

CONSORTIUM POUR L'ASSAINISSEMENT DE  
LA DÉCHARGE DE LA PILA  
RAPPORT DE SYNTHÈSE

SYNTHÈSE DES ÉTUDES ET INVESTIGATIONS À MI 2011

Fribourg, le 29 juin 2011  
FR2706.900

**CSD INGENIEURS SA**

Chantemerle 37 - Granges-Paccot

Case postale 384

CH-1701 Fribourg

t +41 26 460 74 74

f +41 26 460 74 79

e [fribourg@csd.ch](mailto:fribourg@csd.ch)

[www.csd.ch](http://www.csd.ch)

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. CONTEXTE GENERAL ET HISTORIQUE</b>	<b>4</b>
<b>2. INVESTIGATIONS REALISEES</b>	<b>5</b>
2.1 Investigation historique	5
2.1.1 Travaux réalisés	5
2.1.2 Résultats et conclusions de l'étude	5
2.2 Investigation technique	5
2.2.1 Travaux réalisés	5
2.2.2 Résultats et conclusions de l'étude	5
2.3 Investigation de détail	5
2.3.1 Travaux réalisés	5
2.3.2 Résultats et conclusions de l'étude	6
2.4 Modélisation géostatistique de la contamination de la décharge	6
2.4.1 Travaux réalisés	6
2.4.2 Résultats et conclusions de l'étude	6
2.5 Modélisation hydrogéologique numérique	7
2.5.1 Travaux réalisés	7
2.5.2 Résultats et conclusions de l'étude	7
<b>3. ETAT DES CONNAISSANCES SUR LE SITE</b>	<b>8</b>
3.1 Cadre géologique	8
3.1.1 Description générale	8
3.1.2 Caractéristiques du site	8
3.2 Hydrogéologie	10
3.2.1 Description générale	10
3.2.2 Caractéristiques hydrauliques de la Sarine	10
3.2.3 Piézométrie	11
3.3 Principaux polluants identifiés	13
3.3.1 Types de polluants	13
3.3.2 Concentrations	14
3.4 Quantification de la pollution et répartition sur le site	14
3.4.1 Catégories de teneurs en PCB	14
3.4.2 Principaux foyers de pollution identifiés	15
3.4.2.1 Répartition sur le site	15
3.4.2.2 Zone haute de la décharge	17
3.4.2.3 Zone basse de la décharge	18
3.4.2.4 Lit mouillé de la Sarine	18
3.5 Origine de la pollution aux PCB	18
3.6 Mécanismes de diffusion de la pollution	19
3.6.1 Phénomènes d'exportation et flux	19
3.6.1.1 Exfiltration des polluants par les eaux souterraines	20
3.6.1.2 Transport particulaire avec l'érosion de la décharge	21

3.6.2	Charriage des sédiments	21
<b>4.</b>	<b>AUTRES DEMARCHES EN COURS</b>	<b>22</b>
4.1	Surveillance et monitoring	22
4.2	Mesures urgentes et préliminaires à l'assainissement	22
4.2.1	Mesures urgentes	22
4.2.2	Mesures préliminaires à l'assainissement	22
4.3	Projet d'assainissement selon l'OSites	23

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3-1	: Volume de la décharge et des couches inférieures – matériaux en place	9
Tableau 3-2	: Flux hebdomadaire calculé à l'aide du modèle hydrogéologique	10
Tableau 3-3	: Résumé statistique des volumes de matériaux estimés pour chacune des 6 classes de teneurs en PCB pour une maille de 8 m <sup>3</sup>	14

## LISTE DES FIGURES

Figure 3-1	: Profil géologique schématisé	8
Figure 3-2	: Variation du niveau de la Sarine à l'aval de la centrale hydroélectrique d'Hauterive	11
Figure 3-3	: Carte piézométrique en fin de période de turbinage	12
Figure 3-4	: Carte piézométrique en fin de week-end	13
Figure 3-5	: Répartition graphique des matériaux pour les 6 classes de teneurs en PCB	15
Figure 3-6	: Situation des différents secteurs	16
Figure 3-7	: Répartition des concentrations en PCB entre 569 et 573 m.s.m.	17
Figure 3-8	: Exemples de déchets de condensateurs identifiés.	19
Figure 3-9	: Schéma présentant les mécanismes de diffusion des flux de polluants	20
Figure 3-10	: Flux tirés du modèle numérique par secteur pour une semaine standard de turbinage et évaluation des quantités de PCB s'exfiltrant de la nappe	21

## PRÉAMBULE

CSD confirme par la présente avoir exécuté son mandat avec la diligence requise. Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport et ont été obtenus conformément aux règles reconnues de la branche.

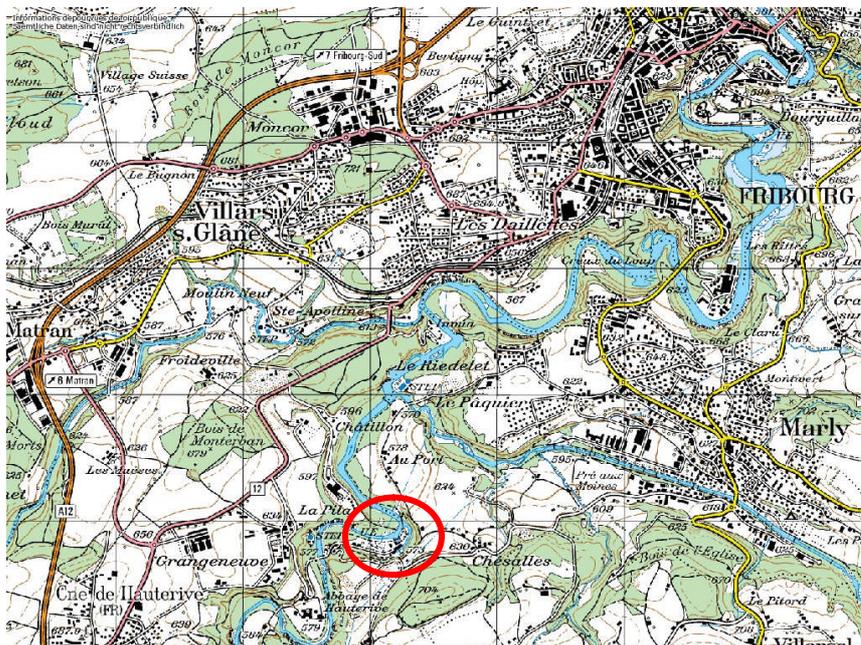
CSD se fonde sur les prémisses que :

- le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat,
- les résultats de son travail ne seront pas utilisés de manière partielle,
- sans avoir été réexaminés, les résultats de son travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet ni transposés à des circonstances modifiées.

Dans la mesure où ces conditions ne sont pas remplies, CSD décline toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Si un tiers utilise les résultats du travail ou s'il fonde des décisions sur ceux-ci, CSD décline toute responsabilité pour les dommages directs et indirects qui pourraient en résulter.

## 1. Contexte général et historique



Le lieu-dit la Pila, situé sur la commune d'Hauterive, au Sud-Ouest de la ville de Fribourg, a été utilisé par cette dernière comme décharge d'ordures ménagères par le passé.

Les premières investigations sur ce site ont débuté à la suite d'une demande déposée par un député du Conseil général de la Ville de Fribourg le 16 décembre 2003. Les questions posées, qui portaient sur le type de déchets déposés dans cette ancienne décharge, sur leur dangerosité et sur les mesures d'assainissement possibles, ont conduit la Ville de Fribourg

à engager l'étude de ce site pollué, selon la procédure en étapes prévue par l'Ordonnance fédérale sur les sites contaminés (OSites).

L'investigation préalable, concrétisée par les rapports d'investigation historique (CSD/ 7.09.2004) et d'investigation technique (CSD/ 27.01.2005), a permis de conclure à la nécessité d'assainir ce site. L'investigation détaillée, réalisée en deux étapes (campagne de 2006 et rapport CSD/ 09.03.2007 puis campagne 2008 et rapport CSD/ 15.12.2008), a mis en évidence l'ampleur de la pollution du site, notamment par des PCB. Ces résultats ont conduit au printemps 2007 à un contrôle de l'état de la contamination de la faune piscicole dans la Sarine et à la mise en place de mesures physiques pour limiter l'accès au site (Décision préfectorale du 11 décembre 2007).

Les teneurs en PCB de type dioxine trop élevées<sup>1</sup> trouvées dans la chair des poissons ont abouti le 29 août 2007 (par ordonnance du Conseil d'Etat) à une interdiction de la pêche dans la Sarine entre les barrages de Rossens et de Schiffenen. Le 2 octobre 2007 le Conseil d'Etat a adopté un arrêté relatif à l'organisation de projet pour l'assainissement de l'ancienne décharge de la Pila.

La nécessité d'assainir l'ancienne décharge de la Pila a été confirmée par le Service de l'environnement dans ses déterminations du 26 janvier 2009 et du 3 mars 2010 sur la base de l'investigation détaillée de l'ensemble du site (CSD, 15.12.2008) et des études et investigations menées en 2009.

Le Consortium pour l'assainissement de la Pila, constitué par la Ville de Fribourg et le canton de Fribourg via le Service des forêts et de la faune (propriétaire du terrain), a mandaté le 2 juin 2010 le bureau CSD Ingénieurs SA pour l'établissement du projet d'assainissement selon l'OSites.

