ressource en eau,

l'argumentaire ayant conduit au choix des scénarios d'exposition et de transfert, à la sélection des substances, des concentrations, et des paramètres d'exposition, en s'appuyant sur les données du volet 2 de la présente étude,

la quantification et la qualification des risques pour la Santé humaine et la Ressource en eau,

l'analyse de sensibilité et des incertitudes liée aux métrologies et aux modèles de transferts et d'exposition mis en œuvre,

les méthodes et moyens envisageables pour maîtriser et gérer les risques.

¹ le numéro entre crochets renvoie aux références données dans la liste des études, fournie en annexe B dans le volet 4 – Rapport ANTEA A47556/A

On rappelle que le présent volet de l'Evaluation Détaillée des Risques s'attache à apprécier quantitativement et qualitativement les impacts potentiels ou avérés, actuels et futurs sur la Santé humaine, des substances issues des déchets de la chimie bâloise des années 50 déposés sur le site de l'ancienne décharge du Letten. L'Evaluation Détaillée des Risques pour la ressource en eau fait partie intégrante du volet 2 (rapport ANTEA A47000/A [49]).

Les autres substances éventuellement présentes dans la décharge mixte du Letten, pouvant accompagner les émissions, et identifiées comme n'étant pas des traceurs des déchets de la chimie bâloise des années 50, sont toutefois prises en considération dans la présente étude. Ils ne constituent pas un critère de prise de décision pour le devenir du site du Letten et n'engagent en rien la responsabilité du GIDRB.

Afin de faciliter la lecture et l'utilisation du présent rapport, la liste des sigles et abréviations utilisés dans le corps du texte est présentée dans l'annexe A du volet 4 (cf. rapport ANTEA A47556/A [51]). La liste des rapports relatifs au site du Letten constitue l'annexe B de ce même volet 4.

***Tous les rapports édités antérieurement constituaient des documents d'étape.
Les volets 1 à 5 présentés ici annulent et remplacent les documents antérieurs.***

2. Principe et méthodologie de l'EDR

2.1. Notion de risque et ses trois dimensions

L'EDR s'appuie sur les trois composantes définissant la notion de risque :

la source potentielle de danger, c'est à dire les substances intrinsèquement dangereuses et mobilisables contenues dans les déchets,

les voies de transfert de ces substances dans leur environnement,

les cibles environnementales correspondant aux points d'exposition potentiels de l'Homme et autres organismes aux substances considérées. Ces expositions peuvent être directes ou indirectes.

Le risque sanitaire peut être considéré comme étant la probabilité de survenue d'un effet néfaste dangereux vis à vis de la santé humaine. Le risque est généralement considéré sous ses trois dimensions (cf. Figure 1) :

1. **le risque réel** représente le risque effectivement lié à la présence de substances dangereuses.
2. **le risque calculé** est une estimation du risque réel, biaisé par de nombreuses incertitudes liées à la quantification de ce risque (modélisation faisant intervenir des facteurs de sécurité).

En vertu du principe de précaution (ou « *worst case scenario* » ou « *worst reasonable scenario* »), le risque calculé est généralement supérieur au risque réel.

3. **le risque perçu** est la vision subjective de l'opinion publique d'un site contaminé. Ce risque, parce qu'il est indésirable et incompris, est généralement supérieur au risque calculé.

L'objectif de l'EVALUATION DETAILLEE DES RISQUES (EDR) Santé est de quantifier l'impact du site sur la Santé humaine via les voies d'exposition pertinentes (**risque calculé**).

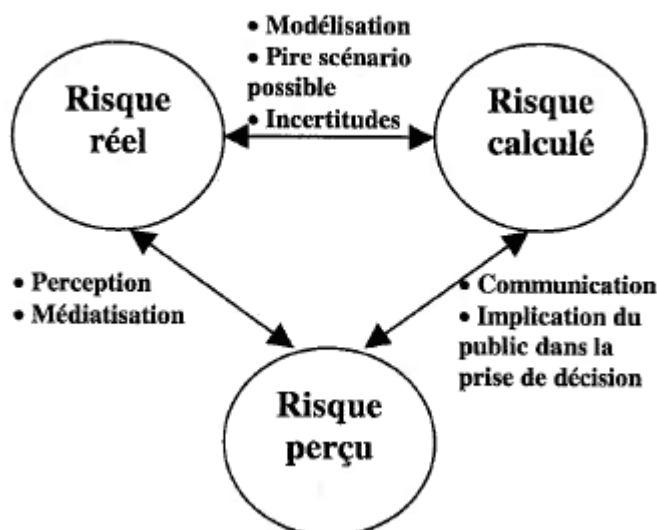


Figure 1 : Les trois dimensions du risque

2.2. Méthodologie de l'Evaluation Détaillée des Risques

L'Evaluation Détaillée des Risques (EDR) préliminaire de 2005 a été établie selon la méthodologie du guide « Gestion des sites pollués, Diagnostic approfondi et Evaluation Détaillée des Risques », version 0 de juin 2000, élaboré au sein d'un groupe de travail animé par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE, actuel MEDAD).

L'approche française a connu des évolutions récentes en février 2007. La présente étude constitue une EQRS selon la note ministérielle du 8 février 2007 et ses annexes.

La présente étude a considéré également les recommandations de la Circulaire n°DSG/SD7B/2006/234 du 30 mai 2006 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact ainsi que le rapport de l'INERIS n° INERIS-DRC-05-41113-ETSC/R01a du 21/03/2006.

Les aspects purement méthodologiques et les calculs des modèles d'exposition mis en œuvre dans le cadre de la présente Evaluation Détaillée des Risques sont exposés en annexe N du volet 4 (cf. rapport ANTEA A47556/A, [51]).

L'EDR s'appuie sur des hypothèses simplificatrices et conservatoires qui confèrent aux calculs un caractère sécuritaire, compte tenu des inévitables incertitudes inhérentes à la métrologie, aux modèles de transfert et aux modèles d'exposition.

Sur cette base, l'EDR analyse les transferts potentiels (essentiellement via les eaux souterraines) et les voies d'exposition, directes ou indirectes, en distinguant les substances toxiques (à seuil, regroupant les effets toxiques et les effets cancérigènes non génotoxiques) des substances cancérigènes génotoxiques (sans seuil, concernant les effets mutagènes). Cette évaluation s'applique à des situations d'exposition **à long terme, à de faibles concentrations**, appelée exposition **chronique** (exposition supérieure à 6 mois selon l'US EPA).

La méthodologie appliquée suit un cheminement logique comprenant les étapes suivantes (cf. Figure 2 présentée page suivante) :

1. Elaboration du schéma conceptuel : analyse de la présence des substances dans les différents milieux, choix des substances et détermination des concentrations dans les milieux, analyse des transferts et des expositions,
2. Détermination des concentrations aux points d'exposition, et calcul des Doses Journalières d'Exposition (DJE),
3. Détermination des relations doses/effets,
4. Quantification du risque, caractérisation et acceptabilité du risque, discussion des incertitudes et analyse de sensibilité,

Afin de limiter le cumul des incertitudes, on limitera les calculs de transfert en privilégiant si possible la mesure aux modèles de transfert. On rappelle que l'étude et la caractérisation des transferts fait l'objet du volet 2 de la présente étude.

Les données toxicologiques sur lesquelles repose l'EDR sont précisées dans le volet 5 de la présente étude (rapport ANTEA A47264/A, [52]).

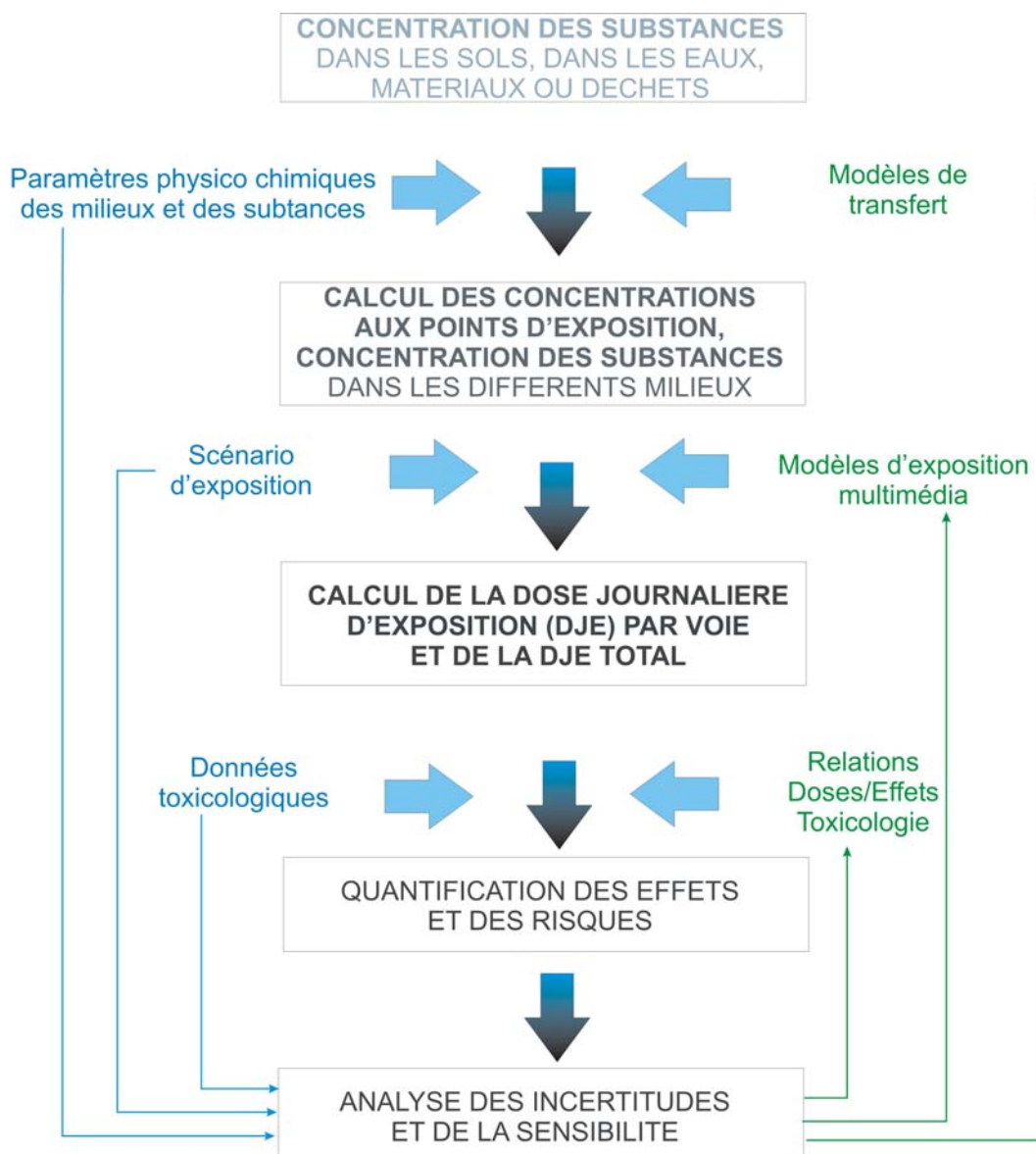


Figure 2 : Étapes successives de l'EDR

2.3. Critères de qualification du risque retenus

Les limites de risques tolérables sont précisées dans l'annexe 2 de la note ministérielle du 8 février 2007.

Ainsi, pour les substances toxiques, la limite de risque **IR** tolérable est égale à **1** (lorsque la Dose Journalière d'Exposition égale la Dose Journalière Tolérable).

$IR \leq 1$	risque tolérable
$IR > 1$	risque non tolérable

Pour les substances cancérigènes, c'est le seuil **ERI égal à 10^{-5}** qui est utilisé comme référence. Il s'agit de la probabilité de contracter un cancer pour 100 000 personnes exposées aux substances et non exposées par ailleurs.

$ERI \leq 10^{-5}$	risque tolérable
$ERI > 10^{-5}$	risque non tolérable

Ces éléments permettent de définir le niveau de risque tolérable compte tenu des scénarios d'exposition envisagés. Ils conditionnent ultérieurement, et si nécessaire, les moyens à mettre en œuvre pour assurer la mise en sécurité du site.

La Figure 3 compare le niveau de risque de 10^{-5} par rapport aux autres risques encourus au quotidien.

