



**CEMRS**  
Centre d'excellence de Montréal  
en réhabilitation de sites

**MCEBR**  
Montréal Centre of Excellence  
in Brownfields Rehabilitation



**Ville de Montréal**

**Analyse, identification et recommandation de solutions pour le captage et le traitement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures du Parc d'Entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC)**

Rapport final

Préparé par :

CEMRS

Présenté à :

Direction de l'environnement et du développement durable  
Service des infrastructures, transport et environnement

Août 2009  
(Révision octobre 2009)

## REMERCIEMENTS

Le CEMRS tient à souligner la contribution de son équipe de travail ainsi que de celle de tous les membres du comité technique et du comité d'experts en modélisation qui n'ont ménagé ni leurs efforts ni leurs judicieux conseils afin de rendre possible la réalisation de l'étude sur la problématique environnementale du Parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC). Nous remercions également notre réviseur de rédaction pour la pertinence de ses commentaires.

Le CEMRS remercie aussi toutes les firmes d'experts en environnement qui ont effectué des essais pilotes et de faisabilité et toutes celles qui ont participé au projet et à l'avancement des connaissances en suggérant des solutions pour le captage et le traitement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures.

Le CEMRS souhaite également exprimer sa gratitude à la Ville de Montréal qui a mis gracieusement à sa disposition l'information dont elle disposait sur la problématique environnementale de ce site.

# TABLE DES MATIERES

<b>SOMMAIRE EXÉCUTIF</b> .....	<b>I</b>
<b>1. MISE EN CONTEXTE</b> .....	<b>7</b>
<b>2. MANDAT</b> .....	<b>12</b>
<b>3. APPROCHE ET MÉTHODOLOGIE</b> .....	<b>14</b>
3.1. APPROCHE.....	14
3.2. MÉTHODOLOGIE.....	15
3.2.1 <i>Caractérisation complémentaire, inventaire des puits et compilation des données</i> .....	16
3.2.2 <i>Modélisation de l'écoulement des eaux souterraines</i> .....	16
3.2.3 <i>Revue de littérature – Répertoire des technologies</i> .....	17
3.2.4 <i>Essais pilotes sur le terrain</i> .....	17
3.2.5 <i>Essai de faisabilité du traitement par ozonation des eaux souterraines</i> .....	18
3.2.6 <i>Analyse et répertoire des technologies</i> .....	19
<b>4. DESCRIPTION DU SITE</b> .....	<b>20</b>
4.1. LOCALISATION ET OCCUPATION DU SITE.....	20
4.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE.....	21
4.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE.....	22
4.4. CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES.....	25
4.4.1 <i>Phases flottantes d'hydrocarbures</i> .....	25
4.4.2 <i>Contaminants en phase dissoute dans les eaux souterraines</i> .....	28
4.5. INTERVENTIONS DE GESTION ENVIRONNEMENTALE RÉALISÉES À CE JOUR.....	38
<b>5. ESSAIS PILOTES ET ESSAI DE FAISABILITÉ</b> .....	<b>40</b>
5.1. ESSAIS PILOTES SUR LE TERRAIN.....	41
5.1.1 <i>Processus biologique eMaMoc</i> .....	42
5.1.1.1 <i>Résultats</i> .....	44
5.1.1.2 <i>Gestion des résidus</i> .....	47
5.1.1.3 <i>Discussion</i> .....	47
5.1.2 <i>Processus biologique Multi - Points</i> .....	48
5.1.2.1 <i>Résultats</i> .....	50
5.1.2.2 <i>Gestion des résidus</i> .....	53
5.1.2.3 <i>Discussion</i> .....	53
5.1.3. <i>Processus Biologique - Filtration</i> .....	54
5.1.3.1 <i>Résultats</i> .....	57
5.1.3.2 <i>Gestion des résidus</i> .....	59
5.1.3.3 <i>Discussion</i> .....	59
5.1.4. <i>Processus Zone Réactive in situ</i> .....	61
5.1.4.1 <i>Résultats</i> .....	63
5.1.4.2 <i>Discussion</i> .....	63
5.2. ESSAI DE FAISABILITÉ PAR OZONATION DES EAUX SOUTERRAINES.....	64
5.3. DISCUSSION GÉNÉRALE.....	67
<b>6. ÉTAPE 1 - TECHNOLOGIES DE CAPTAGE DES EAUX SOUTERRAINES ET DES PHASES FLOTTANTES D'HYDROCARBURES</b> .....	<b>69</b>
6.1. ÉLÉMENTS SPÉCIFIQUES À CONSIDÉRER.....	69

6.2.	TECHNOLOGIES APPLICABLES AU SITE PEPSC .....	70
6.3.	DISCUSSION.....	72
<b>7.</b>	<b>ÉTAPE 2 : TECHNOLOGIES DE SÉPARATION DES PHASES FLOTTANTES D'HYDROCARBURES .....</b>	<b>82</b>
7.1.	PRÉSENCE D'HYDROCARBURES.....	82
7.2.	TECHNOLOGIES APPLICABLES AU SITE PEPSC .....	82
7.3.	DISCUSSION.....	86
<b>8.</b>	<b>ÉTAPE 3 : TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT DES EAUX SOUTERRAINES.....</b>	<b>88</b>
8.1.	LES CARACTÉRISTIQUES DE L'EAU À TRAITER .....	88
8.2.	TECHNOLOGIES APPLICABLES .....	88
8.3.	DISCUSSION.....	91
<b>9.</b>	<b>ÉVALUATIONS DES COÛTS POUR LA MISE EN PLACE ET L'OPÉRATION DES TECHNOLOGIES.....</b>	<b>96</b>
9.1.	TECHNOLOGIES DE CAPTAGE – ÉTAPE 1 .....	97
9.2.	TECHNOLOGIES DE SÉPARATION – ÉTAPE 2 .....	98
9.3.	TECHNOLOGIE DE TRAITEMENT – ÉTAPE 3 .....	99
<b>10.</b>	<b>ANALYSE – OUTIL DÉCISIONNEL .....</b>	<b>100</b>
<b>11.</b>	<b>CONCLUSION – RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>105</b>
	LISTE DES RÉFÉRENCES : .....	109

## TABLE DES MATIÈRES (suite)

### LISTE DES FIGURES

Figure 1	Évolution de la ligne de rivage de 1801 à 1968.....	7
Figure 2	Projection de l'emplacement du site du PEPSC en 1930.....	8
Figure 3	Projection de l'emplacement du site du PEPSC en 1950.....	9
Figure 4	Localisation du site.....	20
Figure 5	Coupe stratigraphique typique du CN au fleuve Saint-Laurent.....	21
Figure 6	Volumes d'eau entrant et sortant du PEPSC.....	24
Figure 7	Résultats de l'interpolation des épaisseurs apparentes d'hydrocarbures libres par la méthode radial basis functions .....	27
Figure 8	Localisation des concentrations en HP C <sub>10</sub> -C <sub>50</sub> qui excèdent les critères du MDDEP (3,5 mg/L) (2002-2008) .....	30
Figure 9	Localisation des concentrations en BPC qui excèdent les critères du MDDEP (0,012 µg/L) (2002-2008) .....	31
Figure 10	Localisation des concentrations en HAP qui excèdent les critères du MDDEP (2002-2008) .....	32
Figure 11	Localisation des concentrations en métaux qui excèdent les critères du MDDEP (2002-2008) .....	34
Figure 12	Localisation des concentrations en azote ammoniacal qui excèdent les critères du MDDEP (2,91 mg/L) (2002-2008) .....	35
Figure 13	Localisation des concentrations en sulfures qui excèdent qui les critères du MDDEP (0,2 mg/L) (2002-2008) .....	36
Figure 14	Localisation des concentrations en chlorures qui excèdent les critères du MDDEP (860 mg/L) (2002-2008) .....	37
Figure 15	Simulation du scénario 4 : Barrière hydraulique.....	74
Figure 16	Simulation du scénario 2 : Barrière étanche avec contrôle hydraulique.....	76
Figure 17	Simulation du scénario 3 : Barrière de type «portes et fenêtres» .....	78
Figure 18	Simulation du scénario 5 : Barrière hydraulique et réinjection.....	81

### LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Composition du comité de partenaires (mars 2009) .....	10
-----------	--	----

### LISTE DES ANNEXES

#### ANNEXE A :

A-1	Tableau 2 : Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts Tableau 3 : Paramètres, critères et réglementation applicables
A-2	Tableaux 4, 5, 6 : Technologies applicables Tableau 7 : Technologies non retenues

#### ANNEXE B : MÉTHODOLOGIE DÉTAILLÉE D'ÉVALUATION DES PROPOSITIONS DE TECHNOLOGIES

B-1	Appel de propositions de technologies (CEMRS)
B-2	Grille d'analyse de technologies soumises aux essais pilotes (CEMRS)
B-3	Grille d'analyse de technologies du comité de partenaires (Ville de Montréal)
B-4	Cheminement du processus de sélection des technologies mis à l'essai

ANNEXE C :	SOMMAIRE DES ACTIVITÉS DE LA FIRME TECHNOREM INC.
ANNEXE D :	LIGNES DIRECTRICES ET PLAN D'ASSURANCE ET DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ
D-1	Lignes directrices des essais pilotes
D-2	Plan d'assurance et de contrôle de la qualité pour les essais
ANNEXE E :	PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL ET MÉTHODOLOGIE DES ESSAIS DE FAISABILITÉ-TRAITEMENT PAR OZONATION DES EAUX SOUTERRAINES
ANNEXE F :	RÉPERTOIRE DES FICHES DES TECHNOLOGIES
C-1 à C-3	Étape 1 : Captage des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures
S-1 à S-9	Étape 2 : Séparation des phases flottantes d'hydrocarbures
T-1 à T-8	Étape 3 : Traitement des eaux souterraines
ANNEXE G :	SCHÉMA D'AMÉNAGEMENT DES PROCÉDÉS ET PHOTOGRAPHIES DES TRAINS TECHNOLOGIQUES
G-1	Processus <i>eMaMoc</i> de Golder Schéma d'aménagement et photographies de l'essai pilote
G-2	Processus <i>Multi - Points</i> de Golder Schéma d'aménagement et photographies de l'essai pilote
G-3	Processus <i>Biologie - Filtration</i> de Sanexen Schéma d'aménagement et photographies de l'essai pilote
G-4	Processus <i>Zone Réactive in situ</i> de Géophase Schéma d'aménagement et photographies de l'essai pilote

## SOMMAIRE EXÉCUTIF

La Ville de Montréal a acquis la propriété du site du Parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC) en 1989. Ce site, constitué à même le lit du fleuve Saint-Laurent, a été utilisé, notamment comme dépotoir de matières résiduelles et dangereuses, jusqu'en 1966. D'une superficie d'environ 46 ha, le site du PEPSC est localisé dans l'Arrondissement Sud-Ouest de la Ville de Montréal, en marge de la Rive-Nord du fleuve Saint-Laurent, entre le pont Victoria et les voies d'accès à l'autoroute Bonaventure. L'eau souterraine est contaminée par des hydrocarbures pétroliers, des biphényles polychlorés (BPC), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des métaux et de l'azote ammoniacal. Cette eau souterraine qui s'écoule au fleuve ne respecte pas les exigences de l'article 36 (3) de la Loi sur les pêches.

La problématique environnementale du site du PEPSC est fort complexe. Depuis son acquisition, la Ville poursuit ses interventions environnementales et elle maintient sa volonté d'agir en collaboration avec ses partenaires afin d'identifier et d'appliquer une solution globale à la contamination des écoulements au fleuve. La solution qui sera donc retenue par la Ville de Montréal devra tenir compte des interactions avec les propriétés adjacentes du Canadien National (CN), de la Société des Ponts Jacques-Cartier et Champlain inc. (PJCCI) et du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Cette solution devra aussi tenir compte du plan de développement de la Société du Havre de Montréal qui aura un impact sur l'aménagement du site. Sur le plan environnemental, les études menées depuis 2006 par le CEMRS ont permis de confirmer la toxicité de l'eau souterraine, de développer un modèle numérique de l'écoulement de la nappe et d'effectuer des essais en laboratoire sur des technologies potentiellement capables de traiter les eaux souterraines des sites du PEPSC et de la Société des ponts Jacques-Cartier et Champlain inc. (PJCCI). Les résultats ont montré que les approches biologiques et physico-chimiques avaient le potentiel de régler la problématique et qu'elles méritaient d'être testées à l'échelle pilote.

En 2008, la Ville de Montréal a octroyé au CEMRS le mandat d'analyser, d'identifier et de recommander des solutions pour le captage et le traitement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures du site du PEPSC. Pour y parvenir, le CEMRS a coordonné de la réalisation des activités suivantes :

1) La caractérisation complémentaire : L'objectif de cette étude était d'obtenir des résultats analytiques récents sur la qualité de l'eau souterraine du site du PEPSC en vue de raffiner la modélisation numérique de l'écoulement et de mieux évaluer la distribution de la contamination en phase dissoute et des phases flottantes d'hydrocarbures.

2) Quatre essais pilotes sur le terrain : L'objectif était de lever certaines incertitudes qui sont apparues suite à un appel au savoir-faire de l'industrie pour proposer des solutions de traitement de la phase dissoute dans l'eau souterraine du site.

- 3) Un essai de faisabilité du traitement par ozonation des eaux souterraines : Un banc d'essai a été préparé en collaboration avec l'École de Technologie Supérieure (ETS) dans le but d'évaluer le potentiel de réduire les concentrations d'azote ammoniacal dans l'eau souterraine.
- 4) La modélisation numérique complémentaire de l'écoulement des eaux souterraines, dont l'un des objectifs était d'établir les paramètres de conception pour les technologies de captage applicables au site. On visait aussi à effectuer le bilan de l'épaisseur et du volume d'hydrocarbures en phases flottantes présents sur le site.
- 5) La confection d'un répertoire des technologies potentiellement applicables au site du PEPSC. Ces technologies sont regroupées en trois catégories distinctes - captage, séparation, traitement - qui correspondent aux étapes à suivre au moment de l'élaboration d'une solution pour la gestion de la contamination associée au site du PEPSC.
- 6) La préparation d'un outil décisionnel pour le choix des technologies à l'intention des gestionnaires du dossier.

Les quatre trains de technologies mis en place pour les essais pilotes visaient l'application de processus biologiques dans le cas du processus *eMaMoc* de Golder et Associés et de la Zone Réactive *in situ* de Géophase et d'une combinaison des technologies biologiques et d'adsorption pour les processus *Multi - Points* (Golder et Associés) et *Biologique – Filtration* de Sanexen Services Environnementaux. Il est à noter que les essais pilotes que le CEMRS a commandés se sont déroulés sur une période de douze à treize semaines.

Lors des essais pilotes, seul le processus *Biologique – Filtration* a démontré son efficacité à réduire les concentrations des contaminants problématiques sous les valeurs cibles des règlements en vigueur en respectant les lignes directrices établies par le CEMRS pour les essais pilotes. Le CEMRS est d'avis que ce train de traitement présente des résultats intéressants, qui, avant d'être implanté à pleine échelle devra démontrer, sur une période longue et continue, son efficacité et sa performance à réduire les concentrations des contaminants problématiques et le niveau de toxicité de l'eau souterraine. Rappelons que les essais des processus *eMaMoc* et *Multi - Points* ont démontré leurs capacités de réduire les concentrations de tous ou de certains contaminants problématiques, toutefois, sans respecter les Lignes directrices du CEMRS.

Les résultats des essais pilotes ont été affectés par la courte durée des essais et par des événements qui ont nécessité des ajustements au cours de réalisation tel que la venue de phase flottante, le refroidissement de la température et le colmatage des équipements par le fer. Ils reflètent donc l'efficacité et la performance du traitement testé pour ces circonstances spécifiques.

Les résultats de l'essai de faisabilité en laboratoire sur les eaux souterraines du PEPSC démontrent que l'ozonation n'a qu'un effet très marginal pour transformer l'azote ammoniacal en nitrates ou en azote. Cet effet est loin d'être suffisant pour abaisser la concentration de ce contaminant d'un facteur tel que les tests de toxicité aiguë avec la truite arc-en-ciel soient réussis. Donc au mieux, le traitement à l'ozone ne pourrait offrir qu'une contribution marginale dans un procédé de traitement et il ne pourrait pas en constituer le maillon principal. Cette approche est complexe, délicate et coûteuse, ce qui la rend peu intéressante de l'avis du CEMRS.

Les travaux associés à la modélisation complémentaire ont permis de calculer, aux limites de la propriété, que le flux d'eau souterraine estimé sortant du site est de 530 m<sup>3</sup>/jour. En période de crue printanière, ce flux peut doubler. Le volume de phase libre est évalué à environ 1 850 m<sup>3</sup> d'hydrocarbures à l'intérieur des limites de la propriété. Ces phases, caractérisées par une viscosité variable, se retrouvent principalement dans la portion est du site de façon discontinue. En ce qui concerne les BPC contenus dans ces phases flottantes, des indications montrent que depuis 1995, près de 90 % des résultats analytiques indiquent des concentrations supérieures à 50 ppm.

Dans son analyse, le CEMRS a voulu doter le gestionnaire de projet d'un outil d'aide à la décision en vue de permettre à la Ville de Montréal de sélectionner la meilleure approche pour solutionner le défi technique de la gestion des phases libres et de la toxicité des eaux souterraines du site du PEPSC.

À partir du répertoire des technologies potentiellement applicables au site du PEPSC, les technologies pour le captage des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures qui présentent le meilleur potentiel sont :

- \* La barrière hydraulique;
- \* La barrière étanche créée avec contrôle hydraulique et;
- \* La barrière de type Entonnoirs et Fenêtres "Funnel and gate".

L'implantation des technologies de captage pourrait se faire le long de la limite sud du site du PEPSC et sur une longueur d'environ 2,1 km.

Toutes ces technologies sont aptes à intercepter l'écoulement des eaux souterraines du site. Le choix d'une technologie par rapport aux autres devrait tenir compte du niveau de protection requis contre le risque environnemental, du coût d'investissement sur 20 ans et de l'adaptabilité de cette technologie au plan d'aménagement qui sera établi dans le futur.

La séparation des phases flottantes d'hydrocarbures des eaux souterraines est possible par l'application de techniques *in situ* par extraction directement dans les puits ou *ex situ* au moyen de séparateurs statiques ou dynamiques. Il faut prévoir que les hydrocarbures recueillis contiendront vraisemblablement des BPC au-delà de 50 ppm, ce qui augmentera le coût de leur traitement ou de leur élimination. Les technologies

retenues par le CEMRS sont classées, ci-après, selon leur capacité à réduire la quantité d'huile présente dans l'eau avant l'étape de traitement, mais aussi à gérer de grands volumes d'eau contaminée. Il s'agit des technologies de séparation du type Séparateur eau-huile et bassin de décantation, du type Système de flottation par air dissous (DAF), du type Centrifugation et du type Écrémage.

Le traitement des eaux souterraines pourrait se faire en utilisant une approche biologique, particulièrement pour l'élimination de l'azote ammoniacal. Les réactions biologiques se déroulent dans un milieu qui permet la survie et le développement de bactéries aérobies et ce milieu peut se trouver dans un bioréacteur, un marais filtrant évolué ou dans la matrice des sols elle-même. La deuxième approche qui semble donner les résultats attendus est la filtration sur des médias connus pour adsorber les contaminants. Cette filtration peut aussi être mise à profit en amont ou en aval d'un système de traitement principal. Une troisième approche qui a été testée avec succès lors des essais de traitabilité en 2006-2007 est l'ultrafiltration et la nanofiltration; bien que cette technologie n'ait pas été testée lors des essais pilotes de 2008, des applications commerciales fonctionnent, notamment dans le cas de procédé d'épuration des lixiviats d'une usine de valorisation des gaz.

L'option de réinjecter les eaux traitées dans la portion nord du site est également proposée. Il est en effet possible que cette façon de procéder puisse réduire la durée requise du traitement. Certaines incertitudes demeurent cependant, notamment en ce qui concerne l'effet de l'injection d'eau sur l'hydrogéologie locale et sur les concentrations des contaminants traités.

Les technologies de traitement à risque faible, classées ci-après par le CEMRS selon leur degré d'efficacité, sont d'usage courant dans l'industrie de l'environnement : il s'agit des Bioréacteurs, des Marais filtrants évolués, de l'Ultrafiltration et nanofiltration et de l'Adsorption.

Comme plusieurs approches sont possibles, il appartient au propriétaire du site de déterminer la grille des critères qui guidera le choix du train de procédés technologiques qui constituera le processus de traitement optimal. Parmi les considérations, on peut citer le choix de l'approche *in situ* ou *ex situ*, le niveau de performance, l'impact des installations sur le site, les coûts de construction et d'opération, le ou les milieux récepteurs des rejets et de la fiabilité.

L'inventaire des technologies que le CEMRS estime applicables au site contient des indications sur les coûts. Compte tenu des incertitudes sur la forme et l'envergure des installations, ces chiffres sont approximatifs. Cette mise en garde étant faite, le CEMRS estime sur une base budgétaire que les coûts des solutions fonctionnelles qui présentent le moins de risques technologiques sont les suivants (M\$ : millions de dollars canadiens) :

Pour le captage, les coûts totaux\*<sup>1</sup> des différentes solutions retenues ont été évalués entre 25,2 M\$ et 29,7 M\$. La marge d'incertitude sur ces coûts est estimée à 30 %.

Pour la séparation, les coûts totaux ont été évalués entre 4,7 M\$ et 31,5 M\$, avec une marge d'incertitude de 40 %.

Pour le traitement, les coûts totaux ont été évalués entre 40,5 et 60,7 M\$, avec une marge d'incertitude de 40 %.

En conclusion, l'étude réalisée par le CEMRS a permis d'identifier quelques technologies qui pourraient solutionner la problématique des eaux souterraines du site du PEPSC en trois étapes qui sont le captage, la séparation des phases flottantes et le traitement de l'eau souterraine contaminée et toxique.

À ce niveau d'intervention, il est encore difficile de bien évaluer les coûts de l'ensemble du processus, car, selon le CEMRS, certains éléments doivent être précisés pour permettre à la Ville de faire le choix le plus approprié. Il s'agit :

- des objectifs de rejet établis en fonction du lieu de ce rejet;
- de la qualité de l'eau du fleuve, en bordure de l'autoroute, près du site du PEPSC;
- de la distribution des sources d'azote ammoniacal et de la phase flottante par l'implantation de nouveaux puits, notamment le long de la bordure amont du site;
- des conditions d'écoulement de l'eau souterraine du PEPSC et de son débit le long de différents axes;
- des liens hydrauliques entre les sites voisins et le site du PEPSC;
- de l'effet sur le site du PEPSC de la barrière hydraulique et du système de traitement implantés sur le site du CN;
- de l'effet de la réinjection sur le site de l'eau traitée en vue de la formation d'un bioréacteur à grande échelle;
- de confirmer que l'écoulement de la phase flottante au fleuve se limite à des zones circonscrites, tel que montrées sur la figure 7.

Les concepteurs des systèmes qui voudront s'attaquer à la problématique du site devront quant à eux :

- préciser les coûts du ou des trains de technologies qu'ils voudront implanter;
- utiliser l'outil de modélisation numérique afin de poursuivre le travail de simulation pour évaluer l'ampleur des installations requises et l'effet de différents scénarios d'intervention à grande échelle;

---

<sup>1</sup> Les coûts totaux estimés comprennent les coûts d'immobilisation et les coûts d'opération pendant 20 ans.

- établir le modèle numérique de la migration des phases flottantes d'hydrocarbures dans le but d'optimiser les modes de captage de ces phases flottantes et d'en prévoir le temps de récupération;
- évaluer sur une période d'une année la performance, la robustesse, la fiabilité, le mode d'opération et l'impact environnemental de la solution préconisée, avant d'en faire la mise en place à pleine échelle.

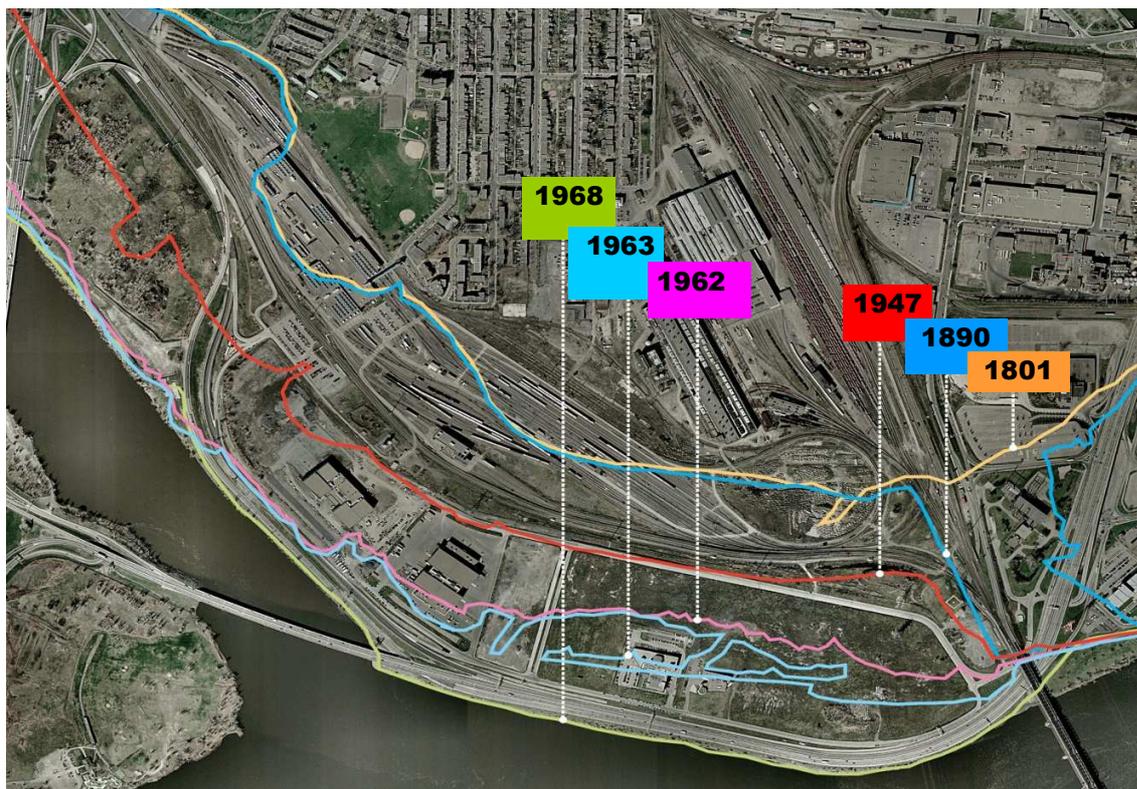
Compte tenu de la complexité de la problématique environnementale du site du PEPSC, il serait requis de poursuivre avec les propriétaires des terrains voisins, la démarche d'évaluer dans un contexte d'ensemble que les actions à entreprendre soient compatibles avec celles des autres propriétaires.

## 1. MISE EN CONTEXTE

Le Parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC) correspond à un ancien dépotoir qui occupe une portion d'un secteur de l'île de Montréal, localisé entre les ponts Champlain et Victoria, où les terrains ont été constitués à même le lit du fleuve, par déversement de déchets et de débris divers depuis le début du 19<sup>e</sup> siècle. À l'intérieur de ce secteur, les terrains adjacents au PEPSC sont la propriété du Canadien National (CN), de la société des ponts Jacques-Cartier et Champlain inc. (PJJCI) et du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP).

Brièvement, de 1950 à 1966, année de la fermeture du dépotoir, les déchets et débris enfouis dans les limites du site du PEPSC sont autant d'origines domestique qu'industrielle. En août 1989, la Ville de Montréal devient propriétaire du site suite à la vente du terrain par les gouvernements provincial et fédéral. La figure 1 présente de l'évolution de la ligne de rivage du fleuve Saint-Laurent au fil des années.

Figure 1 : Évolution de la ligne de rivage de 1801 à 1968



Source : Ville de Montréal, 2005

Échelle approximative 1 cm:160 m



dispositions de la *Loi sur les pêches* en matière de protection de l'habitat et de prévention de la pollution doivent être considérées. Pour le site du PEPSC, la politique d'application de cette loi fédérale se fait par l'entremise du paragraphe 36(3) qui vise à protéger les eaux poissonneuses contre le rejet de substances nocives pour les espèces aquatiques. Dans ce contexte, les valeurs cibles à respecter sont celles recommandées par le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME).

Figure 3 : Projection de l'emplacement du site du PEPSC en 1950



Photo-aérienne de la Pointe Saint-Charles de 1950, échelle 1 : 18 000

Source : SNC-LAVALIN Environnement inc., mars 2002

Technoparc : Maintenant appelé Parc d'entreprise de la Pointe Saint-Charles (PEPSC)

Les autorités provinciales et municipales seront interpellées au moment d'émettre les autorisations pour les systèmes de traitement qu'on voudra implanter. Le MDDEP comparera la qualité des rejets aux critères génériques de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés du gouvernement du Québec avant d'émettre son certificat d'autorisation. De manière générale, les valeurs limites à respecter correspondent aux critères applicables aux cas de contamination des eaux souterraines de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés du gouvernement du Québec (MDDEP). Selon le point de rejet envisagé (eau de surface), le MDDEP devra fixer des objectifs environnementaux de rejets. La

problématique du site est assujettie à deux (2) règlements de la CMM dont l'application est déléguée à la Ville, soit 2001-09 et 2008-47. Même si certaines parties du Règlement 2008-47 n'entrent en vigueur qu'à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2012, les procédés technologiques qui seront implantés pour le traitement des eaux souterraines devront tenir compte de ce dernier.

