

**Services Industriels de Genève  
Ch. du Château-Bloch 2, Le Lignon  
Case postale 2777  
1211 Genève 2**

## **Ancien site des Services Industriels de Genève de la Jonction**

### **INVESTIGATION DE DETAIL RELATIVE A L'ETAT DE POLLUTION DU SITE**

Carouge, février 2003  
GE 503/D6



Environnement  
Sciences de la terre  
Génie civil  
Déchets et dépollution  
Installations de traitement

**CSD Ingénieurs Conseils SA**  
Rue Alexandre Gavard 16  
1227 Carouge  
Tél. 022 / 342 59 00  
Fax 022 / 342 59 04  
e-mail [geneve@csd.ch](mailto:geneve@csd.ch)  
internet [www.csd.ch](http://www.csd.ch)

## TABLE DES MATIERES

	Page
<b>1 INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
1.1 MANDAT	1
1.2 INVESTIGATIONS EFFECTUEES	1
1.3 CONTEXTE LEGAL	2
<b>2 DIAGNOSTIC DETAILLE DE L'ETAT DE POLLUTION</b>	<b>4</b>
2.1 SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION – RAPPEL DE L'INVESTIGATION PREALABLE	4
2.2 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL	4
2.2.1 Contexte géologique	4
2.2.2 Eaux souterraines	5
2.2.3 Eaux de surface	6
2.2.4 Sols	6
2.2.5 Pollution de l'air	6
2.3 CARACTERISTIQUES DU PROJET DE CONSTRUCTION SUR LE SITE	6
<b>3 DIAGNOSTIC DE L'ETAT DE POLLUTION DU SITE</b>	<b>8</b>
3.1 ETAT DE POLLUTION DU TERRAIN	8
3.1.1 Pollution du terrain aux cyanures	8
3.1.2 Pollution du terrain aux hydrocarbures aromatiques polycycliques	11
3.1.3 Pollution du terrain au benzène	12
3.1.4 Pollution du terrain aux hydrocarbures aliphatiques	13
3.1.5 Pollution du terrain aux composés organiques volatils	14
3.1.6 Pollution du terrain aux métaux lourds	15
3.2 ETAT DE POLLUTION DES EAUX	16
3.2.1 Nappe superficielle	16
3.2.2 Poches d'eaux	19
3.3 POLLUTION DE L'AIR	19
3.4 STATUT DU SITE SELON L'ORDONNANCE SUR LES SITES CONTAMINES	20
<b>4 EVALUATION DES ATTEINTES ET DES RISQUES POUR L'ENVIRONNEMENT</b>	<b>21</b>

<b>5</b>	<b>STRATEGIES D'INTERVENTION ENVISAGEABLES</b>	<b>24</b>
5.1	PARAMETRES DE BASE	24
5.2	MODE D'INTERVENTION ENVISAGEABLE	24
5.2.1	<i>Mesures visant à à éliminer les substances dangereuses pour l'environnement)</i>	24
5.2.2	<i>Mesures visant à empêcher et surveiller durablement la dispersion des substances dangereuses pour l'environnement (confinement)</i>	28
5.3	STRATEGIES ENVISAGEABLES	29
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS</b>	<b>33</b>

# 1 INTRODUCTION

## 1.1 Mandat

La présente investigation porte sur les parcelles n°3340 et 3384 situées dans le quartier de la Jonction, respectivement propriété des Services Industriels de Genève, de la Ville de Genève et de l'Etat de Genève, d'une surface totale d'environ 17'200 m<sup>2</sup>. Ce site a successivement abrité l'Usine à gaz de la Coulouvrenière de 1845 à 1915, puis le siège administratif et des ateliers des Services Industriels de Genève jusqu'à la fin des années 1980. Depuis cette date, différents bâtiments sont occupés par des artisans appartenant au collectif « Artamis ».

Ce site fait l'objet de plusieurs projets de réaménagement, dont les partenaires concernés comme propriétaires actuels ou futurs des parcelles sont les Services Industriels, la Ville de Genève et l'Etat de Genève.

Une Investigation préalable relative à l'état de pollution du site au sens de l'ordonnance fédérale sur l'assainissement des sites pollués (OSites) a été établie par le bureau CSD Ingénieurs Conseils SA, constituée d'un rapport d'investigation historique, édité en décembre 2001 et d'un rapport d'investigation technique, édité en mai 2002.

L'investigation préalable a mis en évidence que le site nécessite un assainissement du point de vue de la protection des eaux souterraines au sens de l'OSites, notamment en relation avec les concentrations d'hydrocarbures aliphatiques légers, d'hydrocarbures aromatiques polycycliques et de cyanures libres mesurées à l'aval du site, dans la nappe superficielle.

Sur cette base, le Service cantonal de géologie a demandé, dans un courrier adressé le 17 juin 2002, qu'une investigation de détail soit réalisée.

Cette investigation de détail, pour laquelle les Services Industriels ont mandaté CSD Ingénieurs Conseils SA en août 2002, fait l'objet du présent rapport.

Selon l'article 14 de l'OSites, l'investigation de détail doit permettre d'apprécier les buts et l'urgence de l'assainissement en identifiant dans le détail les données suivantes et en les évaluant sur la base d'une estimation de la mise en danger :

- a) Type, emplacement, quantité et concentration des substances dangereuses pour l'environnement présentes sur le site ;
- b) Type des atteintes à l'environnement effectives et possibles, charge et évolution des atteintes dans le temps ;
- c) Emplacement et importance des domaines environnementaux menacés.

## 1.2 Investigations effectuées

Les travaux effectués dans le cadre de l'investigation de détail sont les suivants :

- Organisation, suivi et interprétation des investigations techniques (fouilles à la pelle mécanique et sondages carottés) dont l'implantation figure sur le plan de l'annexe 1 :
  - 7 tranchées ont été réalisées à la pelle mécanique dans l'ensemble des secteurs concernés par les diverses pollutions ;
  - 4 carottages de radier avec sondages à la tarière ont été effectués dans les bâtiments 6 et 9 ;

- 10 sondages carottés, dont 4 exécutés à l'intérieur des bâtiments 7, 8, 51 et 52 ont été entrepris afin de compléter les données des sondages existants. Deux d'entre eux ont été équipés de piézomètres.
- Réalisation d'analyses indicatives « in situ » portant sur les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) par application d'un réactif et des mesures des composés organiques volatils au moyen du détecteur PID afin de permettre une première identification des échantillons à analyser en laboratoire ; établissement du programme d'analyse et analyse en laboratoire de 56 échantillons de terrain en place et de remblais.
- Suivi du niveau de la nappe avec une mesure tous les 15 jours sur une période de trois mois sur les 6 puits de mesure. Trois séries de prélèvement d'échantillons par pompage de la nappe ont été effectuées les 24 octobre, 18 et 21 novembre 2002 sur les 6 piézomètres implantés sur le site ainsi que des prélèvements d'eau dans le cadre de l'exécution des sondages ; analyse en laboratoire de 21 échantillons d'eau de la nappe.
- Interprétation des investigations et des résultats d'analyses selon le cadre légal en vigueur. Caractérisation précise des foyers de pollution présents dans le terrain (extension verticale et horizontale ; nature de la pollution, potentiel de mobilisation et concentration) ; évaluation des atteintes constatées à la nappe et de son évolution future probable ; évaluation des risques environnementaux.
- A partir du diagnostic détaillé, examen des différentes stratégies d'assainissement envisageables (« Off site », « On site », « In situ » ou confinement) en considérant également les caractéristiques des projets de réaménagement envisagés ; estimation préliminaire des coûts.
- Rédaction et édition du présent rapport d'investigation détaillée.

### 1.3 Contexte légal

La base légale principale relative à l'assainissement de sites pollués, est constituée par la version modifiée de la loi fédérale sur la protection de l'environnement (LPE), en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> juillet 1997.

L'obligation d'assainir est prescrite par l'article 32c de cette loi : « *Les cantons veillent à ce que soient assainis les décharges contrôlées et les autres sites pollués par des déchets, lorsqu'ils sont à l'origine d'atteintes nuisibles ou incommodes ou qu'ils risquent de l'être un jour* ». Ce même article impose aux cantons l'établissement d'un « *cadastre, accessible au public, des décharges contrôlées et des autres sites pollués par des déchets* ».

L'établissement de ce cadastre est actuellement en cours pour le canton de Genève. Il sera achevé d'ici à fin 2003, délai fixé par la Confédération pour son établissement.

Les notions de *site pollué* et *site contaminé* ainsi que la détermination des besoins de surveillance et d'assainissement sont définis par l'ordonnance fédérale sur l'assainissement des sites pollués (OSites) du 26 août 1998.

Les principales dispositions énoncées par cette ordonnance pertinentes pour la présente expertise sont énoncées ci-après :

#### **Définitions (Art 2)**

<sup>1</sup> On entend par **sites pollués** les emplacements d'une étendue limitée pollués par des déchets. Ces sites comprennent :

- a) les sites de stockage définitifs ;
- b) les aires d'exploitations : sites pollués par des installations ou des exploitations désaffectées ou encore exploitées dans lesquelles ont été utilisées des substances dangereuses pour l'environnement ;

c) *les lieux d'accident : sites pollués à la suite d'événements extraordinaires, pannes d'exploitation comprises.*

<sup>2</sup> *Les sites pollués **nécessitent un assainissement** s'ils engendrent des atteintes nuisibles ou incommodantes ou s'il existe un danger concret que de telles atteintes apparaissent.*

<sup>3</sup> *Les **sites contaminés** sont des sites pollués qui nécessitent un assainissement.*

Un site est donc pollué au sens de la législation s'il comporte la présence de déchets. La définition de la notion de déchet renvoie aux 2 bases légales suivantes :

- a) ordonnance fédérale sur le traitement des déchets (OTD), du 10 décembre 1990 ;
- b) directive fédérale sur les matériaux d'excavation de juin 1999.

Selon la directive fédérale sur les matériaux d'excavation, tout matériau dont la concentration en polluant excède la valeur limite " U " (unverschmutzt = propre) suite à une influence anthropique entre dans la catégorie de déchet.

Les 2 bases légales susmentionnées définissent par ailleurs différentes catégories de matériaux en fonction de la nature et du degré de contamination, avec indication des modes de gestion et d'élimination acceptables.

Les critères d'admissibilité en décharge contrôlée pour matériaux inertes (DCMI) ont par ailleurs été précisés par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) dans le cadre d'une recommandation éditée en juin 2000.

Les critères qui définissent si un site pollué nécessite une surveillance environnementale ou un assainissement sont fixés aux articles 9 à 12 de l'OSites, en fonction des atteintes ou menaces potentielles aux eaux souterraines, aux eaux de surface, à la qualité de l'air et aux sols.

Pour les eaux et la pollution de l'air, les critères sont basés sur des valeurs de concentrations spécifiques à chaque polluant définies aux annexes 1 et 2 de l'OSites. En ce qui concerne les sols, la nécessité de surveiller et d'assainir les sites pollués dépend des valeurs limites fixées par l'Ordonnance fédérale sur les atteintes portées aux sols (OSol) du 1<sup>er</sup> juillet 1998.

Par ailleurs, indépendamment des critères fixés par l'OSites, les matériaux pollués issus de travaux d'excavation ou de démolition doivent faire l'objet d'un traitement adéquat, conforme aux critères de l'ordonnance sur le traitement des déchets (OTD).

## 2 DIAGNOSTIC DETAILLE DE L'ETAT DE POLLUTION

### 2.1 Sources potentielles de pollution – rappel de l'investigation préalable

L'investigation préalable qui a fait l'objet des deux rapports de décembre 2001 et mai 2002 a permis de confirmer que du fait de la nature des activités qui ont été exercées sur le site et de la durée d'exploitation très importante, l'ancien site des Services Industriels de Genève de la Jonction présente une pollution relativement conséquente et multiple.

Des pollutions aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), aux cyanures et au benzène, liées à l'activité de l'ancienne usine à gaz, aux hydrocarbures aliphatiques, liées à la présence de stations de lavage et de citernes de carburants, ainsi qu'aux métaux lourds ont notamment été mises en évidence.

La nature et l'ampleur de la pollution ont été évaluées sur la base de la matrice de susceptibilité issue de l'investigation historique et des premières investigations de terrain réalisées dans le cadre de l'investigation préalable.

Indépendamment de la localisation des activités à risques inventoriées, l'utilisation de résidus de l'usine à gaz intrinsèquement pollués, dans le cadre de la mise en œuvre des remblais liés aux 2 extensions successives de l'usine à gaz de 1857 et 1896/98, constitue l'une des causes prépondérantes de la pollution du site mise en évidence.

### 2.2 Contexte environnemental

#### 2.2.1 Contexte géologique

Le contexte géologique a pu être appréhendé à partir des cartes géologiques du canton de Genève, des sondages existants consultés auprès du Service cantonal de géologie et les différents sondages et tranchées effectués sur la parcelle (voir plan de situation en annexe 1 et les relevés des investigations en annexe 2). La surface du terrain actuel, généralement recouverte de bitume, est située à une cote moyenne de 373 m/mer.

La description actualisée de la stratigraphie du site, représentée sur la coupe A-B en annexe 7, peut être résumée comme suit (niveau du terrain situé à environ 373 m/mer) avec dans l'ordre depuis la surface :

- **Remblais hétérogènes** d'une épaisseur variant entre 0.7 et 3.5 m. La puissance de ceux-ci est beaucoup moins grande dans la zone nord-est du site où ils n'atteignent que rarement le mètre et où une grave de calcaire concassé représente généralement les 30 centimètres supérieurs. L'épaisseur des remblais se situe entre 2 et 3 m dans la zone sud du terrain. Le niveau de remblai est généralement caractérisé par une granulométrie limoneuse avec présence de débris hétérogènes inertes et une couleur noire d'apparence suspecte. La présence de résidus charbonneux a également été mise en évidence dans la plupart des sondages.
- **Colluvions argilo-limoneuses à argileuses** rencontrées dans les sondages F107, P108, F111, TR103. Pour les autres sondages (F1, F101, F102, F109, F110, P103, TR10, TR14, TR19 TR101, TR102, TR104 et TR105), il est vraisemblable que cette formation a été décapée et remplacée par un approfondissement de l'horizon de remblais. La base des colluvions se situe à une profondeur de 2.2 à 2.7 m dans la partie nord du site et de 2.8 à 3.2 m dans la partie sud.
- **Formations d'alluvions récentes des Terrasses de l'Arve ou du Rhône**, dès 2.2 à 3.2 m de profondeur, représentées par une phase à matériaux fins, limoneuse à sableuse (alluvions des hautes eaux ; épaisseur : 0 à 0.8 m) surmontant une phase de dépôts plus grossiers à gravier moyen avec galets alpins roulés baignant dans une matrice sableuse (épaisseur : 1.8 à 4 m). La composante fine est souvent absente.