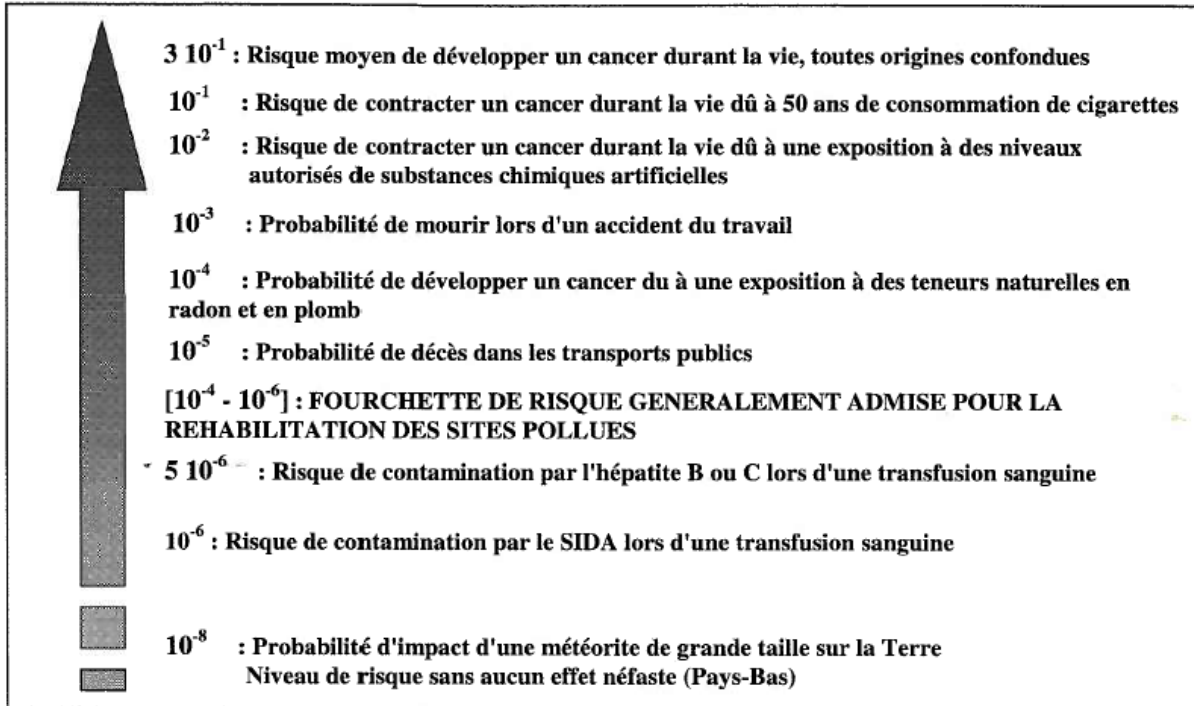


Figure 3 : Echelle des risques pour l'homme

3. Schéma conceptuel

3.1. Contexte et objectifs

L'objectif du schéma conceptuel est de définir les situations les plus réalistes où la population humaine, y compris les individus les plus sensibles (enfants, personnes âgées, etc.), est susceptible d'entrer en contact avec des substances dangereuses, compte tenu :

- des usages actuels ou futurs du site,
- des substances présentes au droit du site et/ou dans ses émissions,
- de leurs propriétés de mobilité.

Cette analyse des scénarios se veut volontairement sécuritaire. Les hypothèses de transfert et d'exposition retenues au terme de cette analyse ne doivent pas conduire à une sous estimation des risques et les limites de l'évaluation pouvant induire des incertitudes inhérentes aux connaissances du site, des transferts et de la toxicologie des substances incriminées ont été clairement identifiées.

3.2. La source : le dépôt du Letten

Le terme source consiste en l'ancienne décharge du Letten. Les terrains naturels et eaux souterraines contaminés par les déchets chimiques peuvent constituer une source secondaire.

La caractérisation de l'ancienne décharge du Letten a fait l'objet du volet 2 de la présente étude (rapport ANTEA A47000/A, [49]).

3.3. L'environnement immédiat du site de la décharge

La décharge du Letten est située à environ 2,5 km au nord-est du village de HAGENTHAL-LE-BAS, et à environ 300 m à l'Ouest des premières habitations du village suisse de SCHÖNENBUCH.

Elle est située dans un massif forestier, entouré de prés et de vergers.

Elle se présente comme une plate forme adossée au coteau constitué par le versant nord-ouest de la vallée du Lertzbach. Cette plate forme dessine une avancée vers le bas de la vallée, se détachant de la topographie naturelle ; la dénivelée entre la plateforme et le pied de la décharge atteint environ 13 mètres de hauteur.

Le site est accessible et non clôturé.

Certains enfants du village viennent occasionnellement jouer dans les bois, en particulier dans un secteur situé au nord-est de la décharge : cabane à proximité de la source qui a reçu la désignation ES3 dans la présente étude. Cette **source ES3** constitue une émergence de la nappe des alluvions anciennes des plateaux aux abords de la décharge.

Des chemins communaux carrossables, à vocation agricole, desservent la forêt du Letten, qui fait occasionnellement l'objet de **travaux forestiers**, en particulier pour les parcelles situées au nord et au pied de la décharge.

Ces chemins communaux sont fréquentés par les habitants du proche village de SCHÖNENBUCH (**promenade pédestre ou équestre**). Certaines parcelles en contrebas de la forêt peuvent être fréquentées occasionnellement pour le jeu, la promenade ou des travaux agricoles (fauchage, labours).

Les eaux souterraines du coteau où est située la décharge peuvent émerger en contrebas de la décharge (« compartiment bas des alluvions »), au niveau du replat entre la lisière du bois et le fossé du moulin.

L'un des chemins praticables donne accès à ce replat (ce chemin peut être utilisé pour la **promenade**, ou l'accès pour des **travaux agricoles**), au niveau de champs exploités pour le fourrage à environ 70 m en contrebas de la décharge. Un ancien système de drainage agricole (trouvant son exutoire dans l'ancien fossé du Moulin) permettait de drainer cette zone plate humide ; suite à la destruction partielle des drains, de l'eau apparaît parfois à la surface du sol en période humide (« **amont drain n°2** ») ; auparavant une flaque apparaissait en période humide dans le fossé du moulin, au débouché du « **drain n°2** ».

Il n'a pas été observé d'écoulement dans le canal du Moulin, ni donc aucun déversement significatif d'eau vers le Lertzbach, qui intercepte le fossé à environ 650 mètres en aval de l'exutoire des drains.

3.4. Substances et leurs transferts

La caractérisation des émissions (transfert depuis la source) de l'ancienne décharge du Letten fait également l'objet du volet 2 de la présente étude (rapport ANTEA A47000/A, [49]).

L'observation de la qualité des eaux souterraines et superficielles dans l'environnement de la décharge du Letten sur la période de mars 2001 à mars 2007 a mis en évidence des **émissions de composés organiques depuis le corps des déchets vers les eaux souterraines** (nappe alluviale, et à un degré moindre, partie supérieure de la nappe de la molasse) **et vers leurs émergences (source ES3, et réseau de drains agricoles dans le champ en contrebas de la forêt)**. Les analyses de l'eau du Lertzbach (exutoire final des eaux souterraines, cf. volet 2, [49]) n'ont pas mis en évidence d'impact clairement attribuable à la décharge.

Ces émissions sont dominées par **les chlorobenzènes, les barbituriques, les sulfonamides, les amines aromatiques chlorées et non chlorées**.

Les investigations effectuées en mars 2007 ont par ailleurs démontré que le massif des déchets chimiques est à l'origine de **concentrations en composés organiques (chlorobenzènes, BTEX et COHV pour l'essentiel) sous forme gazeuse dans l'air de la zone non saturée de la décharge**.

Les composés détectés dans la décharge ont des propriétés variables. Certains sont :

- mobiles dans les eaux (composés faiblement solubles -*solubilité supérieure à 1 mg/l*- à solubles -*solubilité supérieure à 1000 mg/l*-). Les plus solubles sont les barbituriques et les sulfonamides,
- dégradables dans les eaux de surface par voie biologique et/ou photochimique. Les composés les moins persistants sont les amines aromatiques non chlorées ou monochlorées,
- mobiles dans l'air du sol et l'air ambiant (composés semi volatils à volatils, dont le coefficient de Henry est supérieur à 1 Pa.m³/mol), en particulier pour les chlorobenzènes, les BTEX et les chloroéthènes.

Les vecteurs à prendre en compte pour ces substances sont donc :

- le transport par les eaux souterraines par convection et diffusion,
- l'émission des substances sous formes gazeuses depuis le corps des déchets, les eaux souterraines contaminées et la surface libre d'un plan d'eau (flaques au niveau de la source ES3 et du drain 2).

Ces transferts s'accompagnent de phénomènes d'atténuation comme la dégradation (biodégradation, photodégradation), la dilution et vraisemblablement l'adsorption.

3.5. Analyse quantitative des transferts et choix des points d'exposition

3.5.1. Exposition / transfert directs

Il s'agit des transferts de substances qui s'effectuent directement depuis le milieu vers les cibles, selon différentes modalités ou voies d'exposition dépendant de l'usage que les cibles font des milieux.

Discussion relative aux milieux sol de surface et poussières

Les investigations effectuées depuis mars 2001 sur le site de la décharge étudiée ont montré que le massif des déchets chimiques est recouvert par au moins 2 m de gravats, déblais de démolition et déchets verts (correspondant à une mise en décharge postérieure à celle de la chimie bâloise des années 50) au niveau de la plate forme principale et du front nord de la décharge.

Par ailleurs, il n'a pas été relevé d'indice de déchets chimiques affleurants, et la parcelle « *Bubendorf* » qui présentait des déchets subaffleurants a été sécurisée (cf. rapport ANTEA A46831/A, [59]). Néanmoins le talus de la décharge peut localement présenter une couverture des déchets moins épaisse.

En outre, le sol superficiel est formé par une couche de sol brun humifère forestier couvert de débris ligneux et de végétation. L'environnement forestier est propice à de faibles vitesses du vent. L'environnement immédiat de la décharge du Letten ne se prête donc guère au phénomène d'envol de poussières depuis les sols de surface.

En revanche, les analyses de sols superficiels réalisées en mars 2007 ont montré la présence de traceurs de l'activité sur quelques échantillons en pied de décharge, notamment sur l'échantillon OB Let6. Ces résultats ont conduit à la conclusion que l'isolation des déchets sur le talus de la décharge était insuffisante. Il a alors été décidé de recommander une mesure de gestion visant à améliorer l'isolation des déchets et celle-ci a été prise en compte en ne considérant pas les résultats de l'échantillon OB Let6 dans l'analyse des risques. La mesure de gestion d'isolation des déchets sera précisée par le GIDRB.

Le milieu sol de surface a donc été pris en considération pour des expositions ingestion et par contact cutané lors de la promenade (adultes) et du jeu.

Discussion relative à l'air ambiant

Dégazage depuis le corps de la décharge

Les investigations effectuées en mars 2007 ont démontré que le massif des déchets chimiques est à l'origine de concentrations en composés organiques (chlorobenzènes, BTEX et COHV pour l'essentiel) sous forme gazeuse dans les gaz de la zone non saturée de la décharge. Ces gaz du sol sont susceptibles d'être émis, notamment en période de dépression atmosphérique, vers l'air ambiant au droit du site.

Le dégazage des eaux souterraines a été pris en compte au droit de la décharge. En effet les mesures de gaz du sol reflètent les remontées de vapeurs de substances présentes dans les déchets ou les eaux souterraines.

Dégazage depuis les eaux de surface

Les analyses effectuées sur les eaux de la source ES3 et sur les eaux prélevées en contrebas de la forêt (drain n°2) entre mars 2001 et mars 2007 montrent la présence de composés volatils dissous (COHV et chlorobenzènes notamment).

Ces résultats montrent que **le milieu air ambiant au droit des eaux de surface est un milieu d'exposition pertinent dans le cadre de la présente étude.**

Les points d'exposition aux gaz de l'air ambiant issus de plans d'eau intégrés dans la présente étude sont donc les suivants : drain n°2, et source ES3.

En aval de la décharge, le dégazage des eaux souterraines n'a pas été pris en compte car les flux gazeux éventuellement émis sont moindres que ceux par les eaux présentes en surface (par exemple flaque au point Drain n°2).

Discussion relative aux eaux de surface

Le Lertzbach constitue l'exutoire final des eaux souterraines. Néanmoins, la très forte dilution des apports de la nappe dans le cours d'eau (la section drainée correspondant au panache constitue une part minime du débit du cours), ajoutée à l'atténuation naturelle du panache se produisant en aval de la décharge, ont pour conséquence l'absence d'impact significatif de la décharge sur le cours d'eau (ce que confirment les analyses effectuées entre mars 2001 et mars 2007 sur les eaux du Lertzbach, qui ne montrent que la présence très épisodique de substances non clairement attribuables à la décharge). Il ne se produit par ailleurs pas de rejet direct d'effluents provenant du site vers le Lertzbach.

Il n'a par ailleurs pas été recensé d'usage (type arrosage ou autre) du cours d'eau dans le secteur, et l'on peut considérer que les éventuelles expositions (contact, ingestion de petites quantités d'eau) sont « couvertes » par le scénario drain 2.

Le milieu eaux de surface n'est donc pas pris en considération comme un milieu d'exposition dans la présente étude.

Discussion relative aux eaux souterraines

Les analyses effectuées sur les eaux souterraines entre mars 2001 et mars 2007 montrent l'absence de composés issus de l'ancienne décharge du Letten à des concentrations supérieures aux LIQ appliquées par le laboratoire, dans les points d'accès aux nappes exploités, à savoir :

- le puits AEP de SCHÖNENBUCH (de même que le piézomètre Plet 9, qui intercepte les mêmes horizons exploités de la molasse alsacienne) ;
- les sources AEP de SCHÖNENBUCH,
- le puits « Calonego », puits privé situé dans le hameau de SCHÖNENBUCH.