À l'intérieur de ce cadre réglementaire, la Ville poursuit ses interventions environnementales et elle maintient sa volonté d'agir en collaboration avec ses partenaires afin d'identifier et d'appliquer une solution globale à la contamination des écoulements provenant du site du PEPSC.

Pour y parvenir, la Ville a mis sur pied un comité de partenaires, en 2002, dans lequel siègent, entre autres, les propriétaires des terrains voisins afin que la démarche puisse être évaluée dans un contexte d'ensemble et que les actions qu'elle entreprendra soient compatibles avec celles des autres propriétaires. La liste des partenaires actuels est présentée au tableau 1, ci-après

Tableau 1 Composition du comité de partenaires, en mars 2009

<b>Organismes</b>
Canadien National
Environnement Canada
Les Ponts Jacques Cartier et Champlain inc.
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
Société du Havre de Montréal
Transports Canada
Via Rail
Ville de Montréal - Service de la mise en valeur du territoire et du patrimoine
Ville de Montréal - Service des infrastructures, transport et environnement
Ville de Montréal - Arrondissement Sud-Ouest

Durant la période de 1988 à 2005, la Ville de Montréal a mené des études visant à caractériser le site et à contrôler l'écoulement des eaux contaminées et de la phase flottante d'hydrocarbures pétroliers vers le fleuve. La plupart de ces études se trouvent en référence bibliographique au présent rapport. Elle a notamment procédé à la conception d'un système de captage des eaux souterraines et de la phase flottante, tout le long de la limite sud du PEPSC. En 2005, la Ville a finalement retenu une solution temporaire qui a consisté à implanter un mur imperméable souterrain (non ancré au roc) d'environ 175 mètres de longueur en bordure du fleuve Saint-Laurent, près du pont Victoria, dans le but de capter les hydrocarbures qui faisaient résurgence au fleuve.

Cette étude, réalisée avec le soutien de Développement économique Canada (DEC), avait pour but d'accroître les connaissances sur les technologies pouvant éliminer la contamination en phase dissoute dans l'eau souterraine, de rechercher les causes de la toxicité et de modéliser l'écoulement des eaux souterraines du secteur de la Pointe

Saint-Charles, soit entre le pont Victoria et le canal de surverse du collecteur Saint-Pierre, qui inclut les terrains des PJCCI et du MDDEP (réf. 3 et 4).

L'ensemble des résultats obtenus s'est avéré essentiel pour orienter éventuellement la sélection des solutions optimales pour une gestion globale qui tienne compte de la contamination en phase dissoute, de la présence d'une phase libre et de la toxicité des eaux souterraines.

Brièvement, cette étude correspond à huit (8) essais de traitabilité en laboratoire et la modélisation de l'écoulement des eaux souterraines relativement aux terrains situés entre les ponts Champlain et Victoria, en bordure du fleuve Saint-Laurent (réf. 3 et 4).

Les résultats ont montré que les approches biologique et physico-chimique avaient le potentiel de régler la problématique et qu'elles méritaient d'être testées à l'échelle pilote. L'étude a également mis en lumière les effets de la forte alcalinité et de la précipitation du fer ainsi que la nécessité d'optimiser les procédés, en particulier au niveau de l'action des microorganismes.

## 2. MANDAT

Le 25 avril 2008, la Ville de Montréal a mandaté le CEMRS pour réaliser l'étude « Analyse, identification et recommandation de solutions pour le captage et le traitement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures du Parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC) ». Ce contrat découle de la Résolution du conseil municipal de la Ville de Montréal du 31 mars 2008 portant le numéro CM08 0183.

Les buts visés par le mandat sont de :

- recommander des solutions technologiques adaptées au contexte du PEPSC permettant le captage et le traitement des eaux souterraines ainsi que le captage et l'élimination des phases flottantes d'hydrocarbures;
- fournir un outil décisionnel permettant à la Ville de Montréal d'orienter les prochaines étapes de son scénario de réhabilitation de l'ancien dépotoir de la Pointe-Saint-Charles, en collaboration avec ses partenaires.

Pour atteindre les objectifs du mandat tel que défini dans l'offre de services, le rôle du CEMRS a été notamment de :

- mettre en place des comités d'experts neutres et indépendants reconnus dans divers domaines reliés, entre autres, à l'hydrogéologie, au captage et au traitement des eaux contaminées et des phases libres d'hydrocarbures;
- confier des mandats à des firmes externes pour l'assister à atteindre les objectifs identifiés précédemment;
- recommander à la Ville de Montréal les technologies en vue des essais pilotes;
- gérer le processus des essais pilotes et de faisabilité ainsi qu'assurer le suivi de leur réalisation et faire l'évaluation des résultats;
- analyser, valider et recommander les solutions de captage et de traitement des eaux contaminées et des phases libres qui répondent le mieux à la problématique du site et aux besoins identifiés par le Comité des partenaires. Pour toutes les solutions identifiées, le CEMRS a :
  - Analysé et évalué chacune des techniques de captage et de traitement;
  - Identifié les avantages et inconvénients des solutions;
  - Commenté les coûts et les bénéfices de chacune;

- Identifié les risques technologiques et les incertitudes des solutions proposées;
- Mis en évidence les possibilités de synergie ou d'interférence entre les technologies composant la solution globale qui pourrait être mise en place.

Le présent rapport inclut les conclusions et recommandations du CEMRS quant aux technologies et solutions répondant au défi technico-économique de traitement des phases libres et de la toxicité des eaux souterraines du site du PEPSC.

### 3. APPROCHE ET MÉTHODOLOGIE

#### 3.1. Approche

Le mandat vise à développer un outil décisionnel, spécifique au site PEPSC, qui permettra à la Ville d'évaluer les scénarios de réhabilitation basés sur les solutions technologiques recommandées et compilées dans le répertoire de technologies potentiellement applicables au site du PEPSC. Ces technologies sont regroupées en trois catégories distinctes couvrant respectivement :

- le captage des hydrocarbures en phases flottantes et des eaux souterraines;
- la séparation des hydrocarbures de l'affluent, et
- le traitement des eaux souterraines de façon à en éliminer la toxicité et à les rendre conforme aux exigences réglementaires.

Ces trois catégories correspondent aux étapes à respecter dans le processus d'évaluation pour la mise en place d'une solution pour la gestion de la contamination associée au site du PEPSC. Les technologies retenues sont présentées sous la forme d'un répertoire à l'annexe F.

L'approche du CEMRS a consisté à créer un groupe de travail divisé en trois comités ayant chacun un rôle distinct :

- une équipe de gestion de projet composée du personnel du CEMRS;
- un comité technique formé de professionnels avec des expertises adaptées aux problématiques du PEPSC, dont la mission était d'assister le CEMRS dans l'analyse des données techniques;
- un comité d'experts en modélisation mis sur pied pour orienter le développement d'un modèle numérique de l'écoulement des eaux souterraines du site du PEPSC et en comprendre la portée.

Le comité de partenaires de la Ville de Montréal a eu comme responsabilité d'examiner les recommandations du CEMRS relatives à la sélection des technologies devant faire l'objet d'un essai pilote.

L'analyse et l'intégration des informations provenant des membres des comités techniques, d'experts et de partenaires ont été effectuées par le personnel du CEMRS.

### 3.2. Méthodologie

Pour atteindre les objectifs du présent mandat, les principales étapes du travail du CEMRS ont été de :

- réaliser des travaux de caractérisation complémentaire et la compilation des résultats dans la base de données ENVIROVUE, conçue spécifiquement pour le site PEPSC;
- compléter la modélisation de l'écoulement des eaux souterraines sur l'ensemble du site;
- faire une revue de la littérature;
- lancer un appel de propositions pour identifier des technologies de traitement des eaux souterraines potentiellement applicables au PEPSC;
- faire l'évaluation des technologies suite à l'appel de propositions à l'aide de la grille d'analyse du CEMRS (annexes B-1 et B-2);
- réaliser des essais pilotes sur certaines des technologies de traitement ciblées potentiellement applicables au PEPSC;
- effectuer un essai de faisabilité sur le traitement par ozonation des eaux souterraines;
- identifier et analyser les technologies de captage, de séparation et de traitement des phases flottantes d'hydrocarbures et des eaux souterraines spécifiquement applicables au PEPSC;
- préparer une fiche synthèse pour chacune des technologies retenues;
- compiler les fiches synthèses sous la forme d'un répertoire des technologies retenues;
- intégrer les différentes données recueillies afin de faire des recommandations;
- produire un rapport faisant état des technologies présentant un potentiel d'application au site PEPSC.

### 3.2.1 Caractérisation complémentaire, inventaire des puits et compilation des données

Une étude de caractérisation complémentaire des eaux souterraines du PEPSC a été réalisée en juillet 2008 par Terrapex Environnement Litée (réf. 5). Ce mandat comprenait l'inventaire, l'inspection et le relevé piézométrique de l'ensemble des puits d'observation et de récupération présents sur les terrains de la Ville et dans une portion de l'autoroute Bonaventure, localisés entre dans le secteur délimité par le pont Victoria, le terrain de la société PJCCI, la propriété du CN et le fleuve Saint-Laurent ainsi que le prélèvement et l'analyse chimique des eaux souterraines d'une trentaine de puits répartis sur l'ensemble du site. Sur les 148 puits trouvés et inspectés par le consultant, 122 se localisent sur le site du PEPSC.

À ce nombre, il faut ajouter trente-huit (38) puits d'observation installés par les proposants lors des essais pilotes, ainsi que sept puits d'observation et sept puits de pompage installés par la firme TechnoRem inc. dans le cadre de son mandat de modélisation de l'écoulement des eaux souterraines. L'inventaire à ce jour porte donc à 174 le nombre total de puits fonctionnels sur le site du PEPSC.

La compilation des données recueillies a été effectuée à l'aide du logiciel ENVIROVUE, conçu par la firme SNC-Lavalin lors d'études antérieures pour le compte de la Ville de Montréal. Les informations ont été intégrées dans la base de données existante qui permet de faire des recherches croisées de plusieurs types d'informations relatives au site du PEPSC. Le logiciel permet d'accéder, par requête, aux résultats des analyses physico-chimiques et toxicologiques, aux photographies, aux cartes et aux rapports et d'en effectuer le traitement.

### 3.2.2 Modélisation de l'écoulement des eaux souterraines

Un mandat a été confié à la firme TechnoRem inc. qui avait développé en 2006-2007 le modèle numérique de l'écoulement des eaux souterraines du secteur englobant les sites PEPSC, le terrain des PJCCI et l'autoroute Bonaventure.

Le mandat avait pour but :

- i. D'optimiser la modélisation numérique de l'écoulement des eaux souterraines;
- ii. D'améliorer la fiabilité du modèle;
- iii. D'établir les paramètres préliminaires de conception pour les technologies de captage (eaux souterraines et phases flottantes d'hydrocarbures) applicables au site, à l'aide du modèle numérique;

- iv. D'effectuer un bilan géostatistique de l'épaisseur et du volume d'hydrocarbures en phases flottantes sur le site du PEPSC.

Le sommaire des activités réalisées par TechnoRem inc. est présenté à l'annexe C.

### 3.2.3 Revue de littérature – Répertoire des technologies

Une revue de la littérature sur les technologies de traitement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures a été réalisée en consultant les banques de données existantes en matière de réhabilitation de sites contaminés publiées par divers organismes publics canadiens et américains ainsi que les publications et sites internet des industries, consultants, promoteurs et fournisseurs de technologies de traitement. Par ailleurs, TechnoRem inc. a reçu le mandat de constituer la partie du répertoire qui vise les technologies de captage des hydrocarbures en phases flottantes et des eaux souterraines.

Le CEMRS et le comité technique ont révisé les données recueillies par les consultants et les ont éventuellement complétées, synthétisées et analysées.

### 3.2.4 Essais pilotes sur le terrain

Le CEMRS a lancé en juin 2008 un appel de propositions de technologies de captage et de traitement applicables au PEPSC. L'objectif était de faire appel au savoir-faire de l'industrie pour proposer des solutions globales à la problématique du site du PEPSC. Ainsi, les proposants ont eu à présenter un programme allant de l'étape captage à l'étape traitement de la phase dissoute des eaux souterraines en passant par l'étape de séparation de l'eau et des phases flottantes.

Noter que les étapes de captage, de séparation et de gestion de la phase flottante n'ont pas été testées lors de ce mandat, car les procédés à la base de ces étapes sont par ailleurs beaucoup mieux connus et présentent un niveau d'incertitude beaucoup plus faible que celui affectant les procédés de traitement des contaminants en phase dissoute

Le détail des évaluations et le choix des trains de technologies pour le traitement de la phase dissoute de l'eau souterraine et des proposants sont présentés dans le document intitulé « Recommandations des essais pilotes – Appel de propositions de technologies » présenté à la Ville de Montréal en juillet 2008 (réf. 6).

Au total, sept (7) proposants ont déposé neuf (9) propositions (annexe B-4). Chacune des propositions a été évaluée par le CEMRS et les membres de son comité technique. À l'issue du processus d'évaluation, six trains de technologies ont été identifiés comme

justifiant la réalisation d'un essai pilote sur un secteur du PEPSC désigné par le CEMRS, et soumis au comité de partenaires de la Ville de Montréal. Ce dernier avait pour mandat d'en retenir cinq (5). Un des proposants retenus s'est désisté par la suite du processus pour des raisons contractuelles. Il y a donc eu quatre essais pilotes qui ont porté sur les trains de technologies ou processus<sup>2</sup> de traitement suivants :

- Processus biologique *eMaMoc*;
- Processus biologique Multi - Points;
- Processus *Biologique - filtration*;
- Zone Réactive *in situ*.

Le cheminement du processus de sélection est présenté à l'annexe B-4.

Ces essais pilotes visaient à valider sur le terrain l'efficacité de divers procédés de traitement des contaminants en phases dissoutes dans les eaux souterraines afin d'obtenir des données détaillées sur leur mode opératoire et sur leur performance. Ces essais ont été réalisés selon les lignes directrices et du plan d'assurance et de contrôle de la qualité (annexes D-1 et D-2) établis par le CEMRS, entre autres 5 contrôles de la qualité de l'eau par un laboratoire externe pour les principaux paramètres problématiques. Les essais ont débuté le 8 septembre 2008 et ils se sont terminés le 9 janvier 2009. Ils comprenaient une période de préparation et de rodage de 2 à 5 semaines et une période de réalisation variant entre 7 et 10 semaines. L'ensemble des essais a été supervisé par le CEMRS.

La description et l'analyse de ces essais sont présentées à la section 5 du rapport. Le suivi des activités des essais pilotes a été réalisé par le CEMRS (réf. 17)

### 3.2.5 Essai de faisabilité du traitement par ozonation des eaux souterraines

Un essai de faisabilité du traitement par ozonation des eaux souterraines du PEPSC a été ajouté au programme de travail. Cet essai est une poursuite des efforts accomplis lors des essais de traitabilité réalisés en 2006-2007 par le CEMRS (réf. 3).

Comme cette technologie pouvait présenter un potentiel économiquement intéressant pour traiter l'azote ammoniacal, le CEMRS et ses collaborateurs techniques et scientifiques de l'École de technologie supérieure (ETS) ont préparé et mis en banc d'essai, à la demande de la Ville de Montréal, un protocole d'expérimentation du traitement des eaux souterraines par l'ozonation. La description et l'analyse de cet essai sont présentées à la section 5 du présent rapport. La méthodologie d'évaluation de l'essai de traitement par ozonation se trouve à l'annexe E. Le suivi des activités de l'essai de faisabilité a été réalisé par le CEMRS (réf. 17).

<sup>2</sup> Dans le présent document, les termes train de technologie ou processus sont utilisés dans le sens d'un enchaînement de techniques ou de technologies individuelles.

### 3.2.6 Analyse et répertoire des technologies

En plus d'effectuer l'intégration des informations provenant des membres des comités technique et d'experts, le personnel du CEMRS a analysé l'ensemble des technologies de captage et de traitement répertoriées par les consultants DDH environnement et TechnoRem inc. Cette analyse a été effectuée en tenant compte de la problématique environnementale particulière du PEPSC afin de ne conserver dans ses recommandations que celles qui s'appliquent à ce site.

L'analyse intègre les résultats des quatre essais pilotes réalisés sur le site du PEPSC ainsi que ceux de l'essai de faisabilité du traitement par ozonation des eaux souterraines.

Les résultats de l'analyse sont présentés sous la forme de fiches techniques dont chacune correspond à une technologie applicable au site du PEPSC.

Les technologies présentées dans les fiches couvrent chacune des trois étapes d'intervention identifiées plus tôt, soit :

- Étape 1 : le captage des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures;
- Étape 2 : la séparation des hydrocarbures et des phases flottantes et;
- Étape 3 : le traitement des eaux souterraines.

Cet agencement des technologies, par étape, permet donc au lecteur de suivre un processus complet, lequel devra comprendre une combinaison d'une ou de plusieurs technologies dans chacune des trois étapes.

Au total 20 fiches composent le répertoire des technologies applicables qui se trouve à l'Annexe F.

Les tableaux synoptiques 4, 5 et 6 (Annexe A-2) servent à identifier les éléments importants de chacune de fiches techniques afin d'assister les décideurs quant au choix des solutions qui pourraient être implantées au site du PEPSC.

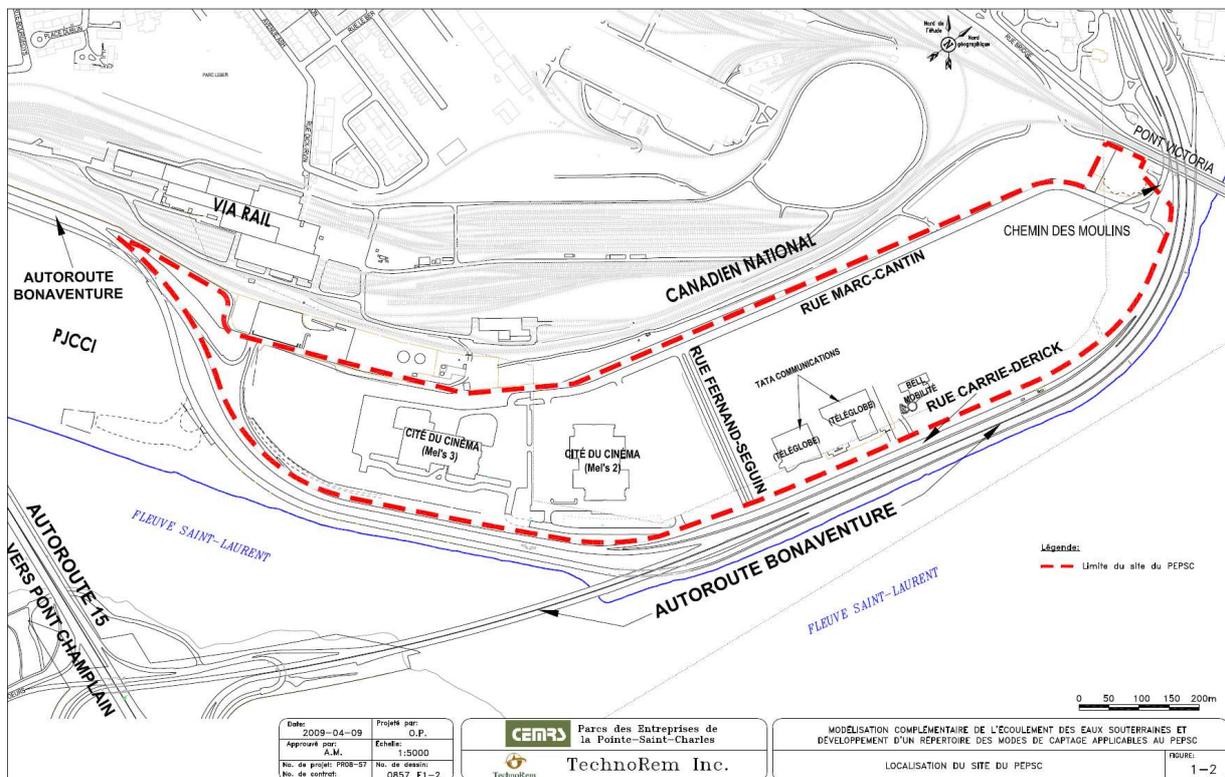
Les technologies qui n'ont pas été retenues sont présentées au tableau 7 de l'annexe A-2.

## 4. DESCRIPTION DU SITE

### 4.1. Localisation et occupation du site

Le site du PEPSC se situe dans l'Arrondissement Sud-Ouest de la Ville de Montréal. D'une superficie approximative de 456 000 m<sup>2</sup>, le site est délimité au sud par l'autoroute Bonaventure, au nord par les terrains du Canadien National, à l'ouest par les terrains de la société des Ponts Jacques Cartier et Champlain inc. (PJCCI) et par l'accès au pont Victoria, à l'est (figure 4).

Figure 4 – Localisation du site



À l'intérieur des limites du PEPSC, trois rues reçoivent la circulation locale : Marc-Cantin au nord et à l'est, Fernand-Séguin au centre ainsi que Carrie-Derick au sud.

Depuis 1991, la Ville de Montréal a divisé le site du PEPSC en plusieurs lots tout en conservant la responsabilité environnementale en regard à la contamination de l'eau souterraine préexistante.

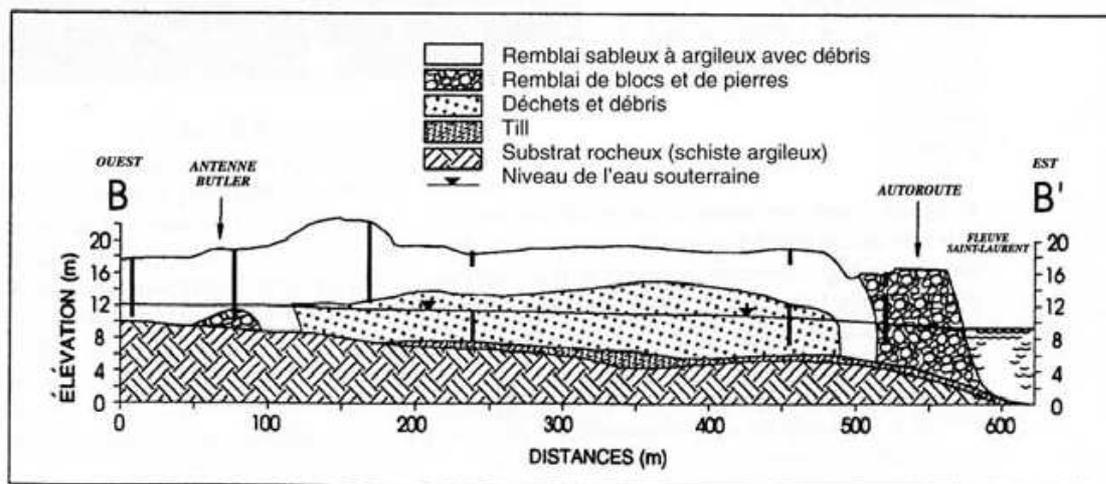
Présentement, le site est occupé par cinq édifices (figure 4), qui sont la propriété de Tata Communications (anciennement Téléglobe Canada), Bell Mobilité et Mel's La Cité du Cinéma. Les espaces inoccupés sont en friche.

Dans le cadre de son projet Vision 2025 (réf. 7), la Société du Havre de Montréal (SHM) propose entre autres, d'ici 2015, de déplacer l'autoroute Bonaventure plus au nord, notamment dans le but de redonner aux citoyens l'accès aux berges du fleuve Saint-Laurent.

#### 4.2. Contexte géologique

Trois unités géologiques principales sont présentes sur le site à l'étude. Du sommet vers la base, on retrouve, sous la mince couche de terre végétale, une unité de remblai constituée de divers matériaux d'origines variées (déchets, matériaux granulaires) en proportion variables, une unité de till d'épaisseur variable, et la formation rocheuse dont les premiers mètres sont fracturés. La figure 5 présente une coupe transversale typique synthétisant la stratigraphie des dépôts meubles présents sur le site PEPSC, du fleuve jusqu'à la propriété du CN.

Figure 5 - Coupe stratigraphique typique du CN au fleuve Saint-Laurent



Source : Communication Technoparc de Montréal (SEM-03-005)

#### Remblai de déchets, débris et de matériaux granulaires

Le remblai se retrouve en général sous une mince couche de terre végétale. Il présente des épaisseurs variables se situant entre 8 et 16 mètres. Les observations stratigraphiques ont montré que deux types de remblai pouvaient être distingués en fonction de la quantité de débris et déchets qu'ils contiennent. Le remblai supérieur se caractérise par des matériaux sableux à argileux avec peu de débris. Le remblai

inférieur est dominé par des déchets et des débris. Ces déchets de taille variable sont constitués, sans s'y restreindre, de plastique, de béton, de papier journal, de bois, de brique, de métal, de verre, de caoutchouc, de matière organique et autres matières diverses. Ils sont mélangés à une matrice silteuse avec des traces de sable, de gravier et de cailloux. La répartition des déchets qu'elle contient est très irrégulière, cette complexité résultant sans doute des différents épisodes de remblayage effectués sur le site. La compacité des couches de remblai est généralement faible.

Ce remblai résulte des nombreuses années de déversement de matières de toutes sortes à partir des berges du fleuve Saint-Laurent. La berge d'origine de la Pointe-Saint-Charles se trouve à environ 500 à 600 mètres en amont de la rive actuelle.

### Till

Localisé au contact du roc en place, le till sous-jacent aux matériaux de remblai est un dépôt glaciaire mis en place lors de la dernière glaciation. Son épaisseur est variable et elle peut atteindre jusqu'à 6 m. Toutefois, il n'a pas été observé dans certains forages localisés près du pont Victoria et en périphérie des studios Mel's. Le till se compose principalement de sable silteux gris avec un peu de gravier et des traces d'argile.

### Roc

Le socle rocheux est constitué de shale noir généralement fracturé sur les deux premiers mètres. Il a été intercepté à des profondeurs variant de 6 à 16 m. La topographie générale de la surface du roc présente une pente vers le sud, en direction du fleuve.

### Remblai de blocs et de pierres

À l'extérieur du PEPSC, l'assise de l'autoroute Bonaventure se compose principalement de matériaux granulaires grossiers composés de cailloux, de blocs et de fragments de roc déposés directement sur le lit du fleuve. Des matériaux de construction pourraient s'y retrouver. Certains matériaux proviendraient même d'une carrière exploitée à même le fleuve, à proximité de l'autoroute. L'épaisseur de ce remblai peut atteindre 16 mètres sur une distance d'environ 1,9 km, entre le site du PEPSC et le fleuve Saint-Laurent.

## 4.3. Contexte hydrogéologique

Le site se caractérise par la présence de quatre couches hydrostratigraphiques distinctes : (réf. 4 et 8) :

- 1) la portion supérieure du remblai, principalement composée de matériaux granulaires;
- 2) la portion inférieure du remblai, dominée par des déchets et des débris;
- 3) le till, un dépôt naturel d'origine glaciaire ;

#### 4) la formation rocheuse, de shale noir.

Le remblai supérieur, plus perméable que le remblai inférieur, est en grande partie non saturé. Le remblai inférieur par contre est presque continuellement saturé. Ces couches de remblais constituent l'aquifère de surface, également appelé « aquifère à nappe libre ».

Le till est une unité discontinue et très peu perméable. Cette discontinuité nous impose de prendre en considération l'unité de roc sous-jacente, elle aussi de faible perméabilité.

Le dernier relevé piézométrique effectué par Terrapex en juillet 2008 indique que la profondeur des eaux souterraines varie généralement de 3 à 11 m. Les variations annuelles moyennes enregistrées depuis 1988 sont de l'ordre de 0,7 m (réf. 5, 8, 9 et 10). L'écoulement des eaux souterraines se fait globalement vers le fleuve avec un gradient moyen de 0,018 m/m.