<sup>1</sup> La référence est la valeur limite de 8 picogrammes d'équivalent toxique (TEQ) par gramme de chair musculaire fraîche de poisson pour la somme des PCDD, PCDF et cPCB (Dioxines, Furannes et PCB coplanaires ou dioxin like). Cette valeur limite est entrée en vigueur le 4 novembre 2006 en Europe sous forme de teneur maximale admissible. Les valeurs analysées dans des truites pêchées à proximité de la Pila ont atteint jusqu'à 96 picogrammes par gramme. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2009, cette teneur maximale européenne a été introduite comme valeur de tolérance en Suisse (commercialisation interdite lorsque cette valeur est dépassée).

## 2. Investigations réalisées

### 2.1 Investigation historique

#### 2.1.1 Travaux réalisés

Cette première phase d'étude s'est concentrée sur l'analyse de documents d'archives, de rapports d'étude réalisés à proximité du site ou en relation avec la qualité des eaux et sédiments de la Sarine. Les photos aériennes disponibles (1968, 1974 et 1981) ont également été analysées.

#### 2.1.2 Résultats et conclusions de l'étude

Le site de la Pila a été utilisé comme décharge d'ordures ménagères par la Ville de Fribourg entre 1952 et 1975. Des prélèvements effectués dans le cadre d'études précédentes (réalisées en 2000 et 2001 dans le cadre du projet d'usine d'incinération) dans les sédiments de la Sarine, à l'aval immédiat de l'ancienne décharge ont mis en évidence des teneurs élevées ponctuelles en certains composés, notamment les PCB.

L'investigation historique met en évidence les risques de pollution du sous-sol et des eaux à partir de ce site. Le rapport du 6 septembre 2004 recommande la réalisation d'une phase de reconnaissance technique afin d'évaluer l'importance de la pollution et d'établir le besoin de surveillance ou d'assainissement du site.

### 2.2 Investigation technique

#### 2.2.1 Travaux réalisés

Quatre forages carottés sont réalisés sur le site de la Pila entre le 20 et le 25 octobre 2004. Ils ont pour objectif de mettre en évidence la nature des terrains sous-jacents et de déterminer la présence ou non d'eaux souterraines. Deux échantillons composites de sols, un échantillon d'alluvions et trois analyses d'eaux sont effectués dans le cadre de cette étude afin d'établir l'état de pollution du site.

#### 2.2.2 Résultats et conclusions de l'étude

Les résultats de l'investigation technique mettent en évidence une pollution du site par les PCB, et dans une moindre mesure par les métaux lourds et les hydrocarbures. Le lixiviat des déchets contient plus particulièrement des PCB et de l'ammonium. Le rapport du 27 janvier 2005 conclut à la nécessité d'assainir le site du point de vue de la protection des eaux de surface car les polluants identifiés présentent un danger concret de pollution en raison d'une rétention ou d'une dégradation insuffisantes.

Afin de déterminer l'ampleur et l'étendue exacte de la pollution ainsi que les buts et l'urgence de l'assainissement, la réalisation d'une investigation de détail est nécessaire.

### 2.3 Investigation de détail

#### 2.3.1 Travaux réalisés

L'investigation de détail s'est déroulée en deux étapes : l'ampleur de la contamination mise en évidence dans le cadre de la première étape d'étude a conduit à engager des moyens d'investigation plus

importants afin de quantifier précisément la contamination du site et les atteintes à l'environnement qui en découlent.

**Etape 1** : 3 forages et 29 sondages à la pelle hydraulique ont été réalisés sur le site entre le 17 et le 24 février 2006, dont ont été extraits 13 échantillons composites de sols pour analyses. 8 échantillons d'eaux souterraines ont été prélevés le 8 juillet 2006 pour analyses. Des capteurs de pression permettant de suivre l'évolution des niveaux d'eau ont été mis en place.

**Etape 2** : 39 forages ont été effectués entre le 15 avril et le 15 juillet 2008, dont 3 (janvier 2008) en amont du site afin de confirmer l'absence de pollution sur le périmètre occupé par les gens du voyage. 235 analyses d'échantillons solides, 32 analyses d'eau et 10 analyses de l'air interstitiel ont été réalisées. Des essais de pompage, de traçage et un suivi en continu de la nappe par la mise en place de sondes automatiques ont complété les informations sur l'hydrogéologie complexe du site.

### 2.3.2 Résultats et conclusions de l'étude

La phase d'investigation de détail a permis de mettre en évidence l'ampleur de la contamination du site par des PCB, liée à la présence de déchets de type artisanal ou industriel (par exemple différents types de condensateurs) sur le site de la Pila. Ce type de déchets se trouve parfois en quantités massives et concentrées dans certaines zones de la décharge.

Les volumes de déchets présents, leur état de pollution et les différentes filières possibles pour le traitement de ces matériaux ont permis de définir les catégories principales de déchets, qui se distinguent en particulier par leur concentration en PCB. Des matériaux présentant des teneurs élevées en PCB ont été identifiés en plusieurs endroits du site, que ce soit surface ou en profondeur.

## 2.4 Modélisation géostatistique de la contamination de la décharge

### 2.4.1 Travaux réalisés

Une étude géostatistique a été réalisée à partir des données collectées lors des investigations techniques sur le corps de la décharge et son encaissant : au total, ce sont les analyses de plus de 270 échantillons de matériaux qui ont été exploitées pour modéliser la répartition spatiale de la contamination et en déduire une classification des matériaux par filière d'élimination.

Les méthodes géostatistiques permettent d'élaborer un modèle de répartition de la pollution qui reproduit les tendances spatiales observées sur les données et de quantifier l'incertitude associée au modèle.

### 2.4.2 Résultats et conclusions de l'étude

Plus concrètement, la modélisation géostatistique est destinée à fournir :

- Une cartographie 3D de la classification des matériaux par filière et une localisation des zones où les risques d'erreur de classification sont élevés (zones dites « incertaines » où un tri des matériaux selon une grille d'échantillonnage adaptée permettra de réduire les volumes de matériaux envoyés dans une filière inadaptée à leur charge polluante).
- Une estimation des volumes (ou tonnages) associés à chaque catégorie (filière) de matériaux, assortie d'une quantification de la précision.
- Des recommandations sur les conditions de tri des matériaux en fonction de leur charge polluante et du niveau de précision de leur classification.

## 2.5 Modélisation hydrogéologique numérique

### 2.5.1 Travaux réalisés

Les données ponctuelles résultant des mesures piézométriques n'étant pas suffisantes pour comprendre finement le fonctionnement du système hydrogéologique, il a été décidé de réaliser en 2009 un modèle numérique de l'écoulement et du transfert de polluants du méandre de la Pila.

Les objectifs principaux de cette modélisation étaient les suivants :

- évaluer les flux d'eau souterraine aux limites du domaine,
- préciser les conditions hydrogéologiques non appréhendables intuitivement du fait de la complexité du système,
- évaluer les quantités de polluants s'exfiltrant dans la Sarine.

Le logiciel Feflow (V5.4) à éléments finis a été utilisé à cet effet. Le type de modèle choisi est un modèle en deux dimensions, transitoire, horizontal et saturé. Les données géologiques et hydrogéologiques recueillies dans le cadre des investigations précédentes ont servi de base à cette étude. Préalablement à la phase de modélisation, ces données ont été précisées dans le but d'approcher au mieux la réalité.

A ce titre, 4 essais de pompage ont été réalisés et interprétés pour évaluer les variations de la perméabilité et du coefficient d'emménagement sur le domaine. Par ailleurs, la modélisation de la ligne d'eau de la Sarine aux abords du domaine a été précisée et adaptée afin d'assurer une meilleure compatibilité et précision de la condition limite représentée par la rivière. En dernier lieu, une nouvelle interprétation du toit du substratum molassique a été réalisée grâce aux relevés de la géométrie du lit de la Sarine, qui s'écoule en grande partie sur la molasse.

### 2.5.2 Résultats et conclusions de l'étude

Le modèle hydrogéologique numérique de la Pila précise les conditions de circulation des eaux souterraines, les mécanismes d'échange avec la Sarine et les apports d'eaux météoriques et d'eaux souterraines depuis l'extérieur du site de la Pila.

Les résultats hydrogéologiques, présentés dans le paragraphe 3.2 ci-dessous, permettent de quantifier les flux d'eau entrants ou sortants du système durant une semaine de turbinage standard et durant une semaine de faible turbinage.

Afin d'estimer les flux de polluants s'exfiltrant du site, la propagation d'un panache de bromures a été simulée. Les résultats montrent que l'exfiltration des eaux polluées a majoritairement lieu dans la partie aval de la décharge alors que la partie amont semble largement influencée par la recharge de la Sarine.

Sur la base de la répartition des flux au cours de la semaine standard et de toutes les analyses effectuées dans 6 piézomètres du bord aval, les flux de PCB se déversant dans la Sarine par les eaux souterraines ont été estimés et extrapolés sur une année.

## 3. Etat des connaissances sur le site

### 3.1 Cadre géologique

#### 3.1.1 Description générale

La décharge de la Pila est située dans un méandre de la Sarine, posée dans une auge morphologique, creusée dans la molasse par la rivière. Le remblai formé par les déchets repose directement (ou par endroits au-dessus d'un paléosol) sur les alluvions graveleuses récentes déposées par le cours d'eau. La partie sommitale de la décharge est adossée, sur son versant Sud, à la falaise de molasse formant l'encaissant rocheux et aux graviers appartenant à la formation dite de «la Tuffière».