Vu la situation hydrogéologique de ces ouvrages par rapport à la décharge du Letten, ils ne peuvent pas être atteints par les substances provenant du site (cf. volet 2, rapport ANTEA A47000/A, [49]).

En conséquence, les données disponibles montrent qu'il n'y a pas d'exposition par consommation d'eaux souterraines actuellement exploitées pour l'AEP.

3.5.2. Exposition / transfert indirects

Il s'agit des transferts de substances qui s'effectuent indirectement depuis le milieu retenu vers les cibles, selon différentes modalités ou voies d'exposition déclinées selon les usages, c'est-à-dire potentiellement :

- Transfert vers les parties comestibles aériennes et racinaires des végétaux irrigués par des eaux contaminées,
- Transfert vers le lait et/ou la viande de bovins abreuvés par des eaux contaminées, ou en pâture sur les sols contaminés.

La consommation de produits de la chasse, probablement faible et difficilement quantifiable, est écartée d'emblée dans le cadre de la présente étude.

Transfert vers les végétaux par arrosage

Le contexte hydrologique n'offre pas de possibilité de disposer d'eaux superficielles contaminées pour arroser des végétaux (jardins potagers).

Cette voie d'exposition n'est donc pas pertinente.

Transfert vers le lait et/ou la viande de bovins dans le pâturage en aval du dépôt

Le pré situé au niveau du replat en contrebas de la forêt était utilisé pour le pacage de bovins, avant de faire l'objet de labours.

Les maillons de ce transfert sont les suivants :

- transfert du sol (sols et eaux souterraines) vers les végétaux ;
- transfert des végétaux vers la chair et le lait de bovins ;
- transfert par ingestion occasionnelle d'eau des flaques par les animaux ;
- transfert vers l'homme par ingestion de lait et de viande.

L'analyse d'un échantillon de sol prélevé dans la zone des remontées de la nappe (flaques) n'a montré qu'une très faible contamination des sols, et uniquement par des traces de barbituriques (heptabarbitol : 0,036 mg/kg) dont la toxicité est faible. La présence de polluants dans l'herbe peut également provenir de leur présence dans les eaux souterraines.

La moyenne de la charge organique totale mesurée depuis 2001 est de l'ordre de 100 µg/l au droit du drain n°2. Plus de la moitié de cette charge est représentée par l'heptabarbitol ; les principales autres substances détectées sont les solvants chlorés (trichloréthylène pour l'essentiel) et les amines aromatiques.

Le transfert de l'eau souterraine/sol vers l'herbe pourrait être évalué par la prise en compte de facteurs de bioaccumulation (BCF) qui, s'ils ne sont pas connus par des mesures directes, peuvent être estimés en faisant intervenir l'indice de partage eau-octanol (Kow). De manière générale, cette approche est entachée d'incertitudes d'autant plus importantes que les substances peuvent s'atténuer par volatilisation ou dégradation. Il résulte de ce calcul une certaine surestimation des transferts.

Les bovins disposaient d'un dispositif d'abreuvement indépendant (abreuvoir alimenté par citernes, eaux de provenance extérieure au site), mais il n'est pas exclu qu'ils aient pu s'abreuver occasionnellement par les flaques temporaires existant dans le fossé du Moulin au niveau du rejet du drain n° 2 (la flaque temporaire dans le pré en amont du drain 2 n'est apparue qu'après la destruction partielle du réseau du drain suite aux labours).

Toutefois, les quantités d'eau éventuellement ingérées étaient probablement très faibles en raison du caractère temporaire de cette flaque, de son accès difficile (dans le fossé), et de l'existence d'un autre système d'abreuvement pérenne.

Dans le cas des principales substances détectées dans les eaux du système de drainage (cf. volet 5, rapport A47264/A [52]) :

- l'heptabarbital est éliminé en quelques heures par voie rénale et ne s'accumule pas dans l'organisme ;
- les amines aromatiques sont rapidement métabolisées par l'organisme et leurs métabolites, non toxiques, sont éliminés par voie urinaire. Dans le cas des dichloranilines, le faible potentiel de bioaccumulation est confirmé par des données de la littérature scientifique concernant les poissons (cf. fiche toxicologique de l'INERIS relative à la 3,4-dichloraniline ; il n'existe néanmoins pas de résultats validés pour les organismes terrestres) ;
- les solvants chlorés possèdent également un potentiel de bioaccumulation limité.

L'analyse ci-dessus montre que l'exposition éventuelle par ce transfert indirect est très atténuée par les phénomènes naturels de réduction des concentrations et de métabolisme des substances.

Il a donc été décidé d'écarter cette voie d'exposition.

3.6. Schéma conceptuel de transferts et d'exposition, scénarios d'exposition retenus

Les usages actuels (avérés ou potentiels) au droit et dans le proche environnement de la décharge, et les modalités potentielles d'exposition associées peuvent, à la lumière de ce qui précède, se résumer comme suit :

1. Travail forestier occasionnel par une population de travailleurs adultes. Dans ce contexte, l'adulte peut **ingérer des particules de sol**, entrer en **contact par la peau** avec ces dernières et enfin **inhaler d'éventuels gaz** issus de la décharge.
2. Promenade périodique par des adultes et des enfants sur le chemin passant sur la décharge, ou dans la forêt aux abords. Dans ce contexte, les enfants et les adultes peuvent **inhaler d'éventuels gaz** issus de la décharge, et éventuellement entrer en contact avec des particules de sols et/ou les ingérer.
3. Utilisation périodique du voisinage de la source ES3 par des enfants comme terrain de jeu. Dans le cadre du jeu, l'enfant peut **ingérer** des eaux de surface, entrer en **contact par la peau** avec les eaux de surface et enfin **inhaler** d'éventuels gaz issus des eaux superficielles.

4. Promenade ou jeu près du champ en contrebas de la forêt, au niveau duquel existe le réseau de drains agricoles. Dans ce cadre, l'adulte et l'enfant peuvent **inhaler** d'éventuels gaz issus des eaux superficielles, **ingérer** des particules de sol, et entrer en **contact par la peau** avec particules de sol de surface. Il est en outre considéré que l'enfant peut être enclin à jouer avec l'eau et donc à être exposé par **ingestion** de petites quantités **d'eau** et **contact cutané avec l'eau**.

Les scénarii d'exposition potentiels envisagés (points et voies d'exposition) figurent dans le Tableau 1 présenté ci-dessous.

ADULTE	Localisation	Activité/ usage	Inhalation	Contact cutané	Ingestion directe	Ingestion indirecte
Droit et pied de la décharge	Forêt au droit de la décharge	Promenade	Emission des gaz du sol	Sol	Sol	Sans objet
	Forêt au pied et dans l'environnement immédiat de la décharge	Travail occasionnel en forêt	Emission des gaz du sol	Sol	Sol	Sans objet
ES3	Source près du pied de la décharge	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Drain n°2	Champ au niveau du replat en contrebas de la forêt	Promenade, activités agricoles	Dégazage du plan d'eau	sol	sol	Sans objet

ENFANT	Localisation	Activité/ usage	Inhalation	Contact cutané	Ingestion directe	Ingestion indirecte
Droit et pied de la décharge	Forêt dans l'environnement immédiat de la décharge	Promenade, activités ludiques	Emission des gaz du sol	Sol	Sol	Sans objet
ES3	Source près du pied de la décharge	Activités ludiques	Dégazage du plan d'eau	Eau superficielle	Eau superficielle	Sans objet
Drain n°2	Champ au niveau du replat en contrebas de la forêt	Activités ludiques	Dégazage du plan d'eau	Eau superficielle/ sol	Eau superficielle/ sol	Sans objet

Tableau 1 : Modalités et voies d'exposition envisagées au droit et dans l'environnement de la décharge du Letten
(en couleur : voies d'exposition retenues dans l'EDR)

Les schémas conceptuels de transfert et d'exposition correspondants sont présentés sur la Figure 4 (vue en plan) et la Figure 5 (vue en coupe).

3.7. Le cas particulier de la prise en compte de la voie cutanée

La DGS (Direction Générale de la Santé), via la Circulaire du 30 mai 2006 (relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence dans le cadre des évaluations de risque sanitaire d'études d'impact), a proscrit la transposition des VTR ingestion ou inhalation à la voie cutanée.

Les nouveaux textes relatifs aux sites et sols pollués (Circulaires du 8 février 2007 et annexes décrivant la nouvelle méthodologie) font systématiquement référence à la circulaire du 30 mai 2006. Au regard de ces textes et avancées, la voie percutanée ne serait plus à prendre en considération dans l'évaluation des risques sanitaires.

Toutefois, dans un souci d'homogénéité et de transparence avec la version provisoire de l'EDR du site du Letten d'avril 2005 (antérieure aux textes cités plus haut), la voie cutanée a été prise en compte dans la présente étude.

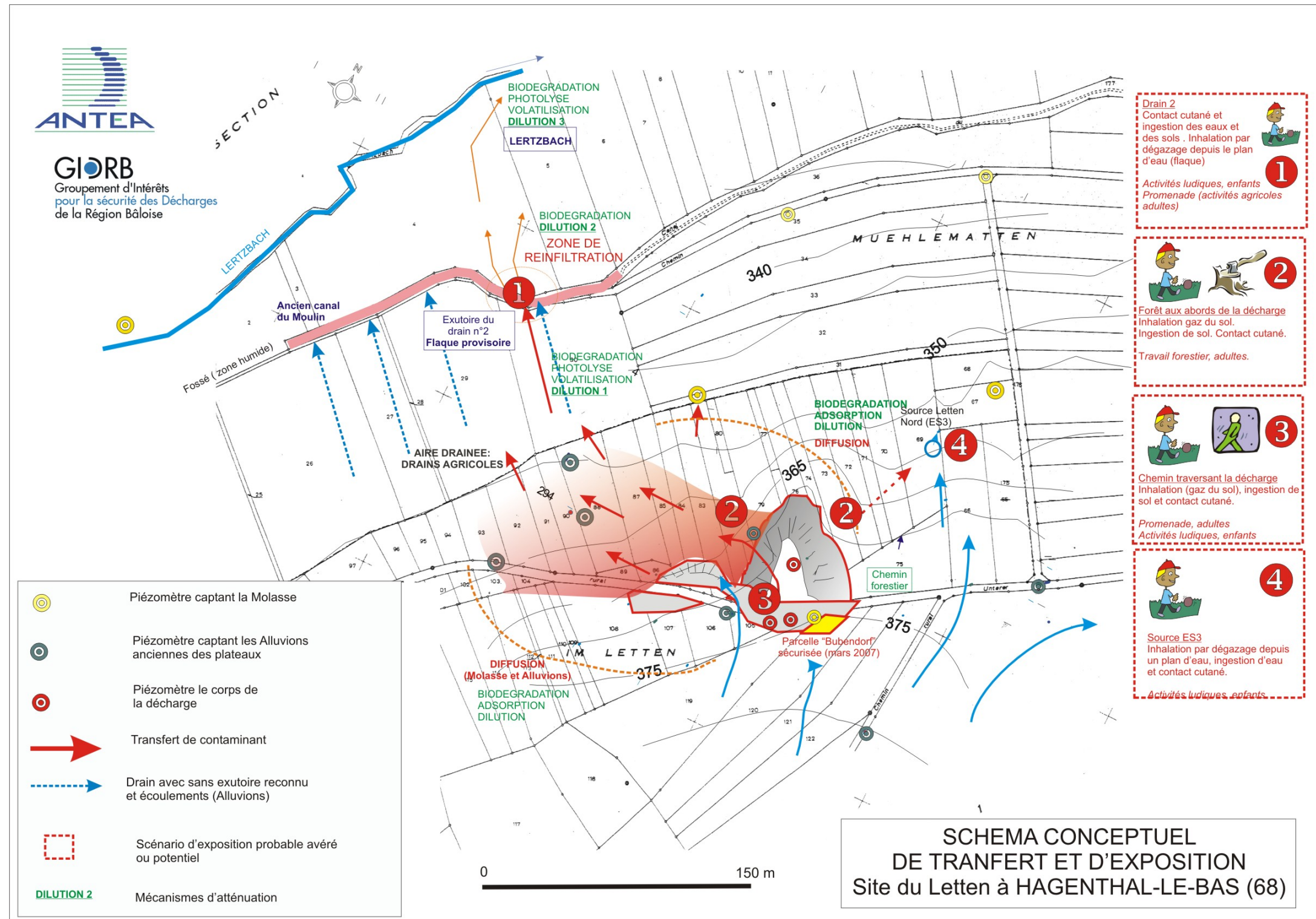


Figure 4 : Schéma conceptuel de transfert et d'exposition du site du Letten (en plan)