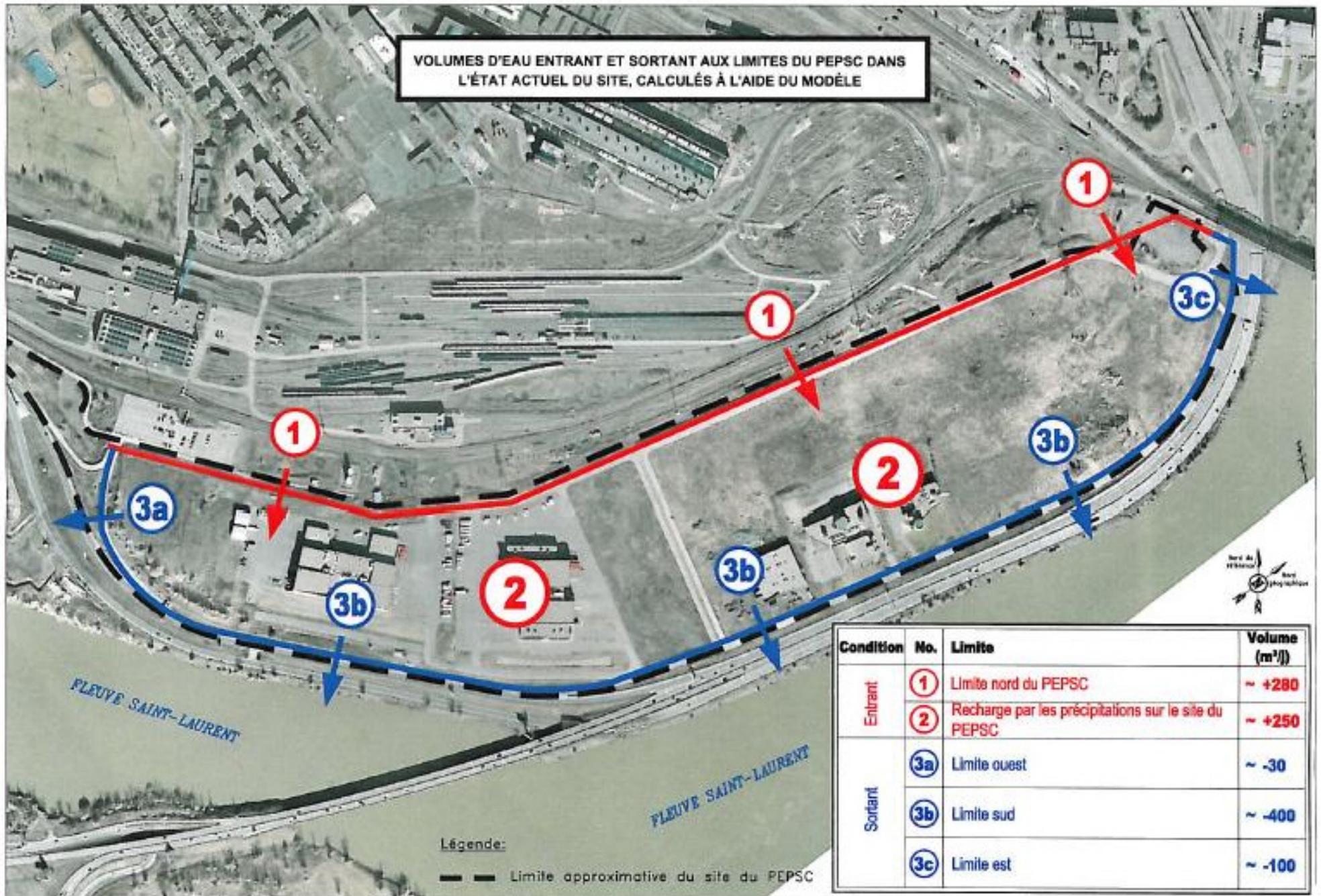
La température de l'eau souterraine à cette profondeur oscille autour de 10 et 12 °C durant toute l'année.

En ce qui concerne la durée du parcours d'une goutte d'eau à traverser le site de l'amont vers l'aval, en suivant une ligne d'écoulement d'environ 300 m dans le remblai supérieur, sous la rue Fernand-Séguin, le temps est évalué à près de 1,5 année. Dans le remblai inférieur, en raison de ses caractéristiques différentes, le temps estimé pour une goutte d'eau de parcourir une distance semblable serait de 13 à 20 ans.

Dans le cadre du présent mandat, TechnoRem inc. (réf. 8) a calculé que le débit d'eaux souterraines au fleuve est de 730 m<sup>3</sup>/jour. Spécifiquement pour le site du PEPSC, le flux d'eau souterraine estimé sortant est de 530 m<sup>3</sup>/jour (± 30 %). En période de crue printanière, ce flux sortant du PEPSC peut doubler. La différence entre les valeurs de 730 m<sup>3</sup>/jour au fleuve et de 530 m<sup>3</sup>/jour, à la limite du PEPSC, s'explique notamment par l'effet de recharge du fleuve dans le remblai perméable composant l'assise de l'autoroute Bonaventure.

Le bilan de recharge de la nappe d'eau souterraine est évalué à environ 280 m<sup>3</sup>/j provenant des propriétés situées en amont du PEPSC et à près de 250 m<sup>3</sup>/j d'eaux de précipitation qui s'infiltre dans le site. La figure 6 présente la simulation des volumes d'eau moyens annuellement entrant et sortant du site du PEPSC.

VOLUMES D'EAU ENTRANT ET SORTANT AUX LIMITES DU PEPSIC DANS L'ÉTAT ACTUEL DU SITE, CALCULÉS À L'AIDE DU MODÈLE



Condition	No.	Limite	Volume (m <sup>3</sup> /j)
Entrant	①	Limite nord du PEPSIC	~ +280
	②	Recharge par les précipitations sur le site du PEPSIC	~ +250
Sortant	③a	Limite ouest	~ -30
	③b	Limite sud	~ -400
	③c	Limite est	~ -100

Légende:

--- Limite approximative du site du PEPSIC

Date: 2009-06-16  
 Projeté par: TechnoRem  
 Vérifié par: Daniel Rivard, CEMRS  
 Echelle: 1:7000



CENTRE D'EXCELLENCE DE MONTRÉAL EN RÉHABILITATION DE SITES

ANALYSE, IDENTIFICATION ET RECOMMANDATION DE SOLUTIONS POUR LE CAPTAGE ET LE TRAITEMENT DES EAUX SOUTERRAINES ET DES PHASES FLOTTANTES D'HYDROCARBURES DU PARC D'ENTREPRISES DE LA POINTE-SAINT-CHARLES (PEPSIC)

SIMULATION DES VOLUMES D'EAU MOYENS ENTRANT ET SORTANT DU SITE PEPSIC

FIGURE: 6

En 2002, le débit des eaux souterraines au fleuve a été évalué à 943 m<sup>3</sup>/jour par SNC-Lavalin Environnement inc. (réf. 9). En 2007, TechnoRem inc. présentait une valeur de l'ordre de 1700 m<sup>3</sup>/j au fleuve. Cette valeur surévaluait le gradient hydraulique dans la portion est du site. Ainsi, suite aux nouvelles données de terrain de 2008, TechnoRem inc. a apporté des modifications au modèle mathématique de l'écoulement des eaux souterraines qui ont permis de réévaluer à la baisse le volume journalier d'eaux souterraines s'écoulant au fleuve.

Il faut noter qu'en fonction des utilisations futures du site ces quantités pourraient changer. Par exemple, une plus grande imperméabilisation du site (suite à l'aménagement de nouvelles infrastructures de surface) aurait pour effet de réduire le taux d'infiltration et, par conséquent, le flux d'eau sortant du site.

#### 4.4. Contamination des eaux souterraines

Des études réalisées depuis 1988 ont permis de mettre en lumière une problématique environnementale particulièrement complexe héritée de pratiques passées.

La cause des problèmes environnementaux sur les terrains de l'ancien dépotoir est liée à la présence de phases flottantes et dissoutes composées notamment d'hydrocarbures pétroliers, de biphényles polychlorés (BPC), d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), de métaux lourds, de sulfures, de chlorures et d'azote ammoniacal.

##### 4.4.1 Phases flottantes d'hydrocarbures

Depuis 1988, lors des relevés piézométriques effectués sur le site du PEPSC, de nombreuses observations ont permis de démontrer la présence de phases flottantes d'hydrocarbures et d'en évaluer l'épaisseur et le volume approximatif.

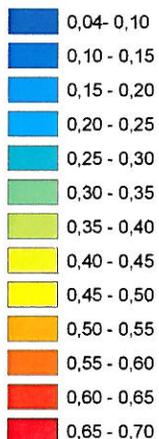
Selon le dernier relevé piézométrique effectué en juillet 2008 (réf. 5), environ 15 % des puits présents sur le site ont montré la présence d'une phase flottante dont l'épaisseur moyenne est de 34 cm, l'épaisseur maximale étant de 1,74 m. Les détections les plus fréquentes et les épaisseurs mesurées les plus importantes se situent de part et d'autre de la rue Fernand-Séguin et le long de la limite sud du site entre la rue Fernand-Séguin et le pont Victoria. À partir de l'analyse géostatistique réalisée par TechnoRem, le volume approximatif d'hydrocarbures pétroliers à l'état libre (phase mobile de l'huile) sous le site du PEPSC est de l'ordre de 1 850 m<sup>3</sup> (± 30 %).

Une quantité non négligeable d'environ 650 m<sup>3</sup> litres (± 30 %) se retrouve également en aval du site du PEPSC, soit principalement sous l'autoroute Bonaventure. La figure 7 ci-après montre la localisation approximative des phases flottantes d'hydrocarbures établies par TechnoRem inc. pour le site. Cette figure traduit la compilation de l'ensemble des relevés disponibles depuis 1999 sur l'épaisseur moyenne de la phase

flottante à l'intérieur du site du PEPSC. De cette figure nous remarquons que la phase flottante est répartie en trois nappes ouvertes au fleuve et que la superficie approximative varie de 15 000 m<sup>2</sup> à 150 000 m<sup>2</sup>. La forme et l'étendue des nappes de phase flottante sont évolutives, ceci notamment en fonction des sources, de la direction de l'écoulement de l'eau souterraine et des variations verticales de celle-ci, de l'hétérogénéité du substrat et de l'effet du fleuve. La répartition des nappes de phase flottante en 2008, montrée à la figure 7, nous suggère que l'écoulement de la phase flottante au fleuve se limite à des zones circonscrites. Aussi, nous pourrions être tentés d'associer à chaque zone une combinaison de procédés de captage et de séparation qui serviraient à résoudre cette problématique de rejet au fleuve.

Puisque la forme et l'étendue de chaque nappe de phase flottante sont évolutives, notamment en raison de la distance des sources, des conditions d'hétérogénéité des matériaux de remblai et de la dynamique de l'écoulement de l'eau souterraine, il serait opportun, pour identifier l'emplacement et le choix de technologies, de comprendre l'évolution de chaque panache. Une analyse par modélisation des données antérieures et actuelles ainsi que des caractéristiques des terrains à être traversés, avant d'atteindre la limite aval du site du PEPSC, pourrait permettre d'évaluer l'emplacement et le choix de technologies. Sans de nouveaux apports, son volume diminuera avec le temps, et ce, pour une durée indéterminée.

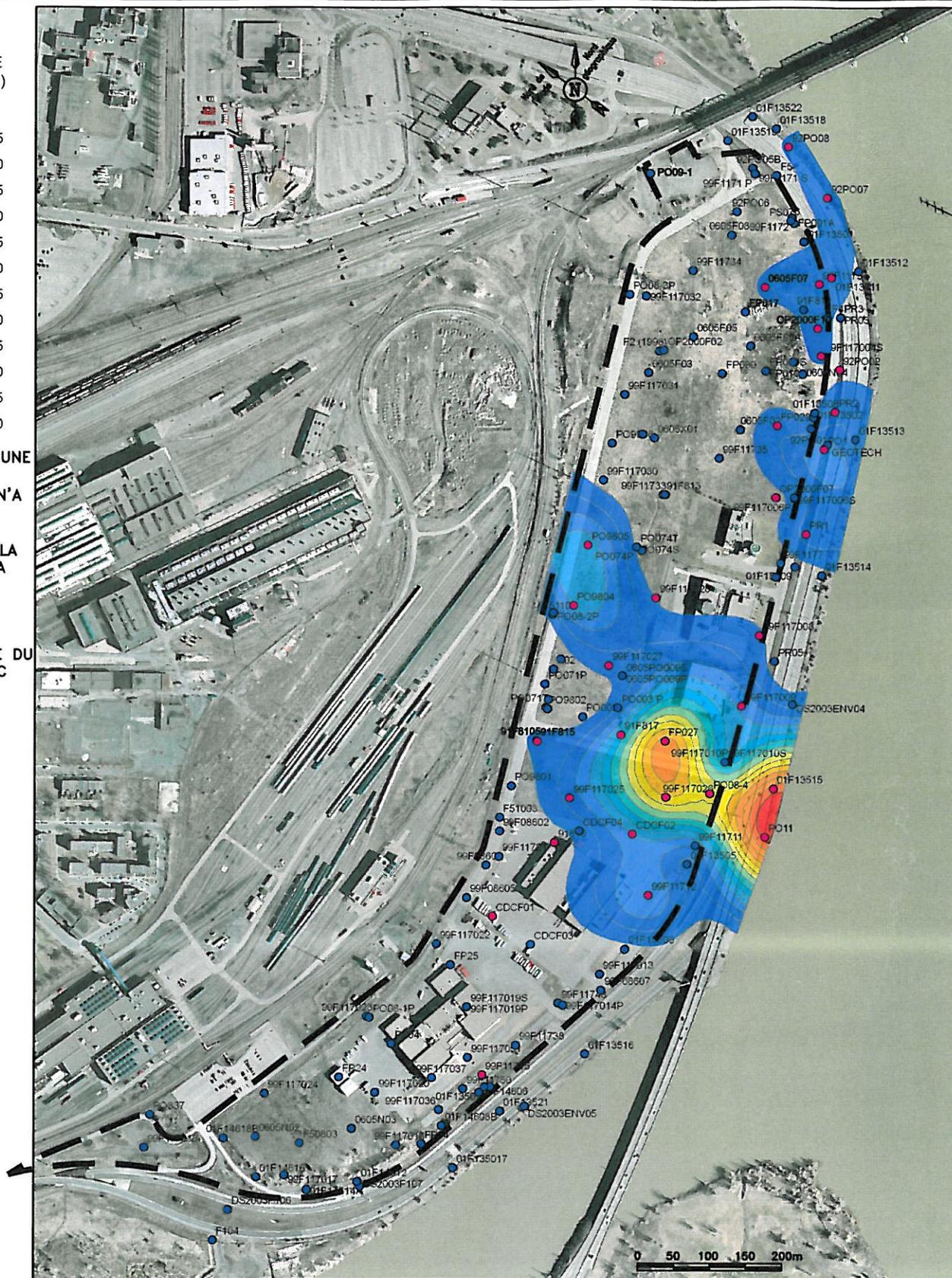
ÉPAISSEUR  
MOYENNE  
INTERPOLÉE DE  
PHASE LIBRE (m)



PUITS OÙ AUCUNE  
ÉPAISSEUR DE  
PHASE LIBRE N'A  
ÉTÉ OBSERVÉE

PUITS OÙ DE LA  
PHASE LIBRE A  
ÉTÉ OBSERVÉE

--- LIMITE  
APPROXIMATIVE DU  
SITE DU PEPS



CENTRE D'EXCELLENCE DE MONTRÉAL EN  
RÉHABILITATION DE SITES

ANALYSE, IDENTIFICATION ET RECOMMANDATION DE SOLUTIONS POUR LE CAPTAGE ET  
LE TRAITEMENT DES EAUX SOUTERRAINES ET DES PHASES FLOTTANTES  
D'HYDROCARBURES DU PARC D'ENTREPRISES DE LA POINTE-SAINT-CHARLES (PEPSC)

RÉSULTATS DE L'INTERPOLATION DES ÉPAISSEURS APPARENTES  
D'HYDROCARBURES LIBRES PAR LA MÉTHODE RADIAL BASIS  
FUNCTIONS POUR LES RELEVÉS DISPONIBLES DE 1999 À 2008

FIGURE:  
7

Date:

2009-06-16

Projeté par:

TechnoRem

Vérifié par:

Daniel Rivard, CEMRS

Echelle:

1:7000

Dans la moitié nord du site du PEPSC, les deux nappes s'étendent sur le site du PEPSC et sous l'autoroute Bonaventure. La superficie approximative de la nappe localisée immédiatement au sud du pont Victoria est d'environ 15 000 m<sup>2</sup>. La seconde a une superficie d'à peu près 30 000 m<sup>2</sup>. À la limite du PEPSC et de l'autoroute Bonaventure, les nappes s'allongent sur près de 75 à 350 m de longueur. Leur épaisseur moyenne est de 0,04 à 0,3 m.

Dans la portion centrale du site, une importante nappe de phase flottante d'environ 150 000 m<sup>2</sup> s'étend depuis la propriété du CN jusqu'au fleuve. À la limite du PEPSC et du CN, la phase flottante s'étend sur près de 200 m tandis que le long de l'autoroute Bonaventure, la nappe a une largeur d'environ 450 m. Les épaisseurs de phase flottante les plus importantes, c'est-à-dire de 0,5 à 0,7 m, sont sous la rue Fernand-Séguin et en bordure du fleuve, sous l'autoroute Bonaventure.

Dans les puits d'observation à l'extérieur des nappes de phase flottante, des épaisseurs de phase, inférieures à 0,04 m, ont été observées et mesurées localement.

Jusqu'à tout récemment, les mesures et les calculs réalisés dans le cadre des études environnementales effectuées évaluaient entre 370 000 à 7 569 000 litres le volume d'hydrocarbures en phase flottante (réf. 10) sous le PEPSC et l'autoroute Bonaventure. Cet écart important dans l'estimation des quantités résulte de l'interprétation des mesures, des méthodes de calcul et des prises de données elles-mêmes.

Les analyses sur les hydrocarbures pétroliers de la phase libre montrent que ceux-ci s'apparentent à du diesel ou à de l'huile à chauffage dégradée, présentant souvent des concentrations en BPC supérieures à 50 ppm.

#### 4.4.2 Contaminants en phase dissoute dans les eaux souterraines

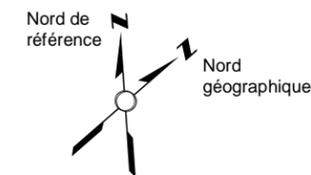
La majorité des analyses réalisées dans les eaux souterraines, entre les années 2002 et 2008, montre une distribution aléatoire des concentrations de contaminants, avec parfois de fortes concentrations ponctuelles. Les principaux paramètres problématiques que l'on retrouve en concentrations excédent les critères du MDDEP applicables aux cas de contamination des eaux souterraines. Sur le site du PEPSC, il s'agit de l'azote ammoniacal, des hydrocarbures pétroliers, des biphényles polychlorés (BPC), de certains composés d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des métaux lourds (l'arsenic, le baryum, le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb, le sélénium, le strontium, le zinc), des sulfures et des chlorures.

À partir des résultats de la distribution des concentrations en C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>, en BPC et en HAP (figures 8, 9 et 10 aux pages suivantes) dans l'eau souterraine de 2002 à 2008, il s'en dégage une certaine similarité avec la répartition des panaches. En effet, le long de la limite du CN et du PEPSC ainsi qu'en bordure du fleuve, les concentrations en

hydrocarbures pétroliers et en BPC, qui dépassent les critères du MDDEP, se trouvent au même endroit que les panaches de phases flottantes.

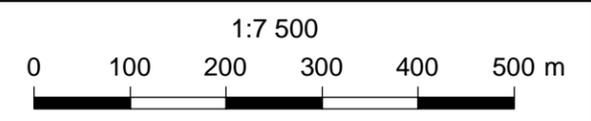
Une évaluation des concentrations en fer, des matières en suspension (MES), de la valeur du pH et de l'alcalinité sont parmi les paramètres qui ont aussi été suivis durant les essais en raison de l'impact possible sur l'efficacité des processus de traitement.

La liste des paramètres mesurés lors des essais pilotes ainsi que les critères et Règlement à respecter sont présentés à l'annexe A-1. Le choix des paramètres repose sur les contaminants identifiés comme problématiques obtenues lors des études de caractérisation de l'eau souterraine antérieures et des critères provinciaux applicables au moment des essais pilotes.



PRÉPARÉ : Mathieu Gagné, SNC-Lavalin Environnement  
 CARTOGRAPHIÉ : Mathieu Arcand, SNC-Lavalin Environnement  
 VÉRIFIÉ : Daniel Rivard, CEMRS  
 DATE : 27 avril 2009

TITRE  
 Figure 8 : Localisation des concentrations en HP C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub> dans les eaux souterraines qui excèdent les critères de résurgence dans les eaux de surfaces ou infiltration dans les égouts du MDDEP (3.5 mg/L) (2002-2008)

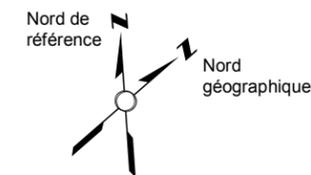


PROJET  
 Analyse, identification et recommandation de solutions pour le captage et le traitement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures du parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC).

**Sondages analysés pour les Hydrocarbures pétrolier (C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>) - 2002-2008**

- HP (C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>) qui a excédé au moins une fois le critère Résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts
- HP (C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>) détecté au moins une fois
- HP (C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>) jamais détecté
- Limite du site PEPSC

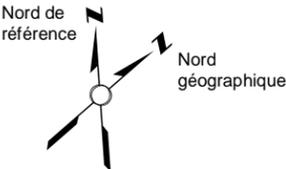




PRÉPARÉ	: Mathieu Gagné, SNC-Lavalin Environnement
CARTOGRAPHIÉ	: Mathieu Arcand, SNC-Lavalin Environnement
VÉRIFIÉ	: Daniel Rivard, CEMRS
DATE	: 27 avril 2009
TITRE	Figure 9 : Localisation des concentrations en BPC dans les eaux souterraines qui excèdent les critères de résurgence dans les eaux de surfaces ou infiltration dans les égouts du MDDEP (0,012 µg/L) (2002-2008)
1:7 500 	
PROJET	Analyse, identification et recommandation de solutions pour le captage et le traitement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures du parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC).

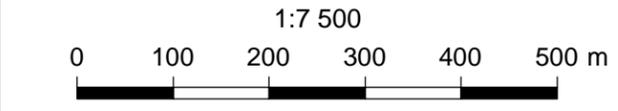


Map Document: (T:\DEPT\SITE\CONTE\Bases de données\Technoparc-PEPSC\Carto\ArcGIS\IP\proj\MXD\Rapport\200904\Fig09\_BPC.mxd) 2009-05-11 11:47:51



PRÉPARÉ : Mathieu Gagné, SNC-Lavalin Environnement  
 CARTOGRAPHIÉ : Mathieu Arcand, SNC-Lavalin Environnement  
 VÉRIFIÉ : Daniel Rivard, CEMRS  
 DATE : 27 avril 2009

TITRE  
 Figure 10 : Localisation des concentrations en HAP dans les eaux souterraines qui excèdent les critères de résurgence dans les eaux de surfaces ou infiltration dans les égouts du MDDEP (2002-2008)



PROJET  
 Analyse, identification et recommandation de solutions pour le captage et le traitement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures du parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC).

**Sondages analysés pour les HAP - 2002-2008**

- Au moins un paramètre excède le critère de Résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts
- Au moins un paramètre excède le critère Aux fins de consommation
- Aucun paramètre n'excède de critère
- Limite du site PEPSC



Map Document: (T:\DEPT\SITECONT\Bases de données\Technoparc-PEPSC\CanoArcGIS\IP\Proj\mxd\Rapport\200904\Fig 10\_HAP.mxd) 2008-05-11 - 11:48:03

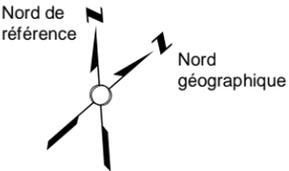
La figure 11 à la page suivante montre la distribution des métaux lourds dans l'eau souterraine au cours de la période de 2002 à 2008. Les concentrations supérieures aux critères du MDDEP se trouvent principalement le long de la limite du site du PEPSC avec l'autoroute Bonaventure et les terrains de la société PJCCI. On trouve aussi dans le secteur de la rue Fernand-Séguin et le long de la limite de la propriété avec le CN, des valeurs supérieures aux critères de consommation et de résurgence du MDDEP. L'origine de ces concentrations n'est pas précisée.

La répartition de l'azote ammoniacal de 2002 à 2008, montrée à la figure 12, nous suggère la présence de deux zones de contamination, au-delà du critère de 2,91 mg/L du MDDEP. La première zone, qui s'étend du pont Victoria jusqu'à environ 150 mètres à l'ouest de la rue Fernand-Séguin (bâtisse Mel's 2), est dominée par des concentrations en azote ammoniacal variant entre 2,91 mg/L et 50 mg/L. Immédiatement à l'est de la rue Fernand-Séguin, quelques valeurs supérieures à 50 mg/L ont été mesurées. La seconde zone s'étend vers l'ouest jusqu'aux terrains de la société PJCCI et elle présente des concentrations en azote ammoniacal généralement supérieures à 51 mg/L.

Pour comprendre l'origine des concentrations en azote ammoniacal et l'évolution de ce contaminant à travers le site, il serait utile de connaître la distribution des déchets enfouis ainsi que leur potentiel de libérer de l'azote ammoniacal.

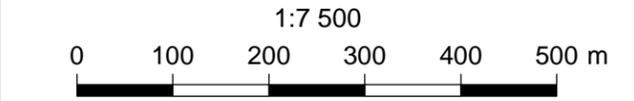
Pour la période de 2002 à 2008, les concentrations en sulfures (figure 13) supérieures aux critères du MDDEP pour les eaux souterraines ont été observées principalement dans la zone localisée entre le pont Victoria et le secteur de la rue Fernand-Séguin, le long des limites du site du PEPSC. Une seconde zone, située à proximité des terrains de la société PJCCI, présente aussi des concentrations en sulfures, supérieures aux critères du MDDEP pour les eaux souterraines. L'origine des sulfures est très variée (déchets, minéralogie locale, etc).

Pour ce qui est des chlorures (figure 14), la seule valeur qui dépasse le critère du MDDEP se localise en bordure du pont Victoria. Les chlorures sont souvent associés aux sels déglaçants.



PRÉPARÉ : Mathieu Gagné, SNC-Lavalin Environnement  
 CARTOGRAPHIÉ : Mathieu Arcand, SNC-Lavalin Environnement  
 VÉRIFIÉ : Daniel Rivard, CEMRS  
 DATE : 27 avril 2009

TITRE  
 Figure 11 : Localisation des concentrations en métaux dans les eaux souterraines qui excèdent les critères de résurgence dans les eaux de surfaces ou infiltration dans les égouts du MDDEP (2002-2008)



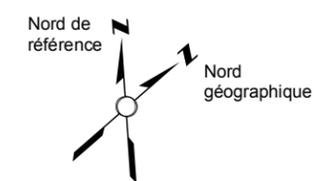
PROJET  
 Analyse, identification et recommandation de solutions pour le captage et le traitement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures du parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC).

**Sondages analysés pour les métaux - 2002-2008**

- Au moins un paramètre excède le critère de Résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts
- Au moins un paramètre excède le critère Aux fins de consommation
- Aucun paramètre n'excède de critère
- Limite du site PEPSC

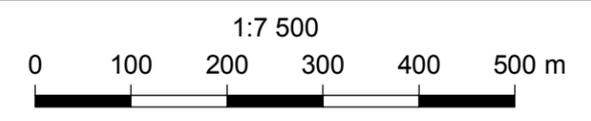


Map Document: (I:\DEPT\SITECONT\Bases de données\Technoparc-PEPSC\Carto\ArcGIS\IP\rapport\200904\Fig 12\_azote\_ammoniacal.mxd)  
2009-05-11 -- 11:50:16



PRÉPARÉ : Mathieu Gagné, SNC-Lavalin Environnement  
 CARTOGRAPHIÉ : Mathieu Arcand, SNC-Lavalin Environnement  
 VÉRIFIÉ : Daniel Rivard, CEMRS  
 DATE : 27 avril 2009

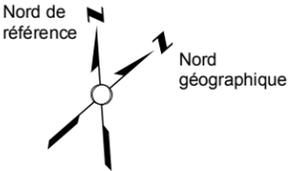
TITRE  
 Figure 12 : Localisation des concentrations en azote ammoniacal qui excèdent les critères de résurgence dans les eaux de surfaces ou d'infiltration dans les égouts du MDDEP (2,91 mg/L) (2002-2008)



PROJET  
 Analyse, identification et recommandation de solutions pour le captage et le traitement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures du parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC).

- Sondages analysés pour l'azote ammoniacal**
- > 100 mg/L
  - 51 mg/L – 100 mg/L
  - 2,91 mg/L – 50 mg/L
  - < 2,91 mg/L
  - ▭ Limite du site PEPSC





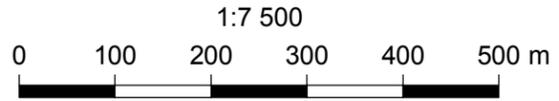
PRÉPARÉ : Mathieu Gagné, SNC-Lavalin Environnement

CARTOGRAPHIÉ : Mathieu Arcand, SNC-Lavalin Environnement

VÉRIFIÉ : Daniel Rivard, CEMRS

DATE : 27 avril 2009

TITRE  
 Figure 13 : Localisation des concentrations en sulfures qui excèdent les critères de résurgence dans les eaux de surface ou d'infiltration dans les égouts du MDDEP (0,2 mg/L) (2002-2008)



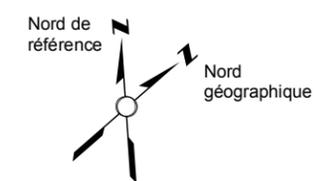
PROJET  
 Analyse, identification et recommandation de solutions pour le captage et le traitement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures du parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC).



**Sondages analysés pour les sulfures - 2002-2008**

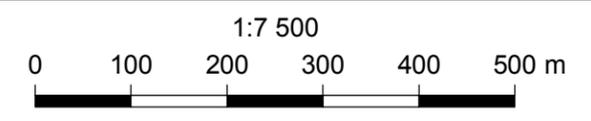
- Sulfures qui ont excédé au moins une fois le critère Résurgence dans les eaux de surface ou d'infiltration dans les égouts
- Sulfures détectés au moins une fois
- Sulfures jamais détectés
- Limite du site PEPSC





PRÉPARÉ : Mathieu Gagné, SNC-Lavalin Environnement  
 CARTOGRAPHIÉ : Mathieu Arcand, SNC-Lavalin Environnement  
 VÉRIFIÉ : Daniel Rivard, CEMRS  
 DATE : 27 avril 2009

TITRE  
 Figure 14 : Localisation des concentrations en chlorures qui excèdent les critères de résurgence dans les eaux de surfaces ou d'infiltration dans les égouts du MDDEP (860 mg/L) (2002-2008)



PROJET  
 Analyse, identification et recommandation de solutions pour le captage et le traitement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures du parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC).