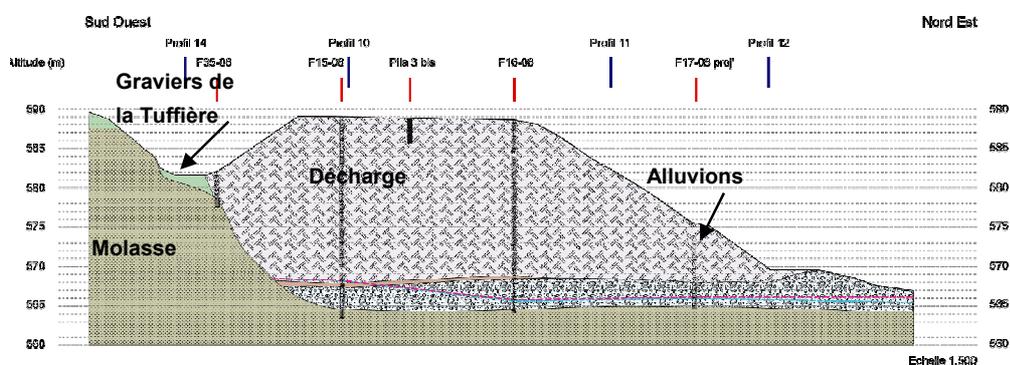


Figure 3-1 : Profil géologique schématique

L'agencement général des formations géologiques de la zone de la Pila peut être présenté de la manière suivante (des terrains les plus anciens aux plus récents) :

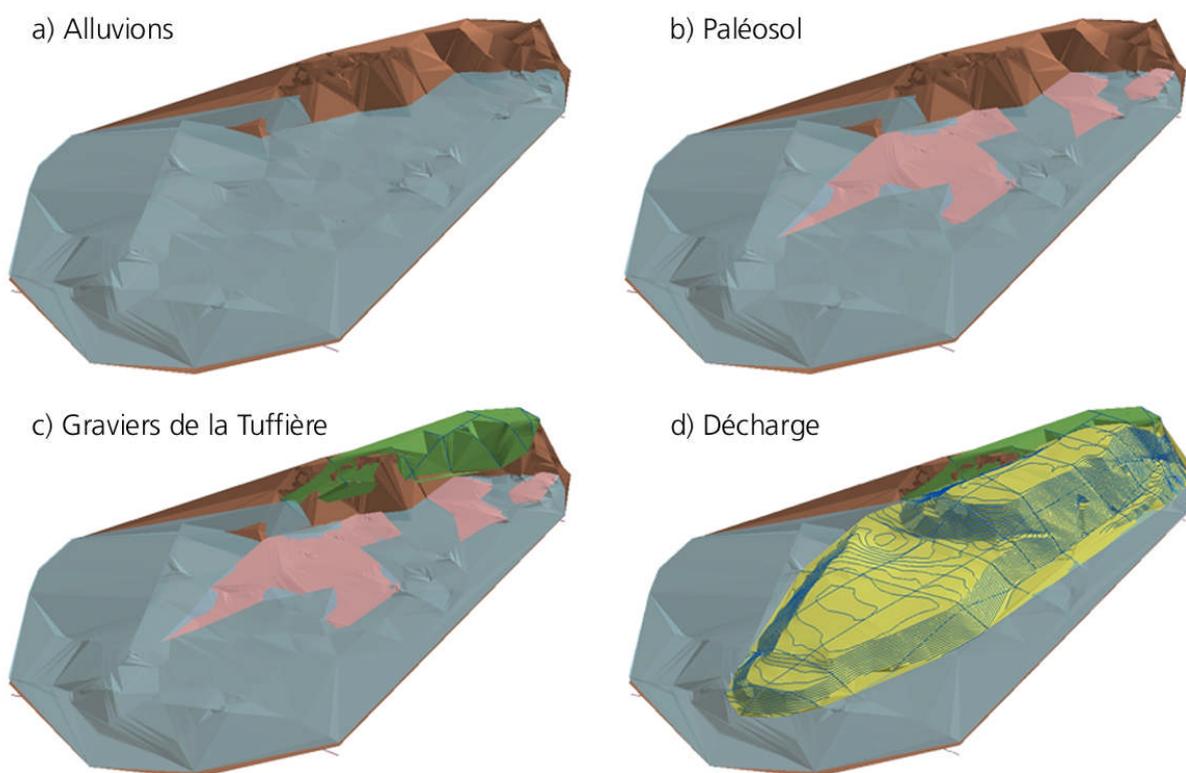
- La molasse burdigalienne tertiaire constitue le soubassement rocheux. Elle plonge de quelques degrés vers l'Est.
- Les graviers fluvioglaciaires reposent sur la molasse dont le toit est situé dans le secteur entre 550 et 580 mètres d'altitude. Ces graviers ont été déposés sous forme de dépôts de progression au début de l'épisode glaciaire du Würm. Ils sont actuellement exploités dans la gravière de la Tuffière, ce qui a donné le nom local de "Graviers de la Tuffière" à cette formation.
- Durant la glaciation du Würm, de la moraine informe s'est déposée sur tout le secteur, recouvrant les dépôts précédents. Elle est le produit du délavage de la moraine graveleuse par les eaux de fusion.
- A la fin de la glaciation, des dépôts fluvi-glaciaires et glacio-lacustres se sont déposés à l'arrière de la Pila et sur le site de Châtillon. Ces graviers ont été exploités par les différentes gravières de Châtillon.
- L'érosion récente a modelé les terrains en entaillant la vallée dans le fond de laquelle la Sarine a creusé son cours. Celle-ci a déposé des alluvions sur les berges de son lit molassique.

#### 3.1.2 Caractéristiques du site

Comme le montre le profil géologique, la décharge s'appuie vers le SO en partie sur une falaise molassique prolongée vers l'Est par les Graviers de la Tuffière puis par une arête molassique qui court

d'Est en Ouest sur toute la marge Sud de la décharge. La nappe située sous la décharge, dans les alluvions, est limitée vers le sud par cette arête du substratum molassique qui l'isole de la Sarine en amont de l'usine électrique d'Hauterive. Ainsi, l'eau de la rivière ne traverse pas de part en part les alluvions situées sous le corps de la décharge en conditions normales. Lors de crues importantes, les eaux de la Sarine passent au-dessus de l'arrête molassique et les écoulements souterrains traversent les alluvions de part en part.

Les volumes, présentés dans le Tableau 3-1 ont été évalués sur la base des données topographiques et géologiques collectées dans le cadre de l'investigation détaillée. Un modèle 3D du site, composé de la décharge, des alluvions, des graviers et du paléosol a été élaboré. Les volumes des alluvions et graviers pris en compte dans le calcul sont uniquement ceux situés dans l'emprise de la décharge. Le paléosol ne constitue pas un fond étanche, il est simplement utilisé pour distinguer les couches sur les représentations graphiques. Le volume total ne comprend pas la couche de molasse altérée potentiellement impactée par la pollution. L'emprise maximale des déchets est de 22'000 m<sup>2</sup>.



Type	Volume en place [m3]
a) Alluvions	67'000
b) Paléosol	3'000
c) Graviers	7'000
d) Volume décharge	195'000
<b>Volume total</b>	<b>272'000</b>

Tableau 3-1 : Volume de la décharge et des couches inférieures – matériaux en place

## 3.2 Hydrogéologie

### 3.2.1 Description générale

Une nappe souterraine, située sous le corps de la décharge, s'écoule dans les alluvions sous-jacentes. Cet aquifère est alimenté et influencé par différents apports :

- **La Sarine:** les augmentations du niveau de la Sarine liées au turbinage induisent, par augmentation de la pression, une élévation du niveau de l'eau contenue dans la décharge.
- **Apports depuis les graviers:** les précipitations infiltrées dans les graviers qui se trouvent à l'amont de la décharge s'écoulent à l'interface avec la molasse et peuvent atteindre le corps de la décharge et les alluvions sous-jacentes. Cette alimentation par les graviers se matérialise à l'extrémité Nord-Ouest du site par la présence de tuf dominant une zone humide mais peut exister ailleurs dans le périmètre de la décharge, au contact des graviers et du corps de déchets.
- **Les eaux météoriques :** qui s'infiltrent dans le corps de la décharge.

Le modèle numérique évalue les flux suivants pour la semaine du 2 au 9 juin 2008 qui est représentative d'une semaine de turbinage classique à l'exception du flux amont qui est élevé en raison de fortes précipitations lors des semaines précédentes.

Flux entrant Sarine :	3380 m <sup>3</sup> /semaine	66%
Flux amont :	1240 m <sup>3</sup> /semaine	24%
Infiltration efficace :	490 m <sup>3</sup> /semaine	10%
<hr/>		
Total flux entrant	5'110 m <sup>3</sup> /semaine	100%
Flux sortant Sarine	5'110 m <sup>3</sup> /semaine	100%

Tableau 3-2 : Flux hebdomadaire calculé à l'aide du modèle hydrogéologique

### 3.2.2 Caractéristiques hydrauliques de la Sarine

Les caractéristiques hydrauliques de la Sarine au droit de la décharge sont fortement liées aux conditions d'exploitation des ouvrages hydroélectriques de Groupe E (centrale de Hauterive, barrage de Rossens).