- **Formation de retrait würmien**, composée d'argile limoneuse stratifiée. De très faible perméabilité, elle apparaît dès 3.6 m de profondeur dans le sud du site et dès 6.3 m dans la zone nord-ouest. Cette formation de retrait est présente sur la quasi totalité du site, à l'exception du forage SCG 9391 où les alluvions des terrasses du Rhône et de l'Arve reposent directement sur la molasse, et du forage SCG 6164 où les formations alluviales reposent sur la moraine rissienne.
- Localement, dans le secteur NE du site (forage SCG6164) **la moraine rissienne** limono-argileuse à cailloux et blocs alpins apparaît en lieu et place de la formation de retrait würmien. Cette moraine rissienne se pince dans ce secteur et n'est plus observée sur le reste du site investigué.

Cet ensemble de formations quaternaires surmonte la molasse chatienne peu perméable.

### 2.2.2 Eaux souterraines

Le contexte hydrogéologique a été appréhendé sur la base des documents et données suivants :

- La carte hydrogéologique du canton de Genève ;
- Les relevés piézométriques effectués par nos soins dans les différents piézomètres présents sur et dans les environs du site durant la période de l'investigation de détail. Ces mesures sont présentées en annexe 3.2 ;
- Les relevés piézométriques préexistants, fournis par les SIG, et mesurés dans le cadre du suivi hydrogéologique lié au projet de modification de la concession de l'usine hydroélectrique de Verbois ;
- Les relevés du niveau du Rhône, mesurés par un limnigraphe situé à proximité du pont de Sous-Terre.

Les alluvions aquifères du Rhône forment le siège de la nappe superficielle peu épaisse (1 à 3 m) de Plainpalais - Jonction dont le substratum est constitué par les formations molassique ou de retrait würmien très peu perméables. Par sa situation proche de l'Arve et du Rhône, cette nappe est directement en connexion hydraulique avec ces deux cours d'eau. Elle est plus particulièrement alimentée par les eaux du Rhône à l'amont du barrage du Seujet et s'écoule au droit du site en direction de l'ouest-nord-ouest pour rejoindre l'Arve et le Rhône au niveau de leur jonction.

Cette nappe superficielle ne présente aucun intérêt pour l'alimentation en eau publique.

Selon le projet de carte cantonale des zones de protection du 11 janvier 2002, l'ancien site des Services Industriels de Genève de la Jonction est situé hors de toute zone de protection des eaux.

Sur la base des observations existantes et des mesures réalisées par nos soins en automne 2002, la caractérisation hydrodynamique de cette nappe superficielle peut se résumer comme suit :

- Au droit du site, les observations disponibles entre novembre 2000 et novembre 2002 indiquent que cette nappe superficielle s'écoule toujours du SE en direction du NW avec un gradient hydraulique moyen proche de 0.5 ‰. Les variations piézométriques maximales observées pour cette nappe superficielle sur le site durant cette période d'observation sont comprises entre 0.24 et 0.41 m (cf. annexes 3.1 à 3.6).
- Les mesures détaillées réalisées par nos soins en automne 2002 confirment les observations d'un écoulement constant au droit du site de la nappe superficielle depuis le SE en direction du NW avec un gradient compris entre 0.3 et 0.6 ‰. (cf. annexes 3.5 et 3.6). Ce gradient a été mis en évidence de manière concordante pour l'ensemble des points d'observation à l'exception du piézomètre P9391 dont le niveau observé est vraisemblablement influencé par un colmatage partiel de la zone crépinée qui atténue fortement l'observation des variations piézométriques en ce point. Par conséquent, ce point particulier a été écarté du réseau d'observation pour cette période.
- Le niveau du Rhône, mesuré à la station limnimétrique du Pont Sous-Terre, présente des oscillations rapides et importantes (maximum de 1.6 m) en relation directe avec les événements hydroclimatologiques. Comme le montrent les séries de mesures présentées en annexes 3.3 et 3.4, le niveau du Rhône est globalement inférieur à celui de la nappe, conformément au gradient observé



au droit du site. A de nombreuses reprises cependant, le niveau du Rhône dépasse celui de la nappe superficielle de plusieurs dizaines de centimètres (jusqu'à plus de 0.8 m). Malgré cette différence significative et temporaire entre le potentiel hydraulique du Rhône et celui de la nappe superficielle au droit du site, les mesures piézométriques effectuées sur le site indiquent que la direction des écoulements de cette nappe superficielle n'est jamais inversée. Cette observation est confirmée par les mesures en continu réalisées sur le piézomètre P6164 situé à moins de 60 m de la berge du Rhône. Cette non-réaction de l'aquifère superficiel face aux montées rapides et temporaires du niveau du Rhône traduit un échange Rhône – nappe très limité au droit du site en raison du colmatage des berges du cours d'eau.

L'écoulement de la nappe superficielle de Plainpalais – Jonction se prolonge ensuite en aval vers le Rhône dont le niveau moyen est inférieur à celui de la nappe superficielle dans ce secteur.

### **2.2.3 Eaux de surface**

Le site d'implantation du projet est constitué d'une surface d'environ 1.7 hectares, dans sa majeure partie imperméabilisée (bitume; bâtiments) et dont les eaux de surface sont évacuées par le réseau de collecteurs de la Ville de Genève vers le Rhône directement situé au nord de la parcelle. L'étanchéité des surfaces n'est cependant pas effective sur l'ensemble du périmètre puisqu'un revêtement de pavé et de gravier est présent dans la zone sud-est de l'emprise.

### **2.2.4 Sols**

Aucun espace de verdure présentant un sol naturel n'est présent sur les lieux, l'ensemble des surfaces étant goudronné. Les deux projets de réaménagement du site susceptibles d'être réalisés incluent cependant la création d'une aire de détente publique ou des jardins privés avec espaces enherbés et cordons boisés.

### **2.2.5 Pollution de l'air**

De par la présence d'un nombre relativement important de personnes fréquentant les lieux, le site présente des récepteurs sensibles à d'éventuelles émissions gazeuses qui pourraient provenir de la pollution du terrain.

## **2.3 Caractéristiques du projet de construction sur le site**

Selon les informations récoltées auprès des représentants de la Ville et de l'Etat de Genève, les données relatives aux 2 projets susceptibles d'être réalisés sur le site n'ont pas évolué par rapport aux indications données dans le rapport d'investigation technique préalable de mai 2002, reprises ci-après.

Un premier projet piloté par la Ville de Genève prévoit dans un premier temps le réaménagement du site sans impliquer de bouleversement majeur (voir annexe 8). La mise en œuvre de ce projet devrait débuter en 2003 et s'effectuer par étapes. La quasi totalité des bâtiments sera conservée et utilisée à des fins locatives (appartements, ateliers etc.). Seul un nouvel édifice verra le jour en lieu et place des bâtiments 7 et 8 dans la partie sud de la parcelle. Les bâtiments 6 et 9 seront démolis et laisseront la place à une aire de détente enherbée avec plantation de haies (se référer au plan de l'annexe 1 pour le numéro des bâtiments). Les surfaces extérieures utilisées comme parking durant la période des SIG seront transformées en esplanades et places avec revêtement en gravier.

A plus long terme, un projet constructif plus conséquent, tel que défini par le plan localisé de quartier n° 28'878 adopté par le Conseil d'Etat le 25 juin 1997, est susceptible de se réaliser. Ce projet, dont la configuration pourrait être fondamentalement modifiée, prévoit la réalisation d'un premier groupe d'immeubles formant un carré sur la zone nord-est des parcelles concernées. Cette construction débordera sur les parcelles voisines n°99, 100, 101 et 102, dont le propriétaire est l'Etat de Genève, et accueillera en son centre une aire de détente. Un deuxième immeuble serait construit au sud de la parcelle le long du boulevard St-Georges. Ces deux bâtiments projetés dont l'emprise est représentée en annexe 1, comportent deux niveaux de parkings en sous-sol.

Le périmètre laissé libre entre les deux constructions de ce deuxième projet est destiné à des équipements publics et plus précisément à l'établissement d'une école sur le site dont l'emprise exacte n'est pas définie à l'heure actuelle.

### 3 DIAGNOSTIC DE L'ETAT DE POLLUTION DU SITE

Les investigations techniques supplémentaires effectuées sur le site lors de l'investigation de détail en septembre et octobre 2002 comprennent 7 tranchées à la pelle mécanique, 4 carottages de radier et 11 sondages carottés entre 3 et 7.5 m de profondeur, dont deux ont été équipés de piézomètres. L'implantation des investigations est présentée en annexe 1 et leurs relevés font l'objet de l'annexe 2. Parmi les échantillons prélevés, 56 échantillons de terrain et 21 échantillons d'eau de la nappe ont fait l'objet d'analyses en laboratoire dont les résultats complets sont présentés en annexes 4.1 et 4.2, en compagnie des résultats des analyses déjà effectuées dans le cadre de l'investigation préalable.

#### 3.1 Etat de pollution du terrain

Les investigations de terrain et analyses en laboratoire effectuées lors des 2 campagnes successives ont mis en évidence une importante pollution du terrain qui s'étend de manière différenciée aux 3 niveaux lithologiques successifs constitués par les remblais, les colluvions limono-argileuses et les alluvions de terrasse sablo-graveleuses.

Les informations récoltées relatives à l'état de pollution du terrain sont synthétisées dans les paragraphes ci-après en considérant les principaux groupes de polluants mis en évidence que sont les cyanures, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, le benzène, les hydrocarbures aliphatiques, les composés organiques volatils et les métaux lourds.

##### 3.1.1 Pollution du terrain aux cyanures

Les analyses en laboratoire effectuées dans le cadre de l'investigation détaillée ont mis en évidence une importante pollution du terrain aux cyanures qui s'étend quasiment à l'ensemble de l'emprise du site et concerne les trois niveaux lithologiques de remblai, colluvions limono-argileuses et les alluvions de terrasse sablo-graveleuses.

##### a) Source de la pollution

Il existe plusieurs types de cyanures de toxicité différente selon l'origine du produit. Parmi les formes de cyanures les plus communes rencontrées dans les sols, les cyanures complexés par des métaux constituent par exemple des complexes relativement stables dont la toxicité peut être complètement masquée. La toxicité des cyanures est en principe directement liée à la présence de cyanures libres.

Les cyanures libres constituent d'ailleurs le principal paramètre considéré par la réglementation en matière de gestion des déchets et de sites pollués :

- Valeur U (matériaux propres) de la directive fédérale sur les matériaux d'excavation : 0,05 mg/kg;
- Valeur T (matériaux tolérés) de la directive fédérale sur les matériaux d'excavation : 0,1 mg/kg ;
- Valeur limite indicative proposée par l'OFEFP pour le stockage en décharge bioactive : 0,5 mg/kg ;
- Valeur de concentration pour l'eau définie par l'OSites : 0,05 mg/l.

Les valeurs limites d'acceptabilité en décharge pour matériaux inertes et en décharge pour résidus, définies par l'OTD sur la base d'un test de lixiviation, sont cependant exprimées en cyanures totaux :

- Valeur limite pour le stockage en décharge contrôlée pour matériaux inertes : 0,01 mg CN/l;
- Valeur limite pour le stockage en décharge contrôlée pour résidus stabilisés : 0,1 mg CN/l;

Il est important de soulever le fait que l'analyse des cyanures totaux permet un bon screening préliminaire de la pollution d'un secteur mais que c'est l'analyse des cyanures libres qui est importante pour l'évaluation de la contamination d'un site. En outre, la détermination exacte des concentrations des

cyanures en général (totaux et libres) est très difficile pour différentes raisons. Selon le pH de la solution le cyanure libre est en effet présent à la fois sous forme moléculaire HCN et ionique CN<sup>-</sup>. De plus, le cyanure est un agent complexant fort et réagit avec presque tous les cations pour former des complexes dont les propriétés sont très variables (stabilité, solubilité et vitesse de réaction).

Le procédé de gazéification du charbon produit du gaz brut contenant du sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) et du cyanure d'hydrogène (typiquement 500-1000 ppm), éliminés dans un caisson de purification du gaz contenant un minerai à base d'oxydes de fer. Ce minerai, après utilisation, était acide (pH compris entre 2 et 5) et contenait de fortes quantités de sulfures et des quantités considérables de cyanures (typiquement jusqu'à 6 à 7 % en poids).

Selon des indications récoltées dans la littérature, le minerai de purification était régénéré à plusieurs reprises en l'épandant en couche mince à la surface du terrain afin de favoriser l'aération et l'action du rayonnement ultra-violet. Cette régénération entraînait la percolation de cyanures libres dans le terrain ainsi que le dégagement d'hydrogène sulfuré (hydrogen sulfid).

Le procédé de purification du gaz, par lequel le gaz brut était exposé au matériau de purification, éliminait le cyanure en le liant, constituant ainsi deux types de produits : des cyanures complexés par du fer, et des thiocyanates. Les complexes sont souvent rencontrés sous la forme d'une coloration bleue (bleu de Prusse) dans le sol (ferri-ferrocyanure Fe<sup>III</sup><sub>4</sub>(Fe<sup>II</sup>(CN)<sub>6</sub>)<sub>3</sub>) et autres complexes similaires stables.

La concentration en cyanure soluble est indépendante de la concentration en cyanure total présente dans les sols, ce qui indique que la quantité dissoute est dépendante de la solubilité des minéraux cyanurés. Les équations de dissociation des complexes ferro-cyanurés mettent en évidence la dépendance de l'activité du fer au pH. L'influence du pH est nette dans des sols argileux à pH alcalin ; les eaux souterraines sous-jacentes à ce type de formation contiennent en effet des concentrations en cyanures dissous élevées. La solubilité du cyanure dans les résidus des usines à gaz est donc dépendante du pH mais aussi des conditions Red-Ox du terrain. La réprécipitation de cyanures peut ainsi se produire par une modification des conditions du milieu. Alors que ces complexes, dont nous venons de décrire les conditions de mise en solution, ne sont que très peu toxiques, leur décomposition conduit à la libération de cyanures libres toxiques. Les complexes sont théoriquement stables mais seulement sous des conditions qui peuvent être considérées comme extrêmes dans l'environnement : un pH élevé (>9) combiné avec un potentiel redox faible (<0 V) et une forte concentration en cyanure total. Les complexes cyanures-fer auront donc tendance à se décomposer dans les eaux souterraines. Sous des conditions considérées comme normales en surface (pH>6 et conditions aérobies) la demi-vie des complexes ferriques est de l'ordre des centaines d'années avec comme hypothèse que la décomposition se produit par réactions purement chimiques. Des dégradations assistées par des populations microbiennes peuvent également se produire aussi bien en conditions aérobies qu'anaérobies. Les complexes ferro-cyanures solubles subissent de plus une photolyse rapide en présence de lumière, et libèrent du cyanure d'hydrogène libre dans des conditions de milieu rencontrées dans les eaux naturelles. Cette décomposition a été observée en laboratoire à un taux de 8% par heure.

Outre la production de ces résidus d'épuration solides, la formation d'eaux résiduaires chargées en cyanures est à considérer avec les 2 sources suivantes :

- a) extinction du coke incandescent qui génère des eaux de ruissellement faiblement chargées en cyanure, essentiellement présent sous forme de cyanure d'hydrogène en solution, cyanure simple et de thiocyanates dont l'infiltration dans le terrain était favorisée par l'absence de tout revêtement imperméable ;
- b) condensats contenant de l'acide cyanhydrique issu du refroidissement du gaz produit par les fours à coke.