**Sondages analysés pour les chlorures - 2002-2008**

- Chlorures qui ont excédés au moins une fois le critère Résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts
- Chlorures qui ont excédés au moins une fois le critère Aux fins de consommation
- Chlorures qui ne dépassent aucun critère
- ▭ Limite du site PEPSC



Une étude de toxicité des eaux souterraines a été réalisée en 2006-07 par Stantec Consulting Ltd (réf. 11). Précisons que la toxicité de l'eau est causée par la présence de substances qui viennent interférer avec les fonctions métaboliques et reproductrices normales des organismes et microorganismes vivants.

L'étude de Stantec a permis d'identifier l'azote ammoniacal comme l'une des causes les plus probables de la toxicité des eaux souterraines. Les concentrations en azote ammoniacal semblent être généralement plus dans le secteur ouest du site du PEPSC. La concentration moyenne sur l'ensemble du site, calculée à partir de 108 résultats d'analyses chimiques, est de 35,7 mg/L.

À noter que le critère de qualité de l'eau de surface du MDDEP varie selon le pH et la température. Les valeurs les plus récentes de la qualité de l'eau du fleuve, tirées de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) du MDDEP, datent de la période 1990 -1994. Pour cette période, la valeur médiane des relevés prélevés dans le premier mètre des eaux du fleuve, à la Station #84 du MDDEP et près du pont Champlain, en périodes estivales (juillet à octobre), indique qu'à ce moment, l'eau du fleuve avait un pH de 8,3 et une température de 20°C.

Sur la base de ces paramètres, le critère de toxicité aiguë pour la protection de la vie aquatique calculé pour l'azote ammoniacal total est de 2,91 mg/L. Mentionnons que l'étude de Stantec a aussi émis l'hypothèse que le bioxyde de carbone, les métaux dissous et le strontium pourraient également causer la toxicité de l'eau du PEPSC.

#### 4.5. Interventions de gestion environnementale réalisées à ce jour

Selon les informations obtenues de la Ville de Montréal, dès 1991, la Ville participe à la récupération, au moyen de matériaux absorbants et d'estacades, des hydrocarbures qui atteignent le fleuve vis-à-vis des principaux points de résurgence.

En 1996, le CN a installé un système de bioaspiration afin d'intercepter les phases flottantes d'hydrocarbures à la limite sud de sa propriété, le long de la ligne ferroviaire Butler qui longe la limite nord du PEPSC. Peu d'informations sur ce système sont accessibles, les données étant traitées comme confidentielles par le donneur d'ouvrage.

En 2005, la Ville de Montréal a construit un mur imperméable souterrain (non ancré au roc) d'environ 175 mètres de longueur en bordure du fleuve Saint-Laurent, près du pont Victoria. Ce mur sert à intercepter les phases flottantes d'hydrocarbures avant qu'elles ne fassent résurgence au fleuve, soit tout juste en amont des principales résurgences observées depuis 1988. C'est autour de septembre 2007 que les hydrocarbures ont commencé à s'accumuler en amont du mur de façon significative et selon les représentants de la Ville de Montréal, près de 180 litres d'hydrocarbures ont été récupérés au 31 décembre 2008.

Sur le site du PEPSC, on ne retrouve en ce moment aucune installation de traitement des hydrocarbures récupérés. Ils sont donc stockés dans des barils et éliminés hors site, conformément aux dispositions de la loi.

## 5. ESSAIS PILOTES ET ESSAI DE FAISABILITÉ

Tel qu'indiqué aux Sections 3.2.4 et 3.2.5 du présent document, le CEMRS a mandaté des firmes d'experts en environnement pour implanter sur le terrain du PEPSC des trains technologiques de traitement de la contamination en phase dissoute en vue de valider leur efficacité. Un essai de faisabilité du traitement par ozonation des eaux souterraines a par ailleurs été ajouté au programme de travail. Les essais pilotes ont été réalisés sur le site du PEPSC alors que l'essai de faisabilité a été réalisé à l'extérieur du site, en laboratoire. Les firmes retenues et les technologies mises à l'essai sont les suivantes :

- Golder Associés Ltée : Processus biologique *eMaMoc*;
- Golder Associés Ltée : Processus biologique *Multi - Points*;
- Sanexen Services Environnementaux inc. : Processus *Biologique – Filtration*;
- Géophase inc. (filiale de Dessau inc.) : *Zone Réactive in situ*;
- GENIVAR S.E.C. : Procédé de traitement par ozonation.

Ces essais visaient à vérifier (sauf pour GENIVAR) sur le terrain certaines incertitudes liées au traitement de la phase dissoute et à l'élimination de la toxicité des eaux souterraines qui ont été soulevées lors de l'évaluation des propositions.

En plus de valider l'efficacité des trains technologiques, les essais ont aussi permis d'obtenir des données opérationnelles, de fournir un aperçu de la souplesse des systèmes à réagir à des changements de régime ou de charge et d'estimer les coûts d'implantation et d'opération d'une solution à pleine échelle.

Cette section présente une description de chaque processus, les résultats du traitement des paramètres problématiques identifiés précédemment et une discussion générale sur la capacité des trains technologiques à atteindre les objectifs visés.

L'ensemble des résultats analytiques obtenus par les firmes est présenté dans le rapport « Suivi des activités des essais » (réf. 17) réalisé par le CEMRS. Également, nous présentons dans ce document la synthèse analytique de l'efficacité des trains technologiques des essais pilotes ainsi qu'une schématisation du débit des opérations en cours d'essai. Ce tableau permet de comparer les résultats analytiques de l'eau brute et de l'eau traitée pour chacun des paramètres problématiques en fonction du débit d'opération. Les résultats analytiques ont tous été comparés au Règlement 2001-9 de la CMM, à la Grille des critères applicables aux cas de contamination des eaux souterraines du MDDEP (Québec) et aux recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique (CCME).

### 5.1. Essais pilotes sur le terrain

Les quatre processus de traitement qui ont été mis à l'essai sur le site du PEPSC, pendant une période totalisant douze (12) à treize (13) semaines, à l'automne 2008, sont :

- Processus biologique *EMaMoc* - Train de technologies composé de bioréacteurs (par Golder Associés Ltée.);
- Processus biologique Multi - Points - Train de technologies composé de bioréacteurs, d'un module d'adsorption et d'un procédé optionnel de traitement physico-chimique (par Golder Associés Ltée.);
- Processus biologique et de filtration - Train de technologies composé d'un bioréacteur et de modules de traitement par filtration, par ultrasorption<sup>MD</sup>, par adsorption et par échange ionique (par Sanexen Services Environnementaux inc.);
- Technologie de traitement à travers une Zone Réactive *in situ* (par Géophase inc., une filiale de Dessau).

En fonction de la qualité des eaux brutes, les principaux paramètres problématiques<sup>3</sup> sont :

- L'azote ammoniacal;
- Les hydrocarbures pétroliers C<sub>10</sub> - C<sub>50</sub>, les HAP et les BPC;
- Les métaux lourds;
- Le fer et les matières en suspension (MES);
- Les chlorures et les sulfures, et
- La toxicité.

Pour ce qui est de l'azote ammoniacal, le procédé que tous les proposant ont utilisé est un procédé de traitement biologique par nitrification/dénitrification. La nitrification (en condition aérobie) permet de transformer l'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) en nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) puis en nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et la dénitrification (en condition anaérobie) permet de transformer les nitrates en azote gazeux inerte.

---

<sup>3</sup> Les résultats analytiques obtenus au cours des essais montrent que les eaux brutes contenaient des concentrations plus faibles en chlorures, en sulfures et en BPC que pour le reste du site.

### 5.1.1 Processus biologique *eMaMoc*

Le bioréacteur de type *eMaMoc* (Couplage aérobie-anaérobie méthanogène-méthanotrophe bioélectrolytique) a été développé et breveté<sup>4</sup> (1997 et 2005) par le Conseil national de la recherche du Canada (CNRC). La firme Golder Associés Ltée (Golder) possède une licence exclusive pour l'utilisation de cette technologie. Des essais de traitabilité des eaux du PEPSC à l'aide de ce processus de traitement avaient été réalisés par la même firme en 2006 (réf. 3).

Le processus *eMaMoc* réalise, dans un même bioréacteur, la nitrification et la dénitrification de l'azote ammoniacal sans autre apport d'amendement que de l'oxygène et de l'hydrogène. Le carbone présent dans l'eau (hydrocarbure dissous) est utilisé par les différents consortiums bactériens.

Son originalité est de pouvoir maintenir dans un substrat de mousse de sphaigne des conditions qui permettent la cohabitation d'espèces de microorganismes aérobie et anaérobie. Ce processus, développé pour dégrader des organochlorés, peut également s'attaquer aux hydrocarbures.

Lors de l'essai pilote, le processus de traitement comprenait six (6) bioréacteurs de 1 000 litres, placés en série, et dont chacun contenait un substrat de copeaux de bois et de mousse de sphaigne. Un réservoir de recirculation de 3 000 litres ainsi qu'un système d'alimentation en oxygène et en hydrogène étaient placés après le dernier bioréacteur. Le système avait la possibilité d'être alimenté en eau souterraine à partir des puits d'observation PO-08-5 et 99F117-30, sélectionnés par le CEMRS.

L'essai pilote a été réalisé entre le 29 septembre et le 23 décembre 2008. Plusieurs ajustements ont été effectués durant les essais afin de permettre à ce train technologique de répondre aux objectifs de traitement et pour valider son efficacité. Le schéma et les photos du montage lors des essais pilotes sont présentés à l'annexe G-1.

Les faits saillants qui ont marqué la réalisation de l'essai pilote *eMaMoc* sont les suivants :

- La mise en place des équipements a eu lieu du 9 septembre au 14 octobre 2008, suivie d'une période de rodage et de l'acclimatation des bioréacteurs, du 15 octobre au 13 novembre 2008;
- Le proposant a été audité par le CEMRS le 17 octobre 2008;

---

<sup>4</sup> • Anaerobic and aerobic integrated system for biotreatment of toxic wastes (canoxis) : US Pat. 5,599,451, Feb. 4, 1997; et

• Bioelectrolytical methanogenic/methanotrophic coupling for bioremediation of ground water (*eMaMoc*) : PCT International Publication No. WO 2005/115930 A1, 8 December 2005.

- Aucune permutation de puits n'a été effectuée telle que requise par les Lignes directrices du CEMRS;
- Le débit de traitement a varié entre 0,5 et 6,5 litres/min pour un volume total d'eau traitée d'environ 260 000 litres. Du 20 octobre au 6 novembre 2008, le débit était supérieur à 5 L/m. Du 7 novembre au 23 décembre 2008, le débit moyen était inférieur à 5 L/m ceci dans le but d'optimiser l'acclimatation de la population bactérienne afin d'optimiser l'efficacité de la biodégradation. Les résultats les plus probants ont été obtenus durant les 2 dernières semaines de traitement à un débit de 2,5 L/m;
- La température de l'eau à l'entrée du système a varié de 1,3 °C à 12,94 °C avec une moyenne de 10 °C. Ceci s'explique par le refroidissement de la température extérieure et par le fait que les conduites d'amenée d'eau n'étaient pas isolées ni munies de fils chauffants;
- Le 30 octobre 2008, un chauffe-eau a été installé de manière à réguler la température de l'eau entrant dans le système de traitement. Cette mesure visait à ne pas limiter l'efficacité du système de traitement par une diminution de la température de l'eau. Au début de la période de traitement, lorsque le chauffe-eau n'était pas en fonction, l'eau à la sortie du procédé atteignait près de 15 °C, ce qui confirme l'exothermie de la réaction biologique de la technologie. Suite à l'ajout du chauffe-eau, la température à la sortie du procédé a été maintenue en moyenne à près de 19 °C.

Il est à noter que dans une installation à pleine échelle, la tuyauterie sera probablement enfouie ou isolée. Les réactions étant exothermiques, le proposant pense que la température de l'eau sera alors suffisamment stable et tempérée pour se passer de chauffage d'appoint même en hiver.

- Le 30 octobre, afin de favoriser davantage le développement d'une biomasse nitrifiante dans les réacteurs, 20 litres de boues d'usine d'épuration ont été ajoutés dans chaque réacteur. De plus, la même journée, 4 kg de phosphate de roche ont été ajoutés dans l'ensemble des réacteurs. Le manque de phosphore était un autre facteur pouvant expliquer le développement plus lent de certaines communautés bactériennes.

Certaines difficultés ont été rencontrées lors du pompage des eaux souterraines dans les puits d'observation.

- Le 19 novembre 2008, les conduites au sommet des puits ont été bloquées par le gel. Des boîtes d'isolation ont dû être installées à chacun des puits d'extraction;
- La capacité de pompage a été considérablement réduite compte tenu des dépôts de fer dans les crépines des puits et dans les pompes;
- Durant la période du 25 novembre 2008 au 2 décembre 2008, environ 50 à 200 L de phases flottantes d'hydrocarbures ont été pompés accidentellement et transférés dans les bioréacteurs, réduisant l'efficacité du traitement du système,

avec comme conséquence que le premier bioréacteur a été colmaté et qu'il a été exclu par la suite de la chaîne de traitement.

- Le 1er décembre 2008, les employés du proposant ont décelé qu'une conduite enfouie, qui servait à alimenter en eau brute le système avait été perforée. L'eau qui présentait de forts indices de contamination en hydrocarbures s'est écoulée dans les sols;
- Le 14 décembre, l'ajout de 10 g de phosphate de potassium a été effectué dans chaque bioréacteur. L'ajout de nutriments additionnels a été justifié par l'introduction d'une charge organique importante dans le système de traitement (huile), ce qui a favorisé la consommation des amendements (oxygène et nutriments) principalement par les bactéries hétérotrophes;
- Entre le 15 et le 22 décembre, du phosphate de potassium a été ajouté dans chaque réservoir incluant le bassin de recirculation de façon à obtenir et maintenir une concentration de 10 mg/L et un suivi des concentrations en phosphore a été effectué.

C'est seulement lors des deux (2) dernières semaines de traitement (10 au 23 décembre 2008) que le procédé *eMaMoc* a opéré en conditions optimales.

- Les essais se sont terminés le 23 décembre 2008;
- Le rapport préliminaire des essais a été déposé le 21 janvier 2009;
- Les travaux de démobilitation des équipements sur le site ont été réalisés entre février et la fin avril 2009;
- La gestion des sols contaminés liés au bris de la conduite d'alimentation a été réalisée sous la responsabilité de Golder avec la supervision du CEMRS. Les sols contaminés ont été excavés (29 avril 2009) et éliminés conformément aux règlements en vigueur.

#### 5.1.1.1 Résultats :

L'ensemble des résultats analytiques de Golder est fourni par le CEMRS (réf. 17). Le prélèvement des échantillons d'eaux brutes (L1) et traitées (L8) demandés dans le cadre du plan d'assurance et contrôle de la qualité du CEMRS, ont été effectués au cours des périodes suivantes : 1<sup>ère</sup> série, les 16 et 17 novembre 2008; 2<sup>e</sup> série, les 4 et 5 décembre 2008; 3<sup>e</sup> série, les 10 et 12 décembre 2008; 4<sup>e</sup> série, les 16 et 17 décembre 2008 et 5<sup>e</sup> série, les 19 et 20 décembre 2008.

Azote ammoniacal :

- ✓ Lors de la dernière semaine d'essai (du 15 au 23 décembre 2008), soit la période où l'efficacité de traitement a été la meilleure, le processus a permis de réduire la concentration de l'azote ammoniacal de 25 mg/L à 0,38 mg/L

lors de la quatrième série d'analyse et de 28 mg/L à 0,15 mg/L lors de cinquième série d'analyse, et ce, à un débit moyen de traitement de 2,5 L/min, soit moins de 5 L/m tel que dicté dans les Lignes directrices du CEMRS.

- ✓ L'introduction de phases flottantes d'hydrocarbures dans le bioréacteur, le 25 novembre 2008, a réduit l'efficacité du traitement de l'azote ammoniacal. En effet, lors des trois premières séries d'analyse, le taux de réduction était d'environ 45 % d'efficacité alors qu'il a été à près de 98 % lors des deux séries d'analyses suivantes.
- ✓ Lors des trois premières séries d'analyse, la concentration en nitrate dans les eaux brutes et traitées était sous la limite de détection (0,2 mg/L). Toutefois, lors des deux dernières séries d'analyses, la concentration en nitrate est passée de non détecté (< 0,2 mg/L) dans les eaux brutes à 1,3 mg/L (4<sup>e</sup> série) et 5,9 mg/L (5<sup>e</sup> série) dans les eaux traitées. Ces résultats laissent croire à une baisse d'efficacité du processus de dénitrification (transformation du nitrate en azote gazeux) dans le bioréacteur.

#### Toxicité :

- ✓ Lors des trois premières séries d'analyses, le train de traitement n'a pas réussi à réduire la toxicité aiguë pour la truite arc-en-ciel sous le critère du MDDEP (1 UTa). En effet, elle est passée de 13,3 à 2,8 UTa lors de la 1<sup>ère</sup> série, de 5,0 à 1,6 UTa lors de la 2<sup>e</sup> série et de 2,5 à 1,4 UTa lors de la 3<sup>e</sup> série. Cependant, pendant les 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries d'analyse, cette toxicité est passée respectivement de 3,0 et 2,6 UTa avant traitement à moins de 1 UTa après traitement.

#### Hydrocarbures pétroliers, HAP, BPC :

- ✓ Le système a été saturé par des concentrations importantes d'hydrocarbures pétroliers C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub> avec des pointes variant entre 25 000 µg/l et 81 000 µg/L. Ces concentrations résultent du pompage de phases flottantes d'hydrocarbures, ce qui n'était pas prévu. Les concentrations après traitement sont demeurées sous ou près des limites de détection, soit 300 µg/L.
- ✓ Les concentrations en HAP dans l'eau brute étaient supérieures aux critères du MDDEP lors de la première série d'analyse et du CCME lors des cinq séries d'analyse. Sauf pour l'anthracène (2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> séries d'analyses) et le pyrène (3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries d'analyses), les paramètres des HAP mesurés ont été ramenés sous les limites de détection à la sortie du processus de traitement.

- ✓ La réduction de la concentration en hydrocarbures à la sortie du processus est attribuable à la dégradation biologique et à l'adsorption.
- ✓ Une analyse effectuée sur les BPC totaux lors de la 4<sup>e</sup> série d'analyse a indiqué que la concentration de départ de 0,021 mg/L a été réduite sous la limite de détection (< 0,012 mg/L).

#### Métaux :

- ✓ Même si les concentrations dans l'eau brute étaient relativement faibles, elles excédaient les critères, recommandations ou normes visés :
  - Supérieur aux critères du MDDEP : cuivre (1<sup>ère</sup> série), baryum (2<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries);
  - Supérieur aux recommandations du CCME : argent (2<sup>e</sup> série), cuivre (les 5 séries), plomb (1<sup>ère</sup> série), zinc (1<sup>ère</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries);
  - Supérieur aux normes du Règlement 2001-9 : baryum (2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries);
  - Suite au traitement, tous les métaux ont subi à divers degrés une diminution de leur concentration lors du traitement. Cependant, les concentrations en cuivre (2<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries), en zinc (2<sup>e</sup> série) et en sélénium (3<sup>e</sup> série) ne respectaient toujours pas les recommandations du CCME, et le baryum (1<sup>ère</sup> série) excédait la norme du Règlement 2001-9 de la CMM.

Noter que la concentration du cuivre a augmenté de façon notable lors de la 2<sup>e</sup> série d'analyses, soit de 6 µg/L à 14 µg/L. Selon Golder, cette augmentation serait causée par une mobilisation du cuivre emmagasiné dans le système.

- ✓ Le fer n'a pas été analysé par Golder bien que ce paramètre était demandé dans le plan d'assurance et contrôle de la qualité du CEMRS (annexe D-2).

#### Matières en suspension (MES) :

- ✓ La réduction de la concentration des matières en suspension a été très élevée. En effet, la valeur moyenne des quatre (4) dernières séries d'analyse dans les eaux brutes a été de 49 mg/L et de moins de 1 mg/L dans les eaux traitées, soit en dessous de la limite de détection.

### 5.1.1.2 Gestion des résidus :

- ✓ Selon les analyses effectuées sur la matrice des bioréacteurs, celle-ci est considérée comme un déchet solide pouvant être acheminé dans un centre de compostage;

### 5.1.1.3 Discussion

Les principaux constats découlant de l'évaluation du processus biologique *eMaMoc* sont les suivants :

- ✓ L'évaluation de l'efficacité reste partielle étant donné que le débit de traitement est passé de 6 L/min, au début de l'essai, à 2.5 L/min à la fin des essais, en décembre. Ceci traduit l'incapacité du traitement de réduire efficacement les concentrations d'azote ammoniacal sous les critères du MDDEP lorsque le débit de traitement est supérieur ou égal à 5L/m.
- ✓ Le train de technologie proposé par Golder est relativement simple d'opération.
- ✓ Le CEMRS soulève une inquiétude concernant le colmatage à moyen ou à long terme des bioréacteurs. Pour remédier à cette situation, Golder propose d'utiliser un réacteur de pré-traitement pour capter les MES et le fer.
- ✓ Notons que les microorganismes qui agissent dans les processus biologiques exigent une période d'acclimatation de quelques semaines et des conditions d'opération qui doivent être contrôlées et maintenues pour ne pas les détruire.
- ✓ Il importe de maintenir les conditions de l'eau à traiter dans la fourchette de valeurs sécuritaires pour maintenir le métabolisme des colonies qui font le traitement. Dans le cas de l'incident avec le procédé *eMaMoc*, c'est un apport considérable d'huiles qui a annihilé le milieu biologique. À pleine échelle, une étape d'extraction des huiles est prévue pour éviter de remplir une telle condition.
- ✓ Les conditions de température ont été contrôlées durant l'essai par l'installation d'un chauffe-eau, qui a été rapidement mis en opération au début de l'essai, ceci dans le but d'optimiser le traitement biologique, même en période froide.

- ✓ Les équipements doivent être isolés pour permettre de fonctionner en période froide.
- ✓ Une incertitude demeure concernant la capacité des bioréacteurs à dénitrifier les nitrates afin de les transformer en azote gazeux. Selon le CEMRS, des essais de plus longue durée permettraient de mieux évaluer ce phénomène.

Selon les objectifs de départ qui ont été fixés par le CEMRS et acceptés par Golder lors de la signature du protocole d'entente, au sens strict, la technologie *eMaMoc* n'a pas réussi à répondre aux objectifs, ce qui démontre de la complexité de la problématique.

Malgré tout, de l'avis du CEMRS, la performance des bioréacteurs de type *eMaMoc* serait accrue si un prétraitement pour les métaux accompagné d'une récupération efficace des phases flottantes d'hydrocarbures était mis en place. Ce processus de traitement présenterait alors un potentiel certain pour permettre la réduction de la contamination en phase dissoute dans l'eau souterraine en deçà des critères et recommandations en vigueur et pour éliminer la toxicité des eaux brutes du PEPSC. Il serait requis de vérifier si cette efficacité serait constante à un débit supérieur à 5 L/min.

#### 5.1.2 Processus biologique *Multi - Points*

Le train de traitements *Multi - Points* a été mis à l'essai par la firme Golder. Le procédé de la technologie *Multi - Points* est breveté. Golder possède une licence officielle pour l'utilisation de cette technologie en Amérique du Nord. Selon Golder, ce procédé a été éprouvé pour l'enlèvement de l'azote ammoniacal dans des eaux usées industrielles, des lixiviats, des rejets agricoles et des eaux usées domestiques.

Ce train de technologie consiste à traiter l'eau pompée, sans phases flottantes d'hydrocarbures, par un procédé type séquentiel biologique – physicochimique. Il débute par l'enlèvement de l'azote ammoniacal par traitement biologique. Il est appliqué en deux étapes : une étape aérobie convertissant l'azote ammoniacal en nitrates suivi d'une étape anaérobie qui réduit les nitrates en azote gazeux. De plus, afin d'assurer un enlèvement optimal des HAP et autres composés organiques, un polissage au charbon activé est prévu suite au traitement biologique. Cette étape permet également l'enlèvement d'une partie de la contamination résiduelle en métaux. Une étape optionnelle de traitement est par la suite appliquée, soit la réduction de l'alcalinité qui pourrait être déterminante dans l'enlèvement de la toxicité. Cette dernière consiste à baisser le pH (par ajout d'acide) pour ensuite dégazer le CO<sub>2</sub> (par barbotage d'air) puis réajuster le pH aux conditions de neutralité avant rejet.

La stratégie choisie pour réaliser l'essai pilote consistait en une série de quatre bioréacteurs de 1000 litres chacun, dont les trois premiers sont adaptés pour le traitement aérobie (nitrification de l'azote ammoniacal) et le quatrième, pour le

traitement anaérobie (dénitrification des nitrates). Chaque réacteur a été rempli avec une matrice constituée de « biorings » et d'éponges synthétiques, lesquelles ont été inoculées à l'aide de boues activées aérobies (dans les trois premiers) et de boues activées anaérobies (dans le quatrième). Un bassin de transfert a été utilisé à la fin du traitement biologique afin de stabiliser les fluctuations du débit et de la qualité de l'eau. L'eau du bassin était ensuite pompée vers les filtres à sac et au charbon activé avant d'être acheminée vers le système de traitement d'alcalinité. Le système avait la possibilité d'être alimenté en eaux souterraines à partir des puits d'observation 99IF117-29 et 99IF117-28 qui avaient été sélectionnés par le CEMRS.

L'essai pilote a été réalisé entre le 1er novembre et le 23 décembre 2008. Plusieurs ajustements ont été effectués durant les essais afin de permettre à ce train technologique de répondre aux objectifs de traitement, mais aussi de valider son efficacité. Le schéma et des photos du montage lors des essais pilotes sont présentés à l'annexe G-2.

Les faits saillants qui ont marqué la réalisation de l'essai pilote *eMaMoc* sont les suivants :

- La mise en place des équipements a eu lieu du 29 septembre au 31 octobre 2008, suivi d'une période de rodage et de l'acclimatation des bioréacteurs, du 15 octobre au 4 novembre 2008. Un délai dans l'approvisionnement des équipements provenant des États-Unis (Denver, Co.), a créé un retard de plusieurs semaines;
- Le débit de traitement moyen était de 1,3 litre/min pour un volume total d'eau traitée d'environ 38 400 litres;
- Aucune permutation de puits n'a été effectuée telle que requise par les Lignes directrices du CEMRS, toutefois le 28 novembre, l'alimentation du système se faisait à partir du puits 98PO-5 du processus *eMaMoc*.

Des mesures de terrain indiquent que la concentration en azote ammoniacal est trop faible pour pouvoir approvisionner le système et favoriser la croissance d'une communauté bactérienne nitrifiante et dénitrifiante. Golder a jugé opportun d'utiliser une source artificielle d'azote, du fertilisant (30-30-10), afin de maintenir des concentrations adéquates d'ammoniaque et de nitrate. L'avantage d'utiliser ce fertilisant est qu'il contient aussi du phosphore.

- Le 5 novembre, a débuté l'injection de méthanol dans le réacteur 4, ce qui a permis de fournir une source de carbone aux bactéries dénitrifiantes;
- Les unités de traitement de l'alcalinité (dernière phase de traitement) ont été fonctionnelles à partir du 11 novembre 2008;
- Le 12 novembre, un bassin muni d'un élément chauffant est installé à l'entrée du système afin d'avoir une température d'opération optimale;

- Le 12 novembre, les filtres au charbon étant colmatés, l'équipe du proposant décide d'utiliser des filtres à sac de 1 micron au lieu de 20 microns afin de protéger les filtres au charbon activé et d'éviter de futurs colmatages;
- Le proposant a été audité par le CEMRS le 6 novembre 2008.

Vers la fin du mois de novembre, des problèmes d'alimentation du système en eaux brutes affectant les pompes et le compresseur d'air et causés par le gel ont été rencontrés. Les temps de résidence ont augmenté dans les bioréacteurs avec comme conséquence que les concentrations d'azote ammoniacal ont diminué en dessous de la concentration minimale acceptable pour maintenir la biomasse nitrifiante et dénitrifiante. Face à cette situation, du fertilisant a été ajouté dans chaque bioréacteur afin d'élever le niveau d'azote disponible.

- Le 28 novembre, le système est connecté au puits 98PO-5 afin de remplacer les deux autres puits qui présentaient des concentrations en  $\text{NH}_3$  relativement faibles (99F117-29 et 99F117-28);
- Le 1er décembre, de la phase flottante est observable dans le bassin de chauffage. Ceci est expliqué par le fait que le système commence à être alimenté par le puits PO-98-5. Quelques opérations d'écumage et l'utilisation de papiers absorbants ont permis de nettoyer le bassin.
- Le 1er décembre, l'injection de fertilisant est arrêtée;
- Le 5 décembre débute l'injection d'une solution de phosphore dans le premier réacteur;
- Le 5 décembre, la pompe du puits PO-98-5 s'arrête de nouveau probablement en raison du bas niveau de l'eau dans le puits;
- Le lundi 8 décembre, le système est connecté au puits 99IF117-30 et il fonctionnera ainsi jusqu'au 23 décembre;
- Les essais se sont terminés le 23 décembre 2008;
- Le rapport préliminaire des essais a été déposé le 21 janvier 2009;
- Les travaux de démobilitation des équipements sur le site ont été réalisés entre février et la fin avril 2009.

#### 5.1.2.1 Résultats

L'ensemble des résultats analytiques obtenus par Golder est fourni par le CEMRS (17). Le prélèvement des échantillons d'eau brute (SP1) et d'eau traitée (SP10) tel que demandé dans le cadre du plan d'assurance et contrôle de la qualité du CEMR, a été effectué au cours des périodes suivantes : 1<sup>ère</sup> série, les 19 et 21 novembre 2008; 2<sup>e</sup> série, les 10 et 12 décembre 2008; 3<sup>e</sup> série, les 16 et 18 décembre 2008; 4<sup>e</sup> série, les 18 et 20 décembre; 5<sup>e</sup> série, les 20 et 22 décembre 2008.