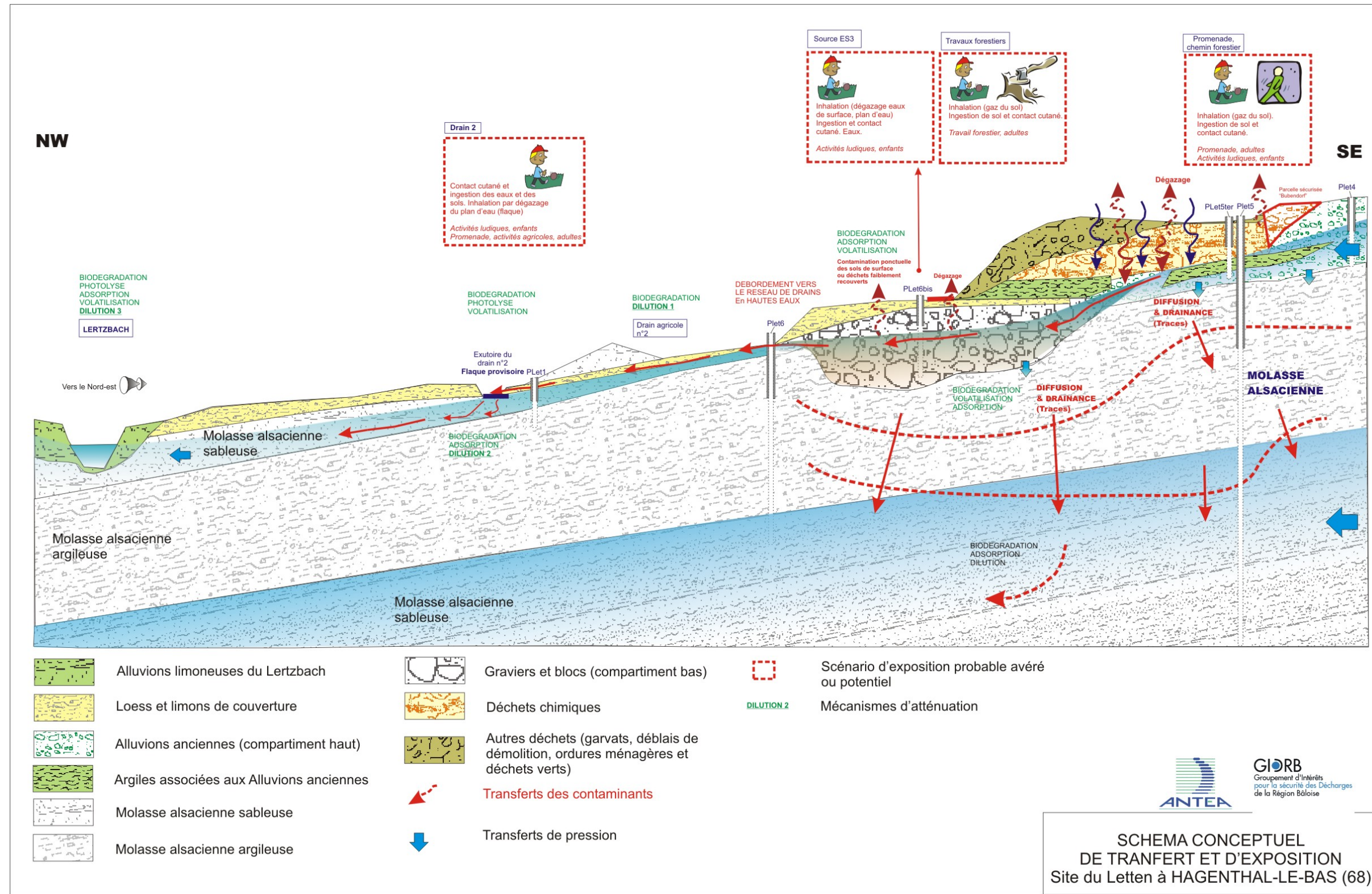


Figure 5 : Schéma conceptuel de transfert et d'exposition du site du Letten (en coupe)

4. Modèles de transfert retenus

Les équations permettant le calcul des concentrations dans différents milieux sont condensées en annexe L dans le volet 4 (rapport ANTEA A47556/A, [51]).

4.1. Modèle de transfert des gaz du sol vers l'air ambiant

Il s'agit par ce modèle d'estimer les concentrations aux points d'exposition (à hauteur des voies respiratoires, soit à 1 m au dessus du sol chez l'enfant et 1,5 m au dessus du sol pour l'adulte) à partir des concentrations en polluants dans les gaz du sol.

Les équations sont issues du « *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites* ». Elles correspondent principalement à l'équation CM-3 du modèle RBCA, scindée en 2 pour la clarté des justifications. Les concentrations dans les gaz du sol sont mesurées ou calculées au moyen de l'équation 15 du « *User's guide Johnson & Ettinger* ».

Les paramètres de transfert retenus et les résultats obtenus ont été traités dans le volet 2 (rapport ANTEA A47000/A, [49]) de la présente étude (caractérisation des émissions).

4.2. Modèle de transfert des eaux de surface vers l'air ambiant

Il s'agit par ce modèle d'estimer les concentrations au point d'exposition (à hauteur des voies respiratoires, soit à 1 m au dessus du sol chez l'enfant et 1,5 m au dessus du sol pour l'adulte) à partir des concentrations en composés organiques volatils des eaux superficielles.

Les équations sont issues de l'approche BP RISC « *RISC Manual version 4.0 d'octobre 2001. Shower and Irrigation Volatilization Model* », G3-G4.

Les paramètres de transfert retenus et les résultats obtenus ont été traités dans le volet 2 (rapport ANTEA A47000/A, [49]) de la présente étude (caractérisation des émissions).

4.3. Modèle de transfert percutané

Il s'agit de modéliser le transfert de substances au travers de la peau en faisant intervenir des paramètres traduisant :

- la pénétration du polluant par la peau, exprimée sous forme d'un coefficient de perméabilité cutanée (K_p) dans le cas du contact avec des eaux polluées, et sous forme d'un facteur d'absorption dermale (ABS_d) dans le cas du contact avec des sols pollués ;
- l'adhérence des particules de sol sur la peau sous forme d'un facteur d'adhérence (AF) dans le cas du contact avec des sols pollués.

Les équations sont tirées du « *Risk assessment guide for Superfund (vol 1) – Human Health evaluation manual (2004)* ».

5. Modèles de quantification des risques - Modèles d'exposition retenus

5.1. Expression des Doses Journalière d'Exposition (DJE)

La méthodologie et les calculs des modèles d'exposition mis en œuvre dans le cadre de la présente Evaluation Détaillée des Risques sont exposés en annexe N dans le volet 4 (rapport ANTEA A47556/A [51]).

5.2. Choix des fréquences et des durées d'exposition

5.2.1. Pour l'enfant dans le cadre d'activités ludiques et la promenade

Ce type d'exposition est relativement peu documenté. On considère que l'enfant est exposé dans le cadre de ses activités ludiques, durant les 6 années de l'enfance, 6 mois par an (soit $4 \times 6 = 24$ semaines), 2 jours par semaine (soit 24×2 , soit 48 jours), et 1 heure par jour, soit un équivalent de 2 jours /an ($48 \times 1 / 24$). Dans le cas de l'exposition au niveau de la source ES3 et du drain 2, le nombre d'occurrences est réduit à 25 au lieu de 48, considérant que ces endroits sont moins accessibles que le chemin.

- **les relations doses / effets pour l'ingestion** sont événementielles, c'est à dire qu'elles sont établies pour une journée quelque soit le temps d'exposition journalier, dans le cas présent 48 ou 25 occurrences.
- **les relations doses / effets pour l'inhalation et le contact cutané** prennent en compte le temps effectif d'exposition, soit 2 jours (ou 1 jour) équivalents par an pour l'inhalation et 48 (ou 25) occurrences de 1 heure pour le contact cutané.

5.2.2. Pour l'adulte dans le cadre de la promenade

Ce type d'exposition est relativement peu documenté. L'adulte est supposé exposé dans le cadre de sa promenade, durant 30 années de sa vie, 6 mois par an (soit 183 jours), 1 heure par jour, soit un équivalent de 7,5 jours /an ($183 \times 1 / 24$).

5.2.3. Pour l'adulte dans le cadre du travail forestier

On considère que l'adulte est exposé dans le cadre du travail forestier durant 30 années de la vie d'adulte, 2 mois par an (soit 60 jours/an), à raison de 8 heures par jour.

5.2.4. Temps moyens d'exposition

Le temps moyen d'exposition (Tm) se résume comme suit :

- 70 ans x 365 jours, soit 25 550 jours pour les risques cancérogènes (durée de vie entière),
- 30 ans x 365 jours, soit 10 950 jours pour le risque toxique et l'adulte,
- 6 ans x 365 jours, soit 2 190 jours pour le risque toxique et l'enfant.

5.3. Paramètres d'exposition

5.3.1. Poids corporels retenus

L'adulte est assimilé à un individu de poids corporel de 70 kg (INERIS - Méthode de Calcul des VCI – 2001).

L'enfant est assimilé à un individu de poids corporel de 15 kg (INERIS - Méthode de Calcul des VCI – 2001).

5.3.2. Surfaces corporelles exposées (contact cutané)

Les paramètres liés à l'exposition des personnes par contact cutané avec les eaux polluées proviennent du document « Méthode de calcul des Valeurs de Constat d'Impact » (INERIS, novembre 2001). Les surfaces corporelles sont présentées dans le Tableau 2.

Paramètres	Adulte m ²	Enfant m ²
Surface corporelle totale (Am)	1,8	0,95
Surface des mains	0,09	0,03
Surface des mains et des bras	0,34	0,10
Surface des mains et des avant bras	0,17	
Surface des jambes et pieds	0,55	0,18

Tableau 2 : Surfaces corporelles exposées (contact avec l'eau)

Dans le cas présent, les surfaces corporelles exposées aux eaux polluées prises en compte sont les suivantes :

- Enfant : dans le cadre de ses activités ludiques, exposition des mains et des bras, soit 0,1 m² de peau,
- Adulte : dans le cadre du travail forestier, exposition des mains et des bras, soit 0,34 m² de peau.

Dans le cas du contact cutané avec les sols, les valeurs prises en compte sont tirées du « *Risk Assessment guidance for Superfund, volume : Human Health Evaluation Manual (Part E : Supplemental Guidance for Dermal Assessment)* ». Les valeurs prises en compte sont les suivantes :

- Enfant : dans le cadre de ses activités ludiques, exposition du visage, des mains, des avant-bras et des mollets, soit 0,173 m² de peau,
- Adulte : dans le cadre du travail forestier, exposition du visage, des mains, des avant-bras et des mollets, soit 0,485 m² de peau.

5.3.3. *Facteurs d'adhérence et facteurs d'absorption*

Dans le cas du contact cutané avec les sols, les équations font intervenir un facteur d'adhérence et un facteur d'absorption.

Ces paramètres sont tirés du « *Risk Assessment guidance for Superfund, volume I : Human Health Evaluation Manual (Part E : Supplemental Guidance for Dermal Assessment)* ».

Les valeurs retenues pour le facteur d'adhérence sont données dans le Tableau 3 ci-après :

	Enfants (jeu)	Adultes (promenade)	Adultes (travail forestier)
Facteur d'adhérence en mg/cm ²	3,327	0,055	0,328
Rubrique du guide	<i>Children playing Wet soil</i>	<i>Grounds Keepers</i>	<i>Gardeners</i>

Tableau 3 : Facteurs d'adhérence retenus (contact cutané avec les sols)

Les valeurs pour le facteur d'absorption sont les suivantes :

- HAP : 0,13 (-) ;
- Autres substances : valeurs définies pour les composés organiques semi-volatiles : 0,1 (-) ;
- Métaux : 0,001 (à l'exception de l'arsenic : 0,03).

5.3.4. Quantités d'eau ingérées dans le cadre des activités ludiques de l'enfant

La valeur retenue est de 10 ml/h d'eau ingérée. Cette valeur est sécuritaire considérant les quantités de sols ingérés lors de différentes activités humaines (voir §5.3.5). Cette quantité varie selon les études effectuées entre 50 mg/jour et 480 mg/j. En comparaison, l'hypothèse retenue pour l'ingestion d'eau correspond à 10 000 mg/j.

A titre indicatif, la valeur recommandée par l'US-EPA en 1989 pour la nage (US-EPA (1989). « *Risk assessment guidance for Superfund, volume I. Human health evaluation manual (Part A)* » - WASHINGTON, DC) est de 50 ml/h.

Cette référence confirme que l'hypothèse retenue est sécuritaire.

5.3.5. Quantités de sol ingérées

Chez un adulte, CALABRESE n'a réalisé qu'une seule étude [CALABRESE, 1990]. Les mesures indiquaient une ingestion d'environ 50 mg/j. Mais, cette étude ne distingue pas les individus selon leur type d'activité et le temps passé à l'extérieur ou à l'intérieur d'un bâtiment.

A partir d'hypothèses sur la surface corporelle et les fréquences de contact avec le sol et les poussières, HAWLEY estime qu'un adulte ingère une quantité de sol et de poussières estimée comme suit :

- 0,5 mg/j dans une pièce de séjour,
- 110 mg/j s'il fréquente une pièce empoussiérée,
- 480 mg/j lors de travaux de jardinage.

HESP³ utilise une valeur de 300 mg de sol et de poussières ingérées par un adulte ayant passé 8 heures à l'extérieur.

Dans son guide pour l'évaluation des risques, l'US-EPA propose comme valeur par défaut 50 mg/j de sol ingéré par un adulte dans un scénario résidentiel et dans un scénario industriel [US-EPA, 1988].