Dans le cas du site de la Jonction, la source la plus importante de cyanures est représentée par la régénération supposée et la mise en remblai des résidus solides de purification du gaz. Cette activité a engendré la libération de cyanures libres et la formation de cyanures complexés par le fer considérés comme peu solubles aux conditions habituelles (pH neutre et eH>0). Mais comme vu auparavant, la stabilité de ces résidus est toutefois fort dépendante du potentiel redox, de la concentration, de l'exposition aux rayons UV et du pH dont l'augmentation ou la baisse entraîne une réaction de dissociation entre le fer et le cyanure et la mise en solution du cyanure. La mise en remblai des résidus d'épuration du gaz dans des terrains à dominante argileuse possédant un pH basique peut par

conséquent provoquer une mise en solution du cyanure contenu dans les remblais et permettre à ce polluant qui est très peu adsorbable par les colloïdes du sol de migrer dans le terrain.

Compte tenu de ces constatations, les processus de dissolution du cyanure dans les résidus d'épuration d'usines à gaz sont souvent complexes et peuvent seulement être évalués par l'utilisation de modèles de simulation de spéciation chimique. Le comportement chimique des cyanures dans les sols et dans les eaux souterraines est compliqué, car les cyanures ont la faculté de pouvoir subir de nombreux processus chimiques : précipitation, dissolution, sorption, complexation et dégradation.

## b) Distribution de la pollution observée dans le terrain

La localisation de l'ensemble des échantillons de sol qui ont fait l'objet d'une analyse en cyanures libres ou en cyanures totaux fait l'objet du plan de l'annexe 5.1 avec indication des valeurs mesurées. Les résultats d'analyses sont intégrés aux tableaux de l'annexe 4.1.

Sur la base des échantillons pour lesquels les 2 paramètres ont été analysés, on constate que la proportion de cyanures libres ramenée aux cyanures totaux est généralement comprise entre 58 et plus de 90%, tous les sols analysés présentaient par ailleurs un pH alcalin compris entre 8.3 et 9.1. Seul l'échantillon F111-2, prélevé dans un horizon de remblai limoneux, présente une proportion inférieure, soit 9%. On peut estimer qu'en moyenne 75 % de la masse de cyanures présente sur le site est probablement présente sous forme de cyanures libres.

Sur la base des analyses de cyanures libres et de cyanures totaux on constate que le site de l'ancienne usine à gaz de la Jonction présente une pollution quasi généralisée aux cyanures libres qui s'étend en profondeur sur l'ensemble des 3 niveaux lithologiques de remblais, colluvions limono-argileuses et alluvions de terrasse.

Les analyses effectuées confirment que la pollution observée est avant tout à mettre en relation avec l'utilisation de résidus solides de purification du gaz dans le cadre de la mise en œuvre des remblais liée aux 2 extensions successives de l'usine. On peut en effet observer que l'emprise de l'implantation initiale de l'usine, dont les remblais sont exempts de résidus de purification, présente une pollution du terrain nettement moins marquée aux cyanures que le reste de l'emprise du site avec une valeur inférieure à 1 mg/kg (cyanures totaux) pour l'échantillon de remblai analysé et des concentrations conformes ou inférieures à la valeur limite de matériaux tolérés (0,1 mg/kg de cyanures libres) pour les 2 échantillons prélevés dans les colluvions limono-argileuses.

Pour le restant de l'emprise du site, la pollution des niveaux de remblai et de colluvions limono-argileuses peut être résumée comme suit :

- **L'horizon de remblai** présente une contamination généralisée avec des concentrations comprises entre 1.7 et 689 mg/kg pour les cyanures libres et entre 1.4 et 231 mg/kg pour les cyanures totaux, soit des valeurs dépassant de 17 à environ 6900 fois la valeur limite pour matériaux tolérés selon la directive fédérale sur les matériaux d'excavation (exprimée par rapport aux cyanures libres). Le pH de l'horizon de remblai, mesuré sur 4 échantillons, est compris entre 7.6 et 9.2. Ces analyses illustrent le caractère aléatoire de la distribution de la pollution dans les remblais avec la présence de secteurs à très hautes concentrations en cyanures libres et totaux, notamment les échantillons F106-1 (689 mg/kg de cyanures libres) et TR15-1 (231 mg/kg de cyanures totaux), qui coïncident en principe avec des horizons pour lesquels une présence prépondérante de résidus d'épuration du gaz caractérisé par la couleur « Bleu de Prusse » signifiant la présence du complexe cyanure – fer a été mise en évidence lors du relevé des sondages. La pollution généralisée de l'horizon de remblai est à mettre en relation avec la mobilité importante des cyanures autant sous sa forme complexe que libre aux conditions particulières du site compte tenu des paramètres du milieu qui pourrait notamment s'expliquer du fait de l'exposition importante des remblais à la lumière lors de leur épandage par couches successives de faible épaisseur (photolyse) et par les conditions pH-Redox du milieu. La percolation d'eaux résiduaire chargées en cyanures, notamment à partir des emprises à risques identifiées lors de l'investigation historique, constitue un facteur complémentaire à l'origine de l'extension importante de la pollution observée.

- **Le niveau de colluvions limono-argileuses** sur lequel 4 échantillons répartis sur l'ensemble de l'emprise des 2 extensions de l'usine à gaz ont été analysés, présente également une pollution importante et généralisée aux cyanures avec des valeurs comprises entre 0.7 et 6.6 mg/kg pour les cyanures totaux et entre 2.5 et 6.1 pour les cyanures libres, soit des valeurs entre 25 et 61 fois supérieures à celle fixée pour les matériaux tolérés. Cette forte contamination de l'horizon sous-jacent aux remblais met en évidence une importante percolation verticale des cyanures libres depuis la source constituée par les remblais.
- **La couche d'alluvions sablo-graveleuse de terrasse** présente dès 1.9 mètres de profondeur a fait l'objet de 4 analyses relatives aux cyanures libres et totaux sur des échantillons répartis sur l'ensemble du périmètre. Les valeurs mesurées de cyanures libres sont comprises entre 3.4 et 6.3 mg/kg. Cette concentration importante en cyanures libres mesurée dans le sol est cohérente avec les concentrations observées dans l'eau de la nappe superficielle (cf. chapitre 3.2).

La migration verticale des cyanures depuis la source constituée par les remblais contaminés vers les horizons de colluvions et d'alluvions sous-jacents s'explique par la dynamique des équilibres exposés précédemment.

### 3.1.2 Pollution du terrain aux hydrocarbures aromatiques polycycliques

#### a) Source de la pollution

Sur la base des sondages complémentaires réalisés dans le cadre de l'investigation de détail, l'origine de la pollution aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) du terrain est avant tout liée à la mise en remblai de résidus pollués sur les emprises des 2 extensions successives du périmètre de l'usine à gaz. Tout comme dans le cas de la pollution aux cyanures, cette origine induit une forte hétérogénéité de la distribution de la pollution sur le site.

A cette source de pollution principale liée à la mise en œuvre de résidus intrinsèquement pollués, se superpose les risques de pollution par percolation des HAP dans le terrain à partir des principales activités à risques identifiées lors de l'investigation historique. Dans ce contexte, la principale emprise à risques est constituée par les bâtiments affectés à l'épuration chimique du gaz (secteur B sur le plan de l'annexe 5.2) cette dissémination a été rendue d'autant plus importante qu'une explosion a détruit cet édifice en 1909.

Le secteur A indiqué sur l'annexe 5.2 recoupe partiellement le bâtiment de fabrication du gaz à l'eau carburé et un hangar à charbon pouvant ainsi engendrer la présence d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et de benzène.

#### b) Distribution de la pollution observée dans le terrain

Les sondages effectués ont mis en évidence 2 secteurs présentant une forte contamination aux HAP avec des concentrations dépassant les critères de mise en décharge pour matières inertes (cf. plan de l'annexe 5.2) :

- Secteur A d'environ 350 à 700 m<sup>2</sup> qui se développe autour des fouilles TR7 et TR8 et qui présente des concentrations totales en HAP comprises entre 32 et 80 mg/kg sur une profondeur comprise entre 0,1 et 1,8 m (TR7) et 0,5 et 2,4 m (TR8). La pollution observée s'étend sur le niveau de remblai et concerne également la couche de colluvions sous-jacente pour la tranchée TR8 (65.6 mg/kg mesuré à 1,8 m de profondeur). La couche d'alluvion sous-jacente ne présente aucun indice de pollution aux HAP. L'analyse effectuée sur le lixiviat d'un niveau de remblai présentant une forte teneur en goudron prélevé à 1,7 m de profondeur dans la fouille TR7 (cf. annexe 4.1.2) indique un dépassement de la valeur de concentration de l'OSites pour le naphthalène avec une teneur mesurée de 1,79 mg/l, pour une limite fixée à 1 mg/l.
- Secteur B d'environ 500 à 1'000 m<sup>2</sup> qui se développe autour de l'ancien bâtiment affecté à l'épuration des gaz et qui englobe les sondages CR4 et P103 et la fouille TR17. Les **hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**, préalablement mis en évidence avec des teneurs respectivement une fois et demi et deux fois supérieures à la valeur de mise en DCMI pour le carottage de radier CR4 et la tranchée TR17, ont également été retrouvés dans le sondage P103 à une profondeur de 1.6 m. Les concentrations ne dépassent cependant que de peu la limite d'acceptation en DCMI. La pollution

observée reste vraisemblablement confinée aux remblais, les analyses effectuées dans le sondage P103 au niveau de la couche de colluvions limono-argileuses (à une profondeur de 2.2 mètres) ayant présenté une concentration en HAP conforme à la valeur U de matériaux non pollués alors que le niveau sus-jacent de remblais sableux, situé entre 1.5 et 1.8 mètres de profondeur, présentait une concentration légèrement supérieure aux critères de mise en décharge pour matériaux inertes. Une extension plus profonde de la pollution reste cependant vraisemblable compte tenu du fait que le carottage de radier CR4 et la fouille TR17 s'arrêtent respectivement à 0.8 et 1.8 mètres de profondeur, dans la couche de remblais pollués, sans atteindre les alluvions et colluvions sous-jacentes.

Hormis les 2 secteurs décrits ci-dessus et présentés sur le plan de l'annexe 5.2, la vingtaine d'analyses effectuée sur les niveaux de remblais présentant des résidus carbonneux ou goudronneux, ou ayant une apparence noire, indiquent une pollution modérée aux HAP avec des concentrations totales respectant les valeurs de mise en décharge contrôlée pour matériaux inertes ou le critère de matériaux tolérés. Les remblais de l'emprise de l'usine initiale ne présentent quant à eux aucune contamination significative aux HAP, sur la base des 4 fouilles réalisées dans ce périmètre.

Les analyses effectuées dans les colluvions limono-argileuses et les alluvions sablo-graveleuses sur l'ensemble du site, en dehors des 2 secteurs dont le niveau de remblai est fortement contaminé aux HAP (voir ci-dessus), présentent tous des teneurs en HAP inférieures à la valeur limite pour matériaux tolérés T. Six des quatorze analyses réalisées dans ces formations géologiques renferment par ailleurs des concentrations inférieures à la valeur limite U.

Sur la base d'investigations et d'assainissements d'autres sites d'anciennes usines à gaz, il doit être relevé que la présence de zones ponctuelles présentant des concentrations en HAP supérieures à celles mises en évidence par les sondages ou fouilles réalisées doit être prise en considération. La présence de poches contenant des résidus de goudrons, dont la répartition spatiale est relativement aléatoire, n'est en effet pas à exclure.

### 3.1.3 Pollution du terrain au benzène

#### a) Source de la pollution

Les sources principales de pollution au benzène mises en évidence dans le cadre de l'investigation historique sont constituées par les activités d'épuration physique et chimique, par les aires de refroidissement du coke et de manière plus générale et aléatoire par la mise en remblai de résidus intrinsèquement contaminés.

Une autre source de contamination au benzène est représentée par les citernes et postes de distribution d'essence, dont les BTEX représentent des composés caractéristiques.

#### b) Distribution de la pollution observée dans le terrain

Les investigations effectuées dans les 3 niveaux géologiques présents et mis en relation avec les sources potentielles de pollution liées aux affectations antérieures du site nous amènent aux conclusions suivantes :

- Des 9 échantillons analysés dans la **couche de remblais**, un seul a présenté une concentration en benzène supérieure à la limite DCMI, avec cependant une valeur mesurée proche de la valeur limite, soit 1.24 mg/kg à comparer avec 1 mg/kg. Cette concentration mesurée dans le forage F110, situé à l'extrémité sud du périmètre investigué et anciennement affecté au déchargement du charbon de l'ancienne usine à gaz, semble être liée à la mise en remblai de résidus de l'épuration du gaz. Les secteurs pour lesquels une pollution au benzène aurait pu être suspectée compte tenu de l'ancienne affectation du site, notamment la cour de refroidissement du coke par aspersion d'eau et les bâtiments successifs affectés à l'épuration physique ou chimiques des gaz, ne présentent en revanche aucun signe de pollution.
- Les niveaux de **colluvions argilo-limoneuses** et **alluvions sablo-graveleuses** n'ont mis en évidence aucune pollution significative au benzène. Les concentrations rencontrées dans les 7 échantillons analysés étant en effet toutes proches des limites de détection de la méthode analytique

utilisée pour ce composé, soit 0.03 mg/kg à comparer avec la valeur limite pour matériaux propres de 0.1 mg/kg. Ce constat s'applique également au forage F110, pour lequel une concentration en benzène supérieure à la valeur limite pour mise en DCMI a été décelée à une profondeur de 2.3 mètres dans la couche de remblais.

### 3.1.4 Pollution du terrain aux hydrocarbures aliphatiques

#### a) Source de la pollution

L'emprise de la source de pollution aux hydrocarbures aliphatiques est représentée sur le plan de l'annexe 5.3. Cette emprise regroupe les activités adjacentes suivantes :

- Station de lavage intérieure des véhicules du Service de l'électricité située dans l'aile est du bâtiment n°5 et une station de lavage extérieure située entre les bâtiments n°5 et 6. La station de lavage intérieure comporte une fosse interne de récupération des eaux ainsi qu'un séparateur d'hydrocarbures. L'aire de lavage extérieure comprend une surface de récupération des eaux d'environ 10 m<sup>2</sup> équipée d'une grille permettant l'écoulement. Cette station de lavage est implantée sur une aire revêtue de bitume n'empêchant pas totalement l'écoulement d'eaux polluées en périphérie de l'aire aménagée.
- Deux anciennes citernes à essence enterrées de 20'000 l à l'est du bâtiment n°5, exploitées par les SIG.