#### Azote ammoniacal :

- ✓ L'unité pilote a été opérée avec une capacité moyenne de 54 mg de  $\text{NH}_4^+$ /jour/L avec une concentration moyenne d'azote ammoniacal à l'affluent de 24 mg/L et un débit de traitement de 1,3 L/min.
- ✓ Après quelques ajustements apportés au processus, les résultats analytiques de l'eau brute et de l'eau traitée lors des 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries d'analyse ont montré que la concentration moyenne de l'azote ammoniacal a diminué de 24 mg/L à 0,04 mg/L, soit sous le critère du MDDEP.
- ✓ La diminution des concentrations d'azote ammoniacal correspond à l'augmentation des concentrations de nitrates, suggérant que la nitrification a eu lieu, mais non la dénitrification. Par conséquent, des nitrates non traités ont été relargués dans les eaux de rejet.
- ✓ Aucun bilan de masse pour la transformation de l'azote ammoniacal n'a été présenté par Golder.

#### Toxicité :

- ✓ Les essais indiquent que la toxicité aiguë moyenne pour la truite arc-en-ciel a diminué de 2,1 Uta à <1 Uta, entre l'affluent et l'effluent.
- ✓ En consultant les résultats analytiques détaillés (réf. 17) on constate que l'efficacité pour réduire la toxicité chronique n'a pas été démontrée lors des essais sur les algues (*Pseudokirchneriella*) et sur le cladocère (*Ceriodaphnia dubia*). Toutefois, les valeurs restent sous les critères du MDDEP. Selon Golder, aucune corrélation entre ces derniers résultats et la qualité de l'eau mesurée lors de ces échantillonnages ne permet d'expliquer ces anomalies.

#### Hydrocarbures pétroliers, HAP, BPC :

- ✓ À la lumière des résultats des cinq séries d'analyses, le système a permis de traiter les concentrations en hydrocarbures pétroliers  $\text{C}_{10} - \text{C}_{50}$ , qui variaient de 140 mg/L à 700 mg/L dans les eaux brutes à un niveau inférieur aux limites de détection (< 100 mg/L).
- ✓ Lors des 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries d'analyses, les concentrations en HAP étaient généralement sous les critères du MDDEP pour les eaux brutes. À la sortie du système de traitement, la majorité des composés des HAP ont été réduits sous les limites de détection.

- ✓ Lors d'une série d'analyse supplémentaire effectuée le 15 décembre 2008, la concentration des BCP totaux est passée de 0,015 mg/L (au-dessus du critère MDDEP) à sous la limite de détection de 0,012 mg/L.

#### Métaux :

- ✓ Les concentrations de départ étaient relativement faibles. Toutefois, les concentrations des paramètres suivants excédaient les critères, les recommandations ou normes visées :
  - Supérieur ou égale aux critères du MDDEP : baryum (2<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries);
  - Supérieur aux recommandations du CCME : argent (2<sup>e</sup> série), cuivre (les 5 séries), plomb (1<sup>ère</sup> série), zinc (1<sup>ère</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, et 5<sup>e</sup> séries);
  - Supérieur aux normes du Règlement 2001-9 de la CMM : baryum (2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries).

Les résultats à la sortie du système de traitement montraient certaines anomalies. En effet une augmentation des concentrations en cuivre (1<sup>re</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries), en plomb (1<sup>ère</sup> série), en sodium (2<sup>e</sup> série) et en sélénium (2<sup>e</sup> série) a été mesurée. Selon Golder, l'augmentation de la concentration en cuivre pourrait s'expliquer par la présence d'une source externe de cuivre. Les pièces métalliques faites de cuivre dans le système comme le compteur d'eau, par exemple, peuvent avoir été oxydées au cours des opérations libérant des ions de cuivre dans l'eau. La faible augmentation des concentrations de sodium est due à l'addition d'hydroxyde de sodium pour permettre de neutraliser le pH. Aucune explication n'est donnée pour l'augmentation des concentrations de plomb et de sélénium.

- ✓ Le fer n'a pas été analysé par Golder. Cette analyse était demandée dans le plan d'assurance et contrôle de la qualité du CEMRS (annexe D-2).

#### Matières en suspension (MES) :

- ✓ En considérant les cinq séries d'analyses, le processus de traitement a permis une réduction de la concentration en matières en suspension qui sont passées en moyenne de 45 mg/L à 6 mg/L.

#### Autres :

- ✓ Un traitement physico-chimique pour réduire l'alcalinité a été mis à l'essai à la fin du processus de traitement. L'alcalinité totale a été réduite comme le montrent les mesures de 1 250 mg/L et de 470 mg/L d'équivalent de CaCO<sub>3</sub> avant et après traitement.

#### 5.1.2.2 Gestion des résidus :

- ✓ Les principaux déchets générés sont des boues organiques produites par la biomasse. En considérant des concentrations en azote ammoniacal entre 25 mg/L et 75 mg/L et basé sur les informations tirées de l'opération de l'unité pilote, la quantité de boue générée pourrait varier entre 7,8 et 23,5 kg par 1000 m<sup>3</sup> d'eau traitée assumant une nitrification et dénitrification complète.
- ✓ Selon Golder, il est peu probable que les boues soient considérées comme matières dangereuses.
- ✓ Généralement, le média des bioréacteurs ne devrait pas être remplacé, évitant ainsi les coûts d'élimination, à moins qu'il y ait un colmatage causé par la précipitation de fer. Plusieurs usines de traitement d'eau usée utilisant ce procédé sont en opération depuis plus de 20 ans et n'ont jamais eu besoin de remplacer les médias de traitement.

#### 5.1.2.3 Discussion

Les principaux constats associés au processus biologique *Multi - Points* sont les suivants :

- ✓ Le traitement a été capable d'éliminer la toxicité aiguë de l'eau et de traiter l'azote ammoniacal. Toutefois, l'évaluation de la performance reste partielle étant donné que le débit de traitement a été en moyenne de 1,3 L/min. Les exigences du CEMRS étaient un minimum de 5L/min, soit environ 1 % du flux total d'eau souterraine à traiter à pleine échelle.
- ✓ Son efficacité pour réduire la toxicité chronique et la concentration de certains métaux reste à démontrer.
- ✓ Le mécanisme responsable de la réduction des concentrations des métaux est inconnu.
- ✓ Le traitement n'a pas réussi à transformer les nitrates en azote gazeux. Leur concentration excède les critères du CCME, ce qui peut poser problème pour la gestion de l'effluent.

- ✓ Les conditions de température ont été contrôlées durant l'essai par l'installation d'un chauffe-eau, qui a été rapidement mis en opération au début de l'essai, ceci dans le but d'optimiser le traitement biologique, même en période froide.
- ✓ Les équipements doivent être isolés pour permettre de fonctionner en période froide.
- ✓ Golder recommande de conserver l'étape de traitement de l'alcalinité, considérant le coût relativement peu élevé de ce système de traitement et son impact potentiellement important sur la toxicité.

Malgré l'efficacité pour réduire l'azote ammoniacal et la toxicité pendant toute la durée de l'essai, le CEMRS considère qu'il existe trop d'incertitudes pour recommander ce train de technologies.

### 5.1.3. Processus *Biologique - Filtration*

La stratégie choisie par Sanexen pour réaliser l'essai pilote vise un traitement *ex situ* de l'eau souterraine par filtration, par Ultrasorption<sup>MD</sup>, par adsorption, par biofiltration et par échange ionique. La compagnie Sanexen a testé lors de l'essai pilote les procédures de traitement qu'elle avait mises à l'épreuve pendant les essais de traitabilité réalisés en 2007.

Les technologies d'Ultrasorption<sup>MD</sup> et de bioréacteur ainsi que les procédures de régénération de la zéolite utilisées au site du PEPSC par Sanexen constituent des technologies dont Sanexen détient la propriété intellectuelle. La technologie de filtration par Ultrasorption<sup>MD</sup> a été développée par Sanexen en 1985 pour enlever les colloïdes organiques de l'eau. Sanexen a développé ce processus pour rencontrer les normes de rejet des dioxines et furannes dans l'eau traitée lors de la décontamination des installations de l'IREQ (centre de recherche haute tension d'Hydro-Québec). Sanexen assure la propriété intellectuelle du processus non par un brevet, mais à l'aide d'ententes de confidentialité et de non-divulgation. Les divers procédés utilisés au niveau du bioréacteur ne sont pas uniques à Sanexen, mais les combinaisons utilisées le sont.

Le processus de traitement comprend six (6) modules placés en série, soient :

- Module 1. Oxygénation de l'eau pour précipiter les composés qui produiraient autrement un colmatage dans le média de biofiltration. Celui-ci permet l'enlèvement du fer et d'autres composés formant des précipités comme le carbonate de calcium;
- Module 2. Filtration sur sable (volume de lit filtrant de 350 litres) et sur manchon permettant l'enlèvement des matières en suspension;
- Module 3. Filtration avec média Ultrasorption<sup>MD</sup> (volume de lit filtrant de 700 litres) permettant l'enlèvement des contaminants organiques présents sous forme colloïdale, comme les hydrocarbures pétroliers (C<sub>10</sub> à C<sub>50</sub>), les HAP et les BPC;
- Module 4. Filtration au charbon activé granulaire (CAG) (volume de lit filtrant de 700 litres) servant à l'enlèvement des contaminants organiques dissous comme les benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes (BTEX) et les HAP;
- Module 5. Un biofiltre servant à biooxyder l'azote ammoniacal, la demande biologique en oxygène (DBO5) et les sulfures, avec de l'oxygène dissous fourni à la population microbienne. Le volume de lit filtrant du biofiltre est de 5 000 litres. Ce biofiltre servirait aussi à ensemercer, au besoin, l'eau souterraine pour l'élimination *in situ* de l'azote ammoniacal (un plus petit biofiltre indépendant a été utilisé à cette fin pour l'essai pilote de traitement *in situ*);
- Module 6. Un module composé de deux séries de filtres de zéolite (volume de lit filtrant de 700 litres) servant à compléter le traitement au niveau de l'enlèvement de l'azote ammoniacal et d'autres contaminants inorganiques dissous comme le baryum et le strontium.

L'essai pilote a été réalisé entre le 8 septembre et le 3 décembre 2008. Plusieurs ajustements ont été effectués durant les essais afin de permettre à ce train technologique de répondre aux objectifs de traitement, mais aussi de valider son efficacité. Le schéma et des photos du montage lors des essais pilotes sont fournis l'annexe G-3.

Pour l'essai pilote, chaque module de filtration avait un volume de lit filtrant de 700 litres, sauf pour le filtre de sable qui avait un volume de lit filtrant de 350 litres et le biofiltre qui avait un volume de lit filtrant de 5 000 litres. Au début des essais, un chauffe-eau a été ajouté entre le module de filtration sur charbon activé et le biofiltre de manière à régulariser la température afin de favoriser le traitement biologique dans le biofiltre.

Les faits saillants qui ont marqué la réalisation de l'essai pilote *Biologique – Filtration* sont relatés ci-dessous :

- L'acclimatation des biofiltres a été effectuée avant le début de l'essai, du 28 juillet au 15 septembre 2008. Pour ce faire, Sanexen SE inc. avait prélevé 1 000 L d'eau du site;
- Les préparatifs, la mobilisation et le rodage du système de traitement ont été réalisés entre le 8 septembre et le 10 octobre 2008;
- Tel que demandé dans les Lignes directrices, le système a été alimenté en continu par deux puits d'observation identifiés par le CEMRS c'est-à-dire les puits 91F81-7 et 99F117-28 du 6 octobre au 6 novembre 2008, et une permutation des puits a été effectuée le 6 novembre 2008. Les puits PO-00-5 et 99F117-28 ont alimenté le système du 7 novembre au 3 décembre 2008;
- Le débit de traitement a été de 4, 5, 6 et 11 litres/min au cours des 8 semaines de l'essai de traitement, pour un volume total d'eau traitée d'environ 468 000 litres. L'augmentation du débit de pompage a été effectuée de manière évolutive. Il est à noter que le pompage à 11 L/min a créé un cône de rabattement important dans ces 2 puits, menant à un colmatage graduel de la formation autour de ces puits et à l'entraînement subséquent de phase flottante avec l'eau pompée. Ces puits ont dû être développés à plusieurs reprises de façon à maintenir le débit désiré;
- Le 7 octobre, Sanexen SE inc. a ajouté un chauffe-eau à l'entrée du biofiltre afin d'augmenter la température de l'eau à environ 15 °C. Ce qui a eu comme conséquence d'augmenter la performance de traitement de l'azote ammoniacal par le biofiltre;
- Le proposant a été audité par le CEMRS le 16 octobre 2008;
- Le 17 octobre, Sanexen SE inc. a ajouté le module d'oxygénation de l'eau pour précipiter les composés qui causaient un colmatage dans le média de biofiltration. Celui-ci sert à l'enlèvement de composés formant des précipités comme le fer et le calcium;
- Entre le 3 et 17 novembre 2008, environ 20 L d'huile ont été soutirés de l'évent du filtre au sable;
- Du 7 novembre au 3 décembre 2008, des travaux de régénérations des filtres de zéolites ont été effectués à quatre reprises;
- Les essais se sont terminés le 3 décembre 2008;
- Le rapport préliminaire des essais a été déposé le 16 janvier 2009;
- Les travaux de démobilitation des équipements sur le site ont été réalisés entre le 5 et 11 décembre 2008;
- Le nettoyage final du site a été complété à la fin avril 2009.

Sanexen SE inc. a réalisé volontairement des essais distincts afin de tester une cellule de traitement *in situ*. Cette approche consistait à faire circuler de l'eau oxygénée, avec une population microbienne adaptée dans la zone de traitement *in situ* et de mesurer la biotransformation des contaminants, principalement pour la nitrification et la

dénitrification. Il était prévu d'influer sur un volume d'environ 64 m<sup>3</sup> (4 m x 4 m x 4 m) pour traiter les remblais avec déchets et l'eau souterraine dans ce volume. Pour ce faire, quatre puits ont été aménagés, soit un puits d'injection, un puits d'observation (dans la zone de traitement), un puits d'extraction et un puits d'observation en aval de la zone de traitement *in situ*. L'approche consistait à faire circuler de l'eau oxygénée, avec une population microbienne adaptée dans la zone de traitement *in situ* et de mesurer la biotransformation des contaminants, principalement pour la nitrification et la dénitrification. Le colmatage du puits d'injection par des oxydes de fer au cours de l'essai *in situ* a nécessité des travaux de détartrage en cours d'opération.

L'eau souterraine a été pompée à un débit variant de 4 à 50 L/min. Une partie de l'eau passait par un second biofiltre de façon à contribuer àensemencer le volume ciblé avec des microorganismes capables de nitrifier l'azote ammoniacal. Un dosage en ligne de peroxyde d'hydrogène s'effectuait à 100 mg/L et l'eau était dirigée au puits d'injection localisé dans la partie amont de la zone de traitement. Le suivi s'est effectué de façon hebdomadaire sur la période prévue de huit (8) semaines.

Par cet essai *in situ*, Sanexen désire démontrer qu'en réinjectant les eaux traitées en amont des zones sources génératrices d'azote ammoniacal (déchets), on peut accélérer l'élimination à la source, favorisant ainsi une diminution sur la période d'intervention prévue.

#### 5.1.3.1 Résultats

L'ensemble des résultats analytiques obtenus par Sanexen est fourni par le CEMRS (réf.17). Le prélèvement des échantillons d'eau brute (E1) et d'eau traitée (E9), tel que demandé dans le cadre du plan d'assurance et contrôle de la qualité du CEMRS, a été effectué aux dates suivantes : 1<sup>ère</sup> série, le 9 octobre 2008; 2<sup>e</sup> série, le 16 octobre 2008; 3<sup>e</sup> série, les 22 et 23 octobre 2008, la 4<sup>e</sup> série, les 29 et 30 octobre 2008; 5<sup>e</sup> série, les 1 et 2 décembre 2008.

Azote ammoniacal :

- ✓ Les résultats obtenus ont montré que la concentration moyenne de l'azote ammoniacal est passée de 26 mg/L à 2 mg/L, sous le critère de référence de 2,91 mg/L du MDDEP. Mentionnons qu'avec un débit passant de 4 à 6 L/min (1<sup>re</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> séries d'analyse), le pourcentage de réduction moyen a été de 99 % alors qu'avec un débit de 11 L/min (4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries d'analyse) le pourcentage de réduction moyen a été de 83 %. Il faut toutefois noter qu'entre la 4<sup>e</sup> et la 5<sup>e</sup> série d'analyses, le pourcentage de réduction de l'azote ammoniacal s'est amélioré passant de 77 % à 88 %, laissant entrevoir une amélioration du traitement avec le temps.

- ✓ Le biofiltre a effectué les réactions de nitrification et de dénitrification, mais a montré des limitations dues à la disponibilité de l'oxygène. Les concentrations d'azote ammoniacal ont été abaissées en moyenne de près de 40 % dans le biofiltre durant les huit (8) semaines de traitement. Le restant du traitement aurait été effectué par les filtres de zéolite, situés en aval du bioréacteur.

#### Travaux complémentaires :

- ✓ Dans le cas de la cellule de traitement *in situ*, on note une diminution d'environ 39 % des concentrations d'azote ammoniacal sur une période de 8 semaines.
- ✓ Les concentrations de nitrates sont demeurées indétectables ou faibles. Selon Sanexen, ceci indiquerait que la cinétique de la réaction de dénitrification est plus rapide que celle de la réaction de nitrification. Des mesures supplémentaires seraient requises afin de suivre l'évolution de la nitrification et la dénitrification *in situ*.

#### Toxicité :

- ✓ Au cours des essais pilotes, les eaux brutes présentaient une toxicité aiguë pour la truite arc-en-ciel variant entre 4,5 UTa et 5,7 UTa. Le processus de traitement a réussi à réduire cette toxicité sous la norme de 1 UTa lors des deux premiers tests (avec un débit de traitement moyen de 5 L/min), mais pas lors des deux derniers (avec un débit de traitement moyen de 11 L/min) où la toxicité mesurée a été de 1,4 UTa et 1,6 UTa. Selon Sanexen, ces anomalies seraient causées principalement par la saturation des filtres à zéolites au moment des échantillonnages.
- ✓ Deux des trois séries d'essais de toxicité ont indiqué que le processus n'a pas réussi à réduire la toxicité chronique sans toutefois que celle-ci n'excède les critères applicables (100 UTc). Le dernier test a même enregistré une légère hausse.

#### Hydrocarbures pétroliers, HAP, BPC :

Les HP C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>, HAP et les BPC ont été analysés dans les eaux brutes et traitées lors de la cinquième et dernière campagne d'analyse. Lors de cette campagne :

- ✓ Les HP C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub> ont été réduits de 300 mg/L à sous la limite de détection (< 100 mg/L).
- ✓ Les HAP ont été réduites de 17,43 µg/L à 0,1 µg/L.
- ✓ Les BPC n'ont pas été détectés ni dans les eaux brutes, ni dans les eaux traitées.

#### Métaux :

- ✓ Les concentrations de départ étaient relativement faibles. Toutefois, les concentrations des paramètres suivants excédaient les critères ou normes visées :
  - Supérieur aux critères du MDDEP : chrome (2<sup>e</sup> série);
  - Supérieur aux recommandations du CCME : chrome (2<sup>e</sup> série), sélénium (2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> séries), plomb (2<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> séries), fer soluble (1<sup>ère</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries);
  - Supérieur aux normes du Règlement 2001-9 de la CMM : baryum (3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries), fer total (4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> séries).

Dans l'eau traitée, les concentrations en arsenic (1<sup>ère</sup> et 2<sup>e</sup> séries), en cuivre (1<sup>ère</sup> série), en zinc (1<sup>ère</sup> et 2<sup>e</sup> séries) ne respectaient pas les recommandations du CCME. Le zinc (1<sup>ère</sup> série) et le chrome (2<sup>e</sup> série) excédaient aussi les critères du MDDEP après traitement. Sanexen explique ces anomalies par le fait que ces métaux pouvaient être relargués des filtres de zéolite avant leur régénération.

- ✓ Lors des cinq séries d'analyses, la concentration en fer dans les eaux brutes a varié entre 14 mg/L et 66 mg/L. Suite au traitement, la concentration a chuté sous la limite de détection, sauf lors de la 1<sup>ère</sup> série d'analyses où on a mesuré 0,3 mg/L pour ce paramètre. C'est suite aux résultats de la 1<sup>ère</sup> série d'analyse qu'une étape d'oxygénation-précipitation pour l'enlèvement du fer a été mise en place.

#### Matières en suspension (MES) :

- ✓ À la lumière des résultats des cinq séries d'analyses, on constate que le pourcentage moyen de réduction des MES a été de 87 %. La concentration dans l'eau brute (E1) a varié entre 35 à 65 mg/L et celle de l'eau traitée (E10) a varié entre 4 et 11 mg/L.

#### 5.1.3.2 Gestion des résidus :

- ✓ Selon Sanexen, le processus biologique et de filtration génèrera des boues provenant des procédés de précipitation et de filtration. Près de 70 % de ces boues pourraient être valorisables (matières d'amendement de sol), le reste devant être transporté vers des lieux d'élimination pour déchets solides. Seuls les médias d'Ultrasorption<sup>MD</sup> usés constitueront une matière dangereuse.

#### 5.1.3.3 Discussion

Les principaux constats associés au processus biologique et de filtration sont les suivants :

- ✓ Soulignons que Sanexen SE inc. a mis tous les efforts (temps, activités et équipe de travail) pour respecter l'ensemble des lignes directrices des essais pilotes.
- ✓ De façon globale, les taux de réduction des principaux contaminants sont appréciables (> 90 %) et les eaux traitées respectent les critères applicables. Toutefois, Sanexen doit optimiser la performance du biofiltre et effectuer une régénération adéquate des filtres de zéolite afin de favoriser l'élimination de la toxicité aiguë de l'eau.
- ✓ Le traitement a été capable d'éliminer la toxicité aiguë de l'eau et de traiter l'azote ammoniacal pour des débits variant de 4 à 6 L/m. L'évaluation de la performance reste quand même partielle, car les résultats ont été obtenus au cours des 3 premières périodes de l'essai.
- ✓ Il est difficile de vérifier la performance spécifique de chaque module de traitement. Il semble a priori que ce sont surtout les médias filtrants (volet physique) qui ont effectué le traitement.
- ✓ Des ajustements doivent être apportés au bioréacteur pour maintenir la température de l'eau à plus de 15 °C afin d'atteindre les performances attendues, voire même diminuer le taux de saturation des filtres de zéolite. D'après Sanexen, la limitation de la performance du bioréacteur est liée à la disponibilité de l'oxygène.
- ✓ Le traitement *in situ* a permis de réduire de 40 % les concentrations d'azote ammoniacal dans la zone ciblée, mais n'a pas permis de réduire la toxicité de l'eau souterraine après les huit (8) semaines de l'essai. Les premiers résultats du traitement *in situ* sont intéressants. Pour pouvoir statuer sur son efficacité, il serait requis de poursuivre l'essai en respectant un programme analytique rigoureux qui tient compte des caractéristiques hydrogéologiques et des matériaux de remblai en place.

Le CEMRS est d'avis que ce train de traitement a présenté des résultats suffisamment bons lors de l'essai de traitabilité (réf. 3) et de l'essai pilote pour en faire la recommandation à pleine échelle. Le traitement *in situ* initié par Sanexen présente des résultats intéressants. Toutefois, un essai pilote encadré serait utile pour soutenir cette approche et mettre en évidence les points forts et les faiblesses de l'application de ce type de technologie à grande échelle. Un programme analytique ainsi qu'une caractérisation détaillée de la zone d'injection sont requis, ceci afin d'éviter certains problèmes techniques que Géophase a subis lors de leur essai. Le module Ultrasorption<sup>MD</sup> du train technologique testé génère des matières dangereuses. L'absence de contaminants, notamment des métaux lourds, des hydrocarbures et des BPC, devra être confirmée si la revalorisation des boues comme amendement au sol est envisagée.

#### 5.1.4. Processus Zone Réactive *in situ*

Le protocole d'essai initial de Géophase a été modifié suite à la signature du protocole d'entente notamment en raison des limites associées à l'injection d'air dans une nappe qui serait « semi-captive ». Le nouveau protocole de la technologie s'apparente à la bioaugmentation et non à celui d'un mur réactif (barrière réactive perméable) tel que présenté dans la proposition originale de Géophase, c'est-à-dire l'installation d'une barrière réactive perméable, enfouie dans le sol et composée de matériaux structurants et de substrats qui sont en mesure d'immobiliser les contaminants et de maintenir des conditions propices à leur dégradation.

Ainsi, la stratégie choisie pour réaliser l'essai pilote vise dorénavant un traitement des eaux souterraines dans une zone réactive *in situ*, aménagée dans le sol du site en réalisant des cycles de pompage, de l'oxygénation et la réinjection des eaux souterraines. Il s'agit d'une technique de restauration *in situ* qui consiste à modifier les conditions du milieu et à y introduire des microorganismes indigènes ou non, pour augmenter ou remplacer la population bactérienne déjà présente sur le site afin de favoriser les microorganismes qui sont en mesure d'effectuer la biodégradation des contaminants. Ainsi, une zone réactive (induite) est incorporée dans le sol d'origine, non excavé.

Les eaux souterraines ont ainsi été pompées du sol et entreposées dans un réservoir, oxygénées, puis réinjectées dans l'aquifère. Les boues activées contenant les bactéries nitrifiantes ont quant à elles été injectées au début du traitement. Cette modification a entraîné des délais pour l'aménagement de la zone et le début de l'essai pilote.

L'essai pilote a été réalisé entre le 12 novembre 2008 et le 6 janvier 2009. Plusieurs ajustements ont été effectués durant les essais afin de permettre à ce train technologique de répondre aux objectifs de traitement, mais aussi de valider son efficacité. Le schéma et des photos du montage lors des essais pilotes sont fournis à l'annexe G-4.

Le système de traitement aménagé dans le cadre de l'essai pilote est composé de :

- Six puits de pompage et de réinjection (puits B-1 à B-6). Les puits ont été positionnés perpendiculairement à la direction d'écoulement de l'eau souterraine;
- Deux puits d'observation (AM-1 et PO-08-30), localisés en amont hydrogéologique de la zone d'essai, ont servi à évaluer la qualité de l'eau souterraine avant le traitement;
- Quatre puits d'observation (AV-1 à AV-4), localisés en aval hydraulique de la zone d'essai, servent à évaluer la qualité de l'eau souterraine après le passage dans la Zone Réactive de traitement *in situ*;
- Un système d'oxygénation de l'eau souterraine, en réservoir, a été aménagé.

Les faits saillants qui ont marqué la réalisation de l'essai pilote Zone Réactive *in situ* sont relatés ci-dessous :

- 3 octobre 2008 : Comité technique - discussion sur l'essai pilote de Géophase;
- La période de rodage, l'aménagement du site et l'installation des équipements ont été réalisés entre le 15 septembre et le 14 novembre 2008. L'aménagement de la Zone Réactive *in situ* a consisté en l'installation de six (6) puits d'observation. Un relevé des niveaux des eaux souterraines a été réalisé afin d'évaluer les conditions hydrogéologiques locales et de conceptualiser l'aménagement projeté de la Zone Réactive *in situ*;
- Le 12 novembre 2008, Géophase a fait l'injection de boues activées dans les six puits aménagés de la Zone Réactive *in situ*;
- Le traitement a débuté le 15 novembre 2008;
- Le système a été alimenté à partir des puits de pompage et de réinjection B-1 à B-6, aménagés par Géophase;

Par la suite, deux à trois fois par semaine, les opérations suivantes ont été effectuées afin d'activer la zone réactive :

- i. Pompage de 3000 litres d'eaux souterraines dans les six puits de la zone d'intervention;
- ii. Passage de l'eau pompée à travers du réservoir de contact contenant les boues activées;
- iii. Filtration des eaux entreposées dans un filtre à sac;
- v. Passage de l'eau filtrée à travers le système d'oxygénation;
- vi. Injection de l'eau amendée et oxygénée dans les six puits d'injection de la zone d'intervention.

Afin de vérifier l'évolution du traitement, des échantillons d'eau ont été prélevés à quatre reprises dans les puits situés en amont et en aval de la zone réactive, et à chaque semaine dans les puits aménagés dans la zone réactive. Régulièrement, des relevés dans les puits d'observation ont également été réalisés afin de suivre l'évolution du traitement.

- Le débit moyen du traitement dans la Zone Réactive *in situ* a été évalué en fonction de la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau souterraine dans la zone d'intervention, c'est-à-dire à environ 0,82 cm/jour, ce qui est bien inférieur au 5 L/min demandé par le CEMRS;
- Le proposant a été audité par le CEMRS le 27 novembre 2008;
- Les essais se sont terminés le 6 janvier 2009;
- Le rapport préliminaire des essais a été déposé le 12 janvier 2009;
- Les travaux de démobilisation des équipements sur le site ont été réalisés le 19 février 2009;
- Le nettoyage final du site a été complété à la fin avril 2009.

#### 5.1.4.1 Résultats

L'ensemble des résultats analytiques obtenus par Géophase est fourni dans le rapport «Suivi des activités des essais» du CEMRS (réf. 17). Les analyses de suivi effectuées durant l'essai pilote n'ont démontré aucune variation significative des concentrations d'azote ammoniacal. Certains composés en solution comme le fer et les matières organiques ont diminué et ont probablement réagi avec l'oxygène ajouté au cours de l'essai.