Les débits varient significativement sur une journée. Généralement, on observe des périodes de turbinage sur l'intervalle 8h–22h, et des périodes d'étiage la nuit et le week-end. Les variations sont relativement importantes puisque qu'entre les étiages et les périodes de turbinage, le débit varie d'environ 5 m<sup>3</sup>/s à 90 m<sup>3</sup>/s, ce qui représente une variation du niveau supérieure au mètre.

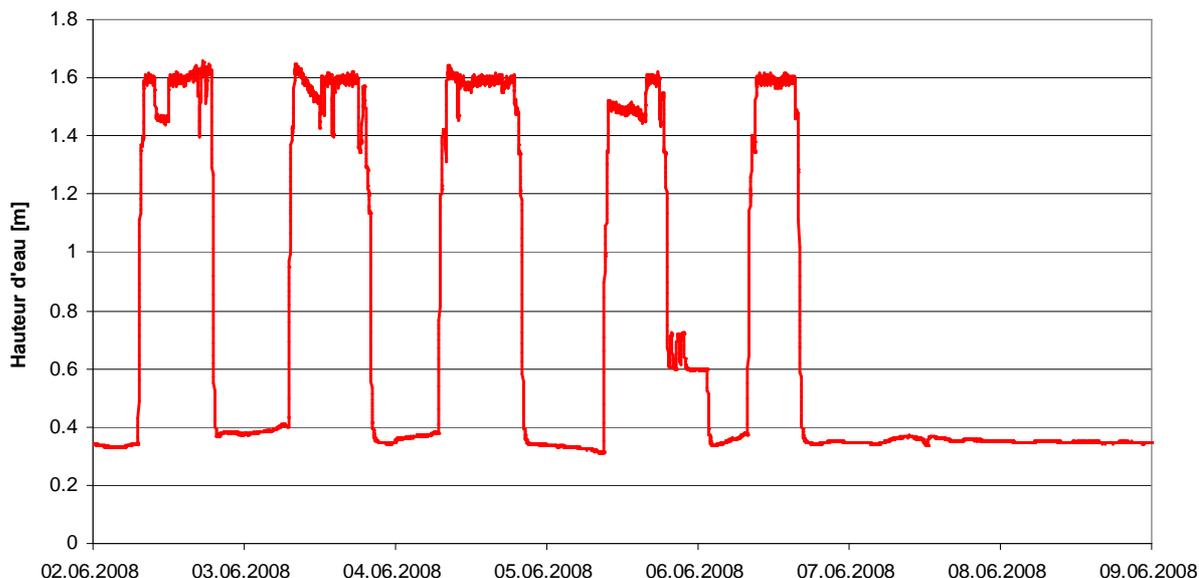


Figure 3-2: Variation du niveau de la Sarine à l'aval de la centrale hydroélectrique d'Hauterive

A l'amont de la centrale, le débit dépend principalement de la quantité d'eau lâchée au barrage de Rossens. En dehors des périodes de crue Groupe E ne laisse passer qu'un débit de dotation quasiment constant (3.5 m<sup>3</sup>/s du 20 mai au 30 septembre et 2.5 m<sup>3</sup>/s le reste de l'année). Lors des périodes de crue, les débits déversés sont liés au niveau d'eau dans le lac de la Gruyère.

### Crues

Les hautes eaux exceptionnelles récentes ont été observées lors des crues du 23 août 2005 et du 9 août 2007.

Lors de la crue de 2005, le débit à Rossens est monté jusqu'à 650 m<sup>3</sup>/s, soit un temps de retour d'environ 100 ans. L'usine hydroélectrique d'Hauterive a été noyée et a dû être arrêtée. Selon les informations transmises par Groupe e, le niveau de l'eau dans l'usine, soit à l'amont de la Pila, est monté jusqu'à 570.1 m.

Lors de la crue de 2007, le débit de la Sarine à la hauteur de la Pila est monté jusqu'à 430 m<sup>3</sup>/s, soit un temps de retour d'environ 40 ans. Ce débit comprend le débit de turbinage maximal de l'usine hydroélectrique d'Hauterive (85 m<sup>3</sup>/s) qui était en fonction. Les niveaux de cette crue ont été relevés par CSD en différents points à proximité de la décharge. Le long du bord aval de la décharge, les niveaux de la crue ont été approximativement de 569 msm, à la jonction de la petite Sarine et des canaux de fuite, et de 568 msm entre le rejet SAIDEF et le piézomètre F1. Ces relevés montrent que pour cette crue, la ligne d'eau présente une différence d'environ un mètre le long du bord aval de la décharge. Cette différence s'explique par la pente du lit de la Sarine et par la présence de seuils sur la molasse.

### 3.2.3 Piézométrie

Deux états hydrogéologiques ont été tirés de la simulation numérique afin de mettre en évidence le comportement de la nappe phréatique. La semaine du 2 juin 2008 présentant un régime hydraulique « normal » de la Sarine a été choisie du fait de sa représentativité sur l'année (plus de 40 semaines sur 52 correspondent à un turbinage similaire). Ainsi, les trois états simulés sont les suivants :

- **Piézométrie en fin de turbinage :**

Cette simulation correspond à une situation de hautes-eaux de la semaine du 2 juin 2008, soit à la fin d'une période de turbinage à la centrale d'Hauterive. La carte piézométrique ci-dessous (fig. 17) montre clairement une recharge de la nappe par la Sarine depuis l'amont hydraulique à l'est, jusqu'à une limite située entre Pila 2 et F2. Une recharge de la nappe par la Sarine est également effective mais moindre au niveau du F07-08, ceci probablement causé par le courant inverse de la Sarine observé dans ce secteur entraînant un niveau des eaux plus élevé. A partir du F1 jusqu'à la limite nord-ouest du système, la nappe phréatique se décharge dans la Sarine. Le flux amont venant des graviers de la Tuffière explique ce phénomène en période de hautes-eaux de la Sarine.

Sur le bord sud-ouest du domaine, le flux amont a été positionné depuis le nord-ouest jusqu'au F14-08, le très faible espacement entre les courbes piézométriques témoigne de la présence du talus molassique qui contraint l'écoulement et augmente ainsi son gradient. Il s'agit ici plus d'un écoulement pelliculaire sur la molasse que de la nappe phréatique présente dans les alluvions récentes. On remarque que le flux amont oriente les écoulements au niveau du F06-08, soit vers le nord et in fine vers la Sarine soit en direction du F2 vers le sud.

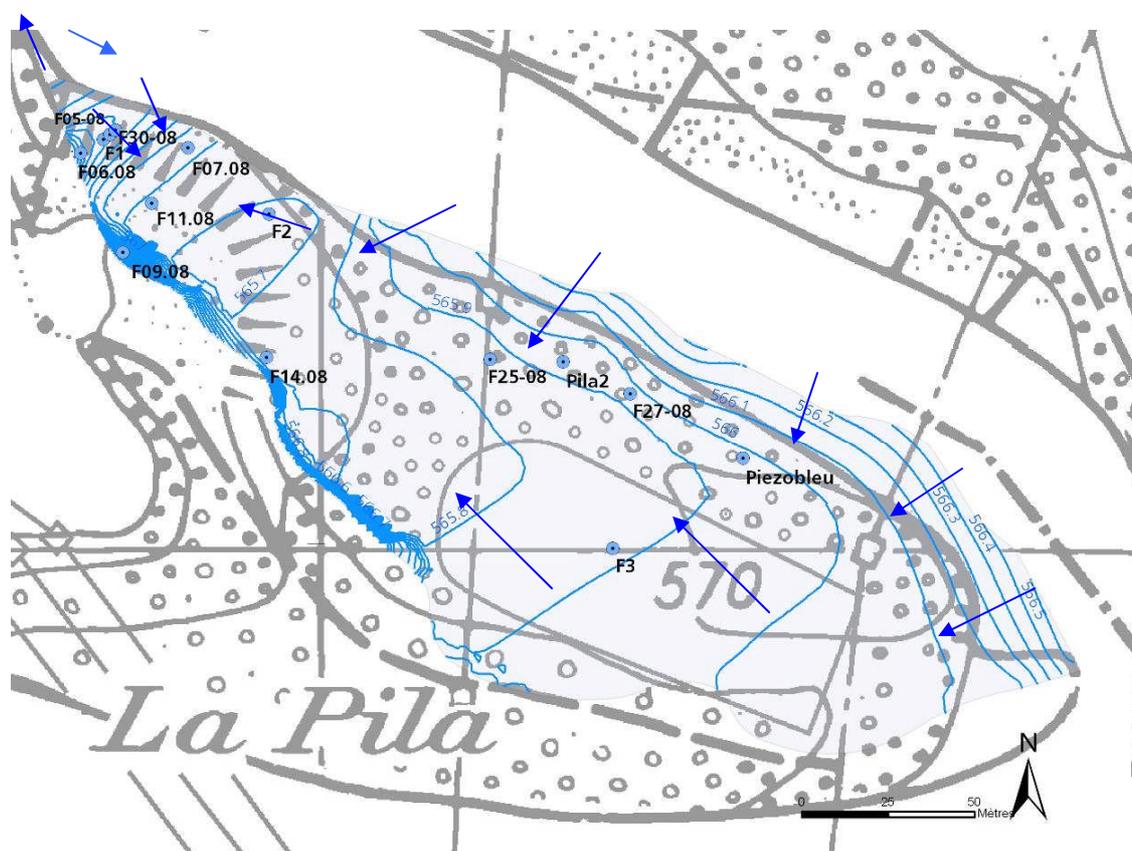


Figure 3-3 : Carte piézométrique en fin de période de turbinage

- **Piézométrie en fin de week-end (niveau bas de la Sarine) :**

La carte piézométrique ci-dessous montre une exfiltration de la nappe phréatique vers la Sarine sur l'ensemble de la bordure nord-est. A l'est de F14-08, la direction générale des écoulements est orientée vers le nord-nord-ouest. Le flux amont continue de modifier la piézométrie au niveau du F1 : l'écoulement est divergent, orienté vers la Sarine au nord du F1 et orienté vers F2 au sud de F1, le rendant ainsi quasiment parallèle à la berge entre le F07-08 et F2.