A partir de ces éléments, nous retenons pour la présente étude :

- une quantité de **150 mg de sol ingéré pour un enfant par occurrence de jeu aux points d'exposition considéré. Cette hypothèse est sécuritaire considérant la durée limitée de temps passé aux points d'exposition.**
- une quantité de **50 mg/j de poussières pour un adulte menant des activités variées** à la fois à l'intérieur et l'extérieur de son habitation, dans le cadre d'un scénario résidentiel et dans le cadre d'un scénario non sensible (industriel) [INERIS, 2001].

5.4. Choix des substances et des concentrations

5.4.1. Problématique posée

5.4.1.1. Incertitudes liées à l'hétérogénéité de l'échantillonnage

La liste analytique appliquée aux eaux de surface et aux eaux souterraines entre mars 2001 et mars 2007 comprend dans sa configuration la plus exhaustive (mars 2007) plus de 80 composés organiques et inorganiques.

Par ailleurs, certains points d'exposition n'ont fait l'objet que de quelques campagnes de prélèvement, alors que d'autres ont été prélevés jusqu'à 15 fois. Les chroniques analytiques sont donc entachées des inévitables incertitudes liées à l'hétérogénéité de l'échantillonnage et à la variabilité des émissions de polluants selon les conditions météorologiques.

5.4.1.2. Incertitudes liées aux limites des techniques analytiques

Les screenings par CPG/MS effectués sur les eaux souterraines et superficielles à proximité de la décharge ont montré que les composés visés par les analyses ciblées systématiques étaient accompagnés par des substances organiques se traduisant par des signaux CPG/MS difficilement identifiables avec les techniques analytiques actuelles.

Certains de ces signaux ont fait l'objet de tentatives d'identification, non confirmées, d'autres ont été partiellement identifiés et d'autres sont inconnus.

Les analyses par screening ont confirmées la pertinence du programme des analyses ciblées. Les quantifications obtenues par les analyses ciblées ont été privilégiées aux estimations faites lors des screenings.

5.4.1.3. *Incertitudes liées aux connaissances toxicologiques*

Les substances analysées ou ayant donné lieu à une tentative d'identification sont connues à des degrés variables sur le plan toxicologique. Certaines substances comme les BTEX, les COHV, les chlorobenzènes, les HAP possèdent des effets suffisamment renseignés dans la littérature spécialisée pour que des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) aient pu être proposées et, pour certaines d'entre elles, évaluées par l'INERIS (cf. volet 5, rapport ANTEA A47264/A, [52]).

Pour les autres substances présentes au Letten, il a été possible de proposer des VTR sur la base d'une compilation des données toxicologiques existantes ou par analogie avec des substances ayant des propriétés voisines.

5.4.2. *Méthodologie suivie*

Compte tenu des incertitudes liées à la métrologie, à la toxicologie et à la complexité des émissions de la décharge étudiée, il s'agit d'effectuer un choix des substances et des concentrations qui permette de rendre compte de façon sécuritaire et la plus réaliste possible des effets probables des expositions chroniques sur la santé humaine.

Le choix des substances est précisé dans le § 5.4.3 (dans certains cas, et notamment dans l'analyse des incertitudes, il a été décidé d'intégrer des substances recherchées mais non détectées, en supposant la concentration égale à la LIQ - limite inférieure de quantification).

Le choix des concentrations repose sur l'appréciation de leur degré de variabilité à un point d'exposition donné avec le temps, le nombre de valeurs dans les chroniques analytiques existantes, le caractère sécuritaire des valeurs et le rapport des concentrations entre chaque espèce identifiée.

5.4.3. *Substances et concentrations retenues pour les expositions par inhalation*

L'exposition par inhalation est considérée au droit de la décharge et au pied de la décharge (émission de substances gazeuses depuis les déchets), ainsi qu'au niveau des zones où peuvent émerger des eaux chargées en polluants (émission par dégazage à partir des eaux, au niveau de la source ES3 et de la flaque liée au drain n°2).

Les substances et les concentrations retenues ainsi que les arguments ayant motivé ces choix sont exposés dans le volet 2 (chapitre relatif aux émissions gazeuses) de la présente étude (rapport ANTEA n° A47000/A, [49]).

Rappelons que :

- les concentrations dans l'air au droit et au pied de la décharge sont calculées à partir des concentrations moyennes en substances volatiles dans les déchets et/ou des concentrations maximales dans les gaz prélevés au sein de la décharge. Ces concentrations servent pour les calculs d'exposition des scénarios « promenade », « travail forestier » et « jeu des enfants ». Les substances considérées comme volatiles sont celles dont la constante de Henry est supérieure à 1 Pa.m³/mole ;
- les concentrations au niveau de la source ES3 sont calculées à partir des concentrations maximales en substances volatiles dans les eaux de surface provenant de l'émergence des eaux souterraines à cet endroit ;
- les concentrations au niveau de l'exutoire du système de drainage agricole de la parcelle en contrebas du bois du Letten sont calculées à partir des concentrations maximales en substances volatiles dans les eaux du « drain n°2 ».

Les substances concernées et les concentrations calculées sont reportées dans les tableaux de calcul en annexe M dans le volet 4 (rapport ANTEA A47556/A, [51]).

5.4.4. Substances et concentrations retenues pour les expositions par ingestion d'eau et contact cutané avec les eaux

L'exposition par ingestion directe d'eau et contact cutané avec les eaux est prise en considération en ES3 et au niveau du drain n°2.

5.4.4.1. Point d'exposition ES3

Exploitation des analyses ciblées

Choix des substances : Seules quelques substances sont détectées ; ont été prises en compte dans les calculs suivants toutes les substances détectées et quantifiées au niveau de ce point d'exposition.

Choix des concentrations : Les concentrations observées sont généralement faibles (cf. tableaux des résultats analytiques en annexe G2 dans le volet 4, [49]). Les concentrations retenues sont les **concentrations maximales** observées en chaque composé sur la période d'observation (mars 2001 à mars 2007). Dans l'étude de sensibilité, un calcul supplémentaire est fait en intégrant en plus les substances non détectées, à des concentrations considérées égales aux LIQ.

Exploitation des screening CPG/MS

Des screenings par CPG/MS après double extraction ont été effectués sur ES3 en 2001, 2002 et 2006.

Le screening le plus complet (2006) montre, outre les substances déjà détectées par analyses ciblées, la présence (voir annexe H2, volet 4, rapport ANTEA n° A47556/A, [51]) :

- de substances sans VTR (somme au maximum égale à 7,86 µg/l),
- d'une substance partiellement identifiée.

Seules les substances possédant des VTR ont été prises en compte dans les calculs de risques. La concentration retenue correspond à la valeur haute des plages de concentrations estimées.

5.4.4.2. Point d'exposition Drain n° 2

Exploitation des analyses ciblées

Choix des substances : Seule une partie des substances recherchées par analyses ciblées sont détectées ; ont été prises en compte dans les calculs suivants toutes celle détectées et quantifiées au niveau de ce point d'exposition.

Choix des concentrations : Les concentrations observées sont généralement limitées (cf. tableaux des résultats analytiques en annexe G2 dans le volet 4, [49]). Les concentrations retenues sont les **concentrations maximales** observées en chaque composé sur la période d'observation (mars 2001 à mars 2007).

Exploitation des screening CPG/MS

Des screenings par CPG/MS après double extraction ont été effectués sur les eaux du drain n°2 en 2002 et 2006.

Le screening le plus complet (2006) montre, outre les substances déjà détectées par analyses ciblées, la présence (voir annexe H7, volet 4, rapport ANTEA n° A47556/A, [51]) :

- de substances identifiées mais sans VTR : somme des estimations hautes égale à 38,0 µg/l,
- de substances inconnues ou partiellement identifiée : somme des estimations hautes de l'ordre de 100 µg/l.

Seules les substances possédant des VTR ont été prises en compte dans les calculs de risques. La concentration retenue correspond à la valeur haute des plages de concentrations estimées.

Afin d'appréhender le risque de manière plus réaliste, une seconde approche est réalisée en prenant en considération **les valeurs moyennes** des plages de concentrations estimées par screening (valeur équivalente à la surface du signal).

5.4.5. *Substances et concentrations retenues pour les expositions par ingestion de sol et contact cutané avec les sols*

Ces expositions sont prises en considération au droit de la décharge, au pied de la décharge et au niveau du drain n°2. Au niveau de la source ES3, il existe une flaque d'eau permanente et les expositions se font essentiellement via l'eau (inhalation des substances dégazées, ingestion d'eau, contact cutané avec l'eau).

5.4.5.1. *Au droit et au pied de la décharge*

Les analyses prises en compte sont celles réalisées sur les échantillons de surface OB Le1 à OB Le10. Dans un premier temps les résultats de l'analyse de l'échantillon OB Le6 ont été pris en compte bien qu'une mesure de gestion ait été retenue pour améliorer l'isolation des déchets de la surface du sol sur le talus de la décharge. Cette mesure de gestion a été prise en compte dans l'interprétation des résultats de l'étude des risques.

Exploitation des analyses ciblées

Choix des substances : Ont été prises en compte toutes les substances organiques détectées et quantifiées sur les échantillons cités ci-dessus. Pour les métaux, seul le cuivre présente des écarts significatifs avec le bruit de fond (sur 2 échantillons : OB Le9 et OB Le10).

Choix des concentrations : Le calcul a été effectué à partir des concentrations maximales observées, ce qui correspond à une démarche sécuritaire. En pratique, la seule substance organique détectée par analyses ciblées est la 4-chlorophénylméthylsulfone (et sur le seul échantillon OB Le8).

Exploitation des screening CPG/MS

Des screenings par CPG/MS ont été effectués sur deux échantillons en 2007 (OB Le1 et OB Le6). Ils montrent la présence de certains traceurs de l'activité déjà identifiés dans les déchets et/ou les eaux, mais également d'autres substances :

- des composés aromatiques polycycliques bromés ;
- d'autres composés aromatiques halogénés partiellement identifiés ;
- la méthoxybenzamine ;
- un dérivé chloré de la quinoline (partiellement identifié) a été assimilé à la quinoline ;
- des dérivés bromés de l'aniline ou du benzène.

5.4.5.2. Au niveau du drain 2

Les analyses prises en compte sont celles réalisées sur l'échantillon de surface OBLe11, qui montrent, pour les analyses ciblées :

- La présence de faibles traces d'heptabarbital (0,036 mg/kg) ;
- Une concentration en zinc atteignant 350 mg/kg.

Le screening n'a montré la présence d'aucune autre substance organique.

5.5. Indices de quantification des risques

Pour chaque scénario est calculée une dose journalière d'exposition DJE. A partir de cette dose journalière d'exposition, on caractérise le risque pour les substances à seuil et les substances sans seuil.

Les IR et les ERI sont calculés pour chaque substance et pour chaque scénario à un point d'exposition donné. Nous renvoyons à l'annexe N (volet 4, rapport ANTEA A47556/A, [51]) le lecteur intéressé par les formules de calcul nécessaires à la quantification des risques.

Dans la présente approche, volontairement sécuritaire, on ne tient pas compte du fait que les effets toxiques et/ou cancérogènes peuvent concerner spécifiquement, selon les substances, des organes cibles donnés. Au niveau de chaque point d'exposition, les IR et ERI de chaque substance et de chaque voie d'exposition seront additionnés quelque soit l'organe cible.

Les facteurs liés à l'individu (sexe, âge, état nutritionnel et hormonal), les facteurs environnementaux et les éventuelles expositions simultanées ou antérieures à d'autres produits chimiques ne sont pas pris en compte dans la présente approche.

6. Relations Doses / Effets et choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

Les substances étudiées correspondent aux traceurs caractéristiques des émissions des déchets de la chimie bâloise (période 1950 – 60) observées maintenant depuis mars 2001 sur le site du Letten à NEUWILLER.

6.1. Les Valeurs Toxicologiques

Les données incluses dans le volet 5 (rapport ANTEA A47264/A, [52]) ont été collectées à partir des données disponibles dans la littérature spécialisée ou sur les sites internet de grandes institutions, gouvernementales ou non, telles l'INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT ET DES RISQUES INDUSTRIELS (INERIS), l'ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE (OMS), UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA), AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR).

Les données détenues par les industriels du GI DRB ont aussi été une source précieuse d'information, en particulier pour la famille de composés des amines aromatiques.

Dans ce document [52] sont rassemblées les Valeurs Toxicologiques de Référence, qui ont été soit recherchées dans la littérature spécialisée, soit déterminées scientifiquement par le toxicologue du GI DRB.

Il est à noter que la détermination et l'application des VTR non publiées, contenues dans ce document, ont fait l'objet d'une réflexion dans le cadre spécifique de l'EDR des anciennes décharges étudiées. Pour d'autres études, il est déconseillé d'utiliser ces valeurs sans y prêter la plus grande attention.

La toxicité aiguë, subchronique et chronique de chaque substance est présentée, si possible pour l'homme et d'autres organismes vivants.

Ont été recherchées les effets toxiques, la cancérogénicité, la mutagénicité, la toxicité vis à vis de la reproduction, la tératogénicité, les données concernant la toxicologie aiguë (LD₅₀, LC₅₀⁴), les données concernant la toxicologie chronique (NOAEL, NOEL, LOAEL, LOEL), les données concernant l'écotoxicité (CE₅₀).