L'efficacité analytique versus le débit, présentée à l'annexe C du rapport «Suivi des activités des essais» du CEMRS, souligne qu'il n'y a eu aucune réduction des concentrations en azote ammoniacal. Pour les paramètres suivis au cours des 3 périodes de contrôle, les concentrations initiales (eau brute) et finales (eau traitée) n'ont pas été améliorées.

Il est à noter que le contexte hydrostratigraphique du secteur retenu par Géophase semble, selon ces derniers, présenter des conditions de nappe semi-captive, ce qui n'est pas favorable pour la technologie proposée. Dans ces conditions, Géophase conclut dans son rapport que les données recueillies ont permis d'établir que le secteur des essais ne favorise pas l'aménagement d'une barrière perméable réactive tel que proposé en juin 2008, bien que ce procédé pourrait être utilisé avec succès dans certains autres secteurs du PEPSC.

#### 5.1.4.2 Discussion

Dans le cadre de l'essai pilote, Géophase a voulu transposer dans une zone réactive sous terre, le processus de nitrification testé lors des essais de traitabilité de 2006. De nombreux réajustements au protocole d'essai ont dû être apportés afin de s'adapter aux conditions de terrain. Ceci a eu pour effet de retarder la mise en place du système de traitement ainsi que l'échéancier de l'essai pilote.

Les principaux constats associés au processus de la Zone Réactive *in situ* tels que testés par Géophase sont les suivants :

- ✓ De toute évidence, le processus mis à l'essai n'a pas réussi à faire la démonstration de sa capacité à atteindre les objectifs visés par le CEMRS. Par conséquent, le CEMRS n'est pas en mesure de recommander le processus testé par Géophase. Par contre, la technologie de « Zone Réactive *in situ* » qui s'apparente à la barrière réactive perméable demeure un outil de traitement éprouvé.

## 5.2. Essai de faisabilité par ozonation des eaux souterraines

La firme GENIVAR a réalisé en 2006 des essais de traitabilité en laboratoire dans le cadre de l'évaluation des technologies qui pourraient être appliquées à la problématique de l'ensemble du site dont fait partie le PEPSC. Le processus testé comprenait un volet d'ozonation. Certains des résultats ont montré des taux encourageants d'enlèvement des contaminants. Toutefois, à cause des conditions expérimentales qui ont varié, il n'a pas été possible d'attribuer avec certitude le crédit de l'abaissement de la concentration d'azote ammoniacal dans l'eau traitée à l'ozonation sous pression. Pour évaluer la situation, le comité scientifique a eu recours à une expertise externe et indépendante, en l'occurrence celle de l'École de technologie supérieure (ETS). De concert avec la Ville de Montréal, il a été décidé de commander des essais additionnels pour éclaircir ce point. Notez que le procédé d'ozonation est couramment utilisé dans le traitement de l'eau potable et des eaux usées, en particulier dans la désinfection de l'eau avant son utilisation ou son rejet. Dans le cas présent, l'utilisation de l'ozone visait exclusivement la nitrification de l'azote ammoniacal.

La stratégie de l'essai de faisabilité est de vérifier que l'ozone, un puissant oxydant connu, est en mesure de faire la transformation de l'azote ammoniacal en nitrates. Les nitrates présentent une toxicité beaucoup plus faible pour le milieu récepteur que l'azote ammoniacal. L'ozone serait l'agent oxydant permettant cette transformation.

Il faut savoir que l'ammoniac  $\text{NH}_3$  est un gaz soluble qui, dans l'eau, forme une solution d'ammoniaque, laquelle s'ionise plus ou moins en  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{OH}^-$ , un haut pH et une haute température ambiante favorisant la forme non ionisée  $\text{NH}_3$ , plus toxique. L'effet recherché est l'action radicalaire de l'ozone sur le  $\text{NH}_3$ . Cette oxydation n'est possible qu'en présence de radicaux libres  $\text{HO}^\circ$ . Plusieurs substances ainsi que l'alcalinité peuvent désactiver ces radicaux libres, selon la réaction suivante:



Rappelons que les radicaux libres sont des atomes ou des molécules très réactives possédant un ou plusieurs électrons non appariés, donc libres pour créer des liens avec d'autres espèces chimiques. L'ozone  $\text{O}_3$  est un gaz instable qui se décompose en une molécule d'oxygène  $\text{O}_2$  et un radical libre  $\text{O}^\circ$ .

Le CEMRS a donc, à l'issue d'un appel de propositions sur invitation retenu la firme GENIVAR afin qu'elle réalise un essai de faisabilité du traitement par ozonation des eaux souterraines selon un protocole de travail préparé par le CEMRS.

L'essai a été effectué conjointement avec Mabarex sous la supervision de GENIVAR. Le montage a été réalisé à partir d'équipements disponibles chez Mabarex inc. ou pouvant être obtenus rapidement chez les fournisseurs. Le principal problème rencontré lors du rodage a été le manque d'étanchéité de l'appareillage. Il a fallu éliminer les fuites avec soin pour éviter les émanations nocives d'ozone dans un espace intérieur.

Le montage consiste en un réacteur de 150 litres avec diffuseurs de céramique, d'une boucle de circulation extérieure permettant la circulation du liquide et la mesure de divers paramètres (débit, température, ORP, pH) ainsi que d'un port d'injection de gaz ( $O_2$  ou  $O_3$ ), d'un port d'évacuation des gaz et d'un port d'échantillonnage. Les eaux utilisées pour les séries d'essais A à E ont été pompées du puits PP085 au coin NO des rues Carrie-Derrick et Fernand-Séguin alors que celles de la série F provenaient du puits PP084 adjacent au précédent.

Les faits saillants qui ont marqué la réalisation de l'essai de faisabilité de GENIVAR sont relatés ci-dessous :

- Le montage expérimental a été effectué du 21 au 28 novembre 2008;
- Les essais ont débuté le 11 décembre 2008 et se sont terminés le 14 février 2009.

Les dates et les conditions expérimentales sont les suivantes :

- Essais A1 et A2 : essai témoin de 2 heures pour vérifier de l'action de l'oxygène pur à 2 et 3,5 atm (absolu), les 11 et 12 décembre 2008;
- Essais B1 et B2 : essais de 6 heures pour comparer l'action de l'ozone et l'action de l'oxygène à pression atmosphérique, les 16 et 17 décembre 2008;
- Essais C1 et C2 : essais de 6 heures pour comparer l'action de l'ozone et l'action de l'oxygène à 2 atm (abs), les 18 et 19 décembre 2008;
- Essais D1 et D2 : essais de 4 heures pour comparer l'action de l'ozone et l'action de l'oxygène à 4 atm (abs), 6 et 7 janvier 2009;
- Essais E1 et E2 : essais de 6 heures pour comparer l'action de l'ozone et l'action de l'oxygène à 2 atm (abs) avec une concentration doublée, les 8 et 9 janvier 2009.

Comme les effets attendus de l'oxydation de l'azote ammoniacal n'étaient pas observés à diverses conditions de concentration et de pression, les essais ont été interrompus et une rencontre s'est tenue le 28 janvier 2009 aux bureaux de *Genivar SEC* pour examiner la situation. Les chargés de projet du CEMRS, de *Mabarex inc.* et de *Genivar SEC* ainsi que l'expert de l'*École de technologie supérieure* ont examiné les causes possibles qui empêchent l'ozone d'oxyder l'azote ammoniacal lors des séries d'essais B, C, D et E. Il est apparu que la forte alcalinité (aux environs de 1 000 mg/l) constituait une entrave insurmontable. Il a été décidé de prétraiter les eaux brutes avec de la chaux éteinte puis d'ajuster le pH à 11 pour éliminer cette alcalinité, puis d'effectuer un essai à l'oxygène et un à l'ozone à pH 12, notamment pour vérifier si l'azote ammoniacal est éliminé par volatilisation et entraînement). Le nouveau protocole d'essai a été défini et mis en application les 10, 11 et 12 février 2009. Ce protocole d'essai consiste en un prétraitement des eaux souterraines pour diminuer l'alcalinité à moins de 50 mg/l de  $CaCO_3$ , ce qui est jugé le seuil au-delà duquel les radicaux libres oxydants sont piégés par les ions carbonates et bicarbonates. Ce prétraitement s'est fait par l'ajout de chaux éteinte, de polymère, de chlorure ferrique et par augmentation du pH avec une solution de soude caustique. Les résultats n'atteignent pas l'objectif

visé avec une diminution de l'azote ammoniacal de seulement 30 % en 4 heures. Il appert que d'autres substances non identifiées pour le moment interfèrent avec la réaction radicalaire de l'ozone sur le  $\text{NH}_3$ .

Pour confirmer que l'objectif visé n'avait pas été atteint, un échantillon de 40 litres d'eau traitée et neutralisée a été envoyé au laboratoire Bodycote de Québec afin d'en vérifier l'effet sur la truite arc-en-ciel. La présence d'azote ammoniacal dans l'eau traitée à une concentration de l'ordre de 20 mg/L est à peu près à la limite de la toxicité aigüe. Les tests de Bodycote ont confirmé en effet la toxicité de cette eau traitée.

- Les essais se sont terminés le 14 février 2009;
- Le rapport final des essais a été déposé par le proposant le 2 avril 2009.

Une fois considérées les variations dans les résultats dues à la précision des méthodes analytiques et aux écarts de mesure, les données ne montrent pas que le traitement à l'oxygène et le traitement à l'ozone produisent des effets notablement différents. Pour les eaux du PEPSC, l'ozonation n'a qu'un effet très marginal par rapport à l'oxygène pour transformer l'azote ammoniacal en nitrates ou en azote. Cet effet est loin d'être suffisant pour abaisser la concentration de ce contaminant d'un facteur tel que les tests de toxicité aigüe avec la truite arc-en-ciel soient réussis. Donc au mieux, le traitement à l'ozone ne pourrait offrir qu'une contribution marginale dans un procédé de traitement et il ne pourrait pas en constituer le maillon principal.

### Discussion

L'ozone est un gaz très toxique, très instable et très réactif. Par ailleurs, l'ozone est produit en soumettant de l'air très asséché ou de l'oxygène pur à des décharges électriques. L'ozone doit être utilisé immédiatement, car il a tendance à se décomposer et à réagir avec nombre de matériaux. Produire l'ozone et l'injecter dans un réacteur, le maintenir durant quelques heures sous pression et à une concentration définie et détruire à haute température l'ozone résiduel requièrent des équipements spécialisés et des contrôles nombreux.

La transformation de l'azote ammoniacal en nitrates par réaction chimique peut se faire avec plusieurs réactifs, comme des peroxydes, des composés chlorés ou de l'ozone. L'objectif de réduire la toxicité de l'eau écarte le recours à des produits chlorés. Quant à l'action de l'oxygène et à celle plus vigoureuse de l'ozone, l'essai montre qu'elle ne serait possible que sur des eaux qui auraient subi un prétraitement élaboré de façon à éliminer les interférences nuisibles à la réaction recherchée. Ce prétraitement poussé et la complexité de la manipulation de l'ozone font que cette approche est complexe, délicate et coûteuse et la rendent peu intéressante de l'avis du CEMRS.

Malgré le début tardif de l'essai, les problèmes de fuites en début des essais, de la qualité variable de l'eau testée, de l'adaptation du protocole en cours d'essai et des

résultats peu concluants, GENIVAR a toujours démontré un vif intérêt à compléter l'essai de faisabilité à l'intérieur de l'échéancier.

### 5.3. Discussion générale

Le CEMRS constate que la durée des essais pilotes n'a pas été suffisamment longue pour permettre de documenter, d'optimiser et de mesurer le rendement des trains technologiques au cours d'une période affectée par des conditions climatiques variables, par exemple au cours des quatre saisons, qui influencent sur les quantités d'eau à traiter et sur le volume de phase flottante à capter.

Sur une période plus longue, des ajustements auraient pu être appliqués afin d'optimiser les paramètres d'opération qui demeurent encore incertains, dont :

- Les paramètres physico-chimiques et la température de l'eau pour le traitement biologique de la toxicité;
- L'effet de rabattement créé par le pompage;
- Le colmatage des équipements;
- Les particularités hydrogéologiques locales;
- L'ajout de procédé(s) dans les trains de technologies testés pour atteindre des résultats inférieurs aux valeurs cibles du MDDEP, du CCME et du Règlement 2001-9 de la Communauté Métropolitaine de Montréal.

Les essais pilotes ont démontré que les trains de technologies de bioréacteurs de type *eMaMoc* (Golder), de type biologique *Multi - Points* (Golder) et *Biologique-Filtration* (Sanexen) peuvent réduire les concentrations d'azote ammoniacal et la toxicité des eaux souterraines du site du PEPSC.

Pour le train technologique *eMaMoc* (Golder), une incertitude demeure concernant la capacité des bioréacteurs à dénitrifier les nitrates afin de les transformer en azote gazeux. L'efficacité reste partielle étant donné que le débit de traitement a passé de 6 L/m, au début de l'essai, à 2.5 L/m à la fin des essais, en décembre ce qui s'est traduit par la capacité de réduire les concentrations d'azote ammoniacal sous les critères du MDDEP. Le CEMRS soulève une inquiétude concernant le colmatage à moyen ou à long terme des bioréacteurs. Les équipements doivent être isolés pour permettre de fonctionner en période froide. Dans le cadre de l'essai pilote au site PEPSC, la technologie *eMaMoc* présente beaucoup d'incertitudes qui font en sorte que le risque technologique est élevé et non acceptable.

Le train technologique *Multi - Points* (Golder), n'a pas démontré son efficacité à opérer à un débit supérieur à 5 L/min, tel que demandé dans le Protocole de contrôle et de la qualité du CEMRS. Cette technologie n'est pas privilégiée par le CEMRS.

Quant au processus *Biologique-Filtration*, qui a répondu et respecté les lignes directrices, le CEMRS est d'avis que ce train de traitement présente des résultats intéressants, qui, avant d'être recommandé pour la pleine échelle devra démontrer, sur une période longue et continue, son efficacité à réduire les concentrations en azote ammoniacal, en hydrocarbures pétroliers, en HAP, en BPC et en métaux, à un débit supérieur à 5 L/m.

Toutes ces technologies doivent être accompagnées d'un prétraitement et d'une séquence de traitement final. Le prétraitement permettrait d'enlever, entre autres, les phases flottantes d'hydrocarbures, les matières en suspension (MES) et le fer. Le traitement final permettrait de s'assurer que l'eau traitée respecte l'ensemble des règlements, critères et recommandations à être appliqués avant le rejet dans le milieu.

Évidemment avant d'aller de l'avant avec l'implantation d'un ou plusieurs trains de technologie pour résoudre le problème de la contamination de l'eau souterraine, de sa toxicité et de la phase flottante, une période d'essai sur le terrain, celle-ci d'une plus longue durée, pourrait permettre de confirmer la capacité à long terme d'un train technologique à résoudre la problématique du site du PEPSC en vue d'atteindre les objectifs de la Ville.

## 6. ÉTAPE 1 - TECHNOLOGIES DE CAPTAGE DES EAUX SOUTERRAINES ET DES PHASES FLOTTANTES D'HYDROCARBURES

Tel que mentionné à la Section 3 du présent document, les technologies associées au captage des eaux souterraines et des phases flottantes correspondent à la première étape du processus d'intervention. Compte tenu de la nature et de l'hétérogénéité des contaminants ainsi que des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques associées au site, l'implantation sur le site du PEPSC d'un système de captage des écoulements souterrains peut comporter un réel défi.

Cette section présentera dans un premier temps les éléments spécifiques au site qui doivent être considérés pour évaluer les méthodes de captage et ensuite les technologies applicables au site du PEPSC qui seront décrites et analysées.

### 6.1. Éléments spécifiques à considérer

Les éléments spécifiques qui ont été considérés dans le cadre du présent mandat sont :

Site :

- L'emplacement des travaux de captage se situerait à l'intérieur des limites de la propriété. Il devrait se situer dans la portion sud du site du PEPSC (en aval hydraulique) ceci pour capter les eaux souterraines avant qu'elles ne s'étendent au-delà des limites de la propriété;
- Superficie : 456 000 m<sup>2</sup>, le site s'étend sur près de 2 km de longueur par environ 0,3 km de largeur.

Matériaux :

- La compacité du sous-sol du site est relativement faible en raison de la présence de déchets et de débris dans l'unité de remblai.

Eau souterraine :

- Profondeur : jusqu'à 11 m;
- Écoulement : vers le fleuve, en direction sud et sud-est. L'écoulement dans la portion sud du PEPSC est fortement perturbé par la présence de l'assise d'enrochement de l'autoroute Bonaventure;
- Aquifère du type à nappe libre;
- Débit moyen sortant du PEPSC : 530 m<sup>3</sup>/jr ( $\pm 30\%$ ) dont un volume de 500 m<sup>3</sup>/jr atteint le fleuve le long de l'autoroute Bonaventure. Le volume restant s'écoule vers l'extrémité ouest du site. En période de crue printanière, le volume peut doubler;

- L'impact de la variation annuelle du niveau d'eau du fleuve Saint-Laurent se fait ressentir jusqu'au nord de l'autoroute Bonaventure, soit à environ 70 mètres en amont des berges du fleuve.

#### Infrastructures :

- Il importe de ne pas entraver les activités de surface;
- Les infrastructures de surface sont des routes, des bâtiments, des poteaux électriques, des clôtures, etc., et
- Les infrastructures souterraines sont principalement associées à des réseaux de câblage, de canalisation d'égout et d'aqueduc, qui se trouvent dans la moitié sud du site du PEPSC, au nord de la rue Carrie-Derrick et aussi dans les rues Fernand-Séguin et Marc Cantin.

#### Contamination et autres paramètres :

- Phase dissoute et toxicité de l'eau souterraine;
- La présence d'environ 1 850 m<sup>3</sup> d'hydrocarbures en phase libre (mobile) à l'intérieur des limites de la propriété. Ces phases, caractérisées par une viscosité variable, se retrouvent principalement dans la portion est du site de façon discontinue et leur épaisseur dans les puits existants est très variable;
- La teneur élevée en fer dissout et la présence de MES dans les eaux souterraines accentuent les risques de colmatage dans les systèmes de captage et de traitement.

#### Développement futur :

- Les futurs projets de développement visent notamment le déplacement de l'autoroute Bonaventure au nord et l'aménagement d'espaces verts le long des berges.

## 6.2. Technologies applicables au site PEPSC

Dans le cadre de son mandat, TechnoRem (réf. 8) a réalisé une revue des technologies de captage applicables au site PEPSC et elle a aussi évalué les effets des procédés de captage retenus sur l'hydrogéologie locale par le biais de la modélisation. Avant 2008, certaines des études réalisées sur le site présentent une revue ou une analyse de scénarios applicables, soit Miri-Valorex (réf. 12), SNC-Lavalin (réf. 13 et 14) et le CEMRS (réf. 3).

Sur la base de leur efficacité, de leur applicabilité au site et de leur capacité d'atteindre des objectifs visés de captage et de confinement des contaminants, les technologies de

captage des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures retenues sont les suivantes :

- ✓ Barrière hydraulique;
- ✓ Barrière étanche ancrée avec contrôle hydraulique;
- ✓ Barrière étanche ancrée avec entonnoirs et fenêtres "Funnel and gate".

Pour chacune des trois technologies de captage applicables, une simulation de leur impact sur l'écoulement souterrain a été réalisée par TechnoRem afin de déterminer les effets de leur mise en place sur la piézométrie.

L'information détaillée sur chacune des technologies retenues ainsi qu'un exemple d'application est contenue dans les fiches techniques identifiées C-1 à C-3, à l'annexe F. Des éléments particuliers au site du PEPSC présentant des limitations à l'application de la technologie sont présentés au tableau 4 (annexe A-2).

#### Barrière hydraulique (fiche C-1)

Ce mode de captage peut être utilisé pour intercepter uniquement le panache de contamination des eaux souterraines ou pour pomper simultanément les phases flottantes d'hydrocarbures. Plusieurs types de système de récupération de phases flottantes peuvent s'ajouter sans réduire l'efficacité de la barrière hydraulique.

La barrière hydraulique serait constituée d'une série de puits de pompage servant à créer un rabattement des eaux souterraines à la limite sud du PEPSC.

#### Barrière étanche ancrée avec contrôle hydraulique (fiche C-2)

Il s'agit d'une technologie de confinement total à l'aide d'un mur imperméable ancré dans le till ou au roc sur toute sa longueur. Le rehaussement de la surface piézométrique et son débordement en périphérie exigent la mise en place de puits de pompage pour le contrôle de l'augmentation des charges hydrauliques.

#### Barrière étanche ancrée avec entonnoirs et fenêtres (Funnel and gate) (fiche C-3)

La barrière de type "Funnel and gate" est formée d'un écran étanche découpé par une série d'ouvertures. Les portions étanches agissent alors comme un mur sur l'écoulement et font converger les eaux souterraines et les phases flottantes d'hydrocarbures vers des ouvertures où elles peuvent être interceptées et captées ou encore traitées *in situ* lors de leur passage dans les fenêtres qui sont alors comblées d'un média réactif.

### 6.3. Discussion

Dans cette section, nous présentons une discussion sur les technologies de captage en tenant compte du fait qu'elles doivent être jumelées à des technologies de séparation de phases et de traitement des eaux souterraines afin de constituer un processus d'intervention adapté au PEPSC. Les technologies de captage constituent toutefois la première étape des processus. Il est à noter que les technologies de captage applicables au PEPSC ont toutes été implantées avec succès sur plusieurs autres sites.

#### Barrière hydraulique (fiche C-1)

Deux avantages de la barrière hydraulique sont que sa mise en œuvre sur le chantier s'avère moins complexe que les barrières étanches et qu'elle réduit au minimum le volume de matériaux (sol, matières résiduelles) à excaver. Selon TechnoRem, cette technologie s'avère la moins coûteuse des technologies de captage des eaux souterraines applicables, tout au moins pour son implantation. Toutefois, lors des opérations, la barrière hydraulique demande un pompage et une gestion d'eau plus importants ainsi qu'un niveau de suivi et d'ajustement plus élevé que les barrières étanches.

Les débits de pompage devront être évalués adéquatement lors du design du système afin de limiter le pompage excessif des eaux du fleuve et des eaux souterraines situées sous l'autoroute Bonaventure. Toutefois, le pompage contrôlé des eaux sous l'autoroute pourrait être avantageux si l'on désire récupérer une partie des contaminants, et particulièrement des phases flottantes d'hydrocarbures qui ont migré à cet endroit.

Une attention particulière devra être portée en ce qui concerne la garantie du confinement permanent des eaux par cette technologie. En effet, il existe un risque élevé de migration des eaux contaminées en aval du site du PEPSC lors d'un arrêt des composantes de la barrière hydraulique. De plus, des chemins préférentiels peuvent causer une certaine migration à travers la barrière hydraulique si la conception et l'opération sont inadéquates.

La conception des puits de pompage ainsi que le nettoyage préventif des composantes de pompage en raison de la présence de fer, de carbonates et de MES dans l'eau souterraine s'avèrent des éléments clés de la fiabilité et du succès de l'opération des systèmes d'interception hydraulique. Dans ces conditions, TechnoRem propose de nettoyer les composantes de pompage (puits, conduites) à l'aide de solutions chlorées et acides par injection d'air ou par pistonnage mécanique.

Selon le CEMRS et tel qu'indiqué au tableau 2 (annexe A-1), il y a un risque moyen à fort que cette technologie ne puisse atteindre les objectifs visés. Cette technologie offre une mobilité plus grande que les précédentes, ce qui la rend plus adaptable s'il y a des

modifications futures du plan d'aménagement du site du PEPSC. Le volume de déblais d'excavation lors de son implantation est estimé à près de 1 000 m<sup>3</sup>.

### Simulation

Les résultats des simulations de TechnoRem indiquent qu'il faudrait environ 68 puits de pompage distribués sur une longueur totale de 2 100 mètres. Dans la portion ouest du site, ces puits de pompage devraient être plus rapprochés compte tenu de la faible perméabilité des remblais dans ce secteur. Le débit total serait de l'ordre de 800 m<sup>3</sup>/jour considérant une augmentation du gradient hydraulique dû au pompage. La figure 15, à la page suivante, illustre le résultat de cette simulation.

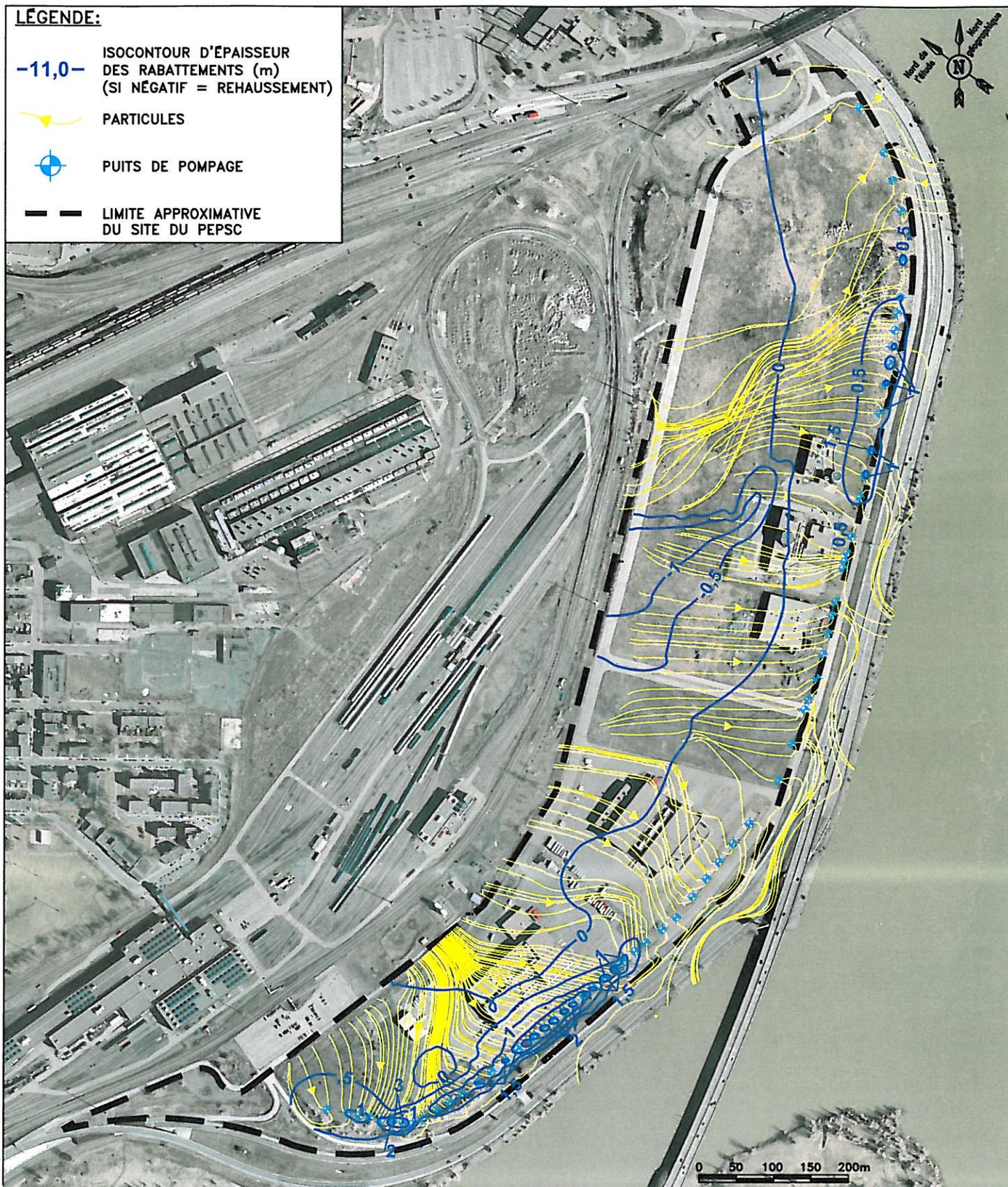
**LÉGENDE:**

**-11,0-** ISOCONTOUR D'ÉPAISSEUR  
DES RABATTEMENTS (m)  
(SI NÉGATIF = REHAUSSEMENT)

 PARTICULES

 PUIXS DE POMPAGE

 LIMITE APPROXIMATIVE  
DU SITE DU PEPS



**CENTRE D'EXCELLENCE DE MONTRÉAL EN  
RÉHABILITATION DE SITES**

ANALYSE, IDENTIFICATION ET RECOMMANDATION DE SOLUTIONS POUR LE CAPTAGE ET  
LE TRAITEMENT DES EAUX SOUTERRAINES ET DES PHASES FLOTTANTES  
D'HYDROCARBURES DU PARC D'ENTREPRISES DE LA POINTE-SAINT-CHARLES (PEPSC)

**SIMULATION DU SCÉNARIO 4:  
BARRIÈRE HYDRAULIQUE**

**FIGURE:  
15**

Date:

2009-06-16

Projeté par:

TechnoRem

Vérfié par:

Daniel Rivard, CEMRS

Echelle:

1:7000

### Barrière étanche ancrée avec contrôle hydraulique (fiche C-2)

La barrière étanche ancrée offre un degré de protection supérieur qui minimise considérablement le risque de migration hors site de contaminants, ce qui lui confère un avantage par rapport au scénario d'une barrière hydraulique. Une liste des diverses barrières commercialisées et applicables au site PEPSC est montrée à la fiche C-2 de l'annexe F. Selon des essais réalisés par SNC-Lavalin (réf. 15), il est suggéré que la barrière soit constituée de ciment-bentonite.