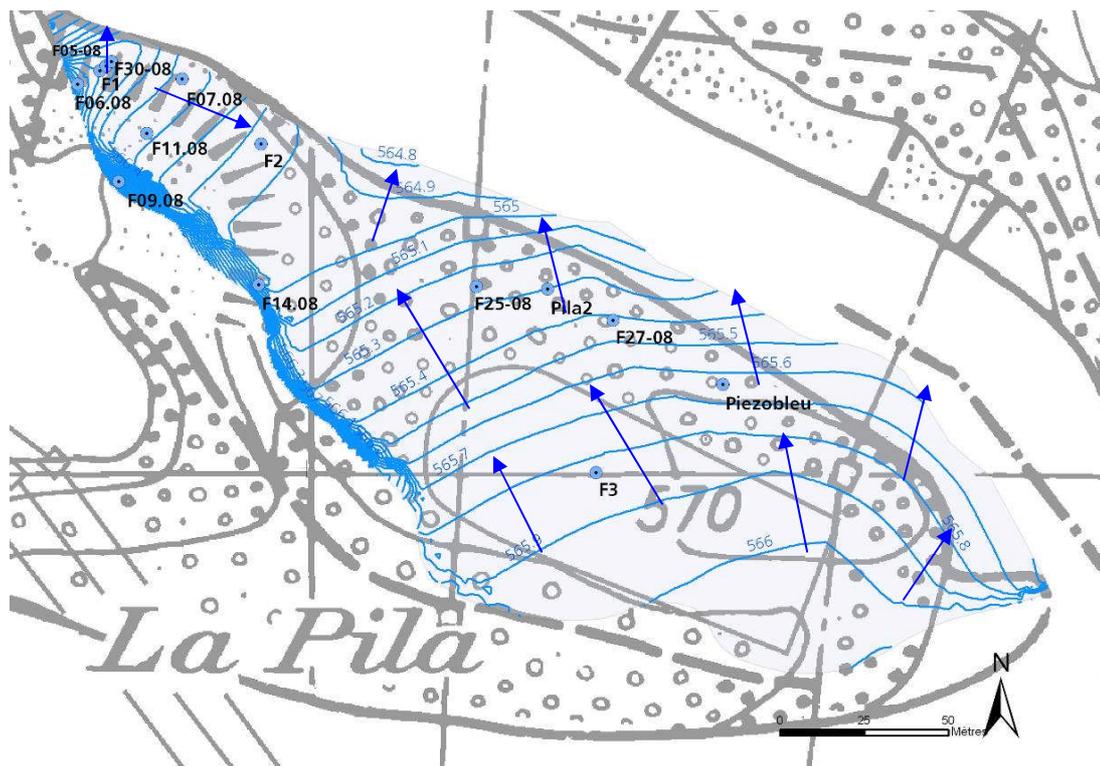


Figure 3-4 : Carte piézométrique en fin de week-end

En conclusion et en considérant des cycles successifs de turbinage, le modèle montre que la nappe est majoritairement rechargée par la partie amont (de l'extrémité est jusqu'au nord de Pila 2), puis l'eau ainsi emmagasinée s'oriente :

- 1) vers le secteur nord-ouest du modèle ou alors
- 2) s'exfiltre en partie dans la Sarine.

### 3.3 Principaux polluants identifiés

#### 3.3.1 Types de polluants

Les **principaux polluants** identifiés sur le site de la Pila sont en relation avec les déchets trouvés sur le site :

- Ordures ménagères : ammonium, nitrites, hydrocarbures aliphatiques, métaux (arsenic, baryum, cuivre, plomb, mercure et zinc).
- Déchets artisanaux ou industriels : PCB, solvants chlorés (chlorure de vinyle).

Les ordures ménagères contiennent également des concentrations limitées en PCB.

Les PCB, ou polychlorobiphényles, sont des produits chimiques n'existant pas à l'état naturel. Ce sont des composés organiques chlorés dérivés du benzène et obtenus par chloration du radical biphényle (deux noyaux de benzène reliés). Les atomes de chlore peuvent occuper l'une des 10 positions possibles sur la structure diphényle, ce qui donne théoriquement 209 congénères possibles ; toutefois, seuls 130 congénères ont effectivement été retrouvés dans des formulations chimiques commerciales.

Ces différents congénères ont en commun des propriétés physiques particulières : une grande stabilité à la chaleur, une très faible inflammabilité et une très grande viscosité. Ces propriétés ont conduit à les utiliser à large échelle dans les années 1940 à 1960, notamment dans des équipements électriques du type condensateurs.

Ce n'est qu'après plusieurs décennies d'utilisation massive que des études toxicologiques ont conduit non seulement à interdire la production et l'utilisation des PCB, mais encore à en réglementer l'élimination. Toutefois, le recours massif à ces dérivés chlorés, leur utilisation et leur élimination sans précaution particulière pendant près de cinquante années ont contaminé l'environnement, créant une pollution diffuse des sols et des cours d'eau.

### 3.3.2 Concentrations

Dans les échantillons solides issus de la décharge des teneurs en PCB totaux pouvant dépasser 1'000 mg/kg ont été mesurées en plusieurs endroits du site. Les prélèvements ciblés de condensateurs ont présenté des teneurs en PCB totaux supérieures à 20'000 mg/kg.

Les teneurs totales en hydrocarbures aliphatiques C10-C40 dans les échantillons solides peuvent atteindre 2'200 mg/kg ; la valeur médiane<sup>2</sup> est de 280 mg/kg.

Pour les quelques métaux lourds suivants, les teneurs totales maximales mesurées sont : plomb 7'300 mg/kg, zinc 8'800 mg/kg, cuivre 3'200 mg/kg, chrome VI 2 mg/kg et mercure 11 mg/kg. Les valeurs médianes de concentration atteintes pour ces composés sont : plomb 220 mg/kg, zinc 350 mg/kg, cuivre 115 mg/kg.

Pour les paramètres suivants, les teneurs maximales mesurées dans les tests de lixiviation<sup>3</sup> selon l'Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD) sont: ammonium 33.5 mg/L, nitrites 1.1 mg/L, arsenic 0.18 mg/L et baryum 0.92 mg/L.

## 3.4 Quantification de la pollution et répartition sur le site

### 3.4.1 Catégories de teneurs en PCB

L'étude géostatistique a permis de spatialiser les concentrations en PCB dans un modèle tridimensionnel composé de maille de 8 m<sup>3</sup> en se basant sur l'étude des variogrammes de leur distribution. La modélisation de 500 distributions des PCB équiprobables introduit la notion d'incertitude sur les résultats obtenus.

Le tableau ci-dessous résume donc le résultat statistique de la classification des concentrations en PCB répartis en 6 catégories dont les valeurs seuils sont basées sur les limites de l'OTD et de l'ADR.

Catégorie	PCB (mg/kg ms)	Q0.025	Moyenne	Q0.975	Ratio moyen	Erreur rel. sur la moy. <sup>4</sup>
1	$x < 0.1$	42'210	50'284	58'888	18%	17%
2	$0.1 < x < 1$	55'515	60'869	66'299	22%	9%
3	$1 < x < 10$	87'118	93'493	99'951	34%	7%
4	$10 < x < 50$	42'865	48'462	53'894	17%	11%
5	$50 < x < 1000$	16'124	20'578	25'562	7%	23%
6	$1000 < x$	2'447	4'373	7'148	2%	54%

Tableau 3-3 : Résumé statistique des volumes de matériaux estimés pour chacune des 6 classes de teneurs en PCB pour une maille de 8 m<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Valeur non dépassée par la moitié des résultats d'analyse considérés

<sup>3</sup> Ce type d'analyse permet de tester et d'évaluer la quantité de polluants pouvant théoriquement être larguées dans l'eau par lessivage d'un sol pollué

<sup>4</sup>  $(Q0.975 - Q0.025)/Moyenne/2$ .

La figure suivante montre la répartition moyenne entre les différentes catégories.