#### b) Distribution de la pollution observée dans le terrain

A partir des sources inventoriées, la pollution du terrain mise en évidence par les différentes investigations, représentée sur la carte de l'annexe 5.3, peut être résumée comme suit :

- La pollution la plus importante a été observée dans le forage F109 implanté au droit de la station de lavage extérieure. Ce forage a mis au jour des matériaux pollués aux hydrocarbures sur une profondeur comprise entre 0,6 et 5 m et qui s'étend aux niveaux de remblais et aux alluvions sous-jacentes. L'échantillon prélevé dans les remblais à 0,6 m de profondeur est caractérisé par une concentration aux hydrocarbures totaux ( $> C_{10}$ ) de 1'229 mg/kg soit une valeur 2.5 fois supérieure à la limite OTD de mise en DCMI. Cet échantillon ne présente en revanche aucune concentration significative en hydrocarbures aliphatiques légers ( $C_5 - C_{10}$ ). Le second échantillon prélevé dans ce forage à 5 m de profondeur dans les alluvions est quant à lui caractérisé par une forte pollution aux hydrocarbures aliphatiques légers ( $C_5 - C_{10}$ ) avec une concentration de 114 mg/kg, soit plus de 20 fois supérieure à la valeur de mise en DCMI. Ce second échantillon est en revanche dépourvu de toute contamination significative aux hydrocarbures totaux et a par ailleurs révélé la présence de BTEX dans des proportions inférieures à la limite des matériaux tolérés « T » de la directive sur les matériaux d'excavation.
- Le sondage P108 n'a pas mis en évidence d'indices visuels ou olfactifs de pollution aux hydrocarbures aliphatiques dans les terrains supérieurs à la nappe. En ce qui concerne les alluvions saturées par la nappe, dès 3 m de profondeur, les indices de pollution aux hydrocarbures décrits lors du forage P108 sont similaires à ceux décrits dans le sondage F109. On peut de ce fait considérer que la formation traversée à 5 m de profondeur dans le sondage P108 doit présenter des teneurs en hydrocarbures aliphatiques légers assimilables à celles mesurées dans le sondage F109.
- La tranchée TR7 implantée sur la cour extérieure à environ 15 mètres au nord du bâtiment n°5 affecté au lavage des véhicules a également mis en évidence une pollution aux hydrocarbures aliphatiques légers  $C_5 - C_{10}$  sur l'échantillon de remblai prélevé à 1,4 m de profondeur avec une concentration (6,2 mg/kg) ne dépassant toutefois que faiblement la valeur d'admissibilité en DCMI fixée à 5 mg/kg. Aucun indice de pollution aux hydrocarbures aliphatiques n'a été décelé pour le niveau d'alluvions non saturées mis au jour entre 2,4 et 3,8 m de profondeur dans cette tranchée.



- Les sondages TR9 et TR10 réalisés jusqu'à 2,5 m de profondeur dans les remblais et les colluvions dans le cadre de l'investigation préalable, à proximité de l'implantation supposée des 2 citernes à essence, n'avaient mis en évidence aucune pollution significative des couches interceptées aux hydrocarbures aliphatiques. Le radier en béton intercepté à la base de la tranchée TR10 à 2,5 m de profondeur pourrait être lié aux citernes enterrées pour lesquelles aucun plan précis n'a pu être retrouvé. En raison de contraintes d'occupation du sous-sol (passages de câbles et de conduites), la réalisation de sondages complémentaires au droit de l'implantation présumée des 2 citernes n'a pu être effectuée.
- Les forages F101 et F102 implantés à une distance d'environ 20 mètres au nord du bâtiment 5, soit à l'aval hydrogéologique de la source présumée, présentent une légère pollution aux hydrocarbures aliphatiques totaux dans la partie inférieure des alluvions saturées par la nappe sur une épaisseur de 70 à 80 cm. Le forage F107, distant de 40 mètres à l'est de la source présumée présente le même diagnostic avec une pollution de la base des alluvions saturées sur une épaisseur de l'ordre de 30 cm. Les analyses effectuées sur les échantillons prélevés dans les forages F101 et F107 sur l'épaisseur d'alluvions saturée polluée aux hydrocarbures indiquent toutefois des valeurs conformes à la catégorie de matériaux tolérés au sens de la directive fédérale sur les matériaux d'excavation.

En conclusion, l'état de connaissance relatif à l'extension de la pollution aux hydrocarbures aliphatiques dans le terrain peut être résumée comme suit :

- En ce qui concerne les hydrocarbures aliphatiques légers ( $C_5 - C_{10}$ ), l'absence de concentrations significatives relevées dans la couche de remblai et la forte pollution observée dans les alluvions du forage F109 accrédite l'hypothèse selon laquelle la pollution observée provient de fuites depuis les 2 citernes à essence dont la base est directement implantée dans les alluvions de terrasse. La fosse de récupération et le séparateur de la station de lavage sont à considérer comme une source secondaire de pollution, présentant un potentiel de migration moindre du fait de leur implantation dans le niveau de remblais peu perméables.

L'emprise estimée de la couche d'alluvions saturées présentant une pollution du terrain significative aux  $C_5-C_{10}$  est représentée sur le plan de l'annexe 5.3 sur la base du recoupement des données disponibles. Elle présente une surface de l'ordre de 1'500 à 2'500 m<sup>2</sup>.

- En ce qui concerne les hydrocarbures totaux ( $> C_{10}$ ), un seul échantillon prélevé dans la couche de remblais présente une concentration supérieure au critère de mise en décharge pour matériaux inertes (1229 mg/kg, soit environ 2.5 fois la valeur DCMI), les autres échantillons analysés présentant tous des concentrations inférieures à la valeur T. Compte tenu de la présence d'autres composés polluants dans la couche de remblais, notamment les cyanures libres présents de manière généralisée sur toute l'emprise de la parcelle, la pollution aux hydrocarbures totaux peut être qualifiée de peu significative dans le cadre de l'établissement du diagnostic global. La pollution aux hydrocarbures totaux est également présente à la base de la zone saturée de l'alluvion sablo-graveleuse, mais dans des concentrations modérées respectant selon les échantillons prélevés la valeur limite pour mise en décharge contrôlée pour matériaux inertes.

### 3.1.5 Pollution du terrain aux composés organiques volatils

#### a) Source de la pollution

Sur la base des résultats de l'investigation historique, il ressort que le site ne présente pas de sources majeures de pollution aux composés organiques volatils chlorés.

Les activités d'entretien de véhicules (nettoyage de moteurs et de châssis) et de nettoyage de câblages électriques avec des produits dégraissants déployées lors de la période de présence des Services Industriels, voire certaines activités artisanales implantées actuellement sur le site, telles que l'imprimerie qui occupe actuellement le tiers est du bâtiment 51 peuvent cependant être à l'origine d'épanchements de COV chlorés dans le sol.

## b) Distribution de la pollution observée dans le terrain

La pollution du terrain mise en évidence par les différentes investigations peut être résumée de la manière suivante :

- Des 7 échantillons prélevés dans la **couche de remblais**, tous présentent des concentrations en composés organiques volatils chlorés inférieures aux critères d'acceptation pour mise en décharge pour matériaux inertes, desquels 4 présentent une concentration inférieure à la valeur T. La concentration maximale en COV chlorés mesurée sur le site, dans le forage F107 (0.32 mg/kg), reste par ailleurs 3 fois inférieure au critère de mise en décharge pour matériaux inertes.
- Les couches de **colluvions argilo-limoneuses** et **alluvions sablo-graveleuses** ne présentent pas de pollution significative aux COV chlorés, puisqu'une seule analyse présente une concentration supérieure à valeur T, mais inférieure au critère de mise en décharge contrôlée pour matériaux inertes. Cet échantillon composite, prélevé entre 3 et 3.5 mètres de profondeur dans l'alluvion de la tranchée TR104, est situé à environ 25 mètres de distance du forage F107 dans lequel la concentration maximale en COV chloré a été mise en évidence dans la couche de remblais (voir ci-dessus).

Compte tenu de ces constatations, et du fait que des 15 échantillons analysés dans les 3 formations géologiques (remblais, alluvions et colluvions) aucun ne présente des valeurs supérieures aux critères de mise en décharge pour matériaux inertes (dont 12 inférieurs à la valeur T), le site ne présente pas une pollution significative du terrain aux composés organiques volatils chlorés.

### 3.1.6 Pollution du terrain aux métaux lourds

#### a) Source de la pollution

Sur la base des indications compilées dans le cadre de l'investigation préalable, la source principale de pollution aux métaux lourds est constituée par les activités de forge et de hangar à fonte qui se sont développées dans les deux bâtiments n° 74 et 75 (cf. plan de l'annexe 1) lors de la période d'activité de l'usine à gaz. Ces 2 bâtiments ont ensuite été transformés par les SIG en garages pour véhicules légers et existent encore actuellement.

En dehors de cette source, la présence de pollution aux métaux lourds est à considérer en relation avec le stockage extérieur d'éléments métalliques ainsi que de manière plus générale et aléatoire avec la mise en remblais de résidus intrinsèquement pollués.

Les citernes et postes de distribution d'essence sont également à considérer en tant que sources de pollution au plomb.

#### b) Distribution de la pollution observée dans le terrain

Nous pouvons résumer l'extension de la pollution aux métaux lourds dans le terrain de la manière suivante :

- Au droit de l'emprise de la forge et du hangar à fonte, le carottage de radier CR1 qui a été réalisé dans le bâtiment n°74 a révélé la présence de fortes teneurs en plomb (2210 mg/kg) à une profondeur de 0.3 m, dans le niveau de remblai sous-jacent au bâtiment. Cette teneur est en effet plus de 4 fois supérieure aux critères de mise en DCMI. D'autres métaux lourds tels que le cadmium et le cuivre sont également présents dans des concentrations ne dépassant toutefois pas la limite des matériaux tolérés « T ». Aucun sondage n'a été effectué dans le bâtiment n°75, directement situé au sud du premier bâtiment, mais on peut cependant considérer que la nature des activités qui y ont été menées a pu engendrer des concentrations en métaux lourds tout aussi importantes que celles observées dans le carottage de radier CR1.
- Sur le restant de l'emprise du site investigué, l'horizon de remblai ne présente pas une forte contamination aux métaux lourds. De la vingtaine d'échantillons prélevés à différentes profondeurs et répartis de manière uniforme sur l'ensemble de l'emprise de la parcelle investiguée, seuls deux présentent en effet des concentrations en plomb supérieures aux critères de mise en décharge pour matériaux inertes. Pour ces 2 échantillons aux points CR2 et F105, les concentrations en plomb ne

sont cependant pas de beaucoup supérieures au critère de mise en DCMI fixé à 500 mg/kg, puisque elles s'élevaient respectivement à 545 mg/kg et 670 mg/kg. Les autres métaux lourds analysés dans la couche de remblais (soit le cadmium, le chrome, le cuivre, le nickel et le zinc) sont tous présents à des concentrations inférieures à la valeur T. Malgré les 2 dépassements limités observés pour le plomb, on peut considérer que du point de vue de leurs teneurs en métaux lourds, les remblais présents sur le site répondent globalement aux critères de matériaux inertes selon l'OTD.

- Aucune des analyses effectuées dans les couches d'**alluvions** et de **colluvions sous-jacentes** n'a révélé la présence de métaux lourds à des concentrations supérieures au critère T de matériaux « tolérés », aussi ces couches géologiques ne sont-elles pas contaminées de manière significative aux métaux lourds.

## 3.2 Etat de pollution des eaux

### 3.2.1 Nappe superficielle

L'état de pollution de la nappe superficielle présente dans les alluvions de la terrasse a été appréhendé à partir de six piézomètres implantés sur le site, dont les références sont P1, P2, P108, P103, P6164 et P9391 et dont l'implantation figure sur le plan de l'annexe 3.1. Les deux derniers piézomètres cités étaient préalablement existants sur le site.

Dans le cadre de l'investigation de détail, des analyses ont été effectuées sur les prélèvements réalisés dans chacun des six piézomètres, lors des campagnes de terrain des 24 octobre, 18 et 21 novembre 2002. Les résultats de ces analyses sont présentés en annexe 4.2.1. en compagnie des résultats des prélèvements des 8 février et 1<sup>er</sup> mars 2002 réalisés dans le cadre de l'investigation préalable.

En plus des prélèvements d'eaux opérés dans chacun des piézomètres installés, réalisés selon les conditions spécifiées par la directive de l'OFEFP, nous avons procédé à des prélèvements par préleveurs (« bailer ») lors de la réalisation des forages afin d'avoir une vision la plus précise possible de l'état de la nappe au niveau de l'ensemble du site. Les résultats de ces analyses font l'objet de l'annexe 4.2.2.

Les analyses de la nappe effectuées dans le cadre l'investigation de détail confirment la présence à des concentrations significatives des 3 polluants déjà mis en évidence lors de l'investigation préalable, soit :

1. **Les hydrocarbures aliphatiques légers**
2. **Les cyanures libres**
3. **Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)** dont le benzo(a)pyrène, le dibenzo(a,h)anthracène, le benzo(a)anthracène, le benzo(b)fluoranthène et le chrysène.

Les analyses de l'investigation de détail ont également mis en évidence la présence de concentrations significatives de **benzène** dans 2 piézomètres. Les analyses de l'investigation de détail confirment en revanche l'absence d'autres contaminants à des concentrations significatives. Les teneurs en composés organiques volatils et en métaux lourds mesurées sur les différents piézomètres sont notamment intégralement situées en deçà des valeurs de concentration définies par l'OSites.

Les principaux résultats d'analyse de l'eau de la nappe sont reportés sur la carte de l'annexe 6.1. et les paramètres physico-chimiques sur la carte de l'annexe 6.2.

L'ancienne usine à gaz de la Jonction étant située hors du secteur A<sub>1</sub> de protection des eaux, le site nécessite un assainissement du point de vue des eaux souterraines selon l'OSites (art. 9 ; ch.2) si « *la concentration des substances s'écoulent du site dépasse, en aval à proximité du site, le double de la valeur de concentration mentionnée dans l'annexe 1* ».

### 3.2.1.1 Hydrocarbures aliphatiques légers et benzène

Des concentrations significatives en **hydrocarbures aliphatiques légers (C<sub>5</sub> – C<sub>10</sub>)**, dépassant la valeur de concentration de l'OSites fixée à 2 mg/l, ont été mises en évidence dans la nappe superficielle dans les 2 piézomètres **P1 et P108**. Les prélèvements effectués sur l'ensemble des autres points d'investigation n'ont en revanche mis en évidence aucune concentration significative en hydrocarbures aliphatiques légers.

Ces observations se corrèlent bien avec la source présumée de la pollution décrite au paragraphe 3.1.4, à savoir l'emprise conjointe des citernes à essence enterrées et de la station de lavage, et l'écoulement de la nappe.

Les prélèvements effectués sur le piézomètre P108 situé à proximité immédiate de la source de pollution, ont mis en évidence la présence d'une phase libre flottante d'hydrocarbures aliphatiques légers (C<sub>5</sub> – C<sub>10</sub>), illustrée par la mesure d'une concentration de 124 mg/l pour l'échantillon prélevé en surface. Les prélèvements effectués après pompage de 35 l, indiquent en revanche des concentrations de respectivement 0,0011 et 1,8 mg/l, soit inférieures à la valeur de concentration de l'OSites.