Toutefois, la construction d'une telle structure posera un défi particulier sur le site du PEPSC en raison des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du sous-sol, des infrastructures souterraines existantes et de la planification des nouveaux développements. De plus, des quantités importantes de déblais issus des travaux d'excavation pour la mise en place de la barrière devront être gérées. Il faudra également prévoir durant presque toute la durée des travaux une gestion adéquate de la circulation locale afin de ne pas nuire aux activités environnantes.

Selon le CEMRS et tel qu'indiqué au tableau 2 (annexe A-1), il y a un risque faible que cette technologie n'atteigne pas les objectifs visés. De par ses caractéristiques, la mobilité de cette barrière n'est pas envisageable. Le volume de déblais d'excavation lors de son implantation est estimé à plus de 30 000 m<sup>3</sup>.

### Simulation

Les simulations mathématiques prédictives de TechnoRem indiquent qu'une barrière étanche d'une longueur d'environ 2 100 mètres devrait avoir une largeur comprise entre 0,75 et 0,90 mètre et une profondeur variant entre 7,5 et 16 mètres. Un contrôle hydraulique par un pompage des eaux souterraines est nécessaire pour maintenir le niveau de l'aquifère en amont de la barrière étanche ancrée. Le nombre simulé de puits de pompage nécessaire au contrôle hydraulique serait de l'ordre de 35.

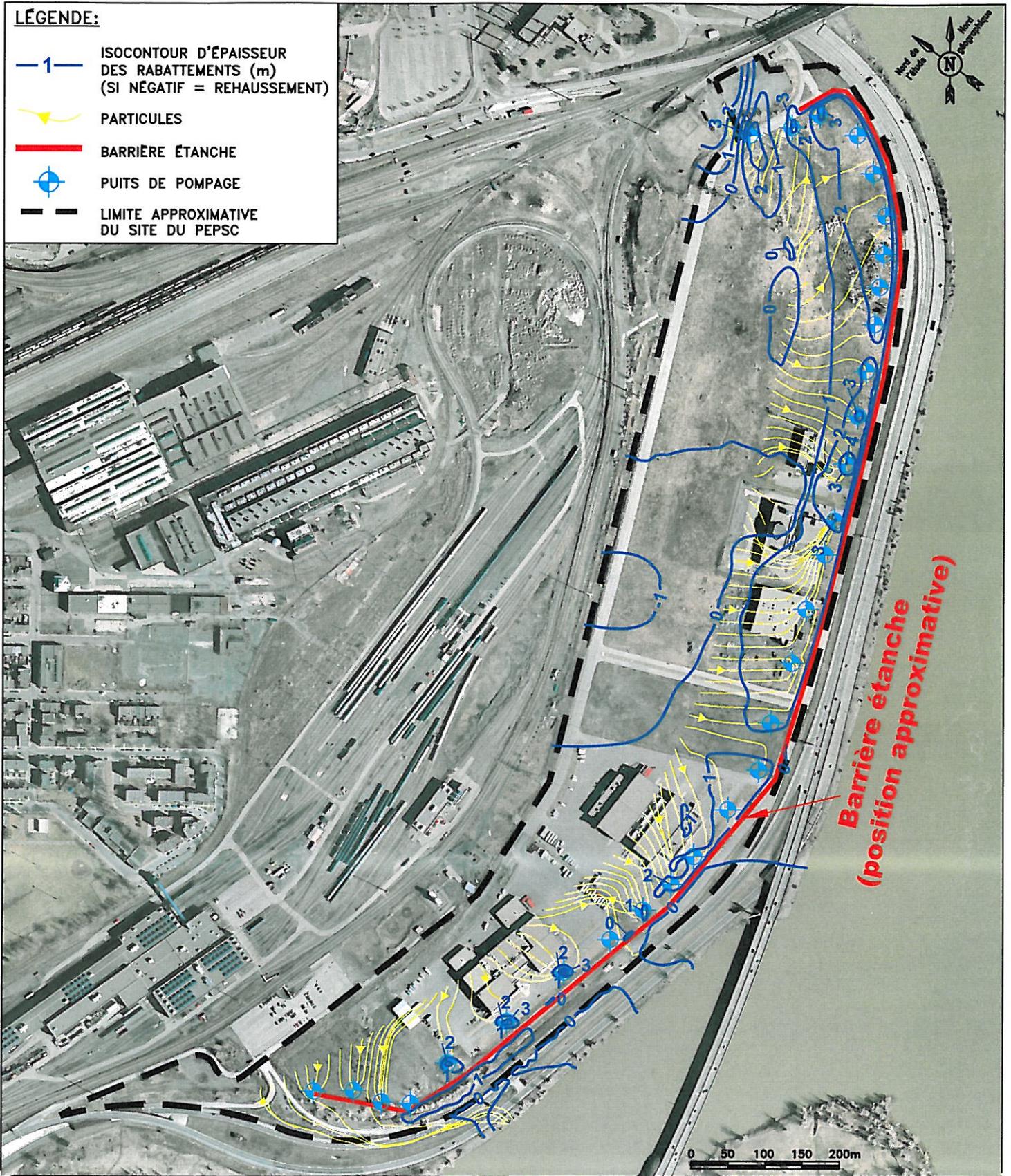
Le débit total est estimé à 530 m<sup>3</sup>/jour. La figure 16 de la page suivante illustre le résultat de cette simulation.

Un tel scénario exige toutefois que le pompage des eaux soit maintenu à perpétuité, à moins de prévoir le démantèlement d'une partie de la barrière étanche afin de restituer l'écoulement naturel des eaux souterraines une fois qu'elles n'auront plus à être traitées.

Tout comme dans le cas de la barrière hydraulique, la conception des puits ainsi que le nettoyage préventif des composantes de pompage en raison du colmatage potentiel dû à la présence de fer et de MES dans les eaux souterraines s'avèrent être des éléments clés de la fiabilité et du succès de l'opération efficace des systèmes d'interception hydraulique.

**LÉGENDE:**

- 1 — ISOCONTOUR D'ÉPAISSEUR DES RABATTEMENTS (m) (SI NÉGATIF = REHAUSSEMENT)
- ↘ PARTICULES
- BARRIÈRE ÉTANCHE
- ⊕ PUIXS DE POMPAGE
- LIMITE APPROXIMATIVE DU SITE DU PEPS



Barrière étanche  
(position approximative)

0 50 100 150 200m



**CENTRE D'EXCELLENCE DE MONTRÉAL EN RÉHABILITATION DE SITES**

ANALYSE, IDENTIFICATION ET RECOMMANDATION DE SOLUTIONS POUR LE CAPTAGE ET LE TRAITEMENT DES EAUX SOUTERRAINES ET DES PHASES FLOTTANTES D'HYDROCARBURES DU PARC D'ENTREPRISES DE LA POINTE-SAINT-CHARLES (PEPSC)

**SIMULATION DU SCÉNARIO 2:  
BARRIÈRE ÉTANCHE AVEC CONTRÔLE HYDRAULIQUE**

**FIGURE:  
16**

Date:

2009-06-16

Projeté par:

TechnoRem

Vérifié par:

Daniel Rivard, CEMRS

Echelle:

1:7000

### Barrière étanche ancrée avec entonnoirs et fenêtres «Funnel and Gate» (fiche C-3)

La barrière étanche ancrée avec entonnoirs et fenêtres de type «Funnel and Gate» présente les mêmes difficultés que la barrière étanche sauf qu'elle ne requiert pas de contrôle hydraulique. La présence des fenêtres réactives offre moins de protection contre la migration hors site des contaminants lors d'une défaillance du média réactif dans la fenêtre. La conception des fenêtres est étroitement liée à la capacité de traitement des contaminants par le(s) média(s) réactif(s). L'épaisseur des zones de média réactif doit permettre un temps de résidence suffisamment long pour assurer le traitement des eaux souterraines contaminées. On devra prévoir des frais d'entretien du média réactif à chacune des fenêtres.

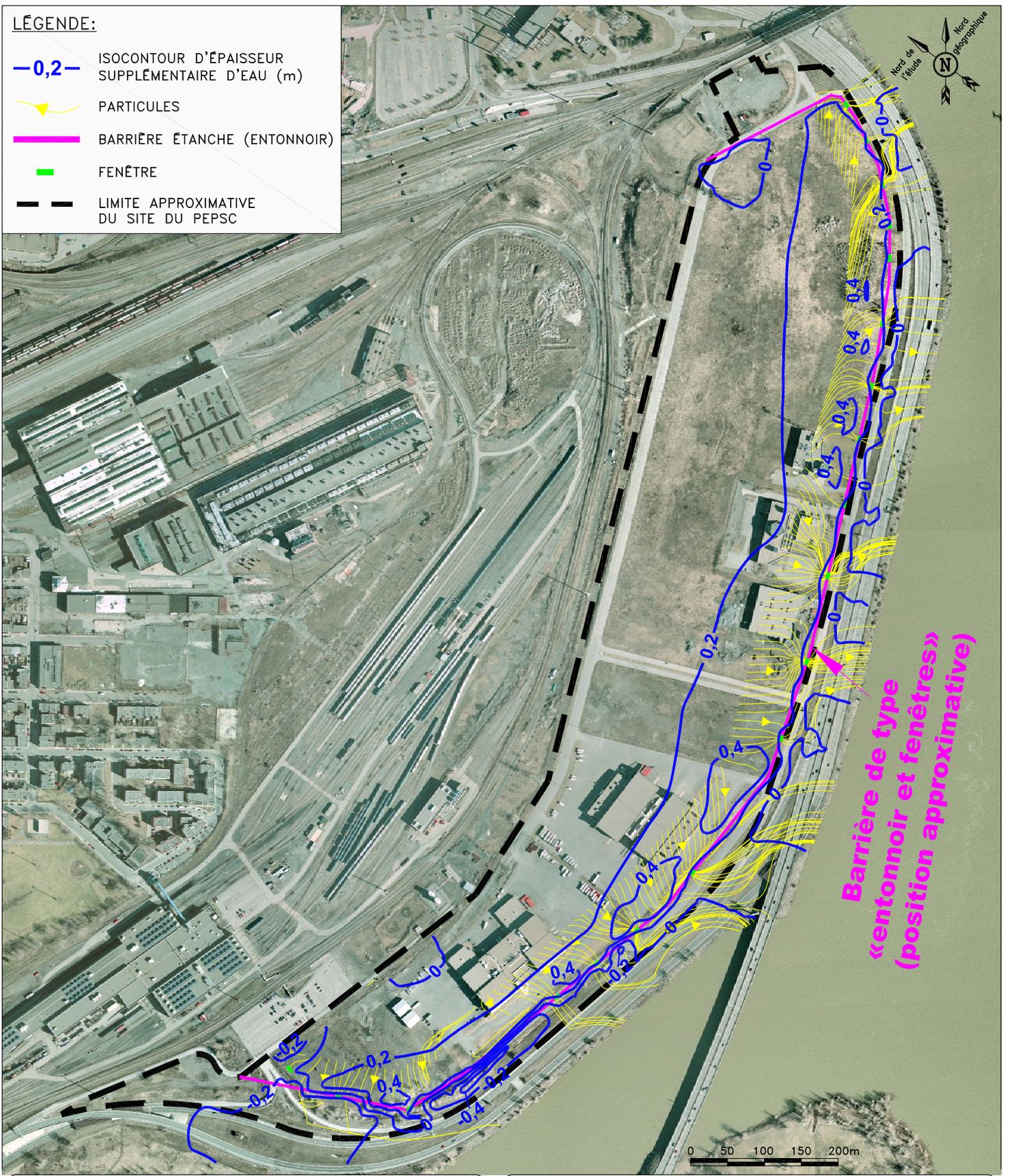
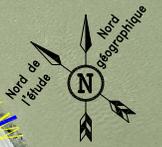
Selon le CEMRS et tel qu'indiqué au tableau 2 (annexe A-1), il y a un risque moyen que cette technologie n'atteigne pas les objectifs visés. De par ses caractéristiques, la mobilité de cette barrière n'est pas envisageable. Le volume de déblais d'excavation lors de son implantation est estimé à plus de 30 000 m<sup>3</sup> en plus des volumes requis pour l'installation souterraine des bioréacteurs.

### Simulation

Les résultats des simulations prédictives de TechnoRem montrent que la quantité de fenêtres serait de l'ordre de 22, d'une largeur de 5 mètres (soit environ 5 % de la longueur totale du mur). L'espacement entre les fenêtres varierait d'un peu plus de 30 mètres à environ 250 mètres pour un espacement moyen de l'ordre de 100 mètres. Le flux total cumulatif au travers des fenêtres serait de l'ordre de 530m<sup>3</sup>/jour. La figure 17 illustre le résultat de cette simulation.

**LÉGENDE:**

- 0,2— ISOCONTOUR D'ÉPAISSEUR SUPPLÉMENTAIRE D'EAU (m)
- ↘ PARTICULES
- BARRIÈRE ÉTANCHE (ENTONNOIR)
- FENÊTRE
- LIMITE APPROXIMATIVE DU SITE DU PEPS



Barrière de type «entonnoir et fenêtres» (position approximative)



CENTRE D'EXCELLENCE DE MONTRÉAL EN RÉHABILITATION DE SITES

ANALYSE, IDENTIFICATION ET RECOMMANDATION DE SOLUTIONS POUR LE CAPTAGE ET LE TRAITEMENT DES EAUX SOUTERRAINES ET DES PHASES FLOTTANTES D'HYDROCARBURES DU PARC D'ENTREPRISES DE LA POINTE-SAINT-CHARLES (PEPSC)

SIMULATION DU SCÉNARIO 3:  
BARRIÈRE DE TYPE "ENTONNOIRS ET FENÊTRES"

FIGURE:  
17

Date: 2009-06-16	Projeté par: TechnoRem	Vérifié par: Daniel Rivard, CEMRS	Échelle: 1:7000
---------------------	---------------------------	--------------------------------------	--------------------

X:\desafn\_dec\projets\PEPSC09\PROJ-21\_CEMRS\0921\_FT7.dwg - 2009-06-20 12:14:43

### Option de réinjection de l'eau traitée

Pour les trois procédés de captage présentés, il est possible de convenir que la totalité ou une portion des eaux traitées soit réinjectée dans la portion nord du site du PEPSC (en amont hydraulique). L'intérêt de ce scénario consiste d'une part à favoriser la mobilisation et la récupération des phases flottantes d'hydrocarbures et d'autre part à stimuler la biodégradation de l'azote ammoniacal en oxygénant l'eau réinjectée.

Des puits d'injection ou des tranchées d'infiltration seraient utilisés pour retourner l'eau traitée en amont dans les zones où l'azote ammoniacal est généré. Normalement l'eau devrait être injectée dans la zone saturée.

Une attention particulière devra être portée afin de ne pas indûment augmenter le niveau d'eau dans la formation de remblai et ainsi inverser l'écoulement des eaux souterraines contaminées vers la propriété au nord, c.-à-d. le Canadien National.

D'autre part, une augmentation du niveau d'eau dans la zone non saturée peut favoriser la libération d'azote ammoniacal non disponible précédemment, notamment entre la zone de réinjection et les ouvrages de captage. Aussi, il faudrait prévoir qu'une augmentation des concentrations en contaminants ou la venue de contaminants non identifiés précédemment soit possible.

Selon le CEMRS, et compte tenu du peu d'information actuellement disponible, il y a donc un risque moyen à fort que cette option de réinjection de l'eau traitée induise d'abord une augmentation des concentrations de contaminants à traiter, des MES, du fer et des carbonates, tel qu'observé lors de l'essai pilote de Sanexen; qu'elle modifie les conditions d'écoulements des eaux souterraines par la création de chenaux d'écoulement préférentiel souterrain (channeling); de plus qu'elle favorise l'ameublissement du sous-sol composé de débris et de déchets; et qu'enfin, les eaux souterraines s'écoulent vers les limites de la propriété où elles ne sont pas captées ou confinées.

### Simulation

Des simulations prédictives ont été réalisées par TechnoRem pour le scénario de réinjection partielle avec la barrière hydraulique afin de déterminer le taux optimal de réinjection. La réinjection peut être appliquée avec les autres modes de captage.

Le système de réinjection est représenté dans le modèle mathématique par une tranchée de 500 mètres de long par 5 mètres de largeur située à l'arrière des bâtiments de Bell-Mobilité sur la portion vacante des terrains du PEPSC. Le débit d'injection maximal, pour ne pas renverser le gradient hydraulique vers le terrain au nord, serait de l'ordre de 150 m<sup>3</sup>/jour. Par conséquent, le débit de pompage augmenterait à un peu

plus de 800 m<sup>3</sup>/jour et le nombre de puits de pompage augmenterait de 68 à 72. À noter également que le niveau d'eau souterraine augmenterait de l'ordre de 1,5 mètre à l'endroit de la tranchée de réinjection. À une distance de 80 m de la tranchée, l'augmentation ne serait plus significative. La figure 18 illustre le résultat de cette simulation.

La conception d'un train technologique comprenant l'option d'injecter les eaux traitées dans l'aquifère contaminé du PEPSC devra tenir compte de toutes les caractéristiques hydrogéologiques et géotechniques du site, du réseau des infrastructures de surface et enfouies, des bâtiments et autres contraintes avant que l'on puisse procéder à la mise en place du scénario final.

**LEGENDE:**

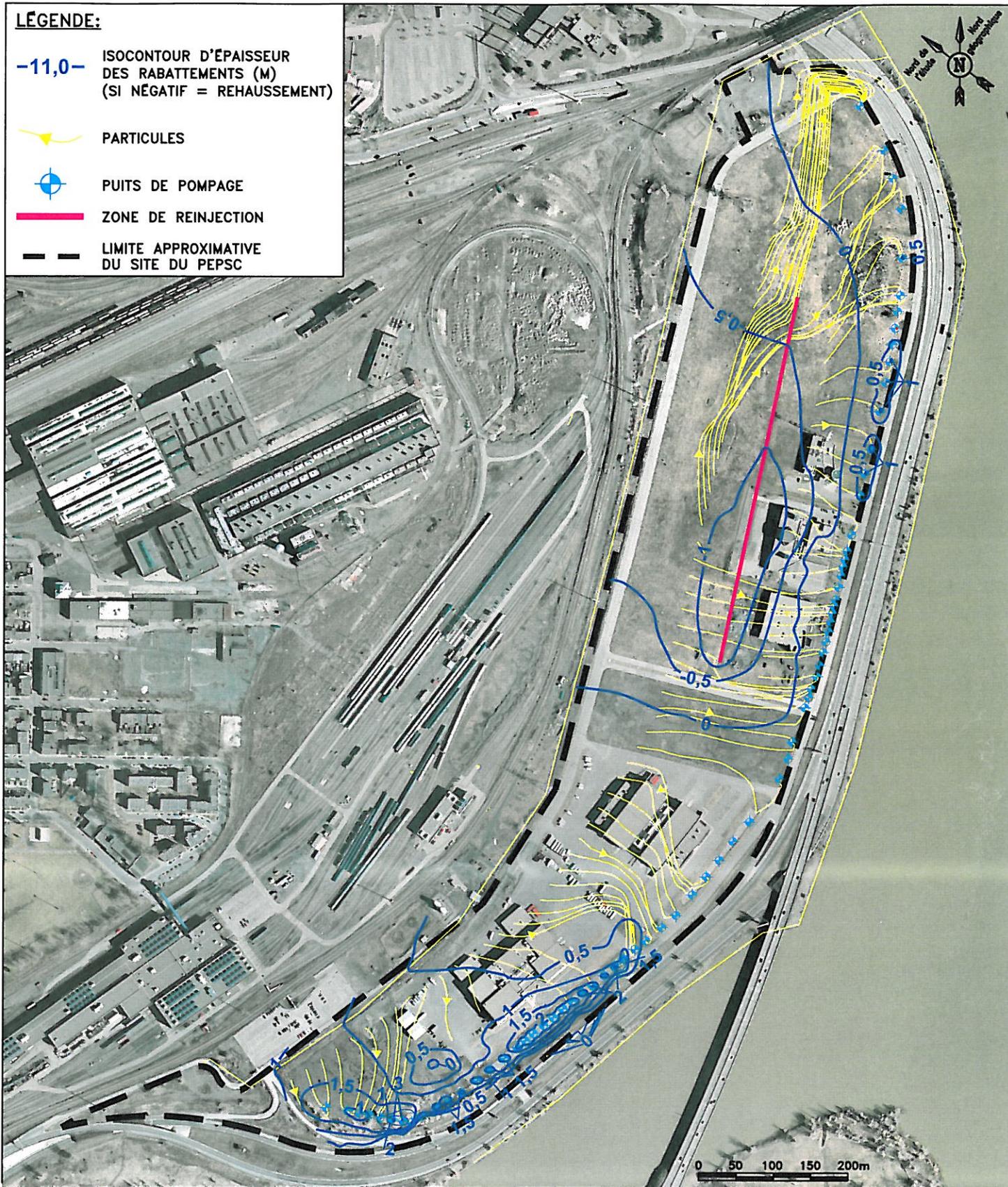
**-11,0-** ISOCONTOUR D'ÉPAISSEUR DES RABATEMENTS (M) (SI NÉGATIF = REHAUSSEMENT)

 PARTICULES

 PUIIS DE POMPAGE

 ZONE DE REINJECTION

 LIMITE APPROXIMATIVE DU SITE DU PEPS



**CENTRE D'EXCELLENCE DE MONTRÉAL EN RÉHABILITATION DE SITES**

ANALYSE, IDENTIFICATION ET RECOMMANDATION DE SOLUTIONS POUR LE CAPTAGE ET LE TRAITEMENT DES EAUX SOUTERRAINES ET DES PHASES FLOTTANTES D'HYDROCARBURES DU PARC D'ENTREPRISES DE LA POINTE-SAINT-CHARLES (PEPSC)

**SIMULATION DU SCÉNARIO 5:  
BARRIÈRE HYDRAULIQUE ET REINJECTION**

**FIGURE:  
18**

Date:

2009-06-16

Projeté par:

TechnoRem

Vérifié par:

Daniel Rivard, CEMRS

Echelle:

1:7000

## 7. ÉTAPE 2 : TECHNOLOGIES DE SÉPARATION DES PHASES FLOTTANTES D'HYDROCARBURES

### 7.1. Présence d'hydrocarbures

Les hydrocarbures pétroliers ont la particularité de flotter et de se déplacer sur la nappe souterraine. Aussi, les variations verticales du niveau de cette nappe favorisent la propagation et l'imprégnation des hydrocarbures dans les sols. Bien que les hydrocarbures ne soient pas présents à la grandeur du site, l'épaisseur de la phase flottante d'hydrocarbures et la concentration de ceux-ci dans l'eau souterraine peuvent varier. De plus, la mobilité et l'étendue des hydrocarbures présents dans l'eau souterraine et en phase flottante nous forcent à intégrer dans le processus de traitement des moyens de les extraire dans le but de les gérer.

Les technologies présentées dans cette section ont la capacité de séparer les hydrocarbures des eaux souterraines. Les éléments qui doivent être pris en considération pour l'applicabilité de technologies sur le site du PEPSC sont, sans s'y limiter :

- Le volume de la phase flottante par rapport au volume d'eau varie selon la zone d'extraction;
- Selon le mode de captage, des émulsions eau-hydrocarbures pourraient être créées;
- Des matières en suspension et des composés métalliques pourraient être entraînés avec les hydrocarbures;
- Les phases flottantes pourraient contenir des biphényles polychlorés (BPC);
- Les phases flottantes se trouvent dans près de 15 % des puits et le volume total d'hydrocarbures récupérables est estimé à 1 850 m<sup>3</sup>.

### 7.2. Technologies applicables au site PEPSC

Les sections suivantes présentent les technologies de fractionnement d'un système liquide-liquide, dont les composants sont quasi immiscibles et de densités différentes. Elles permettent de séparer l'eau des hydrocarbures afin d'acheminer chacune des fractions vers des filières de gestion appropriées (traitement ou élimination). Elles utilisent deux approches distinctes, soit :

- *In situ* comme l'écumage (fiche S-1) ou l'extraction sous vide (fiche S-2);
- *Ex situ* comme la séparation par décantation (fiche S-3), par entraînement (fiches S-4 et S-8), par dynamique des fluides (fiches S-5 et S-9) ou par filtration sur médias spéciaux (fiches S-6 et S-7).

L'information détaillée sur chacune des technologies retenues ainsi qu'un exemple d'application sont contenus dans les fiches techniques identifiées S-1 à S-9, à l'annexe F. Le tableau 5 de l'annexe A-2 résume l'information détaillée contenue dans les fiches techniques de l'annexe F et identifie des éléments particuliers au site du PEPSC présentant des limitations à l'application de la technologie. Quant aux technologies qui ont été envisagées au cours de la recherche, mais qui ont été écartées parce qu'elles n'étaient pas applicables au cas du PEPSC, elles sont présentées au tableau 7 de l'annexe A-2.

Les technologies génériques qui offrent un potentiel d'application au cas du PEPSC pour séparer l'eau des phases flottantes sont les suivantes :

### Écrémage (fiche S-1)

La récupération par écrémage est utilisée couramment depuis de nombreuses années. Elle permet de récupérer les phases flottantes d'hydrocarbures à l'intérieur de puits de récupération. Son action peut être passive ou active. Dans la méthode passive, on introduit un réservoir oléophile à la hauteur des phases flottantes. Seuls les hydrocarbures en phases flottantes pénètrent à l'intérieur du réservoir qui est vidé régulièrement. La méthode active quant à elle, permet de pomper ces phases flottantes directement dans le puits de récupération.

Les *écrémeurs actifs* peuvent récupérer jusqu'à un millimètre d'épaisseur d'hydrocarbures. Leur efficacité est surtout fonction de la viscosité et de l'épaisseur de la phase flottante, de la profondeur à laquelle se retrouvent les hydrocarbures ainsi que de la variation du niveau piézométrique. Lorsque la viscosité est élevée ou lorsque les épaisseurs de phases flottantes sont faibles, la performance des *écrémeurs actifs* est réduite. Quant aux *écrémeurs passifs*, ils exigent un suivi régulier, car leur positionnement dans les puits doit être ajusté en fonction des variations du niveau d'eau et leur vidange doit souvent être faite manuellement.

Les systèmes d'écrémage doivent être implantés aux endroits où les hydrocarbures sont susceptibles de s'accumuler, soit dans des puits individuels (système à une pompe) ou jumelés à un système de captage des eaux souterraines (système à 2 pompes).

Selon des essais réalisés par SNC-Lavalin (réf. 16), les types d'*écrémeurs actifs* ayant obtenu les meilleurs résultats sont le « Spill Buster » pour des hydrocarbures ayant une viscosité inférieure à 30 centistokes et la courroie « Abanaki » pour des hydrocarbures ayant une viscosité supérieure à 30 centistokes. En raison de la variabilité de cette viscosité et de la profondeur des phases flottantes d'hydrocarbures, l'utilisation de plus d'un type d'*écrémeurs* pourrait être requise.

### Systeme d'extraction sous vide ou "Bioslurping" (fiche S- 2)

Cette technique développée il y a une quinzaine d'années consiste à récupérer les phases flottantes d'hydrocarbures dans des puits de récupération scellés et sous vide partiel, aux endroits où des phases flottantes d'hydrocarbures sont présentes en fortes épaisseurs. La récupération se fait à l'aide de tuyaux d'extraction reliés à une pompe à vacuum et dont les extrémités sont positionnées aux interfaces air/phases flottantes. Le vide partiel à l'intérieur des puits sert à créer dans le sol des gradients de pression entre l'extérieur et l'intérieur des puits afin de forcer le transfert des phases flottantes d'hydrocarbures vers ceux-ci. Il sert également à induire une circulation d'air dans la zone non saturée du sol de façon à favoriser les mécanismes naturels de biodégradation des hydrocarbures. La pression négative établie dans les puits dépend du taux de retrait de l'air par la pompe ainsi que de la perméabilité de la formation. La limite d'application des systèmes d'extraction sous vide est d'environ 10 mètres de profondeur.

Cette technologie est utilisée depuis une douzaine d'années sur la propriété du CN (ligne Butler) afin de récupérer des phases flottantes d'hydrocarbures le long de la limite nord du PEPSC. Aucune donnée sur l'efficacité du système en place n'est disponible.

### Séparateurs eau-huile et bassins de décantation (fiche S-3)

Systeme d'utilisation courante dans lequel le mélange eau-hydrocarbures qui circule à très faible vitesse se fractionne sous l'effet de la gravité, les gouttelettes d'hydrocarbures plus légères remontant en surface et les matières en suspension plus lourdes se retrouvant au fond. Il s'agit d'un système simple et efficace, mais pour lequel l'espace requis peut devenir imposant lorsque le volume à traiter est important, notamment à cause des temps de résidence se mesurant en heures. Ces systèmes sont souvent utilisés pour faire décanter des particules de très faible diamètre dans les usines de filtration d'eau potable ou de traitement d'eaux usées. L'addition de faibles quantités de produits coagulants (alun, chlorure ferrique) et de flocculants (polymères) rend possible et accélère le processus de décantation des particules en suspension.

### Systeme de flottation par air dissous (fiche S-4)

De l'air est dissous sous pression dans un liquide et les bulles qu'il forme lors de la dépressurisation du liquide adhèrent aux hydrocarbures, telles des « gouttelettes » qui sont entraînées vers la surface où elles forment une écume qui est collectée. Cette technologie est répandue particulièrement dans les installations d'épuration des eaux usées comme traitement secondaire et elle peut même traiter certaines émulsions d'hydrocarbures.