⁴ pour les définitions de ces termes, se référer à la liste des abréviations et au glossaire (volet 4)

6.2. Les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)

6.2.1. Définition

Ces valeurs correspondent à la relation qui existe entre la dose d'exposition et l'apparition probable d'un effet sanitaire lié à une exposition chronique.

L'évaluation de la relation dose-réponse est généralement effectuée au travers des études expérimentales chez l'animal, mais aussi à partir d'études épidémiologiques chez l'homme et la dose sans effet nocif (NOEL, NOAEL) est si possible identifiée.

Lorsque ces valeurs toxicologiques sont établies à partir d'études expérimentales animales, l'extrapolation à l'homme se fait en appliquant des facteurs d'incertitudes aux seuils sans effets néfastes définis chez l'animal (NOAEL, NOEL).

Nous renvoyons le lecteur au volet 5 [52] largement détaillé. Pour chaque molécule, la valeur toxicologique de référence recherchée est la Dose Journalière Tolérable (DJT) pour les substances "à seuil" et l'Excès de Risque Unitaire (ERU) pour les substances "sans seuil".

6.2.1.1. La Dose Journalière Tolérable (DJT) pour les effets non cancérigènes

Il s'agit de l'estimation de la dose qui peut être absorbée durant une vie entière sans apparition de risque toxique appréciable pour la santé.

Elle s'exprime en unité de masse de substance absorbée par unité de masse corporelle et par jour.

La DJT ne sera pas la même selon la voie d'administration (ingestion, contact cutané, ou inhalation).

6.2.1.2. L'Excès de Risque Unitaire (ERU) pour les effets cancérigènes

L'effet cancérigène d'une substance sans seuil est exprimé par la notion d'Excès de Risque Unitaire pour la voie orale (ERUo), pour la voie cutanée (ERUc) ou pour l'inhalation (ERUi).

Il s'agit pour l'essentiel d'effets cancérigènes génotoxiques et de mutations génétiques pour lesquels la fréquence – mais non la gravité – est proportionnelle à la dose.

Ces effets peuvent donc apparaître quelle que soit la dose reçue par l'organisme et l'approche probabiliste conduit à considérer qu'il existe un risque non nul qu'une molécule pénétrant dans le corps humain provoque des changements dans une cellule. La relation entre le niveau d'exposition chez l'homme et la probabilité de développer l'effet cancérigène est donc exprimée sous la forme d'une valeur représentant un Excès de Risque Unitaire.

En d'autres termes, l'ERU est la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu à de développer l'effet s'il est exposé à une unité de dose durant la vie entière.

D'un point de vue mathématique, l'ERU est la pente de la droite qui associe la probabilité d'effets à la dose toxique pour des valeurs faibles de la dose. Il s'agit d'une hypothèse linéaire permettant de calculer la probabilité au-delà du domaine des doses réellement expérimentées.

Selon l'organisme qui la définit, elle sera nommée différemment : Sfo (Slope factor oral), Sfd (Slope factor dermal), ERUo (Excès de Risque Unitaire oral), ERUi (Excès de Risque Unitaire par inhalation)...

Lorsque ces valeurs n'ont pas été définies par des organismes reconnus, un travail de recherche documentaire a été effectué et des valeurs ont été proposées par le GI DRB sur la base des résultats d'études jugées pertinentes. Cependant, il n'existe de valeurs toxicologiques de référence que pour quelques centaines de substances chimiques et parmi elles, on ne dispose pas d'indice pour toutes les voies et durées d'exposition pertinentes.

En ce qui concerne les VTR ici déterminées, la méthodologie utilisée pour définir ces VTR est la même que celle suivie par les groupes d'experts internationaux, c'est à dire l'application à des valeurs expérimentales animales de facteurs de sécurité prenant en compte, par exemple, les incertitudes relatives à :

- la variabilité inter-espèce,
- la variabilité interindividuelle,
- l'utilisation d'un LOAEL au lieu d'un NOAEL...

Ce travail a été réalisé grâce à l'aimable collaboration de Monsieur Hans-Jörg WEIDELI (ECO TOX Consulting), Toxicologue du GI DRB.

*Groupement d'Intérêt pour la sécurité des Décharges de la Région de Bâle (GIDRB)
Ancienne décharge du Letten à HAGENTHAL (68)
Volet 3 : Evaluation Détaillée des Risques pour la Santé humaine*

A47863/A

7. Résultat de l'Evaluation Détaillée des Risques pour la Santé par point d'exposition

Les tableaux détaillés de calcul des IR et des ERI par substance, par voie et par point d'exposition sont joints en annexe O dans le volet 4 (rapport ANTEA A47556/A [51]).

Les tableaux donnés ci après récapitulent les IR et ERI globaux résultants.

7.1. Au droit et dans le proche environnement de la décharge

7.1.1. Promenade sur le chemin traversant la décharge

Rappelons qu'il s'agit de scénarios concernant l'exposition des enfants ou des adultes à l'occasion de la promenade sur le chemin passant sur la décharge ou aux abords. L'exposition se fait par inhalation de substances émises par la décharge, par ingestion de particules de sol et contact cutané (enfants seulement) avec des sols supposés pollués.

Les concentrations prise en compte pour l'inhalation sont celles émises au droit de la décharge (cf. volet 2, [49]); les concentrations prises en compte pour l'ingestion et le contact cutané sont les valeurs maximales détectées dans les échantillons de sol de surface, qu'ils aient été prélevés au droit ou au pied de la décharge (hypothèses majorantes).

Les résultats sont donnés dans le Tableau 4 et dans le Tableau 5.

Au droit de la décharge	Valeur	Critère d'acceptabilité	Qualification du risque	Ecart au critère	Contribution de la voie au risque total
Enfants – Risque toxique					
IR inhalation	$7,1.10^{-4}$	1	Acceptable	1400	0,9 %
IR ingestion sols	$2,52.10^{-2}$	1	Acceptable	40	32,3 %
IR contact cutané sols	$5,20.10^{-2}$	1	Acceptable	19	66,7 %
IR total	$7,80.10^{-2}$	1	Acceptable	12,8	
Enfants – Risque cancérigène					
ERI inhalation	$1,2.10^{-10}$	1.10^{-5}	Acceptable	$8,7.10^4$	1,0 %
ERI ingestion sols	$1,1.10^{-8}$	1.10^{-5}	Acceptable	882	99,0 %
ERI contact cutané sols	-	1.10^{-5}	Acceptable	-	0 %
ERI total	$1,1.10^{-8}$	1.10^{-5}	Acceptable	873	

Tableau 4 : IR et ERI pour le scénario promenade au droit de la décharge (enfants)

Au droit de la décharge	Valeur	Critère d'acceptabilité	Qualification du risque	Ecart au critère	Contribution de la voie au risque total
Adultes – Risque toxique					
IR inhalation	$1,8.10^{-3}$	1	Acceptable	543	17,3 %
IR ingestion sols	$6,8.10^{-3}$	1	Acceptable	146	64,3 %
IR contact cutané sols	$2,0.10^{-3}$	1	Acceptable	509	18,4 %
IR total	$1,07.10^{-2}$	1	Acceptable	94	
Adultes – Risque cancérigène					
ERI inhalation	$2,0.10^{-9}$	1.10^{-5}	Acceptable	5015	11,5 %
ERI ingestion sols	$1,5.10^{-8}$	1.10^{-5}	Acceptable	649	88,5 %
ERI contact cutané sols	-	1.10^{-5}	Acceptable	-	0 %
ERI total	$1,7.10^{-8}$	1.10^{-5}	Acceptable	575	

Tableau 5 : IR et ERI pour le scénario promenade au droit de la décharge (adultes)

Le risque calculé est acceptable.

Les voies d'exposition contribuant majoritairement aux risques calculés sont :

- pour le risque toxique : le contact cutané pour l'enfant, et l'ingestion pour l'adulte,
- pour le risque cancérigène : l'ingestion de sols.

Les substances contribuant le plus au risque toxique sont le nitrobenzène (54,8 à 83,8 %) et le 1,3,5-trichlorobenzène (10 à 19,9 %), et à un degré moindre le cuivre (3,6 à 7,2 %), le mercure (0,6 à 11,8 %) et le bromopyrène (1,7 à 3,4 %).

La substance contribuant le plus au risque cancérigène est très majoritairement le benzo(a)anthracène (86,7 à 98,4%); le benzène vient ensuite avec une contribution de 0,4 à 7,4 %.

L'évaluation présente une forte incertitude pour l'ingestion et davantage encore pour la voie dermale notamment à cause de la présence de nombreuses substances sans VTR décelées par le screening de l'échantillon OB Le6.

7.1.2. Travaux forestiers

Rappelons qu'il s'agit d'un scénario concernant l'exposition des adultes à l'occasion de travaux forestiers sur ou aux abords de la décharge. L'exposition se fait par inhalation de substances émises par la décharge, par ingestion et contact cutané avec des particules de sol supposées polluées.

Les concentrations prise en compte pour l'inhalation sont celles émises au droit de la décharge ; les concentrations prises en compte pour l'ingestion et le contact cutané sont les valeurs maximales détectées dans les échantillons de sol de surface, qu'ils aient été prélevés au droit ou au pied de la décharge (hypothèses majorantes).

Les résultats sont donnés dans le Tableau 6.

Au droit de la décharge	Valeur	Critère d'acceptabilité	Qualification du risque	Ecart au critère	Contribution de la voie au risque total
Adultes – Risque toxique					
IR inhalation	$4,8 \cdot 10^{-3}$	1	Acceptable	210	43,8 %
IR ingestion sols	$2,3 \cdot 10^{-3}$	1	Acceptable	444	20,7 %
IR contact cutané sols	$3,9 \cdot 10^{-3}$	1	Acceptable	260	35,4 %
IR total	$1,1 \cdot 10^{-2}$	1	Acceptable	92	
Adultes – Risque cancérigène					
ERI inhalation	$3,8 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	2623	43,0 %
ERI ingestion sols	$5,1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	1975	57,0 %
ERI contact cutané sols	-	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	-	0 %
ERI total	$8,9 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	1127	

Tableau 6 : IR et ERI pour le scénario travail forestier au pied de la décharge (adultes)

Le risque calculé est acceptable.

Les voies d'exposition contribuant majoritairement au risque sont :

- l'inhalation pour le risque toxique, avec une contribution significative des 2 autres voies d'exposition
- l'ingestion de sols pour le risque cancérigène, avec une contribution significative de l'inhalation.

Les substances contribuant le plus au risque toxique sont le nitrobenzène (53,5 %), le mercure (30,3 %), et le 1,3,5-trichlorobenzène (6,4 %).

Les substances contribuant le plus au risque cancérigène sont majoritairement les HAP (64,5 %), ainsi que le benzène (15,1 %) et les solvants chlorés (dont le trichloroéthylène : 11 %).

Ce sont les effets à seuil qui prédominent par rapport aux effets sans seuil.

7.1.3. Source ES3

Rappelons qu'il s'agit d'un scénario concernant le jeu d'enfants dans le bois du Letten, non loin de la source ES3, qui correspond à une émergence d'eaux souterraines ayant pu se charger en polluants suite à la percolation des eaux météoriques au travers de la décharge.

L'exposition se fait par voie orale (ingestion d'eau), par voie dermale (contact cutané avec l'eau), et par inhalation de substances dégazées depuis l'étendue d'eau qui se forme au niveau de cette émergence.

Il est étudié une hypothèse sécuritaire basée sur les concentrations maximales observées entre mars 2001 et mars 2007.

Les résultats sont donnés dans le Tableau 7.

Source ES3	Valeur	Critère d'acceptabilité	Qualification du risque	Ecart au critère	Contribution de la voie au risque total
Enfants – Risque toxique					
IR inhalation	$4,1 \cdot 10^{-7}$	1	Acceptable	$2,4 \cdot 10^6$	0,1 %
IR ingestion directe eau	$3,0 \cdot 10^{-4}$	1	Acceptable	3350	86,5 %
IR contact cutané eau	$4,6 \cdot 10^{-5}$	1	Acceptable	21718	13,3 %
IR total	$3,4 \cdot 10^{-4}$	1	Acceptable	2899	
Enfants – Risque cancérigène					
ERI inhalation	$4,3 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	2,3.105	0,2 %
ERI ingestion directe eau	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	551	88,1 %
ERI contact cutané eau	$2,4 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	4147	11,7 %
ERI total	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	485	

Tableau 7 : IR et ERI pour le scénario jeu près de la source ES3 (enfants)

Le risque calculé est acceptable.

La voie d'exposition contribuant majoritairement au risque toxique et au risque cancérigène est l'ingestion (plus de 85%). L'inhalation n'apporte qu'une contribution négligeable.

Les substances contribuant le plus au risque toxique sont les métaux (Co, Pb, Cr, Ni). On rappelle toutefois que les concentrations mesurées pour ces substances sont inférieures aux valeurs limites pour les eaux destinées à l'alimentation humaine.

Les substances contribuant le plus au risque cancérigène sont le cobalt (93,8%) et le tétrachloréthylène (4,6%).