Les 5 prélèvements effectués sur le **piézomètre P1**, situé à l'angle nord-ouest et à l'aval hydrogéologique du site indiquent des concentrations en hydrocarbures aliphatiques légers (C<sub>5</sub> – C<sub>10</sub>) comprises entre 2,3 et 135.1 mg/l. Sur ces 5 mesures qui excèdent toutes la valeur de concentration de l'OSites, 2 d'entre elles dépassent le double de cette dernière, soit le critère impliquant la nécessité d'assainir pour un site situé à l'extérieur du secteur A<sub>u</sub> de protection des eaux. La forte concentration mesurée lors du prélèvement effectué le 1<sup>er</sup> mars 2002 après pompage d'environ 170 litres est probablement liée à la mobilisation d'une poche fortement polluée située plus en amont, compte tenu du caractère peu miscible des hydrocarbures dans l'eau.

L'absence de Tert-butylméthyléther (MTBE), qui constitue un adjuvant de l'essence utilisé depuis le début des années 1980 en remplacement au plomb, permet de confirmer que l'origine de la pollution aux hydrocarbures aliphatiques est antérieure à cette époque, ce qui est cohérent avec la période d'exploitation des installations concernées par les Services Industriels.

Les piézomètres P1 et P109 présentent également des concentrations élevées en benzène avec des concentrations respectives mesurées le 21 novembre 2002 de 1,36 et 0,55 mg/l, soit 136 et 55 fois supérieures à la valeur de concentration de l'OSites. Compte tenu de la distribution de la pollution au benzène observée dans la nappe, l'hypothèse de l'origine conjointe avec la pollution aux hydrocarbures aliphatiques légers est à privilégier au détriment d'une lixiviation de résidus issus des activités d'épuration physique et chimique de l'usine à gaz. Parmi les BTEX qui sont des composants de l'essence, le benzène est en effet caractérisé par une dégradabilité en milieu anaérobie extrêmement réduite, ce qui peut expliquer la rémanence de ce paramètre dans les eaux de la nappe.

### 3.2.1.2 Cyanures

Les analyses réalisées dans le cadre de l'investigation de détail ont mis en évidence une pollution importante de la nappe aux cyanures libres au droit et en aval hydraulique du site. Les concentrations mesurées sur 6 points d'observation localisés sur le plan de l'annexe 6.1 présentent en effet des concentrations en cyanures libres comprises entre 0,19 et 3,79 mg/l, soit des valeurs 4 à 75 fois supérieures à la valeur de concentration de 0,05 mg/l fixée par l'OSites.

Les importantes concentrations en cyanures totaux mesurées sur les piézomètres P1 et P2 le 24 octobre 2002, soit respectivement 4,89 et 1,48 mg/l traduisent vraisemblablement également une forte concentration en cyanures libres, nettement supérieure à la valeur de concentration fixée par l'OSites.

Malgré certaines fluctuations, les concentrations mesurées se corrèlent bien avec les sources de pollution définies au chapitre 3.1.1., notamment la mise en remblai de résidus intrinsèquement pollués aux cyanures libres dans le cadre des 2 extensions successives de l'usine à gaz.

Cette mise en remblai dans des terrains à dominante argileuse possédant un pH à tendance alcaline engendre une mise en solution partielle des cyanures et permet à ce polluant d'atteindre la nappe sous-

jacente par percolation verticale des eaux). En outre la migration des complexes cyanure-fer sous formes colloïdale soluble dans les eaux souterraines entraîne la dissociation rapide en cyanures libres dans l'eau.

Les concentrations plus réduites mesurées sur les 2 piézomètres P9391 et P103 situées à l'amont du site confirment ce constat.

### 3.2.1.3 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

A l'exception des piézomètres P9391 et P103 situés à l'angle sud-est de la parcelle, soit à l'amont hydrogéologique du site, qui ne présentent aucune concentration significative en HAP, tous les autres points d'observation de la nappe ont mis en évidence des concentrations excédant le double de la valeur de concentration fixée par l'OSites pour un ou plusieurs des composés suivants : benzo(a)pyrène, dibenzo(a,h)anthracène, benzo(a)anthracène, benzo(b)fluoranthène et chrysène.

Les principaux résultats des analyses en HAP, présentés sur la carte de l'annexe 6.1., sont repris dans le tableau ci-après :

Piézomètre		P6164	P1	P2	TR105	F106	F107	P108	F101	F102	Valeurs de concentrations selon l'OSites
Benzo(a)pyrène	[mg/l]	/	0.0003	0.0002	0.0003	/	0.0012	à 0.0003	0.0007	0.0004	0.00005
Dibenzo(a,h)anthracène (HAP)	[mg/l]	< 0.00861	0.0004	0.0013	/	/	0.0006	0.0004	0.0124	0.0005	0.00005
Benzo(a)anthracène	[mg/l]	/	/	/	/	/	0.0012	0.0006	0.0006	/	0.0005
Benzo(b)fluoranthène	[mg/l]	/	/	/	/	/	/	0.0012	/	/	0.0005
Chrysène	[mg/l]	/	/	/	/	0.2	/	/	/	/	0.05

La contamination aux hydrocarbures aromatiques polycycliques mise en évidence dans la nappe est cohérente par rapport aux sources de pollution décrites au paragraphe 3.1.2., soit la mise en remblai de résidus pollués sur les emprises des 2 extensions successives du périmètre de l'Usine à gaz et l'emprise et les environs des bâtiments affectés à l'épuration chimique du gaz (secteur B sur le plan de l'annexe 5.2).

A la lumière des sondages effectués jusqu'à présent, la pollution du terrain ne porte que sur les niveaux supérieurs non saturés par la nappe et atteint cette dernière par percolation verticale des eaux d'infiltration. Cette percolation est facilitée par le fait que les remblais sont par endroits directement en contact avec l'aquifère tel qu'observé au niveau du sondage A3 (voir coupe AB – annexe 7). Un approfondissement localisé des remblais pollués en-dessous du niveau de la nappe, entre les différents sondages ponctuels effectués, ne peut en outre être totalement exclu.

### 3.2.1.4 Paramètres physico-chimiques

Un certain nombre de paramètres physico-chimiques de la nappe ont été mesurés à la fois sur le terrain et en laboratoire dans le cadre des prélèvements effectués. Ces paramètres physico-chimiques, à savoir : potentiel Redox ; pH ; température ; oxygène dissous ainsi que les concentrations en nitrates, fer (II) et sulfates, sont représentatifs des processus de dégradation microbiologiques des polluants qui se déroulent naturellement dans les eaux de la nappe.

Dans les nappes polluées par des hydrocarbures, il existe un excès en carbone organique disponible. Le métabolisme microbien qui se met en place suite à cet excès va induire une consommation séquentielle de l'oxygène dissous, des nitrates, du fer (III), des sulfates et enfin du dioxyde de carbone.

Dans le cas précis de l'ancien site des SIG de la Jonction, les paramètres chimiques mesurés dans les eaux des piézomètres P1 et P108 (voir annexes 4.2 et 6.2) touchés par la pollution aux hydrocarbures aliphatiques légers présentent une séquence identique de consommation des différents accepteurs d'électrons cités préalablement, qui atteste de la présence de processus de dégradation naturelle.

Sur la base de l'annexe 6.2, on constate que les teneurs en oxygène sont effectivement 5 à 10 fois moins importantes (0.2 à 0.3 mg/l) dans les deux piézomètres concernés que sur le reste du site (1.4 à 3.2 mg/l). Les nitrates ont été entièrement consommés alors qu'elles sont de l'ordre de 16 à 43 mg/l en amont de la pollution. Les teneurs en fer (II) sont également 2 à 8 fois plus conséquentes dans les piézomètres P108 et P1, respectivement 0.014 et 0.039 mg/l, démontrant l'effective réduction du fer (III) en fer (II). Les concentrations en sulfates apparaissent bien diminuées dans les eaux du piézomètre P1 (59.4 mg/l) par rapport aux piézomètres non touchés par ce type de pollution (103 à 241 mg/l).

Paradoxalement, le piézomètre P 108 présente les teneurs en sulfates les plus importantes observées sur le site (359 mg/l) alors qu'une certaine consommation même partielle de ceux-ci devrait avoir lieu, telle qu'observée dans le piézomètre P1. Ce phénomène pourrait être généré par une réaction aérobie de dégradation des thyocyanates (SCN), produit cyanuré également généré lors du processus de purification du gaz produit à partir du charbon. La réaction de dégradation des thyocyanates entraîne en effet la formation de sulfates, qui viendraient ainsi augmenter les teneurs déjà existantes

### 3.2.2 Poches d'eaux

En raison de l'existence de nombreuses fondations ainsi que de niveaux perméables au sein des remblais ou des colluvions, plusieurs poches d'eaux ont été constatées lors de l'exécution des tranchées de reconnaissance :

- Les tranchées TR16 et TR17 ont ainsi mis en évidence la présence de murs de fondations empêchant l'infiltration des eaux de pluie dans les terrains plus profonds. Le niveau d'eau mesuré de la poche d'eau rencontrée dans ces deux tranchées est respectivement située à 1.9 et 1.8m de profondeur.
- La tranchée TR9 a pour sa part montré l'existence d'un horizon sablo-graveleux à 2.4 m de profondeur situé dans les colluvions dont s'est échappé un petit volume d'eau.

Les analyses réalisées sur les deux prélèvements d'eau effectués dans les tranchées décrites ci-dessus n'ont mis en évidence aucune teneur significative en polluants.

### 3.3 Pollution de l'air

Suite à la présence, dans le terrain de polluants susceptibles d'être à l'origine d'une pollution de l'air et au vu du projet de réaménagement du site défini par la Ville de Genève qui prévoit un décapage conséquent des surfaces imperméabilisées (voir annexe 8), nous avons estimé les possibilités d'un dégagement d'émissions polluantes gazeuses générées par les polluants cités ci-dessous aux concentrations maximales observées dans le terrain :

- Hydrocarbures aromatiques polycycliques : naphtalène, le benzo(a)pyrène ;
- BTEX : benzène et toluène ;
- Composés organiques volatils chlorés : cis-1,2-dichloréthène, dichlorométhane, tétrachloréthène, 1,1,1-trichloréthane, trichloréthène.

Cette estimation a été faite en considérant les constantes d'équilibres physico-chimiques qui régissent la répartition de la pollution entre les phases gazeuse, liquide et solide.

Cette approche nous a permis de démontrer que les teneurs en polluants maximales mises en évidence dans la phase solide des échantillons analysés ne présentent pas de concentrations suffisamment importantes pour générer une pollution de l'air excédant les valeurs de concentrations définies par l'OSites. Par ailleurs, à l'état actuel, les éventuelles émissions de gaz dégagées à partir du sol ne sont pas susceptibles d'atteindre des endroits dans lesquels des personnes peuvent se trouver régulièrement pendant un certain temps.

Concernant les cyanures, qui ne sont pas régis par les mêmes équations d'équilibre que les composés organiques, il faut noter que l'OSites ne fixe aucune limite relative à la présence de ces composés dans l'air. Il faut également tenir compte du fait que le cyanure est volatil seulement sous la forme de cyanure d'hydrogène, soit une forme qui était uniquement susceptible d'être présente lors de la période d'activité

proprement dite de l'usine à gaz. Il est néanmoins important de constater que dans des conditions particulières ( $\text{pH} < 5$  et  $\text{pE} > 0$  ou  $\text{pH} < 9$  et  $\text{pE}$  de 0 à  $-10$ ) il peut y avoir formation d'HCN sous forme gazeuse mais qui devrait passer en solution si la surface du site est asphaltée.

### 3.4 Statut du site selon l'ordonnance sur les sites contaminés

Les résultats de la présente investigation de détail confirment les conclusions de l'investigation préalable :

1. L'ancien site des SIG de la Jonction renferme sur une grande étendue des matériaux pollués à considérer comme déchets. Il est à ce titre à considérer comme un site pollué au sens de l'Ordonnance fédérale sur l'assainissement des sites pollués (OSites).
2. En relation avec les concentrations de polluants s'écoulant du site dans la nappe superficielle, qui dépassent en aval et à proximité du site le double de la valeur de concentration mentionnée dans l'annexe 1 de l'OSites en ce qui concerne les cyanures libres, les hydrocarbures aliphatiques légers, le benzène et différents hydrocarbures aromatiques polycycliques, l'ancien site des SIG de la Jonction constitue un site contaminé à assainir du point de vue de la protection des eaux souterraines selon l'OSites (art. 9 ; ch. 2 ; al c), et ce indépendamment de tout projet constructif sur son emprise.

Selon l'article 15 de l'OSites, les buts et l'urgence de l'assainissement doivent être définis par l'autorité, sur la base des données de l'investigation de détail, soit :

- a) type, emplacement, quantité et concentration des substances dangereuses pour l'environnement présentes sur le sites pollué ; ces éléments font l'objet du chapitre 3.1 du présent rapport.
- b) type des atteintes à l'environnement effectives et possibles, charge et évolution de ces atteintes dans le temps ;
- c) emplacement et importance des domaines environnementaux menacés.

Concernant ces 2 derniers points, la description des domaines environnementaux menacés et les atteintes constatées en termes de concentrations de polluants observées dans la nappe ont été respectivement présentés aux paragraphes 2.2.2 à 2.2.5, 3.2 et 3.3.

Une évaluation plus approfondie des atteintes et des risques en fonction des charges et flux de polluants estimés et de la nature et de l'importance des domaines environnementaux menacés est présentée au chapitre 4 ci-après.

## 4 EVALUATION DES ATTEINTES ET DES RISQUES POUR L'ENVIRONNEMENT

Sur la base de l'ensemble des investigations effectuées, l'évaluation des atteintes et des risques pour l'environnement doit être effectuée en considérant la pollution aux cyanures, aux hydrocarbures aromatiques polycycliques, aux hydrocarbures aliphatiques légers  $C_5 - C_{10}$  et au benzène, les autres contaminants n'ont en effet pas été observés dans des concentrations significatives dans les domaines de l'environnement présents à proximité du site.

Dans la mesure où toute atteinte relative aux sols ou en matière de pollution de l'air a pu être exclue (ou peu probable pour l'air) sur la base de la configuration du site et de la nature et concentration des polluants présents, l'évaluation des atteintes sur l'environnement liées à l'ancien site SIG de la Jonction doit porter sur les eaux souterraines et les eaux de surface.

Au vu de l'affectation et de l'aménagement actuels du site, quasi totalement recouvert d'un revêtement bitumé, à l'exception d'une faible empreise de pavés arrachés dans l'angle sud-est du site, les risques sanitaires liés à l'ingestion de sol pollué aux cyanures peuvent en outre être écartés.