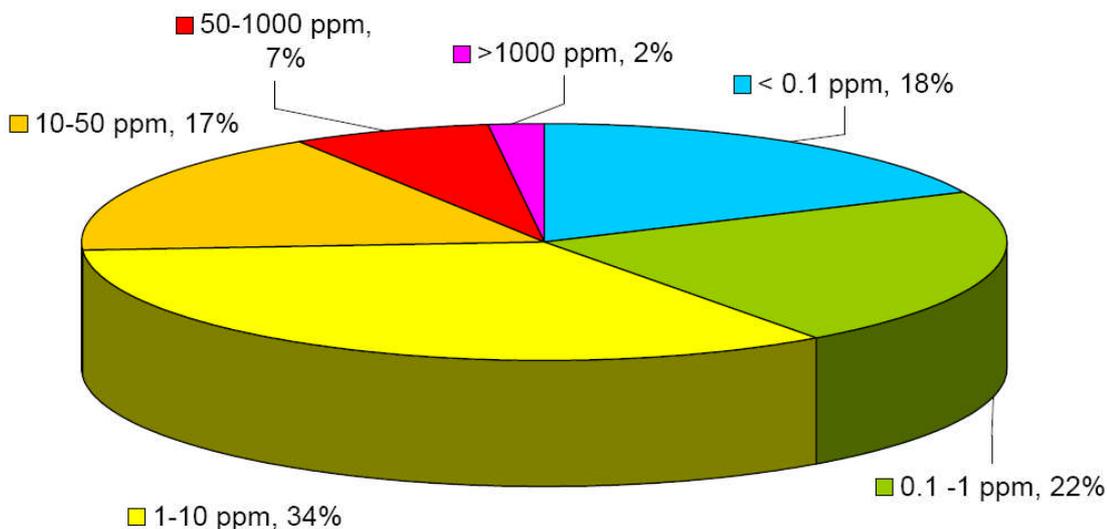


Figure 3-5 : Répartition graphique des matériaux pour les 6 classes de teneurs en PCB

### 3.4.2 Principaux foyers de pollution identifiés

#### 3.4.2.1 Répartition sur le site

Du point de vue de la répartition des volumes de déchets et des polluants, l'emprise de l'ancienne décharge de la Pila peut être subdivisée en deux secteurs qui sont la zone haute et la zone basse de part et d'autre du profil 5 (voir figure 3-6 ci-dessous).

Ces deux zones se distinguent par :

- leur hydrogéologie ; le flux amont n'a pas d'influence sur la partie basse et la différence hebdomadaire entre le flux entrant et sortant vers la Sarine est lié uniquement à l'infiltration des précipitations.
- le flux de polluants exportés vers la Sarine ; selon le modèle numérique, près de 98 % des PCB sont exportés via les segments 1 à 3.
- la proximité directe au non avec la Sarine
- le degré de pollution des déchets et des alluvions sous-jacentes.

Un troisième secteur présent dans le lit mouillé de la Sarine est identifié : il comprend des matériaux pollués présents dans le lit de la Sarine suite aux glissements de terrain, partiellement excavés en 2009 suite à la réalisation des mesures urgentes.

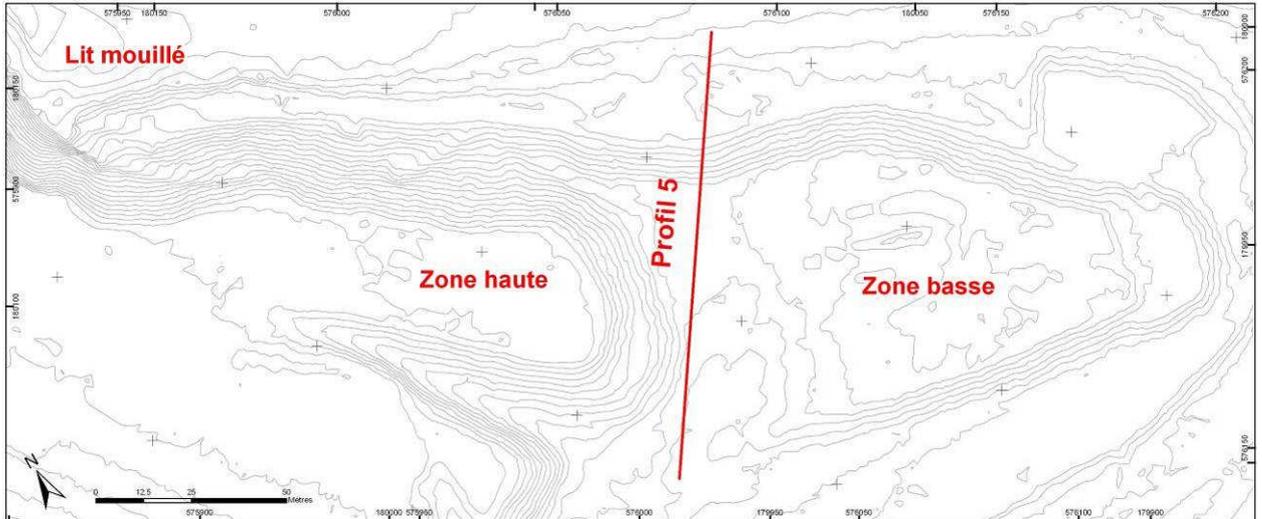


Figure 3-6: Situation des différents secteurs

L'étude géostatistique a montré une forte hétérogénéité de la contamination sur le plan horizontal. On peut notamment observer des variations importantes des teneurs en PCB sur de courtes distances (effet pépité).

Cependant, dans les déchets, des couches profondes couvrant une vaste étendue et présentant des teneurs en PCB supérieures à 50 ppm ont été identifiées aux niveaux avoisinants 570 m (cf. figure ci-dessous).

Ces étendues fortement polluées se retrouvent jusqu'à la base de la décharge et également dans les alluvions sous-jacentes.

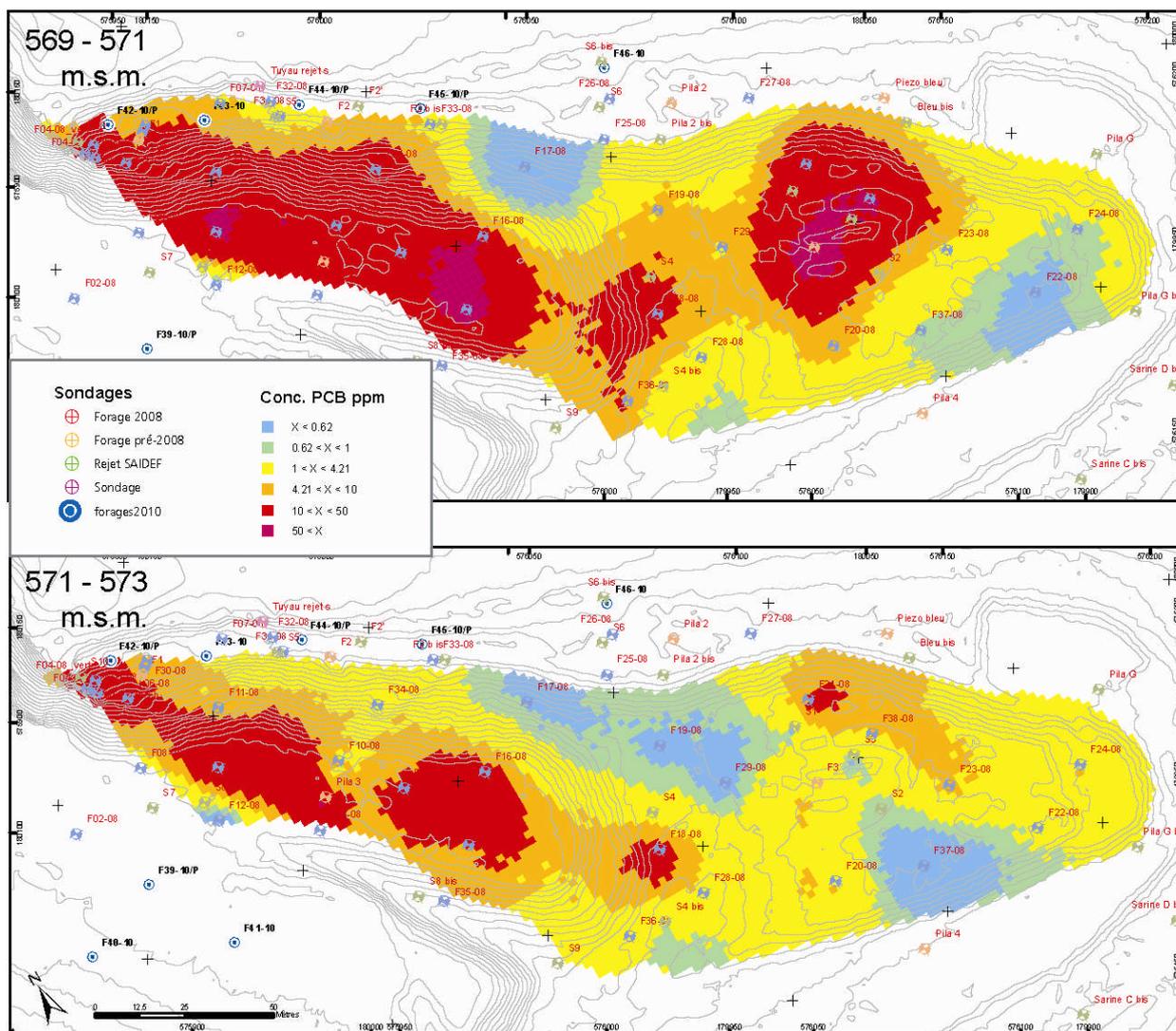


Figure 3-7: Répartition des concentrations en PCB entre 569 et 573 m.s.m.