7.2. En aval de la décharge : drain n°2

Rappelons qu'il s'agit d'un scénario concernant l'exposition aux substances dégazées depuis les eaux provenant du système de drainage agricole (existence d'une flaque temporaire) et aux sols contaminés, à l'occasion du jeu (enfants) ou de la promenade. Ce scénario est aussi exploité pour apprécier les risques liés à la présence occasionnelle d'adultes dans le secteur pour des travaux agricoles (fauchage, labours). L'exposition se fait par voie orale (ingestion de sols), par voie dermale (contact avec les sols), et par inhalation (dégazage depuis la surface libre de l'eau). Il est considéré que dans le cadre du jeu, les enfants peuvent en plus être exposés par ingestion d'eau et contact cutané avec les eaux.

Ce sont les concentrations maximales observées entre mars 2001 et mars 2007 et les valeurs hautes des estimations de concentrations par screening (pour les substances non recherchées par les analyses ciblées) qui sont retenus pour les calculs.

Les résultats sont donnés dans le Tableau 8 (jeu, enfants), dans le Tableau 9 (promenade, adultes)

Cas de l'exposition des enfants (promenade, jeu)

Drain 2 – Jeu, enfants (Cmax)	Valeur	Critère d'acceptabilité	Qualification du risque	Ecart au critère	Contribution de la voie au risque total
Enfants – Risque toxique					
IR inhalation	$3,5 \cdot 10^{-4}$	1	Acceptable	2887	1,4 %
IR ingestion directe (eau)	$4,5 \cdot 10^{-3}$	1	Acceptable	223	17,6 %
IR contact cutané (eau)	$2,0 \cdot 10^{-2}$	1	Acceptable	50	77,9 %
IR ingestion directe (sols)	$8,0 \cdot 10^{-4}$	1	Acceptable	1250	3,1 %
IR contact cutané (sols)	-	1	Acceptable	-	0,0 %
IR total	$2,6 \cdot 10^{-2}$	1	Acceptable	39	
Enfants – Risque cancérigène					
ERI inhalation	$3,4 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	29682	0,1 %
ERI ingestion directe (eau)	$7,2 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	139	25,2 %
ERI contact cutané (eau)	$2,1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	47	74,7 %
ERI ingestion directe (sols)	-	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	-	0,0 %
ERI contact cutané (sols)	-	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	-	0,0 %
ERI total	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	35	

Tableau 8 : IR et ERI pour le scénario jeu au niveau de la flaque temporaire près du drain 2 (enfants, concentrations maximales)

Les IR et ERI sont inférieurs à 1 et 10^{-5} respectivement, indiquant des niveaux de **risques acceptables**.

C'est le contact cutané avec l'eau qui contribue majoritairement au risque, tant pour les substances à seuil que pour les substances sans seuil (environ 75%). L'ingestion d'eau contribue à hauteur de 18 à 25% environ. Les contributions de l'inhalation et de l'exposition aux sols (ingestion, contact cutané) sont très faibles.

Les substances contribuant le plus à l'IR sont le trichloréthylène (78 % - exposition par contact cutané) et les dichloranilines (10,9 % - exposition par ingestion). D'après le calcul, les métaux contribuent à hauteur de 9,4% (exposition par ingestion) ; les concentrations en métaux dans l'eau du drain n°2 restent cependant comparables aux valeurs limites pour l'eau potable.

Les substances contribuant le plus à l'ERI sont le TCE (71,5% - exposition par contact cutané), le cobalt (13,5% - exposition par ingestion), et l'arsenic (10,3% - exposition par ingestion).

Cas de l'exposition des adultes (promenade ou travaux agricoles)

Drain 2 – Promenade, adultes (Cmax)	Valeur	Critère d'acceptabilité	Qualification du risque	Ecart au critère	Contribution de la voie au risque total
Adultes– Risque toxique					
IR inhalation	$1,7.10^{-3}$	1	Acceptable	593	80,2 %
IR ingestion directe (sols)	$4,2.10^{-4}$	1	Acceptable	2396	19,8 %
IR contact cutané (sols)	-	1	Acceptable	-	0 %
IR total	$2,1.10^{-3}$	1	Acceptable	476	
Adultes – Risque cancérigène					
ERI inhalation	$8,2.10^{-9}$	1.10^{-5}	Acceptable	1220	100 %
ERI ingestion directe (sols)	-	1.10^{-5}	Acceptable	-	0 %
ERI contact cutané (sols)	-	1.10^{-5}	Acceptable	-	0 %
ERI total	$8,2.10^{-9}$	1.10^{-5}	Acceptable	1220	

Tableau 9 : IR et ERI pour le scénario promenade aux abords de la flaqué temporaire près du drain 2 (adultes, concentrations maximales)

Le risque calculé est **acceptable, tant pour les substances toxiques que pour les substances cancérigènes.**

L'exposition par l'eau n'ayant ici pas été prise en compte, et les sols étant très faiblement pollués, c'est l'inhalation qui apporte la quasi-totalité du risque avec :

- pour les substances toxiques une contribution se partageant essentiellement entre la 3,4-dichloroaniline (62,1% du risque total), le trichloréthylène et les chlorobenzènes (7,9 %). Le zinc porte environ 20 % du risque total (par ingestion)
- pour les substances cancérigènes, c'est le trichloréthylène qui porte l'essentiel du risque calculé (environ 80 %).

7.3. Analyse de sensibilité et des incertitudes

7.3.1. Analyse qualitative des incertitudes

Un certain nombre d'approximations ont été faites au cours des étapes successives de l'évaluation détaillée des risques. La plupart de ces approximations contribuent à donner un caractère sécuritaire à cette évaluation. Certaines incertitudes peuvent néanmoins constituer un facteur de sous-estimation des risques.

Ces approximations ou incertitudes et leurs effets ont été évoqués dans les hypothèses ou commentaires de chaque scénario. Une synthèse en est donnée ci-après.

7.3.1.1. Facteurs de sous-estimation

Ces derniers peuvent être énumérés comme suit :

- Non prise en compte de synergies éventuelles entre plusieurs substances susceptibles d'aggraver le risque : la sommation des risques sans considération des organes cibles tend à réduire cette sous estimation éventuelle des risques ;
- Exclusion de composés non détectés : ce risque est minimisé car sur les points sensibles, des screenings ont été réalisés pour détecter des substances non recherchées par les analyses ciblées.
- Composés sans VTR : en pratique, des VTR ont été recherchées pour toutes les substances détectées et des VTR ont été développées pour certaines familles de substances pour lesquelles des concentrations importantes ont été mesurées (chloroanilines, barbitals). La mise en œuvre d'une mesure de gestion a également été préconisée pour améliorer l'isolation du talus de la décharge où des substances issues des déchets ont été décelées en surface. Cette permettra de réduire l'exposition et donc de maîtriser une incertitude sur les niveaux de risque.
- Non prise en compte des substances dont la constante de Henry est inférieure à $1 \text{ Pa.m}^3/\text{mole}$ pour l'exposition par inhalation. Cette hypothèse est cependant supportée par la non-détection de ces substances peu volatiles dans les analyses de gaz du sol.

7.3.1.2. Facteurs d'effet inconnu

- Manque d'information sur la cinétique d'évolution de la pollution des eaux : les concentrations mesurées pourraient ne pas être stabilisées et une régression ou une augmentation pourraient être observées dans le futur. La surveillance depuis 2001 réduit cependant ces incertitudes.

- Manque d'information sur l'évolution des composés organiques présents dans les sols et les eaux superficielles : une évolution de leur nature pourrait être observée. Les études réalisées n'ont pas permis de caractériser le devenir des substances mais les analyses par screening ont permis d'identifier des composés de dégradation des substances.

7.3.1.3. Facteurs de surestimation

Ces derniers peuvent être énumérés comme suit :

- Choix de Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) conservatoires :
- Application à toute la famille de la VTR du composé ayant la valeur toxicologique la plus contraignante dans le cadre de développement de VTR pour des substances caractéristiques de la chimie baloise. C'est le cas de la 3,4-dichloroaniline pour les dichloroanilines, de la 2,4,6-trichloroaniline pour les trichloroanilines, du barbital pour les barbituriques.
- Prise en compte des concentrations maximales observées comme étant les concentrations d'exposition, et considérées comme constantes sur toute la durée de l'exposition.
- Pour les screenings, prise en compte de la valeur haute des fourchettes de concentrations estimées.
- Prise en compte des LIQ dans certains calculs des risques (dans le cas de substances recherchées mais non détectées, c'est-à-dire dont la concentration est inférieure à la LIQ, on suppose que la substance est présente à une concentration égale à la LIQ).
- Prise en compte de concentrations mesurées sur le site comme représentatives pour les points d'exposition en dehors du site (inhalation au pied de la décharge : prise en compte des concentrations au droit de la décharge).
- Prise en compte d'hypothèses très majorantes pour expositions : durées d'exposition très sécuritaires, prise en compte de l'exposition par l'eau au niveau du drain 2 malgré le caractère temporaire de la flaque, exposition d'enfants en réalité peu probable.

7.3.2. Analyse de sensibilité et des incertitudes : Scénarios au droit de la décharge et au pied de la décharge

Le risque calculé est **acceptable**. Les voies d'exposition contribuant majoritairement à l'indice de risque sont :

- le contact cutané et l'ingestion de sol pour le risque toxique,
- l'ingestion de sols pour le risque cancérigène.

Les substances contribuant le plus au risque toxique sont le nitrobenzène (54,8 à 83,8 %) et le 1,3,5-trichlorobenzène (10 à 19,9 %), et à un degré moindre le cuivre (3,6 à 7,2 %), le mercure (0,6 à 11,8 %) et le bromopyrène (1,7 à 3,4 %).

La substance contribuant le plus au risque cancérigène est très majoritairement le benzo(a)anthracène (86,7 à 98,4%); le benzène vient ensuite avec une contribution de 0,4 à 7,4 %.

Les paragraphes suivants font une analyse critique des hypothèses retenues.

Pour l'inhalation : l'évaluation effectuée a pris en compte :

- les concentrations *maximales* mesurées sur site dans les gaz du sol (au sein de la décharge),
- pour les substances non décelées ou non recherchées dans les gaz du sol, les concentrations calculées dans les gaz à partir de la *moyenne des concentrations dans les sols* mesurées sur les échantillons prélevés dans les déchets, pour les substances dont la constante de Henry est supérieure à 1 Pa.m³/mole,

Cette démarche est sécuritaire puisqu'elle amène à prendre en compte des substances qui n'ont pas été détectées ni dans l'air ni dans les gaz du sol.

Cette voie d'exposition pèse peu sur les niveaux de risques pour le scénario considéré (de l'ordre de 1% de l'IR et de l'ERI).

Pour l'ingestion et le contact cutané, les calculs ont été effectués considérant les plus fortes concentrations mesurées sur tous les échantillons de sols de surface. Il s'agit aussi d'une démarche sécuritaire pour une exposition chronique dans le cadre de la promenade, puisqu'on ne détecte des substances dans les sols de surface que très localement et qu'une mesure de gestion est prévue pour réduire les expositions éventuelles là où elles ont été décelées.

Les risques pour l'exposition par ingestion et par contact cutané pourraient être sous-estimés du fait de l'absence de VTR pour certaines substances décelées lors de l'analyse par screening de l'échantillon OB Le6. Cette exposition sera cependant résorbée par une mesure de gestion visant à mieux isoler les déchets de la surface des sols.

Influence des concentrations (gaz et sols)

Comme déjà indiqué plus haut, la prise en compte des concentrations *maximales* mesurées dans les gaz du sol constitue une approche sécuritaire.

Le tableau ci-après présente les concentrations mesurées dans les gaz du sol aux concentrations calculées à partir des concentrations moyennes mesurées dans les déchets. Cette comparaison met en évidence que les concentrations calculées sont en général supérieures à celles mesurées, montrant que les valeurs calculées sont majorantes. La principale exception à ce constat est le nitrobenzène ; pour cette substance, il apparaît que les mesures de gaz du sol fournissent une évaluation plus globale des émissions que les valeurs obtenues par calculs.

Substances	Conc. moy. déchets	Constante de Henry	C air du sol calculée	C air du sol mesurée	Conc.calc. / Conc. Mes.
Unité	mg/kg MS	Pa.m3/mole	mg/m3-air	mg/m3-air	
Benzène	31	555	73,24	3,24	22,6
Toluène	4,25	664	6,96	0,15	47,4
Ethylbenzène	1,31	810	0,76	0,06	12,1
o-xylène	2,78	520	1,46	0,10	15,0
mp-xylène = p-xylène	5,59	750	6,43	0,17	37,8
chloroforme	0,1	367	0,09	0,17	0,52
1,2c-dichloréthylène (CIS)	0,31	408	1,50	0,20	7,3
Trichloréthylène (TCE)	11,4	1030	28,26	7,90	3,6
Tétrachloréthylène (PCE)	2,03	1770	2,79	1,10	2,5
tétrachlorure de carbone (CCl4)	0,1	316	0,14	0,02	6,8
nitrobenzène	10	2,4	0,06	10,0	0,006
Chlorobenzène (MCB)	147	311	68,9	8,7	7,9
1,2-dichlorobenzène	0,6	192	0,11	0,83	0,13
1,3-dichlorobenzène	5,7	263	1,25	1,00	1,2
1,4-dichlorobenzène (1,4-DCB)	58	241	8,81	0,21	42,6
1,2,4-trichlorobenzène (1,2,4-TCB)	116	142	3,78	0,24	15,7
1,2,3-trichlorobenzène = 1,2,4 TCB	111	125	1,88	0,15	12,3
1,3,5-trichlorobenzène = 1,2,4-TCB	2,4	189	0,06	0,02	2,9
tétrachlorobenzène	-	100		0,01	
Dichlorotoluène	-	415		0,03	
Naphtalène	630,00	44,00	12,99	déecté	

Un calcul de risque a également été effectué en prenant les valeurs maximales entre les concentrations mesurées et les concentrations calculées. Les résultats sont donnés dans le Tableau 10.