Les caractéristiques des eaux souterraines et des eaux de surface liées au site, déjà décrites au chapitre 2 sont appelées ci après :

- **Eaux souterraines :** Présence de la nappe de Plainpalais - Jonction ; nappe superficielle en milieu urbain qui ne présente aucun intérêt pour l'alimentation en eau ; la parcelle est située à l'extérieur de toute zone de protection des eaux, dans le secteur aval de la nappe qui présente un très faible gradient NNO, en direction du Rhône ; aucun captage d'eau d'une quelconque nature n'est présent à l'aval hydrogéologique du site.
- **Eaux de surface :** La pollution du site est susceptible d'atteindre le Rhône présent à 50 m de la limite nord de la parcelle par l'intermédiaire de l'écoulement de la nappe superficielle décrit ci-dessus.  
Au droit du barrage du Seujet, le Rhône est caractérisé par un débit moyen de l'ordre de  $265 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le débit minimum sur une journée, régulé par le barrage, s'établit à environ  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ .  
Selon les informations récoltées auprès du Service cantonal d'hydrobiologie, l'eau du Rhône dans le secteur de la Jonction est de bonne qualité, tant au niveau des paramètres hydrobiologiques que des paramètres physico-chimiques et des concentrations en principaux polluants. Bien qu'aucune analyse de routine pour les 4 types de polluants concernés par le site étudié ne soit réalisée, soit les cyanures libres, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, le benzène et les hydrocarbures aliphatiques légers ( $C_5 - C_{10}$ ), les concentrations de ces composés dans le Rhône sont infimes et ne portent pas atteinte à la qualité globale du cours d'eau selon les indications transmises par le Service cantonal d'hydrobiologie.

Des estimations relatives à la charge polluante présente dans les différents horizons du terrain et au flux pollutif véhiculé par la nappe superficielle depuis le site investigué sont présentées ci-après pour chacun des groupes de polluants à considérer.

Compte tenu des inconnues subsistant encore à ce stade, ces estimations n'ont pas la prétention de quantifier précisément les charges et flux pollutifs liés au site de l'ancienne usine à gaz de la Jonction, mais visent à cerner les ordres de grandeur.

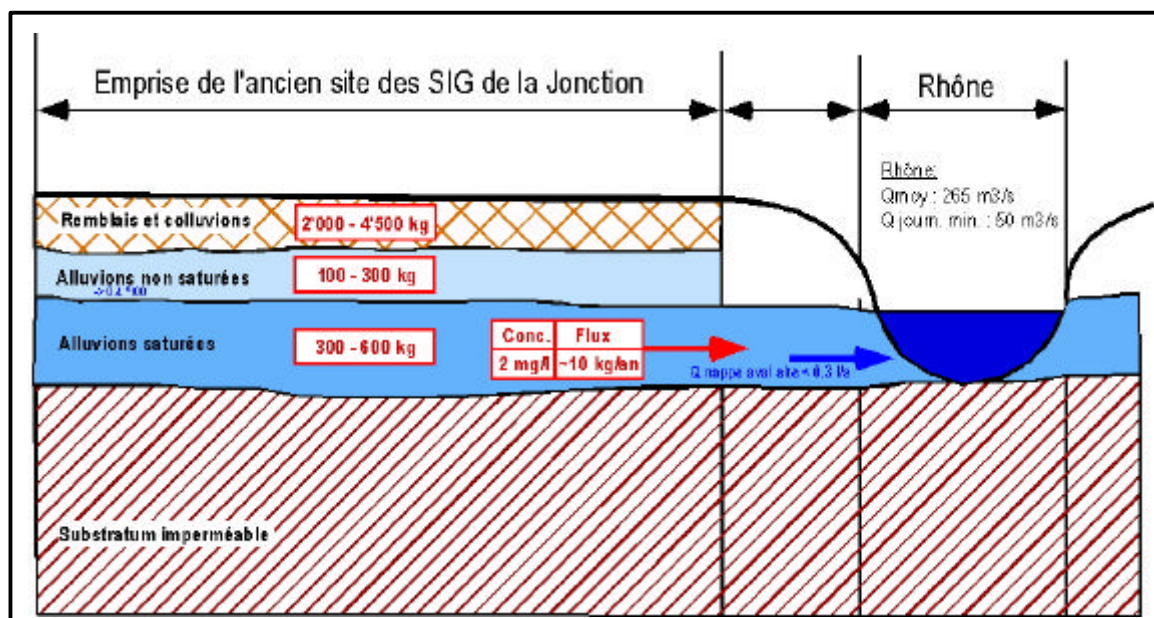


Le flux de la section de la nappe superficielle potentiellement influencé par la pollution du site est estimé à moins de 0,5 l/s, sur la base des paramètres observés ou estimés suivants :

- Gradient de la nappe : env. 0,5 ‰
- Epaisseur moyenne de la nappe : env. 3 m
- Coefficient de perméabilité selon Darcy : env.  $5 \times 10^{-4}$  m/s
- Largeur maximale du panache de pollution en limite nord de la parcelle : env. 200 m.

Le caractère réduit de ce flux estimé est avant tout lié au très faible gradient d'écoulement observé au droit du site.

Sur la base de ces caractéristiques hydrogéologiques et des concentrations mesurées dans les échantillons de terrain et de la nappe, le bilan de la charge et du flux en **cyanures libres** du site peut être approché comme suit :



En relation avec les fortes concentrations mesurées sur la quasi totalité de l'extension du site et pour l'ensemble de la succession remblais – colluvions – alluvions, la charge en cyanures libres présente dans le terrain devrait avoisiner les 2'500 à 5'000 kg.

On constate que, même en admettant une hypothèse haute pour la concentration moyenne de l'eau de la nappe (2 mg/l), le flux de cyanures libres évacués par cette dernière est faible, puisque estimé de l'ordre de 10 kg par année. Ce flux représente donc de l'ordre de 2 à 4 millièmes de la charge en cyanures libres estimée dans le terrain.

Cette estimation montre que malgré les fortes concentrations mesurées dans les eaux souterraines à l'aval du site, le flux de cyanures libres évacués par la nappe superficielle n'engendre aucune réduction tangible de la charge polluante présente dans le terrain.

Le constat est similaire en ce qui concerne les **hydrocarbures aromatiques polycycliques**. Le flux de benzo(a)pyrène évacué par la nappe devrait se situer en dessous de 20 grammes par an, alors que la charge totale de cette substance présente dans les remblais non saturés par la nappe excède vraisemblablement 500 kg.

En ce qui concerne la pollution au **hydrocarbures aliphatiques légers** et au **benzène**, la situation est différente dans la mesure où le foyer de pollution est directement situé à l'intérieur des alluvions de terrasse constituant l'aquifère de la nappe superficielle. Pour ces 2 polluants également, le flux évacué par la nappe est limité avec des ordres de grandeurs pouvant être estimés à environ 20 kg par an pour les hydrocarbures C<sub>5</sub> – C<sub>10</sub> et à 5 kg par an pour le benzène.

Considéré isolément, l'impact écotoxicologique de l'exfiltration des eaux de la nappe polluées par le site dans le Rhône peut être évalué comme non significatif en considérant le rapport de dilution de 1 à 250'000 entre les flux respectifs ainsi que le caractère diffus de l'infiltration des eaux de la nappe superficielle dans le cours d'eau. Des phénomènes de dégradation naturelle sont en outre de nature à réduire encore davantage le flux polluant déversé dans le Rhône depuis le site, notamment en ce qui concerne les cyanures.

Dans le contexte général de la protection des eaux, le flux pollutif émis par l'ancien site de l'usine à gaz de la Jonction n'est cependant pas à négliger. A titre indicatif, les concentrations en cyanures libres mesurées dans la nappe à l'aval du site sont supérieures d'un facteur 2 à 40 à la valeur limite de 0,1 mg/l fixée à l'annexe 3.2 de l'OEaux dans le cadre des exigences générales fixées pour le déversement des eaux industrielles dans les eaux de surface.

La situation en matière d'atteintes et de risques pour les eaux souterraines et de surface induits par l'ancien site de l'usine à gaz de la Jonction, peut donc être résumée comme suit :

- Déversement dans les eaux de surface (le Rhône) d'une charge polluante non négligeable, qui serait par analogie clairement non admissible pour une entreprise industrielle en exploitation.
- Sans intervention au niveau de la source de pollution dans le terrain, rémanence à très long terme du flux polluant émis au niveau actuel, en tout cas en ce qui concerne les cyanures libres et les hydrocarbures aromatiques polycycliques, en raison du caractère négligeable de l'émission par rapport à la charge pollutive totale présente dans le terrain et de l'absence de dégradation naturelle significative.
- Absence d'impact concret pour les eaux souterraines : la pollution concerne le secteur aval d'une nappe superficielle en milieu urbain non destinée à l'alimentation en eau.
- L'exfiltration du flux pollutif émis par le site n'induit pas d'impact direct sur la qualité des eaux du Rhône.

## 5 STRATEGIES D'INTERVENTION ENVISAGEABLES

### 5.1 Paramètres de base :

La définition des mesures d'assainissement à mettre en œuvre pour l'ancien site de l'usine à gaz de la Jonction doit être effectuée en prenant en compte les paramètres de base suivants :

- a) Du point de vue de l'OSites, le site constitue comme déjà mentionné un site contaminé à assainir. Selon l'article 15 ; ch. 1 de l'OSites, « *l'assainissement a pour but d'éliminer les atteintes, ou les dangers concrets d'apparition de telles atteintes, qui ont été à l'origine des besoins d'assainissement* ».
- b) L'évaluation effectuée montre toutefois que la pollution diagnostiquée porte sur une nappe souterraine sans intérêt pour l'alimentation en eau et n'induit pas d'impact significatif sur les eaux de surface.

La pollution générée par l'ancien site de l'usine à gaz de la Jonction n'induit notamment aucune entrave ou menace directe à une utilisation existante, ce qui aurait justifié un assainissement particulièrement urgent au sens de l'OSites, art. 15 ch.4.

De plus, le site pourrait répondre aux conditions définies par l'art 15. ch2 de l'OSites qui permet d'envisager une intervention s'écartant du but général de l'assainissement formulé par l'OSites afin d'éviter des coûts disproportionnés dans la mesure où dans le cas présent « *les eaux de surface en liaison hydraulique avec les eaux souterraines situées hors du secteur A<sub>v</sub> satisfont aux exigences relatives à la qualité des eaux formulées dans la législation sur la protection des eaux* » (OSites, art. 15 ; ch. 2 al. c).

- c) L'évaluation effectuée montre que le terrain de l'ancienne usine à gaz de la Jonction présente une charge polluante très importante, de nature à faire perdurer la pollution des eaux souterraines actuellement observée sur une période extrêmement longue, de l'ordre de plusieurs centaines, voire milliers d'années.
- d) Le site fait l'objet de différents projets de réaménagement impliquant un décapage et une excavation du terrain sur des emprises plus ou moins étendues.

### 5.2 Modes d'intervention pouvant entrer en ligne de compte :

A priori, les différents modes d'intervention suivants peuvent être envisagés afin de traiter ou de maîtriser les différentes pollutions mises en évidence sur le site de l'ancienne usine à gaz de la Jonction :

#### 5.2.1 Mesures visant à éliminer les substances dangereuses pour l'environnement (décontamination) :

##### a) *Excavation des terres polluées avec traitement « off site » ou « on site »*

Le mode d'intervention avec traitement « off site » dans une unité de traitement stationnaire constitue l'option la plus radicale d'assainissement dans la mesure où elle permet d'extraire définitivement la charge polluante contenue dans le terrain et de la traiter conformément à la réglementation environnementale en vigueur.

Des filières de traitement éprouvées sont disponibles pour l'ensemble des catégories de matériaux pollués mis au jour dans le cadre de la présente investigation de détail, notamment selon des techniques de lavage physico-chimique des terrains.

Le traitement « off site » présente un coût spécifique relativement élevé, compris en première approche entre CHF 150 à 420 par tonne y compris transport pour les différentes catégories de matériaux pollués présents sur le site de l'ancienne usine à gaz de la Jonction.

Le stockage définitif en décharge contrôlée ne constitue pas une option à privilégier dans le cas présent en relation avec les fortes concentrations en cyanures libres observées sur la majorité des terres polluées, qui dépassent largement la valeur indicative d'admissibilité en décharge bioactive de 0,5 mg/kg définie par l'OFEFP.

L'option de traitement « on site » dans une unité de traitement mobile constitue une alternative au traitement en unité centrale extérieure dont l'intérêt doit être évalué en fonction de la quantité de matériaux à traiter, de la possibilité d'obtenir après traitement des terrains répondant aux critères de « matériaux tolérés » aptes à être remblayés sur place, ainsi qu'en fonction d'aspects logistiques et de maîtrise des nuisances durant le déroulement du chantier.

### **b) Traitement « in situ » des terres polluées**

Le traitement « in situ » des terres polluées consiste à intervenir sur le potentiel polluant des terrains en place, sans excavation préalable. L'efficacité concrète de ce type d'intervention est directement liée à la perméabilité et à l'homogénéité des matériaux à traiter ainsi qu'à la nature et à la concentration initiale en polluants.

Pour le site de l'ancienne usine à gaz de la Jonction, la mise en oeuvre d'un traitement « in situ » ne constitue pas en relation avec l'état actuel de la technique une option à privilégier pour les horizons de remblai et de colluvions caractérisés par une perméabilité très faible à hétérogène ainsi que par des concentrations très élevées en polluants, notamment en cyanures libres. Sur la base des recherches effectuées dans le cadre de la présente étude il n'existe en effet pas de technique éprouvée dans la pratique permettant de traiter efficacement ce type de matériaux à un coût raisonnable.

En revanche, le traitement « in situ » pourrait constituer une option envisageable pour le traitement de la pollution présente dans la couche des alluvions de terrasse sablo-graveleuses.

En fonction des différentes contaminations mises en évidence, les types de traitement « in situ » suivants pourraient notamment entrer en ligne de compte pour assainir les volumes d'alluvions polluées :

- **Pollution aux hydrocarbures aliphatiques légers C<sub>5</sub>-C<sub>10</sub> et au benzène** : ce type d'hydrocarbures peut être traité avec succès par bioventing, une technologie « in-situ » qui allie deux principes de décontamination : la ventilation et la biodégradation. Lors du bioventing, les composés volatils du sol, sont mis en mouvement par le courant d'air et par le principe d'Henry, en même temps que la biodégradation est effectuée par l'apport d'oxygène. En plus, l'injection d'air favorise la volatilisation de la phase liquide, au fur et à mesure que les composés gazeux sont dégradés. Le flux d'air injecté dans le sous-sol va être récupéré par aspiration. Cependant le débit d'injection/aspiration devra être maintenu suffisamment faible pour laisser le temps à la flore microbienne du sol de dégrader les composés polluants volatilisés et entraînés par le courant d'air. Cette technique permet aussi de supprimer la nécessité de traiter l'effluent gazeux extrait du sol avant rejet. Cette technologie contribue aussi à réduire la pollution aux cyanures libres par dégradation en conditions aérobies.

Sur la base de l'extension de la pollution mise en évidence, le coût d'une installation de bioventing devrait se situer à l'intérieur d'une fourchette de CHF 80'000 à 150'000. Les coûts d'exploitation typiques sont compris entre CHF 25 et 50 par tonne de terrain traité.

- **Pollution aux cyanures libres** : plusieurs techniques de traitement « in-situ » de ce type de pollution en milieu suffisamment perméable sont a priori envisageables. La première consiste en la bioremédiation par bioventing, citée précédemment pour les hydrocarbures aliphatiques légers. Il n'est cependant pas acquis que cette option permette une dégradation suffisante des cyanures libres dans le cas présent compte tenu des concentrations initiales observées.