### 3.4.2.2 Zone haute de la décharge

La zone haute de la décharge comprend des secteurs fortement pollués - 11% des matériaux présentent une concentration en PCB supérieure à 50 ppm ; ceux-ci sont profondément enfouis dans la décharge et se retrouvent également dans les alluvions.

Plus de 40 % des matériaux sont susceptibles de produire des lixiviats atteignant 10x la limite OSites pour les PCB.

Directement en contact avec la Sarine, la zone haute de la décharge est le cadre d'une exportation importante de PCB vers la Sarine, que ce soit de manière diffuse via les eaux souterraines, de manière concentrée via les exfiltrations ou par l'érosion des berges ou de la décharge.

Compte tenu du réservoir de PCB présent sur le site et de la lixiviation constante vers les eaux souterraines à partir des déchets et des alluvions, aucune diminution des teneurs en PCB dans les eaux souterraines qui s'écoulent dans la Sarine n'est à attendre à long terme.

### 3.4.2.3 Zone basse de la décharge

En général, la partie basse est moins impactée par les PCB que la partie haute. Les volumes susceptibles de produire un lixiviat atteignant 10 fois la valeur OSites pour les PCB – soit des concentrations > 0.62 ppm dans les alluvions et > 4.21 ppm dans les déchets - représentent environ 24 % des déchets et 33 % des alluvions présents dans le secteur (contre 42 et 47% dans la zone haute).

Dans les niveaux supérieurs à la cote 571 m.s.m., la concentration en PCB reste faible à l'exception d'un secteur autour de F38-08.

Dès la cote 571 m.s.m. et plus bas, on trouve une large étendue présentant des concentrations supérieures à 10 voir 50 ppm de PCB. Ces concentrations se retrouvent localement dans les alluvions autour du sondage F38-08 et ce jusqu'à la molasse.

Les flux exportés depuis le secteur de la zone basse peuvent présenter des teneurs moyennes dépassant la valeur OSites avec une fréquence hebdomadaire. Les flux issus de ce secteur représentent 5% du flux total.

### 3.4.2.4 Lit mouillé de la Sarine

Des investigations complémentaires réalisées en juin 2010 ont permis de préciser l'extension des déchets dans le lit mouillé de la Sarine.

Des échantillons ont été prélevés sous le niveau des basses eaux dans le secteur aval, au-delà des big-bags en place, et le long de la berge de la Sarine, dans la zone de marnage. Les résultats des analyses confirment des teneurs significatives en PCB. Des déchets (débris de condensateurs ou déchets divers) ont également été identifiés dans les matériaux des échantillons.

La décontamination du lit mouillé de la Sarine à proximité directe de la décharge est prévue dans le cadre de la réalisation des mesures préliminaires à l'assainissement (mises à l'enquête en mai 2011) et, conformément aux décisions des autorités, ces matériaux seront évacués avant l'assainissement de la décharge proprement dite.

## 3.5 Origine de la pollution aux PCB

Différents équipements pouvant être mis en relation avec la présence de PCB ont été identifiés sur le site de la Pila. Il s'agit en particulier de :

1. Petits condensateurs de différentes sortes (mica, papier...) et tailles, dont la présence massive en certains endroits de la décharge fait penser au dépôt de déchets de production ou de déchets industriels.
2. Condensateurs de plus grande taille et autres équipements en relation avec l'éventuelle présence de condensateurs utilisés pour différentes applications, qui auraient été déposés dans la décharge dans le cadre de démolitions (ex. tableaux électriques de bâtiments), du démantèlement de stations électriques (isolateurs).

Des débris de condensateurs ou des condensateurs entiers trouvés sur le site sont présentés ci-dessous. Les teneurs élevées en PCB ne sont toutefois pas toujours corrélées avec la présence de déchets visuellement identifiables.



**Déchets de petits condensateurs (papiers)**



**Petits condensateurs entiers**

Figure 3-8 : Exemples de déchets de condensateurs identifiés.

Des analyses de 18 congénères de PCB ont été réalisées sur des condensateurs prélevés sur le site. Celles-ci ont permis de confirmer que les condensateurs contenaient des PCB (valeurs comprises entre 20'000 ppm et 92'000 ppm de PCB) et que ceux-ci correspondaient à trois mélanges-types commerciaux.

## 3.6 Mécanismes de diffusion de la pollution

### 3.6.1 Phénomènes d'exportation et flux

Les mécanismes de diffusion de la pollution à partir du site de la décharge de la Pila sont nombreux et complexes (voir schéma ci-dessous).

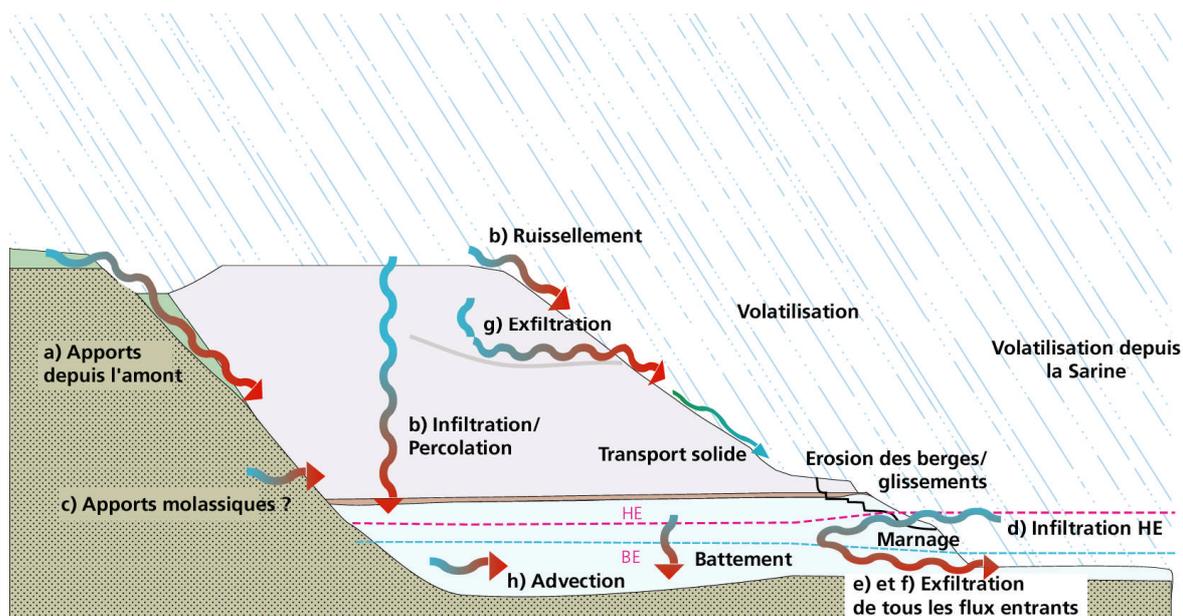


Figure 3-9 : Schéma présentant les mécanismes de diffusion des flux de polluants

Deux voies d'exportation principales des PCB ont été identifiées :

- Les flux liés aux eaux souterraines,
- Le flux lié au transport particulaire lié au ruissellement et à l'érosion des secteurs à forte pente de la décharge,

### 3.6.1.1 Exfiltration des polluants par les eaux souterraines

Les échanges entre la nappe et la Sarine liés au marnage permettent le transit via la nappe des eaux provenant des graviers situés à l'amont de la décharge et de la partie infiltrée des précipitations. L'ensemble de ces échanges a été évalué grâce à la modélisation numérique de la nappe.

Le flux annuel total de PCB liés aux eaux souterraines a été estimé à 116 grammes.

Cependant, les flux sont inégalement répartis le long du bord de la décharge. Le tronçon aval, constitué des segments 1 à 3 (voir figure 3-10 ci-dessous) concentre la majeure partie du flux (95%).