Au droit de la décharge	Valeur	Critère d'acceptabilité	Qualification du risque
Enfants			
Enfants – Risque toxique par inhalation			
IR inhalation – initial	$7,1 \cdot 10^{-4}$	1	Acceptable
IR inhalation – recalculé	$1,0 \cdot 10^{-3}$	1	Acceptable
Enfants – Risque cancérigène par inhalation			
ERI inhalation – initial	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable
ERI inhalation – recalculé	$1,2 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable
Adultes			
Adultes – Risque toxique par inhalation			
IR inhalation – initial	$1,8 \cdot 10^{-3}$	1	Acceptable
IR inhalation – recalculé	$2,6 \cdot 10^{-3}$	1	Acceptable
Adultes – Risque cancérigène par inhalation			
ERI inhalation – initial	$2,2 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable
ERI inhalation – recalculé	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable

Tableau 10 : IR et ERI pour le scénario promenade au droit de la décharge (adultes)

Influence de la durée d'exposition

Les durées prises en compte paraissent déjà très majorantes par rapport à la situation réelle. La prise en compte de durées d'exposition plus importantes et réalistes augmenterait les niveaux de risques mais ceux-ci resteraient acceptables.

Influence d'autres paramètres

Les facteurs d'absorption (contact cutané avec les sols) pris en compte pour la promenade des enfants sont les mêmes que pour le jeu, ce qui est majorant.

Il en est de même pour les facteurs d'adhérence, et les surface corporelles exposées (mains, bras, visage, jambes).

Les quantités de sols ingérés sont sécuritaires considérant la durée de temps passé au point d'exposition considéré.

En conséquence, l'analyse de sensibilité et des incertitudes conduit à valider le caractère acceptable du risque pour les scénarios d'exposition au droit et au pied de la décharge.

7.3.3. Analyse de sensibilité et des incertitudes : source ES3

Le risque calculé est **acceptable**, en prenant en compte les concentrations **maximales** des substances détectées dans les eaux.

La voie d'exposition contribuant majoritairement au risque est l'ingestion, tant pour le risque toxique (86,5% de l'IR total) que pour le risque cancérigène (88,1% de l'ERI). L'inhalation n'apporte qu'une contribution négligeable.

Le niveau de risque toxique pour l'enfant provient principalement de l'exposition par ingestion d'eau contenant des métaux (plomb, chrome, cobalt, nickel).

Les concentrations en métaux restent cependant inférieures aux valeurs limites pour l'eau potable, témoignant du caractère majorant et sécuritaire de l'approche prise en compte

Le niveau de risque cancérigène pour l'enfant provient de l'ingestion de l'eau d'ES3 contenant des traces de cobalt (93,8% de l'excès de risque individuel), malgré une concentration à peine supérieure au seuil de détection. Ceci est la conséquence de l'utilisation d'une VTR pénalisante (valeur calculée par le RAIS).

Influence des substances inférieures aux LIQ

Afin de vérifier si la non prise en compte des substances non détectées (mais qui sont présentes par ailleurs dans les eaux souterraines et pourraient donc éventuellement être présentes à l'état de traces, à des concentrations inférieures au LIQ), un calcul très sécuritaire a été effectué en intégrant ces substances au calcul à des concentrations égales aux LIQ (pour les substances du programme d'analyse ciblées). Les résultats sont donnés dans le Tableau 11 page suivante. Ils montrent que le risque reste **acceptable**.

Influence d'autres paramètres

Les variations éventuelles des paramètres d'exposition (quantités d'eau ingérées, surface du corps exposée) ne pourront modifier les niveaux de risque de sorte que ceux-ci deviennent inacceptables ;

Le screening d'un échantillon de ES3 a montré la présence de substances pour lesquelles aucune VTR n'a pu être établie. Ces substances sont pour certaines des composés de dégradation des substances contenues dans la décharge. La concentration totale de ces substances est de quelques µg/l. Il est peu vraisemblable considérant les concentrations de ces substances et leur nature qu'elles induisent des niveaux de risque tels que les niveaux cumulatifs de risque deviennent inacceptables.

Source ES3 (avec substances < LIQ)	Valeur	Critère d'accepta- bilité	Qualification du risque	Ecart au critère	Contribution de la voie au risque total
Enfants – Risque toxique					
IR inhalation	$1,5 \cdot 10^{-4}$	1	Acceptable	6818	1,6 %
IR ingestion directe eau	$8,7 \cdot 10^{-3}$	1	Acceptable	114	96,5 %
IR contact cutané eau	$1,7 \cdot 10^{-4}$	1	Acceptable	5839	1,9 %
IR total	$9,1 \cdot 10^{-3}$	1	Acceptable	110	
Enfants – Risque cancérigène					
ERI inhalation	$4,6 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	21606	0,1 %
ERI ingestion directe eau	$2,6 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	39	46,1 %
ERI contact cutané eau	$3,0 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	33	53,8 %
ERI total	$5,5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Acceptable	18	

Tableau 11 : IR et ERI pour le scénario jeu près de la source ES3 (enfants) - Etude de sensibilité (intégration des substances non détectées en concentration égale à la LIQ)

7.3.4. Analyse de sensibilité et des incertitudes : drain n°2

Exposition des enfants

Le niveau calculé de l'indice de risque provient principalement de l'exposition au trichloroéthylène par contact cutané. En effet, le RAIS a établi une VTR très contraignante pour cette voie d'exposition (DJT = 0,000045 mg/kg/jour – la DJT pour l'ingestion est de 0,00146 mg/kg/j). Les calculs d'exposition pour la voie cutanée sont entachés d'incertitude sur le transfert à travers la peau et, pour des substances volatiles comme le TCE, on peut s'interroger sur l'atténuation rapide par volatilisation des concentrations dans le film d'eau sur la peau, tendant à diminuer la concentration qu'il faudrait considérer pour calculer les risques.

Le commentaire ci-dessus est également pertinent pour l'ERI calculé pour l'exposition par contact cutané au trichloroéthylène.

L'ingestion d'eau est la seconde voie d'exposition prépondérante dans les niveaux de risque calculés : exposition aux dichloranilines et aux métaux (même si ceux-ci ont des concentrations comparables aux concentrations admissibles pour les eaux destinées à l'alimentation humaine).

Les valeurs retenues pour les paramètres d'exposition (quantité d'eau ingérée, surface de peau exposée, fréquences d'exposition ...) sont pénalisantes. Il est donc peu vraisemblable que des variations de ces paramètres induisent des augmentations des niveaux de risques tels que ceux-ci deviennent inacceptables.

L'évaluation de la voie d'exposition par contact cutané est limitée par la disponibilité de VTR pour cette voie d'exposition. Les feuilles de calculs des risques (Annexe O) montrent que le ratio de la dose d'exposition par contact cutané sur la dose d'exposition par ingestion varie selon la valeur du coefficient Kow utilisé pour le calcul du transfert cutané (le transfert vers l'organisme pour l'ingestion est considéré comme constant quelque soit les substances). Ces ratios varient généralement d'un ordre de grandeur autour de 1. Une approximation pour suppléer à l'absence de VTR pour le contact cutané consisterait à cumuler la dose d'exposition par cette voie à celle pour l'ingestion. Cette approche montrerait que les niveaux de risques obtenus restent acceptables.

Le screening d'un échantillon en juin 2006 de l'eau au point Drain n°2 a identifié des substances non comprises dans le programme des analyses ciblées. La charge organique correspondant à ces composés est sensiblement équivalente à la charge correspondant aux composés caractérisés par les analyses ciblées (en considérant la valeur moyenne des signaux du screening). Considérant la caractérisation de la pollution en d'autres points en amont du Drain n°2, il apparaît que cette charge organique correspond à (1) des composés de la décharge, (2) des produits de dégradation et (3) des substances issues de la matière organique des sols de surface. La prise en compte de ces composés dans les calculs de risque n'est pas possible en l'état des connaissances. Considérant toutefois les niveaux de risques calculés, il est peu probable que les substances non ciblées décelées par le screening induisent une augmentation des niveaux de risques rendant ceux-ci inacceptables. Par mesure de précaution, il est toutefois recommandé de maintenir une surveillance de ce point d'exposition.

Exposition des adultes

Les niveaux de risque calculés sont nettement inférieurs aux niveaux acceptables. La voie d'exposition prépondérante est l'inhalation. L'approche retenue pour cette exposition est sécuritaire. Ce scénario inclut également l'ingestion de sol qui a été discutée ci-dessus.

En conclusion, l'analyse de la sensibilité et l'examen des incertitudes pour les différents scénarios étudiés permet de conclure que l'approche retenue est suffisamment sécuritaire pour valider le caractère *acceptable* des niveaux de risque.

8. Conclusions - Recommandations

Dans la configuration actuelle du site et dans l'état actuel des connaissances, l'analyse du risque sanitaire du site du Letten à Hagenthal montre que, parmi les scénarios examinés, **aucun ne présente une situation sanitaire induisant des niveaux de risque inacceptables en ce qui concerne les risques toxiques et cancérigènes.**

Les études réalisées et les analyses réalisées régulièrement montrent **l'absence d'impact de la décharge sur la qualité des eaux des captages AEP de SCHONENBUCH** (voir aussi le volet 2 de l'étude, rapport ANTEA A47000/A, [49]).

Plusieurs scénarios ont été étudiés pour évaluer l'exposition de la population locale :

- aux émanations gazeuses provenant des déchets chimiques (exposition par inhalation), et aux substances détectées dans les sols de surface (exposition par ingestion et contact cutané) lors de la **promenade sur le chemin traversant la décharge** (adultes et enfants), du **jeu au droit ou au pied de la décharge** (enfants), ou des **travaux forestiers sur ou au pied de la décharge** (adultes) ;
- aux composés des eaux s'écoulant depuis la **source ES3** au pied de la décharge (exposition des enfants lors du **jeu dans le bois du Letten**, par inhalation des substances volatiles, ingestion d'eau et de sol, et contact cutané avec les eaux et les sols) ;
- aux composés des eaux s'écoulant depuis le système de **drainage agricole** au niveau du champ en contrebas de la forêt, déterminant l'existence d'une flaque d'eau temporaire dans le champ ou dans l'ancien fossé du Moulin (exposition des enfants lors du **jeu**, par inhalation des substances volatiles, ingestion d'eau et de sol, et contact cutané avec les eaux et les sols, exposition d'adultes lors de la **promenade ou de travaux agricoles**, par inhalation des substances volatiles, ingestion de sol, et contact cutané avec les sols).

En outre, les scénarios *transfert vers le lait et/ou la viande de bovins abreuvés par des eaux contaminées*, et *transfert vers le lait et/ou la viande de bovins en pâture sur les sols contaminés* ont été écartés car non pertinents en raison de la configuration et des usages du site, du faible potentiel d'accumulation des substances détectées et du potentiel important d'atténuation dans les mécanismes de transfert vers l'homme (cf. chapitre 3.4.2.2).

Pour tous ces scénarios, compte tenu des hypothèses conservatoires retenues dans la présente étude, les résultats des calculs des risques (modélisation des expositions) et l'analyse des incertitudes ne font pas apparaître d'éventuelles erreurs de mesures ou d'appréciation dissimulant un risque inacceptable.

Compte tenu des résultats de l'évaluation des risques et des hypothèses faites, il apparaît nécessaire de mettre en œuvre les mesures suivantes :

- Maintenir une surveillance semestrielle des eaux souterraines au voisinage de la décharge à partir des piézomètres existants. Le programme d'analyses ciblées est pertinent pour suivre les impacts de la décharge. Ce programme pourrait être revu selon les résultats disponibles afin d'en faciliter la mise en œuvre.
- Etablir les mesures à mettre en œuvre pour améliorer l'isolement des déchets sur le talus de la décharge.
- Veiller au maintien de l'information acquise au cours des 7 dernières années et aux résultats de la surveillance afin de revoir périodiquement les données acquises et d'identifier le cas échéant des situations d'augmentation de l'exposition nécessitant la mise en œuvre de mesures de gestion.
- Mettre en œuvre des servitudes d'usage des terrains au droit de la décharge et en aval jusqu'au canal du Moulin, et des restrictions d'usage des eaux souterraines au droit et à proximité du site ainsi qu'entre le site et le Lertzbach.

A titre de précaution, il pourrait aussi être envisagé de limiter l'accès à la décharge à partir du chemin la traversant.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'ANTEA ne saurait engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Il est rappelé que les résultats de la reconnaissance s'appuient sur un échantillonnage et que ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité du milieu naturel ou artificiel étudié.