Une autre option de traitement est constituée par le lavage/extraction « in-situ ». En conditions oxydantes et alcalines (pH>8), les complexes de ferrocyanates sont déstabilisés et l'ion CN<sup>-</sup>, soluble, est mobilisé. En aspergeant ainsi les sols pollués par une solution alcaline on provoque leur mise en solution et le lessivage des cyanures libres. La solution de traitement doit ensuite être récupérée par un dispositif de drains et de puits de pompage préalablement installé puis traitée par acidification pour précipiter le cyanure et le concentrer.

Une autre option envisageable consiste à oxyder directement les cyanures libres par une solution de peroxyde d'hydrogène injectée dans le terrain.

La mise en œuvre de ces options de traitement in situ des cyanures implique le décapage préalable des terrains superficiels peu perméables ainsi que la mise en œuvre d'un dispositif de confinement hydraulique ou physique de la nappe afin d'exclure toute migration incontrôlée des polluants libérés en cours de traitement.

Le coût de ce traitement peut varier énormément en fonction des paramètres spécifiques de mise en œuvre. Une fourchette préliminaire d'un coût ramené à la tonne de terrain traité compris entre CHF 30 et 150 peut être articulée à ce stade. La mise en œuvre de telles options de traitement nécessite par ailleurs des investigations complémentaires afin d'en confirmer la faisabilité puis le cas échéant l'organisation d'un essai pilote afin de confirmer l'efficacité du traitement et définir les paramètres de mise en œuvre.

Une autre technologie de traitement « in-situ » des cyanures est constituée par l'électrocinétique « in-situ », basée sur le principe de l'électrolyse permettant l'oxydation des cyanures libres. Cette technologie se trouve cependant actuellement en phase de développement et son efficacité à grande échelle est encore aléatoire. Son coût de mise en œuvre très élevé ainsi que la consommation en énergie très importante qu'elle occasionne sont d'autres paramètres pour lesquels cette option ne constitue pas une solution à envisager dans le cas présent.

### c) *Traitement « in situ » de la nappe*

Compte tenu des polluants en présence, les 2 technologies de traitement « in-situ » de la nappe qui peuvent entrer en ligne de compte sont les suivantes :

- Le « **biosparging** », qui constitue une technique très semblable au bioventing exposé plus haut. Dans le cadre du biosparging, l'air est injecté directement dans la nappe par le biais de piézomètres. Cette technique mobilise en les vaporisant les contaminants dissous dans l'eau ou piégés par capillarité dans les pores. Cette phase vaporisée est emportée vers le haut par la remontée des bulles d'air et est biologiquement dégradée dans le sol non saturé. Le flux d'air est ensuite récupéré par aspiration. Cette technologie est surtout efficace pour les hydrocarbures légers et les BTEX associés, pour les cyanures libres sous certaines conditions et pour certains hydrocarbures aromatiques polycycliques, mais demande pour ce dernier type de polluants une durée de traitement plus importante.

Le coût typique d'une installation de biosparging peut être estimé entre 150 et 250'000 CHF en incluant l'installation de venting associée. Les coûts d'exploitation typiques, ramenés à la tonne de terrain dans lequel s'étend la pollution à traiter, sont compris CHF 25 et 50.

- La mise en œuvre de **parois réactives** à l'aval hydrogéologique du site : ces parois perméables descendues jusqu'à la base de l'aquifère sont destinées au traitement « in-situ » des eaux souterraines sans modification du régime hydraulique. Les réactifs mis en œuvre dans les alvéoles interchangeables de la paroi agissent comme zone de traitement par réactions chimiques et physiques. Les hydrocarbures peuvent ainsi être retenus par du charbon actif tandis que les cyanures peuvent être oxydés par une imprégnation au peroxyde d'hydrogène ou par la mise en œuvre de réactifs spécifiques.

Le coût de mise en place d'une barrière active de ce type est de l'ordre de CHF 1 à 2 millions, auxquels il faut ajouter le coût de fourniture, d'élimination et de régénération des réactifs. A titre indicatif, le prix de fourniture du charbon actif s'établit à environ CHF 8'000 par tonne.

L'exploitation à long terme d'une paroi réactive nécessite le renouvellement régulier des réactifs tant que la source de pollution n'est pas " tarie ". Cette opération constitue une intervention lourde qui s'accompagne d'un coût élevé, de l'ordre de plusieurs centaines de milliers de francs au minimum. La fréquence de renouvellement dépend directement du flux de polluants transitant par la paroi, elle est généralement de l'ordre de quelques années.

Compte tenu du coût élevé de renouvellement des réactifs, on constate que la mise en œuvre d'une paroi réactive sans réduction à la source de la charge polluante présente sur le site ne constitue pas une solution à privilégier.

#### **d) Traitement des eaux de la nappe après pompage**

Le traitement des eaux de la nappe et de la phase flottante surnageante peut s'envisager selon les 2 options suivantes :

- Traitement par écrémage de la phase flottante d'hydrocarbures aliphatiques légers et de benzène au moyen d'une pompe ou d'un écumeur implanté dans un puits ou une tranchée. Un deuxième pompage au niveau des eaux de la nappe permet d'augmenter l'efficacité du traitement en créant un cône de dépression de la nappe. Le liquide pompé doit ensuite transiter par un séparateur à hydrocarbures avec un traitement complémentaire éventuel sur charbon actif avant rejet dans le réseau de collecteurs « eaux usées ». Le coût de mise en œuvre de cette mesure est inférieur à CHF 50'000 et les frais d'exploitation peuvent être estimés à moins de CHF 10'000 par an. Cette technique permet de résorber de manière efficace les hydrocarbures présents en phase libre mais laisse en place des volumes de sols pollués à saturation résiduelle qui doivent ensuite être traités au moyen d'une autre technique telle que le biosparging présenté au point c) ci-avant.
- Traitement après pompage des cyanures libres présents dans la nappe afin de permettre le rejet de l'eau pompée dans le réseau « eaux usées ». La valeur de 0,5 mg/l de cyanures libres et facilement mobilisable mentionnée dans l'annexe 3.2. de l'OEaux (Exigences générales relatives au déversement des eaux industrielles) pour le déversement dans les égouts publics a été considérée dans ce contexte.

Les procédés de décyanuration de l'eau par voie chimique sont divers et utilisés de manière généralisée dans le traitement d'eaux usées industrielles présentant de fortes concentrations en cyanures libres (CN<sup>-</sup>), comme par exemple le traitement des effluents d'installations d'extraction de l'or contenu dans le minerai brut. Quelle que soit la technique utilisée, toutes sont basées sur un processus d'oxydation du cyanure libre. Parmi ces techniques oxydatives, celle utilisant l'ozone comme agent réactif présente l'avantage de ne pas générer de sous-produits toxiques, d'offrir une réaction rapide permettant de construire des installations compactes, et d'être relativement adaptée au traitement d'effluents présentant de faibles concentrations en cyanures. L'ozone est par ailleurs un réactif présentant une toxicité inférieure à celle du chlore, utilisé dans d'autres techniques de décyanuration. Dans le traitement des cyanures par ozone, ces derniers sont directement oxydés en cyanates (CN<sup>-</sup> + ozone → CNO<sup>-</sup> + oxygène) dont la toxicité est bien inférieure à celle du cyanure libre.

La fourniture d'une installation compacte de traitement des cyanures à l'ozone, permettant de traiter un débit d'eau de l'ordre de 10 l/s contenant 3 mg/l de cyanures et de rabattre les concentrations au-dessous des valeurs autorisant le rejet d'effluents dans le réseau public d'assainissement, est de l'ordre de CHF 50'000.-, auxquels il faudrait ajouter des travaux de mise en œuvre d'un container de l'ordre de CHF 20'000.-, soit un coût total de mise en œuvre de CHF 90'000.- en comptant l'installation du système de pompage estimé à CHF 20'000. Les frais d'exploitation et de surveillance de l'installation de pompage et de traitement devraient être inférieurs à CHF 15'000 par an.

## 5.2.2 Mesures visant à empêcher et surveiller durablement la dispersion des substances dangereuses pour l'environnement (confinement) :

Deux types de mesures de confinement peuvent a priori être envisagées : un confinement hydraulique du site par intervention sur le régime d'écoulement de la nappe et un confinement physique lié à la mise en œuvre de barrières étanches.

### a) Confinement hydraulique

Compte tenu des caractéristiques hydrogéologiques du site, notamment du gradient et de l'épaisseur très faibles de la nappe, un confinement hydraulique par pompage de la nappe peut aisément être mis en œuvre dans le cas présent. Un pompage avec un débit de l'ordre de 5 l/s serait en effet suffisant pour créer un cône de dépression d'un rayon d'environ 200 m à même de capter la totalité des flux d'eaux souterraines compris dans le périmètre d'influence du site.

Le coût du pompage peut être estimé à environ CHF 20'000 en ce qui concerne la mise en œuvre de l'installation et à environ CHF 15'000 en ce qui concerne les coûts d'exploitation et de surveillance annuels. Le coût du traitement des eaux chargées en cyanures estimé au paragraphe précédent doit être ajouté à ces chiffres pour obtenir l'estimation globale de cette option.

L'augmentation d'un facteur 5 à 10 du flux d'eaux souterraines induit par le pompage par rapport à l'écoulement naturel de la nappe au droit du site est cependant susceptible de diminuer à terme la concentration en cyanures libres de l'eau pompée en-dessous de la valeur de 0,5 mg/l mentionnée dans l'annexe 3.2. de l'OEaux pour le déversement d'eaux industrielles dans les égouts publics.

L'option du confinement hydraulique doit plutôt être envisagée comme mesure transitoire ou d'accompagnement, dans le cadre d'un concept d'assainissement intégrant d'autres types d'interventions. Elle ne peut en revanche difficilement être considérée comme une mesure d'assainissement durable en tant que telle, dans la mesure où sans intervention au niveau de la source de pollution, le pompage devra être maintenu pendant une période illimitée sans qu'aucune réduction significative de la charge polluante présente sur le site ne soit observée.

### b) Confinement physique

Compte tenu de la configuration du site, la mise en œuvre d'une simple étanchéité de surface constitue une solution inopérante qui ne diminuerait en aucune manière les flux de pollution rejetés par le site dans la nappe superficielle puis dans le Rhône.

La mise en œuvre d'une paroi étanche ceinturant intégralement le site et descendue jusqu'au niveau du substratum peu perméable de l'aquifère, soit à une profondeur de l'ordre de 6 à 7 m permettrait de supprimer les émissions polluantes en direction de la nappe.

Cette option consistant à isoler intégralement le site et l'emprise sous-jacente de l'aquifère ne peut cependant être envisagée qu'avec la réalisation d'un dispositif de drainage périphérique permettant de limiter l'effet de barrage induit et la mise en œuvre d'une étanchéité de surface efficace sur l'emprise du site afin d'éviter l'effet de « baignoire » qu'induirait une accumulation d'eau d'infiltration dans le périmètre confiné.

La mise en œuvre d'un tel confinement nécessiterait en outre une délimitation précise de l'emprise polluée, qui est susceptible de s'étendre au-delà des parcelles examinées dans le cadre de la présente investigation.

Le coût de la mise en œuvre d'une paroi moulée étanche ceinturant le périmètre investigué jusqu'au substratum peu perméable peut être évalué à environ CHF 3 à 3,5 millions. L'examen approfondi de cette option devra se pencher sur la composition du coulis d'étanchéité à mettre en œuvre afin de garantir durablement l'imperméabilité de la paroi compte tenu des paramètres du milieu. La maîtrise de l'effet de barrage sur la nappe superficielle en milieu urbain devra également faire le cas échéant d'une évaluation détaillée.

Par ailleurs, le confinement périphérique et l'étanchéité de surface mises en œuvre ne pouvant garantir une étanchéité absolue du site, un pompage ponctuel à intervalles espacés est nécessaire afin d'éviter une accumulation d'eau à l'intérieur de l'emprise confinée à long terme. L'ordre de grandeur du volume d'eau à pomper peut être estimé entre quelques dizaines et quelques centaines de m<sup>3</sup> par an. Une alternative consistant en la mise en œuvre d'un tronçon de paroi réactive intégré à l'aval de la paroi moulée et fonctionnant comme « écluse » de traitement pour les eaux d'infiltration à évacuer à l'extérieur du périmètre confiné pourrait également être envisagée.

La mise en œuvre d'un confinement périphérique du site peut a priori entrer en ligne de compte dans les 3 contextes suivants :

- a) En tant que mesure d'assainissement indépendante. Dans ce cas, la durabilité des parois d'étanchéité mises en œuvre et la nécessité de réguler à très long terme le régime hydrique du site, même avec de très faibles débits, devra être prise en compte dans l'évaluation globale de cette option.
- b) En tant que mesure d'accompagnement, dans une solution combinant par exemple le traitement « off site » des niveaux de remblai et de colluvions perméables et le traitement extensif « in situ » des alluvions perméables et de la nappe. Dans ce contexte, l'étanchéité périphérique permettrait de confiner les réactions induites par le traitement « in situ » en évitant par exemple tout risque d'écoulement de cyanures libres vers l'aval de l'aquifère dans le cas de l'injection d'un réactif alcalin.
- c) En tant que mesure transitoire et d'accompagnement dans le cadre d'une excavation par étapes et progressive de la totalité des matériaux pollués présents sur le site. Dans le cas où la mise en œuvre d'une paroi moulée serait retenue comme mesure d'assainissement, l'opportunité de « valoriser » cet ouvrage en optant pour un projet présentant un volume d'excauté nettement plus conséquent que les projets constructifs actuellement définis, mériterait d'être examinée.

### 5.3 Stratégies envisageables :

A partir de l'inventaire des possibilités d'intervention inventoriées au paragraphe précédent, 4 approches globales relatives à l'assainissement du site de l'ancienne usine à gaz de la Jonction peuvent être envisagées :

- A. Décontamination intégrale rapide du site
- B. Décontamination progressive du site avec confinement
- C. Confinement physique du site
- D. Maintien à long terme de mesures de confinement hydraulique

Les caractéristiques et implications de ces 4 approches sont synthétisées dans le tableau de la page suivante.