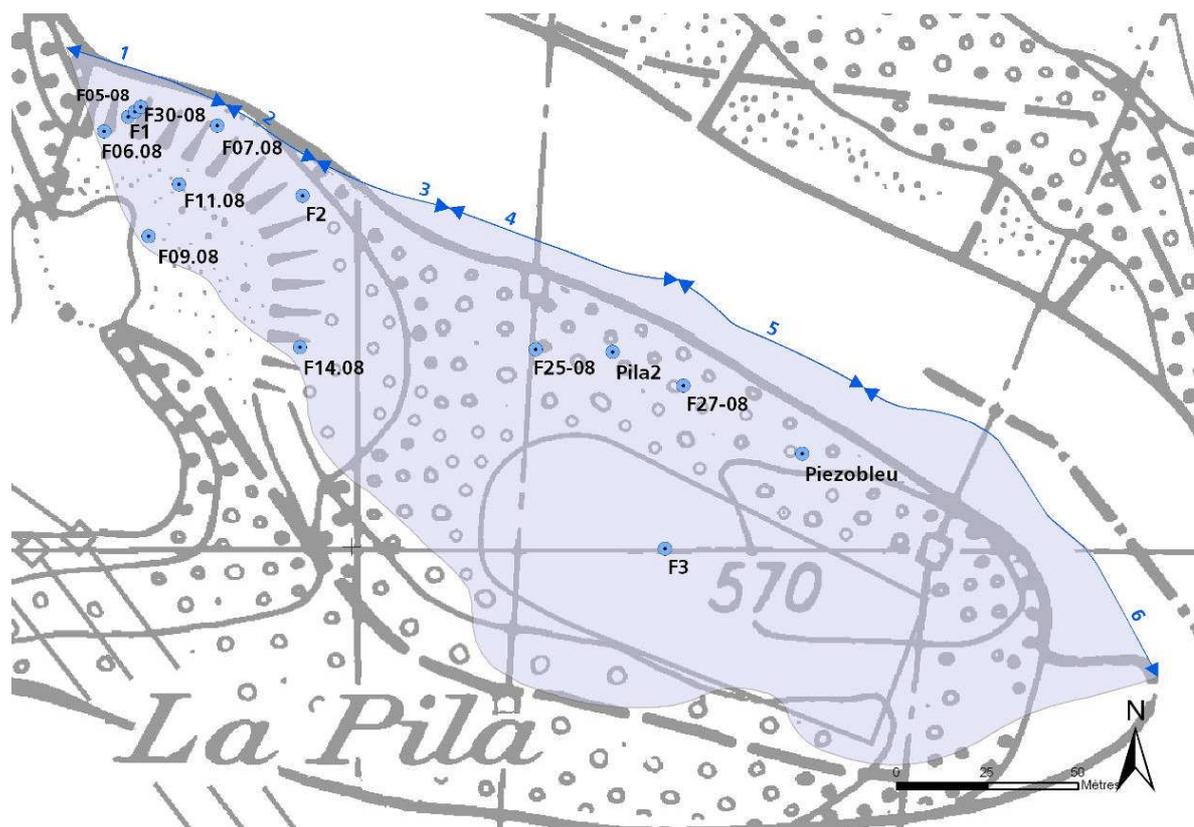


Figure 3-10 : Flux tirés du modèle numérique par secteur pour une semaine standard de turbinage et évaluation des quantités de PCB s'exfiltrant de la nappe

### 3.6.1.2 Transport particulaire avec l'érosion de la décharge

En première approche, les valeurs de la perte de sol par érosion sont estimées entre 5 et 15 t/h/an soit une perte annuelle de 0.3 à 1 mm de sol (Mermoud A., 2007: EPFL, Section Science et Ingénierie de l'environnement, Cours "Aménagements et équipements du territoire", Eléments de conservation des eaux et du sol).

Sur une part importante de la décharge, l'érosion est considérée comme négligeable car le site est bordé de zones planes sur lesquelles les particules peuvent se redéposer. La perte de sol est par conséquent limitée au secteur de 0.5 ha à forte pente qui borde le secteur aval .

En appliquant à cette surface, la concentration moyenne des échantillons prélevés entre 0-2 mètres, la masse de PCB mobilisée vers la Sarine peut être estimée entre 350 et 1'050 g/an.

### 3.6.2 Charriage des sédiments

La décharge de la Pila constitue un important réservoir de PCB, estimé à l'issue de l'investigation de détail à environ 20 tonnes. Des substances (déchets et polluants) ont été entraînées hors du site, en particulier dans la Sarine

Au fil des années et de l'exportation de polluants vers la Sarine, les sédiments de celle-ci se sont chargés en PCB et constituent aujourd'hui un réservoir secondaire, pour l'instant non quantifiable précisément.

Afin de définir les zones de la rivière susceptibles de contenir des sédiments fins pollués aux PCB, une modélisation du charriage des ces dépôts depuis le site de la Pila jusqu'au lac de Pérolles a été réalisée.

8 secteurs ont été identifiés dont le plus important en termes de quantité de sédiments déposés se situe à l'entrée du Lac de Péroilles.

Les quelques analyses de sédiments de la Sarine effectuées à ce jour n'ont pas montré de contamination importante aux PCB plus à l'aval du site de la Pila. Bien que la présence ponctuelle teneurs plus élevées ne puisse être exclue, il n'y a pas de continuité avérée avec le site de l'ancienne décharge.

Ces réflexions et considérations ont conduit à limiter le périmètre du projet d'assainissement au site occupé par l'ancienne décharge de la Pila et au lit mouillé de la Sarine, à proximité immédiate de la décharge, dans lequel se trouvent des déchets en provenance de l'ancienne décharge.

Un programme de monitoring, permettant de contrôler l'efficacité des mesures qui seront prises sur le site de la Pila, est prévu dans la Sarine.

## 4. Autres démarches en cours

### 4.1 Surveillance et monitoring

La surveillance du site de la Pila est réalisée à intervalles réguliers par des prélèvements et analyses des eaux dans le réseau de surveillance piézométrique existant sur le site. Cette surveillance permet de suivre et de caractériser l'évolution de la pollution dans le temps.

Afin de disposer de données qui permettront de caractériser l'effet actuel des flux de polluants dans la Sarine, mais également de contrôler l'efficacité des mesures mises en place et d'en mesurer l'impact éventuel, un système de monitoring sera mis en place dans la rivière, à l'aval de la Pila.

### 4.2 Mesures urgentes et préliminaires à l'assainissement

#### 4.2.1 Mesures urgentes

Les mesures urgentes, réalisées en 2009, avaient pour but d'empêcher les exportations immédiates et massives de polluants qui pouvaient se produire dans la zone aval du hot-spot de la décharge où se situait un lobe de matériaux et de déchets à la fois en équilibre instable et directement menacé par les crues de la Sarine.

Cet objectif a été atteint par l'élimination des matériaux et déchets en glissement dans l'emprise du soutènement. La falaise de molasse a été dégagée et la paroi en place dans le couloir du glissement permet de retenir les éventuels matériaux et déchets.

La totalité des matériaux extraits s'est avérée fortement polluée par les PCB : les 324 m<sup>3</sup> excavés correspondent à une masse totale de 1.2 tonnes de PCB évacués de la zone instable. Les matériaux excavés sont stockés en andains d'un et sont répartis en 3 catégories en fonction des teneurs en PCB. Leur évacuation est prévue en été 2011.

#### 4.2.2 Mesures préliminaires à l'assainissement

Dans sa détermination du 26 janvier 2009, le SEn a demandé que soient étudiées et réalisées des mesures préliminaires visant à limiter l'exportation de polluants en parallèle à l'établissement d'un projet d'assainissement au sens de l'art. 17 OSites.

Les mesures préliminaires à l'assainissement ont pour objectif principal la réduction efficace de l'écoulement de polluants à partir de la décharge de la Pila dans la Sarine.

Ces mesures doivent également être utiles à l'assainissement futur du site ; leur mise en place doit permettre les opérations ultérieures d'assainissement du site.

Les mesures retenues visent à agir sur les mécanismes prépondérants de diffusion de polluants dans la Sarine, en particulier:

1. limiter des échanges avec la Sarine par des mesures de confinement ou d'isolation périphérique de la zone d'échange,
2. réduire les apports d'eau souterraine par l'amont,
3. pomper et traiter les eaux polluées se trouvant dans l'enceinte de confinement, de façon à en contrôler le niveau.

Les mesures de confinement visant à limiter les échanges avec la Sarine touchent des secteurs de berge qui se confondent avec la limite de la décharge et qui sont contaminés par les PCB ; de plus, un volume d'alluvions polluées, identifié dans le cadre de la réalisation des mesures urgentes, se trouve dans le lit mouillé de la Sarine, dans un secteur situé à l'aval immédiat de la zone sur laquelle vont être réalisées les mesures préliminaires à l'assainissement.

Les secteurs de la berge et du lit mouillé de la Sarine se trouvant à l'aval de la paroi de confinement seront assainis simultanément à la réalisation de ces mesures.

Le projet des mesures préliminaires à l'assainissement a été mis à l'enquête en mai 2011. Les premiers travaux devraient démarrer dans le courant de l'été 2011 pour s'achever à la fin de l'année 2012.

## 4.3 Projet d'assainissement selon l'OSites

Un cahier des charges du projet d'assainissement OSites établi en avril 2010 et approuvé par le Service de l'environnement dans son préavis du 27 mai 2010 constitue la base à partir de laquelle le projet d'assainissement selon l'OSites a été élaboré puis déposé auprès des autorités compétentes à la fin du mois de décembre 2010.

L'assainissement a pour but d'éliminer les atteintes, ou les dangers concrets d'apparition de telles atteintes, qui ont été à l'origine de l'assainissement (Art. 15 OSites).

Pour le site de la Pila, les objectifs d'assainissement qui ont été retenus pour atteindre ces buts sont une limitation des émissions dans les eaux de surface à 10 fois la valeur de l'Annexe 1 OSites et une élimination durable des sources actives de PCB.

A long terme, l'objectif de l'assainissement doit permettre de réduire les émissions de PCB et d'autres polluants à partir du site de la Pila dans les différents compartiments de l'environnement de telle façon à ce qu'elles tendent vers zéro. Ces objectifs figurent également dans le préavis du SEn du 3 mars 2010.

Sur la base des études réalisées à ce jour et en raison du caractère persistant des PCB, l'excavation et le traitement thermique des matériaux pollués seront les mesures principales permettant de réaliser un assainissement durable.

## CSD INGENIEURS SA

Olga Darazs

pp. Sébastien Paratte

Fribourg, le 29 juin 2011

W:\Csdfr\MANDATS\2700-749\FR2706.11 Pila\Administration générale\synthèse 2011.doc