### Evaluation des stratégies d'intervention envisageables

Stratégie d'intervention	Modalités de mise en oeuvre	Qualité de l'assainissement et conformité légale	Coûts estimés	Contraintes pour l'aménagement futur du site
<b>A. Décontamination intégrale rapide</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Traitement « off site » ou éventuellement « on site » de l'intégralité des matériaux pollués présents sur le site (remblai ; colluvions ; alluvions non saturées et saturées).</li> <li>Régulation hydraulique et traitement in situ de la nappe à prévoir en accompagnement</li> </ul>	<p>Suppression intégrale de la source de contamination.</p> <p>Option d'assainissement durable conforme à l'OSites</p>	<p>Coût d'assainissement extrêmement élevé estimé entre env. CHF 22 à 32 millions, à mobiliser sur une brève période.</p>	<p>Suppression de toute contrainte après l'évacuation intégrale des matériaux pollués.</p> <p>Considérer l'opportunité de valoriser l'excavation importante réalisée pour l'assainissement dans le cadre réaménagement futur.</p>
<b>B. Décontamination progressive avec confinement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Traitement progressif de la charge polluante en fonction des options d'aménagement retenues.</li> <li>Association de plusieurs techniques de traitement (off site/on site pour les remblais les plus pollués ; in situ pour les alluvions).</li> <li>La présence d'un confinement périphérique permet de privilégier des options de traitement « on site » ou « in situ » extensives</li> </ul>	<p>Suppression ou réduction suffisante de la source de contamination à moyen ou long terme.</p> <p>Option d'assainissement durable conforme à l'OSites</p>	<p>Coût d'assainissement global estimé entre env. CHF 12 à 20 millions, à débloquer par étapes.</p>	<p>Le phasage de la décontamination est à coordonner avec les étapes de réaménagement du site.</p> <p>L'opportunité de valoriser l'excavation et, le cas échéant, la paroi moulée de confinement réalisée pour l'assainissement dans le cadre des projets constructifs futurs est à considérer.</p>
<b>C. Confinement physique du site</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Confinement physique du site au moyen d'une paroi moulée et de mesures d'étanchéité de surface.</li> <li>Régulation du bilan hydrique nécessaire à long terme par pompage de volumes limités, ou mise en oeuvre d'un tronçon de paroi réactive intégré à la paroi moulée (« écluse » aval)</li> </ul>	<p>Durabilité de l'étanchéité de la paroi moulée à confirmer compte tenu des paramètres du milieu</p> <p>Conformité à l'OSites (notion d'assainissement durable) à confirmer</p>	<p>Coût de mise en oeuvre du confinement périphérique et de l'étanchéité de surface estimé entre env. CHF 4 à 5 millions.</p> <p>Coûts annuels d'exploitation de l'installation de pompage ou de l'« écluse » de traitement.</p>	<p>Le maintien de la charge polluante présente sur le site génère de fortes contraintes pour l'aménagement futur du périmètre et/ou induit des coûts futurs très importants de traitement des terres polluées en cas d'excavation ultérieure du site</p>
<b>D. Maintien à long terme de mesures de confinement hydraulique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maintien d'un confinement hydraulique du site par pompage de la nappe à long terme avec traitement des eaux pompées avant rejet dans le réseau de collecteurs.</li> </ul>	<p>Conformité à l'OSites (notion d'assainissement durable) discutable, compte tenu de la nécessité de maintenir le pompage sur une période quasi illimitée</p>	<p>Coût d'installation initiaux modestes.</p> <p>Coûts globaux très importants en considérant la capitalisation des coûts d'exploitation sur une période quasi illimitée.</p>	<p>Le maintien de la charge polluante présente sur le site génère de fortes contraintes pour l'aménagement futur du périmètre et/ou induit des coûts futurs très importants de traitement des terres polluées en cas d'excavation ultérieure du site</p>

A partir des données mentionnées dans le tableau comparatif, les commentaires suivants peuvent être effectués concernant l'évaluation des différentes stratégies d'intervention envisageables :

- L'option de « **décontamination intégrale rapide** » qui vise la suppression totale à relative brève échéance de la charge polluante présente sur le site, constitue une solution qui répond naturellement intégralement aux exigences de l'OSites mais qui implique un coût d'assainissement maximal à mobiliser sur une courte période. Le volume total de matériaux pollués à traiter selon cette option serait compris entre 70'000 et 100'000 m<sup>3</sup> sur la base des investigations existantes.

Dans le cas présent, l'absence d'impact significatif ou de menace directe à une utilisation existante d'un bien à protéger n'impose ni l'urgence de l'intervention, ni la nécessité obligatoire de supprimer complètement la source de pollution présente. Des alternatives à la solution de « décontamination intégrale rapide » du site méritent donc d'être envisagées.

- A l'inverse, la conformité de l'option de « **maintien à long terme d'un confinement hydraulique** » et son aptitude à répondre aux critères d'assainissement durable ne sont pas établies en raison de la nécessité de maintenir pendant une période quasi illimitée des mesures de pompage et de traitement des eaux de la nappe. Du fait de cette absence d'échéance, cette option présente également un bilan financier global défavorable malgré des coûts de mise en œuvre et d'exploitation annuels limités.
- Le « **confinement physique du site** » au moyen d'une paroi périphérique et de mesures d'étanchéité de surface constitue également une option pour laquelle l'adéquation aux critères d'assainissement durable doit encore être confirmée. Cette option n'induit en effet aucune réduction de la charge polluante présente sur le site et nécessite le maintien à long terme de mesures de gestion du bilan hydrique du site, d'ampleur certes limitée. Cette option fige en outre les possibilités de réaménagement futur du site ou alors implique des coûts supplémentaires considérables liés au traitement des volumes pollués excavés ultérieurement.
- A ce stade de l'analyse, une stratégie de « **décontamination progressive du site** » le cas échéant associée **avec des mesures de confinement** paraît constituer l'option à privilégier pour l'assainissement du site de l'ancienne usine à gaz de la Jonction. Les mesures d'assainissement concrètes à mettre en œuvre devront être définies en parallèle à l'élaboration d'une vision claire relative à l'aménagement du site à long terme, les impératifs dictés par la nécessité d'assainir constituant également un paramètre à considérer dans ce contexte, notamment en termes d'aménagement de volumes construits en sous-sol.

La mise en œuvre de mesures de confinement transitoires devrait en outre être envisagée dans le cas où le réaménagement ne pourrait se concrétiser dans un délai raisonnable de quelques années.

Le concept de décontamination progressive du site devra être concrétisé à partir des principes d'intervention suivants :

- Décontamination des remblais et colluvions fortement pollués, dont le volume global peut être estimé entre 25'000 et 35'000 m<sup>3</sup>, au moyen d'un traitement « off site » ou « on site ». Compte tenu de l'importance des volumes à traiter, le choix des filières à retenir devra faire l'objet d'un examen particulièrement approfondi en privilégiant dans toute la mesure du possible la mise en œuvre de solutions « on site » extensives présentant le rapport « coût – efficacité » le plus favorable. Les étapes de décontamination devront être définies en fonction des caractéristiques du projet d'aménagement futur du site retenu.
- Dépollution de la nappe et des alluvions polluées au moyen d'un concept de traitement « in situ ». Dans ce contexte, les niveaux de pollution résiduels acceptables dans les alluvions devront être précisés en fonction des objectifs d'assainissement fixés pour les eaux de la nappe en tenant compte également des phénomènes de dégradation naturelle.
- Définition des mesures de confinement hydraulique ou physique à mettre en œuvre sur l'ensemble de la durée de l'assainissement afin de maîtriser les émissions de polluants libérées dans le cadre du traitement in situ ou on site. Les impacts hydrogéologiques et géotechniques

induits par ces mesures de confinement devront également faire l'objet d'une évaluation détaillée.

- Définition des mesures particulières à prévoir au droit notamment de bâtiments existants maintenus à long terme (p.ex. excavation en sous-œuvre ; stabilisation ou confinement ponctuel).

Comme déjà mentionné, une coordination optimale entre l'assainissement du site et les différentes étapes de réaménagement de l'emprise est indispensable dans le cas présent. La mise en œuvre de techniques « in situ », soit l'option a priori la plus économique pour le traitement des alluvions polluées, nécessite par exemple des durées de traitement de l'ordre de 6 mois à 2 ans.

Par rapport à la stratégie d'assainissement progressive, pouvant être réalisée par étapes, le coût des interventions initiales à prévoir dans le cadre des 2 projets de réaménagement du site décrits au paragraphe 2.3, peuvent être estimés comme suit :

- **Projet prévu par la Ville de Genève**

Dans le cadre de l'aménagement du « parc » prévu par la Ville de Genève selon la configuration présentée en annexe 8, les interventions d'assainissement minimales à intégrer au projet sont les suivantes :

- a) Décontamination de l'emprise du bâtiment projeté le long du boulevard St-Georges portant sur le volume à terrasser et sur l'assainissement des alluvions sous-jacentes jusqu'à l'objectif défini.
- b) Décontamination des emprises d'espaces verts et de places en graviers projetés : comprenant le traitement « off site » ou « on site » des niveaux de remblais et de colluvions pollués ainsi que la mise en œuvre des mesures de traitement « in situ » des alluvions pour ce secteur situé à l'amont hydrogéologique de la parcelle.
- c) Traitement « off site » conforme des épaisseurs de remblais à décaper pour les emprises aménagées avec des revêtements béton ou bitume.

Le coût des mesures d'assainissement minimales à prévoir en parallèle à la réalisation du projet de parc prévu par la Ville de Genève peut ainsi être estimé entre CHF 7 et 9 millions, sur la base des données actuellement disponibles.

- **Projet prévu par le Plan localisé de quartier n° 28'878**

Le PLQ n° 28'878 prévoit 2 bâtiments excavés selon l'emprise présentée en annexe 1 ainsi que la construction d'une école au centre du périmètre dont l'emprise et l'implantation ne sont pas encore définies. En fonction de ces incertitudes, le coût des mesures d'assainissement minimales à prévoir en parallèle à la réalisation de ce projet peut être estimé en première approximation entre 8 et 13 millions.

## 6 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les résultats de la présente investigation de détail confirment les conclusions de l'investigation préalable dans la mesure où l'ancien site des Services Industriels de la Jonction constitue un site contaminé à assainir au sens de l'Ordonnance fédérale sur l'assainissement des sites pollués (OSites).

La nécessité d'assainir découle des concentrations en divers polluants (cyanures libres, hydrocarbures aliphatiques légers, benzène et différents hydrocarbures aromatiques polycycliques) mesurées dans la nappe superficielle à l'aval du site qui dépassent le double de la valeur de concentration mentionnée dans l'annexe 1 de l'OSites.

Par rapport aux résultats de l'investigation préalable, la présente investigation de détail a mis en évidence une pollution du site aux cyanures libres extrêmement importante, qui s'étend sur la quasi totalité de l'emprise investiguée voire au-delà, et en profondeur sur l'ensemble des 3 niveaux lithologiques de remblais, colluvions limono-argileuses et alluvions de terrasse.

La situation en matière d'atteintes et de risques pour les biens à protéger concernés par le site, soit les eaux souterraines et les eaux de surface peut être résumée comme suit :

- Déversement dans les eaux de surface (le Rhône) d'une charge polluante non négligeable, qui serait par analogie clairement non admissible pour une entreprise industrielle en exploitation.
- Sans intervention au niveau de la source de pollution présente dans le terrain, le flux polluant émis par le site se maintiendra à très long terme au niveau actuel, en tout cas en ce qui concerne les cyanures libres et les hydrocarbures aromatiques polycycliques, en raison du caractère négligeable des émissions par rapport à la charge polluante totale présente dans le terrain et de l'absence de dégradation naturelle significative.
- Absence d'impact concret pour les eaux souterraines : la pollution concerne le secteur aval d'une nappe superficielle en milieu urbain non destinée à l'alimentation en eau.
- L'exfiltration du flux polluant émis par le site n'induit pas d'impact direct quantifiable sur la qualité des eaux du Rhône.

La pollution générée par l'ancien site de l'usine à gaz de la Jonction n'induit donc aucune entrave ou menace directe à une utilisation existante, qui justifierait un assainissement particulièrement urgent au sens de l'OSites, art. 15 ch.4.

Sur la base d'une comparaison préliminaire des différentes options d'intervention envisageables, une stratégie de « décontamination progressive du site » le cas échéant associée à des mesures de confinement paraît constituer l'option à privilégier. Cette stratégie devra intégrer des options de traitement « off site », « on site » et « in situ » et préciser les niveaux de pollution résiduels acceptables en tenant compte également des phénomènes de dégradation naturelle.

A partir des indications réunies dans le présent rapport, les buts et l'urgence de l'assainissement devront être évalués par l'autorité, soit en l'occurrence le Service cantonal de géologie, conformément à l'article 15 de l'OSites.

Compte tenu de l'importance de l'extension de la pollution et des implications financières qui en résultent, une analyse particulièrement approfondie des procédés d'assainissement envisageables, intégrant par exemple des options de traitement « on site » ou « in situ » extensives, est nécessaire afin de définir le concept d'assainissement optimal à mettre en oeuvre.

Les mesures d'assainissement concrètes à mettre en place ainsi que leur phasage devront en outre être définies en parallèle à l'élaboration d'une vision claire relative à l'aménagement du site à long terme.

L'importance des coûts d'assainissement estimés au chapitre 5 du présent rapport est liée, comme déjà mentionné, à la prise en compte d'une pollution quasi généralisée du site aux cyanures libres sur la base des indications convergentes issues des analyses ponctuelles effectuées. Compte tenu de l'importance des enjeux financiers induits, une précision de cet aspect par une campagne d'investigations complémentaire paraît nécessaire, qui permettrait également de se prononcer sur une extension éventuelle de la pollution à l'extérieur du périmètre investigué.

**CSD Ingénieurs Conseils SA**

Eric Säuberli

Collaborateurs chargés de l'étude :

- Eric Säuberli : Ingénieur dipl. génie rural EPFZ
- Antoine Indaco : Ingénieur en génie chimique EIG et environnement UNINE
- Pierre Tullen : Dr ès Sciences EPFL - Ingénieur géologue diplômé
- David Dubois : Géologue diplômé

Genève, le 17 novembre 2003

W:/ GE 503-rapport ID/ESa/FBa

## **LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1 : Plan de situation - Emplacement des sondages, tranchées et carottages de radier

Annexe 2 : Relevé des investigations

- Annexe 2.1 : Forages, tranchées et carottages investigation de détail
- Annexe 2.2 : Forages, tranchées et carottages investigation technique

Annexe 3 : Cartes et relevés piézométriques

- Annexe 3.1 : Situation des piézomètres et du limnigraphe
- Annexe 3.2 : Synthèse des relevés piézométriques
- Annexe 3.3 : Situation hydrodynamique de novembre 2001 à novembre 2002
- Annexe 3.4 : Situation hydrodynamique de novembre 2000 à novembre 2001
- Annexe 3.5 : Courbes izopièzes du 24 octobre 2002
- Annexe 3.6 : Courbes izopièzes du 21 novembre 2001

Annexe 4 : Résultats des analyses de laboratoire

- Annexe 4.1 : Analyse des sols
  - Annexe 4.1.1 Concentrations totales
  - Annexe 4.1.2 Analyses par lixiviation OSites
- Annexe 4.2 : Analyse d'eaux
  - Annexe 4.2.1 : Analyse d'eaux de la nappe dans les piézomètres
  - Annexe 4.2.2 : Analyse d'eaux de la nappe dans les forages ou tranchées

Annexe 5 : Cartes de pollution du terrain

- Annexe 5.1 Pollution du terrain aux cyanures
- Annexe 5.2 : Pollution du terrain aux hydrocarbures aromatiques polycycliques
- Annexe 5.3 : Pollution du terrain aux hydrocarbures aliphatiques

Annexe 6 : Cartes de pollution de la nappe

- Annexe 6.1 : Etat de pollution de la nappe
- Annexe 6.2 : Paramètres physico-chimiques de la nappe

Annexe 7 : Coupe A-B

Annexe 8 : Projet prévu par la Ville de Genève

**Ancien site des Services Industriels de  
Genève à la Jonction**

**INVESTIGATION DE DETAIL RELATIVE A  
L'ETAT DE POLLUTION DU SITE**

**ANNEXES**

Genève, février 2003

GE 503/D6