### Hydrocyclones de déshuilage (fiche S-5)

Les cyclones sont des dispositifs statiques en forme de cône dont la pointe est dirigée vers le bas. Le flux à traiter pénètre tangentiellement à grande vitesse dans la partie supérieure, à grand diamètre, et les particules ou phases les plus lourdes vont vers le bas. Les particules les plus légères et les phases plus légères demeurent en surface. L'extraction des phases légères se fait par un tuyau placé au centre de l'appareil alors que les phases plus lourdes sortent par le tuyau situé au fond du cône.

### Microfiltration et ultrafiltration (fiche S-6)

Traitements physiques consistant à filtrer un liquide à travers une membrane dont les pores sont microscopiques et de dimension uniforme. Sous l'action d'une pression de moins de 200 psi, l'eau qui traverse la membrane est clarifiée alors que les matières en suspension et que les gouttelettes d'hydrocarbures sont retenues.

### Oléofiltration (fiche S-7)

Traitement d'émulsions eau-hydrocarbures par filtration au travers de granules de céramique enduits d'une substance oléophile. Les hydrocarbures s'agglomèrent sur le média filtrant qui doit être nettoyé périodiquement et éventuellement remplacé. Il s'agit d'un traitement de polissage visant des eaux peu chargées.

### Électrocoagulation et électroflottation (fiche S-8)

Traitements électrochimiques pour clarifier l'eau dans laquelle un courant passant entre deux électrodes libère des ions métalliques et des bulles de gaz qui ont pour effet de faire flocculer la matière en suspension dans l'eau. Les floccs sont entraînés avec les hydrocarbures en émulsion par les bulles de gaz.

### Centrifugation (fiche S-9)

Les liquides immiscibles et les particules en suspension se séparent sous l'action de la force centrifuge en raison de la différence de leur densité. Les centrifugeuses accélèrent considérablement le mécanisme physique de sédimentation des phases selon la densité en comparaison avec les séparateurs statiques. Ces appareils occupent donc un faible volume et ils peuvent briser des émulsions d'hydrocarbures sans ajout de produit chimique.

L'analyse des informations présentées combinées aux particularités des eaux souterraines du site du PEPSC et de résultats tirés des essais pilotes nous permet d'identifier des éléments pertinents dans la décision quant au choix des procédés à implanter à pleine échelle. L'analyse des éléments est présentée au Tableau 2 « Outil décisionnel - paramètres d'évaluation du risque et des coûts » à l'annexe A-1.

### 7.3. Discussion

Notre analyse montre que neuf technologies pourraient permettre la séparation des phases flottantes d'hydrocarbures de l'affluent. Selon l'application et les buts à atteindre, deux approches sont envisageables, soit *in situ* ou *ex situ*.

Si l'on opte pour une approche *in situ*, l'écémage et l'extraction sous vide conviennent.

Autrement, si l'approche *ex situ* est priorisée, des technologies de séparation ont été développées pour des applications variées de sorte qu'elles ciblent des conditions où les concentrations des fractions d'hydrocarbures à extraire sont stables (hydrocyclones) ou faibles (oléofiltration). D'autres donnent des niveaux élevés d'extraction (microfiltration, ultrafiltration). Certaines technologies ont des rendements moyens, mais leur capacité à absorber des fluctuations importantes du débit en fait des éléments souvent retenus pour le traitement d'effluents (séparateurs, systèmes de flottation). Enfin, la centrifugation est une approche efficace et polyvalente utilisée en industrie alors que l'électroflottation est une variante à la flottation par air dissous à considérer notamment à cause de sa capacité d'extraire plusieurs métaux dissous dans les eaux souterraines.

Pour le traitement des eaux souterraines, la méthode la plus communément utilisée est la décantation avec des séparateurs eau-huile. Il nous apparaît aussi opportun d'envisager la centrifugation qui pourrait être plus compacte, selon le design. Au PEPSC, les résidus seront des huiles à peu près exemptes d'eau qu'il faudra manipuler, stocker et éliminer sécuritairement, car il s'agit de matières dangereuses et qu'elles peuvent contenir des concentrations importantes de BPC. Les eaux auront été oxygénées suffisamment par contact avec l'air pour que le fer sous forme  $Fe^{2+}$  passe sous la forme  $Fe^{3+}$  et se précipite. L'injection éventuelle de coagulants et de floculants aura comme effet de faire précipiter la matière en suspension. Cependant, les décanteurs (ou les centrifuges) devront comporter un circuit de collecte et un système de déshydratation et d'élimination de cette boue résultante. La revalorisation des boues pourrait être envisagée pourvu que celles-ci respectent le Règlement sur les matières dangereuses.

Les systèmes d'écémage doivent être implantés aux endroits où les hydrocarbures sont susceptibles de s'accumuler. Un entretien rigoureux des écémages permettra d'éliminer les problèmes de colmatage liés à la présence du fer dans les eaux souterraines.

Le système d'extraction sous vide peut s'avérer une bonne option aux endroits où de grandes épaisseurs de phases flottantes d'hydrocarbures sont observées. L'efficacité du système d'extraction sous vide dépend principalement des types de contaminants organiques, des conditions hydrogéologiques du site, mais aussi de ses critères de conception (emplacement, nombre, position des tuyaux d'extraction et pression de

succion appliquée). Des fluctuations importantes du niveau de la nappe demandent des ajustements des tuyaux d'extraction de façon à les repositionner à l'interface air-hydrocarbures. Son efficacité peut être réduite en raison de la variabilité de la perméabilité de la zone à traiter, telle qu'observée à plusieurs endroits sur le site du PEPSC. La séparation des phases (eau/hydrocarbures/vapeur) peut être complexe selon la nature des contaminants (formation d'émulsions stables et de biomasse). De plus, la profondeur des phases flottantes d'hydrocarbures à plus de 10 mètres pourrait diminuer le rendement voire l'applicabilité de cette technologie.

Les hydrocarbures récupérés devront être gérés en fonction de la réglementation sur la gestion des matières dangereuses du MDDEP et il sera requis d'évaluer les concentrations en BPC. Un traitement des hydrocarbures qui permettrait d'en extraire les fractions de BPC, en l'occurrence le procédé PCBD (marque de commerce du procédé qui signifie Polychlorinated Biphenyls Decontamination) développé dans les années 70 et commercialisé au début des années 80 aux États-Unis et par la suite à l'échelle mondiale, pourrait permettre la revalorisation des huiles tout en diminuant les frais de leur gestion.

L'efficacité de l'extraction des BPC par ce procédé varie selon les conditions de réaction utilisées et selon les impuretés présentes. Un tel traitement des hydrocarbures a été réalisé volontairement par Sanexen (détenteur de la licence pour le Canada) dans le cadre des essais pilotes. Ce traitement a permis d'extraire près de 95 % des BPC présents dans les hydrocarbures laissant une concentration finale en BPC qui permettrait sa revalorisation comme carburant d'appoint dans une installation tels qu'un four à ciment, conformément à la réglementation sur les matières dangereuses.

Selon les estimations de TechnoRem inc., un volume de l'ordre de 1 850 m<sup>3</sup> de phases libres est récupérable au site du PEPSC. Selon l'hypothèse qu'il est possible de récupérer l'ensemble de ce volume d'hydrocarbures et qu'aucun traitement ne sera appliqué aux huiles récupérées, deux scénarios sont à prévoir. Un scénario pessimiste où toutes les concentrations en BPC sont supérieures à 50 ppm et un scénario optimiste où les concentrations en BPC sont inférieures à 50 ppm. À partir des données compilées dans ENVIROVUE, il apparaît que depuis 1995 près de 90 % des résultats analytiques obtenus sur la phase flottante montrent des concentrations en BPC supérieures à 50 ppm.

## 8. ÉTAPE 3 : TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

### 8.1. Les caractéristiques de l'eau à traiter

Le traitement des eaux souterraines représente la troisième et la dernière étape du processus global d'intervention, qui font suite au captage et à la séparation des phases flottantes d'hydrocarbures. Le principal objectif de cette étape est de traiter les eaux souterraines dont les caractéristiques de contamination sont décrites au paragraphe 4.4.2. En 2008, les eaux qui s'écoulaient au fleuve contenaient en moyenne 35,7 mg/L d'azote ammoniacal ce qui correspond à près de quinze fois supérieures au critère calculé par le MDDEP pour les eaux souterraines. Les facteurs qui doivent être considérés pour déterminer quelles technologies peuvent être utilisées pour traiter les eaux du PEPSC sont les suivants :

- Les concentrations d'azote ammoniacal sont très variables dans les différentes zones du site. La valeur maximale observée en 2008 est 214 mg/l.
- Les autres contaminants identifiés dans l'étude de STANTEC (réf.11) qui pourraient potentiellement contribuer à l'écotoxicité des eaux du PEPSC sont le bioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), les métaux totaux dissous (MTD) et le strontium (Sr) ;
- Le fer présent en fortes concentrations est un élément dont on doit tenir compte, car il précipite sous action de l'oxygène et par conséquent accentue le risque de colmatage ou de réduction d'efficacité des systèmes de traitement;
- Le zinc et les sulfures excèdent les critères du MDDEP relatifs aux résurgences dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts;
- La variation dans les concentrations des contaminants en phase dissoute;
- La présence d'une forte alcalinité (capacité d'une eau à absorber des protons H<sup>+</sup>) pourrait influencer les réactions chimiques de certains procédés de traitement;
- La température moyenne annuelle des eaux souterraines, qui se situe entre 10°C et 12°C est un facteur à considérer pour les technologies biologiques;
- Finalement, le système de traitement des eaux souterraines devra être conçu pour un débit moyen total d'environ 530 m<sup>3</sup>/jour (± 30 %). Il faut aussi considérer des flux maxima d'environ 1 100 m<sup>3</sup>/jour (± 30 %) lors des périodes de fonte printanière. Ces débits pourraient être réduits par une imperméabilisation de la surface du sol qui diminuerait les infiltrations.

### 8.2. Technologies applicables

Le répertoire des technologies de traitement des eaux souterraines présenté dans cette section reprend des procédés connus qui sont appliqués à l'épuration des eaux usées d'origine municipale ou industrielle. Les essais pilotes et de laboratoire décrits aux sections 5.1 et 5.2 ont permis de vérifier des conditions particulières d'application pour des technologies éprouvées. Les approches jugées aptes à abaisser les concentrations

de contaminants sous les niveaux requis dans les conditions observées au PEPSC peuvent être regroupées dans les familles suivantes :

- Des méthodes biologiques par lesquelles des microorganismes transforment l'azote ammoniacal en nitrates et les nitrates en azote gazeux (fiches T-1, T-2, T-3, T-4);
- Une méthode biologique par laquelle des végétaux et des microorganismes métabolisent l'azote ammoniacal, capturent les métaux et dégradent des hydrocarbures (fiche T-5);
- Une méthode chimique par réaction en présence d'oxydants puissants (fiche T-6);
- Une méthode physico-chimique de rétention sélective par affinité de charges électriques (fiche T-7);
- Une méthode physique de tamisage moléculaire (fiche T-8).

Le tableau 6 de l'annexe A-2 est un outil conçu pour le gestionnaire qui présente de façon synoptique l'information détaillée contenue dans les fiches techniques de l'annexe F, mais aussi, identifie des éléments particuliers au site du PEPSC présentant des limitations à l'application de la technologie. Dans ce même tableau sont intégrés les points saillants des procédés testés lors des essais pilotes. Quant aux technologies qui ont été écartées parce qu'elles n'étaient pas applicables au cas du PEPSC, elles sont présentées au tableau 7 de l'annexe A-2.

Les paragraphes qui suivent présentent une description sommaire des technologies applicables :

#### *Biostimulation/Bioaugmentation in situ (fiche T-1)*

Des microorganismes indigènes sont stimulés par la mise en place de conditions connues pour être propices à leur multiplication et à leur croissance. Cette faune bactérienne peut être en mesure de dégrader des composés organiques et de transformer l'azote ammoniacal en nitrates. Les mécanismes biologiques mis en jeu sont complexes et impliquent la sécrétion naturelle d'enzymes par les microorganismes.

Cette technologie est en mesure de traiter l'azote ammoniacal et de faibles concentrations d'hydrocarbures.

#### *Bioréacteurs (fiche T-2)*

Les bioréacteurs sont des milieux contrôlés dans lesquels les contaminants sont dégradés par des lignées de microorganismes qui peuvent proliférer grâce au maintien de conditions propices à leur développement. Selon les objectifs de traitement, il existe plusieurs conceptions de bioréacteurs. Le bioréacteur peut favoriser un traitement uniquement aérobique ou anaérobique. Le couplage des processus de biodégradation aérobie et anaérobique peut même être effectué dans le même bioréacteur.

Cette technologie est en mesure de traiter l'azote ammoniacal, les nitrites, les nitrates, certains métaux ainsi que les contaminants organiques tels les HAP, les organochlorés et les hydrocarbures en phase dissoute.

#### Marais filtrants évolués MFE (fiche T-3)

Le marais filtrant évolué est un bioréacteur construit sur le site et qui a la configuration d'un marais consolidé sur lequel on peut marcher. Un milieu poreux (gravier) est mis en place et il est colonisé par des microorganismes. L'eau traverse le MFE en empruntant des chicanes où règnent des conditions aérobies qui font en sorte que l'azote ammoniacal est transformé en nitrates par action biologique. Les plantes n'ont qu'un effet marginal sur l'efficacité de l'ensemble.

Cette technologie est en mesure de traiter l'azote ammoniacal, les nitrites, les nitrates, certains métaux et les hydrocarbures en phases dissoutes.

#### Barrière réactive perméable - BRP -(fiche T-4)

Aménagements souterrains installés perpendiculairement à l'écoulement des eaux souterraines, les barrières réactives perméables sont un milieu fabriqué artificiellement de manière à pouvoir traiter les contaminants qui les traversent. Il peut s'agir d'un milieu chimiquement réactif, d'un substrat colonisé par des microorganismes ou d'un milieu adsorbant sélectivement les contaminants.

Cette technologie est en mesure de traiter l'azote ammoniacal et des faibles concentrations d'hydrocarbures et, si l'on ne tient pas compte d'un possible colmatage, de filtrer les MES et le fer.

#### Phytoremédiation (fiche T-5)

Les végétaux peuvent avoir des effets bénéfiques sur des sols ou des eaux contaminés. Selon les types de plantes, on peut observer de l'extraction par les racines et de l'accumulation de métaux dans la matière ligneuse et les feuilles, la dégradation de composés organiques au voisinage des racines, le pompage et la volatilisation d'eau, la filtration d'eau par les racines.

Cette technologie serait en mesure, lorsque les conditions climatiques s'y prêtent, de métaboliser l'azote ammoniacal, dégrader des faibles concentrations d'hydrocarbures et accumuler certains métaux.

#### Oxydation chimique (fiche T-6)

Certains oxydants ont pour propriété de dégrader des composés organiques en brisant des liaisons chimiques. Cette méthode est souvent appliquée *in situ* à la contamination

des sols, les sous-produits de l'oxydation servant de nutriment à la microflore qui peut être indigène ou apportée de l'extérieur. L'oxydation chimique est en effet généralement combinée à la biodégradation.

L'essai commandé par le CEMRS a montré que l'oxydation chimique par l'ozone était trop complexe et peu efficace pour éliminer l'azote ammoniacal des eaux du PEPSC.

#### Adsorption (fiche T-7)

Certains solides possèdent une structure moléculaire qui confère à la surface extérieure de leurs particules la propriété de répartir dans le milieu ambiant les charges électroniques à un niveau énergétique plus stable, ce qui leur permet de retenir certains contaminants. Des produits comme le charbon activé, des résines synthétiques, certaines argiles et la sphaigne peuvent être utilisés dans des filtres adsorbants. Une fois utilisés, ces médias filtrants doivent être régénérés ou éliminés.

Cette technologie est en mesure de capter l'azote ammoniacal, les MES, les hydrocarbures et les métaux ainsi que de diminuer l'alcalinité de l'eau.

#### Ultrafiltration et nanofiltration (fiche T-8)

Traitements physiques consistant à filtrer un liquide à travers une membrane dont les pores sont microscopiques, de dimension uniforme et qui ont une capacité de ségrégation selon les dimensions des molécules ou leur charge ionique. Cette technologie est en mesure d'enlever les MES, le fer, le strontium, les hydrocarbures et certaines espèces ioniques dissoutes.

L'azote ammoniacal doit être transformé chimiquement en nitrates pour être extrait.

L'analyse des informations présentées combinées aux particularités des eaux souterraines du site du PEPSC et de résultats tirés des essais pilotes nous permet d'identifier des éléments pertinents dans la décision quant au choix des procédés à implanter à pleine échelle. L'analyse des éléments est présentée à l'« Outil décisionnel - paramètres d'évaluation du risque et des coûts » à l'annexe A-1.

### 8.3. Discussion

Dans l'ensemble, les technologies de traitement répertoriées ont toutes la capacité de traiter, dans certaines conditions, au moins l'une des substances visées par la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés du MDDEP, en l'occurrence l'azote ammoniacal, les hydrocarbures pétroliers, les HAP, les BPC et les métaux. Elles peuvent ainsi réduire la toxicité de l'eau souterraine associée à une ou plusieurs substances combinées. Elles peuvent aussi réduire les concentrations de fer et des matières en suspension qui, même s'il ne s'agit pas de contaminants, peuvent

poser un problème pour le bon fonctionnement des équipements et des procédés de traitement.

Les technologies retenues relèvent de l'approche biologique, physique ou chimique.

Si certains des procédés de traitement sont bien connus et appuyés par une littérature abondante, par exemple le bioréacteur et la filtration par adsorption, d'autres technologies telles que la biostimulation/bioaugmentation *in situ*, la barrière réactive perméable *in situ*, la phytoremédiation, l'oxydation chimique, le marais filtrant évolué et l'ultrafiltration-nanofiltration sont plus récentes ou présentent à différents niveaux des incertitudes face à la problématique du PEPSC.

L'approche biologique pour le traitement de l'eau est flexible et efficace. Cette approche qui requiert l'utilisation de populations microbiennes est appliquée sur une base commerciale pour la filtration de l'eau potable et pour le traitement des eaux usées municipales et industrielles. Elle a été testée en laboratoire lors des essais de traitabilité en 2007 (réf. 3). Le traitement des eaux extraites peut se faire *ex situ* en bioréacteur ou en marais filtrant évolué (MFE). Le traitement peut aussi être effectué dans la matrice du sol qui devient un bioréacteur *in situ*. On parle alors de procédé de bioaugmentation, de biostimulation et de barrière réactive perméable (BRP).

Étant donné que la population microbienne est sensible aux variations des solutions à traiter, la période d'acclimatation et les conditions physico-chimiques (pH, température, potentiel d'oxydoréduction, concentration d'oxygène dissous) du milieu de traitement doivent être contrôlées et maintenues rigoureusement.

Dans des conditions *ex situ* bien contrôlées, le bioréacteur est efficace pour traiter l'azote ammoniacal. Il peut également traiter d'autres types de contaminants tels que les organochlorés et les hydrocarbures en phase dissoute.

Dans l'approche biologique, soulignons que la nitrification et le cas échéant, la dénitrification demandent un temps de traitement plus important que pour les technologies chimiques ou physiques. Cette approche permet de transformer l'azote ammoniacal en nitrate qui est beaucoup moins toxique. La réaction de transformation se produit en présence d'oxygène (conditions aérobies) sous l'effet de bactéries autotrophes. Il est connu aussi que la transformation des nitrates en azote gazeux (inerte) est réalisable par un procédé biologique sous conditions anaérobies (absence d'oxygène).

La technologie du marais filtrant évolué (MFE) est appliquée en Amérique du Nord sur des sites comparables au PEPSC et où les températures peuvent atteindre les -35 °C. Dans le cadre des essais de traitabilité de 2007 (réf. 3), cette technologie a été testée en laboratoire lors des essais de traitabilité et elle a démontré un bon potentiel pour réduire la concentration d'azote ammoniacal dans les eaux du PEPSC, et ce, même en

période froide (environ 5 °C). À pleine échelle, le MFE requiert un espace important (estimé à 2 ha), aménagé sur une épaisseur de 2 m et il est opérationnel durant toute l'année.

La barrière réactive perméable (BRP) ne requiert aucun système de pompage des eaux souterraines. Toutefois, il est avantageux de prévoir l'installation d'un système de captage des phases flottantes d'hydrocarbures en amont de la BRP. De plus, un système de surveillance des eaux souterraines de part et d'autre de la BRP doit être mis en place afin de s'assurer de l'efficacité du traitement. Les médias filtrants peuvent se colmater par la précipitation de métaux (en particulier le fer) ou par la création de biomasse. Il faudra donc envisager un entretien périodique et le remplacement du médium constituant la BRP. Étant donné que la BRP est un processus uniquement de nitrification, il faut s'attendre à une augmentation significative des concentrations en nitrates en aval de la barrière. La BRP n'a pas été testée lors des essais du CEMRS.

La biostimulation et la bioaugmentation *in situ* seraient surtout applicables dans le cadre d'une réinjection des eaux traitées en amont du PEPSC. Les effluents d'un procédé de traitement biologique riches en bactéries et en oxygène dissous peuvent être utilisés de façon à promouvoir la biodégradation *in situ*. Pour ce faire, une caractérisation initiale et un suivi détaillé des conditions biologiques et physico-chimiques sont requis pour bien comprendre les mécanismes de dégradation qui prévalent.

L'essai de biostimulation *in situ* réalisé par Sanexen a démontré qu'une réduction d'environ 40 % de la concentration en azote ammoniacal est envisageable. Compte tenu notamment de la vitesse d'écoulement de l'eau souterraine au site PEPSC, une plus longue période d'essai serait requise afin de vérifier l'évolution du traitement et de statuer sur son efficacité.

Dans le cas du PEPSC, le design d'un train technologique basé sur l'approche biologique devra considérer un module de prétraitement des eaux brutes pour l'enlèvement des matières en suspension et des métaux (surtout le fer), mais aussi pour réduire d'éventuelles concentrations trop élevées en hydrocarbures pétroliers qui n'auraient pas été abaissées suffisamment lors du Captage et de la Séparation de phase flottante, en amont. De plus, avant le rejet final des eaux dans le milieu et afin de respecter les règlements de rejet en vigueur, un module de traitement final «de polissage», pourrait être requis pour s'assurer de rejeter une eau de qualité, notamment en ce qui concerne l'alcalinité et le pH.

La phytoremédiation est une alternative biologique à long terme dont l'effet se limite à la zone d'influence du réseau de racine des plantes, arbustes et arbres. Le choix d'une végétation qui répond aux conditions du site et aux contaminants en présence est important. Dans le cas du PEPSC, seules les eaux de surface peuvent être captées par les racines de la végétation. Ainsi, un système de pompage et d'irrigation devra être conçu afin d'acheminer les eaux à traiter, qui se trouvent en profondeur, vers la zone

d'irrigation des plantes. La phytoremédiation pourrait constituer une alternative au traitement à long terme des eaux du PEPSC. Des frais de gestion à long terme devront être encourus pour le suivi, l'entretien et la récupération des matières végétales ayant accumulé des métaux lourds ou autres contaminants à la fin de la saison de croissance. Un projet d'expérimentation portant sur la phytoremédiation, d'une durée de 3 ans, sera piloté par l'Institut de recherche en biologie végétale (IRBV) afin d'évaluer la possibilité d'utiliser la phytoremédiation pour la réhabilitation des eaux souterraines du PEPSC. Les principales limitations à l'utilisation de la phytoremédiation sont les saisons froides, la superficie requise pour sa mise en place et la profondeur de la nappe d'eaux souterraines et la phase flottante.

Les techniques de fixation sur média sont d'usage courant dans *l'approche physique*. Différents types de filtres, surtout les filtres de charbon activé et de zéolite, ont été utilisés lors des essais de traitabilité et des essais pilotes. Les filtres ont surtout été utilisés pour un polissage du traitement avant le rejet. Leur mise à contribution peut aussi être appliquée à l'amont du traitement biologique. La plupart ont conduit à des taux d'enlèvement des contaminants élevés, surtout pour les métaux et les hydrocarbures. La filtration utilisant la zéolite comme média peut même adsorber dans une certaine mesure l'azote ammoniacal, tel que l'a démontré Sanexen. Cependant, ces techniques de traitement requièrent l'utilisation d'équipements pour la régénération efficace du matériau filtrant, sinon les coûts d'entretien ou d'élimination peuvent s'avérer élevés. En effet, ces filtres usagés peuvent, selon leur degré de contamination, devenir des matières dangereuses qui devront être gérées comme tel.

Lors des essais de traitabilité de 2007, le traitement par nanofiltration et ultrafiltration a été testé avec succès pour l'élimination de l'azote ammoniacal, des MES et des métaux. Il montre une bonne robustesse face aux changements de concentrations et il s'applique à une gamme variée de contaminants. Le traitement principal par nanofiltration ou par ultrafiltration devrait idéalement faire l'objet d'une mise au point afin de permettre de mieux évaluer la gestion des résidus ainsi que d'optimiser les opérations de nettoyage des membranes en vue de maximiser leur durée de vie. Un certain nombre de modules de nanofiltration devraient être examinés pour déterminer celui qui offre le meilleur transfert de masse et le moins d'accumulation de particules.

Dans le cadre des essais de faisabilité du site du PEPSC, *l'approche chimique* par oxydation à l'ozone de l'azote ammoniacal a été testée en laboratoire. Malheureusement, les résultats n'ont pas été concluants. Les cibles visées n'ont pas pu être atteintes et les expériences ont mis en évidence les difficultés inhérentes à la production, à l'utilisation et à la destruction de l'ozone, un gaz très réactif et très toxique. D'autres oxydants pourraient être envisagés pour la destruction de l'azote ammoniacal, mais il faudrait s'assurer que ces réactifs ou les sous-produits de la réaction ne soient pas eux-mêmes toxiques.

Dans le cas du PEPSC, le design d'un train technologique devra considérer un module de prétraitement des eaux brutes pour l'enlèvement des matières en suspension et des

métaux (surtout le fer) mais aussi pour réduire d'éventuelles concentrations trop élevées en hydrocarbures pétroliers qui n'auraient pas été abaissées suffisamment lors du Captage et de la Séparation des phases flottantes, en amont. Tout comme pour l'approche biologique, un module de polissage final pourrait être requis pour s'assurer de rejeter une eau de qualité qui respecte les règlements en vigueur notamment pour contrôler l'alcalinité et le pH.

En fonction des objectifs visés, le processus de traitement des eaux du PEPSC sera vraisemblablement composé d'une combinaison de procédés physiques, chimiques ou biologiques visant à éliminer les contaminants causant la toxicité des eaux souterraines et le dépassement des critères applicables. L'objectif est de mettre en place un ensemble cohérent de procédés de façon à obtenir un processus optimal en termes de performance, de facilité d'opération, de coûts, de sécurité et de durabilité.

## 9. ÉVALUATIONS DES COÛTS POUR LA MISE EN PLACE ET L'OPÉRATION DES TECHNOLOGIES

Cette section présente les coûts de mise en place et d'opération de chacun des procédés qui ont été retenus par le CEMRS comme étant applicables au site du PEPSC. La solution finale qui serait implantée correspond à une combinaison de plusieurs de ces procédés dans un train technologique complet, et ainsi le coût total des interventions sera la somme des coûts de chacun des procédés utilisés. La présentation est faite en trois sections qui correspondent à chacune des étapes identifiées précédemment, soit le captage des eaux, la séparation des phases flottantes d'hydrocarbures et le traitement des eaux souterraines contaminées. Selon les conditions du terrain, certaines technologies pourraient ne pas être combinées dans un même train de technologies.

La méthode d'évaluation retenue par le CEMRS repose sur l'utilisation de guides, de manuels, de rapports, de notes, de communication verbale avec des représentants de firmes spécialisées en environnement ou de centres de recherche et de l'expérience de tous les membres de l'équipe du CEMRS en ce qui a trait à l'estimation des coûts relatifs à l'utilisation de technologies et de méthodes en gestion des résidus et en réhabilitation des sols et de l'eau souterraine.

À cette étape de validation de la faisabilité de différentes technologies, aucune conception d'ensemble et aucun dessin préliminaire des installations n'ayant été produit, les coûts présentés demeurent une évaluation sommaire. Ils ne doivent être considérés qu'à titre indicatif d'un ordre de grandeur et ils représentent le meilleur effort du CEMRS dans le cadre du mandat qui lui a été octroyé.

Les documents consultés pour les technologies potentiellement applicables proviennent d'organismes privés, universitaires, publics canadiens et américains, tels que le Guide d'orientation pour la sélection de technologies (GOST) développé par l'Institut de Recherches en Biotechnologies (IRB), le CEMRS et Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC), Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group (ITRC) Technical/Regulatory Guidelines, Phytoremediation Electronic Newsgroup Network (PENN), Groundwater Remediation Technologies Analysis Center (GWRTAC), American Petroleum Institute (API), United State Environmental Protection Agency (EPA), BATTELLE.

Les coûts estimés présentés ci-après et dans le tableau 2 (annexe A-1) tiennent compte des éléments suivants :

- Les coûts en immobilisations comprennent le processus (tuyauterie, réacteurs, réservoirs, système de contrôle), le bâtiment et l'aménagement du terrain recevant l'infrastructure, la mécanique, l'électricité, les équipements de suivi environnemental et de sécurité, les équipements de collecte et de concentration des boues si le processus en génère, les coûts de conception et de gestion;

- Les coûts d'opération comprennent la main-d'œuvre, le suivi pour la santé des travailleurs, le suivi environnemental, les matières et les produits utilisés et l'entretien mécanique et électrique;
- Les coûts de la gestion des huiles contaminées ou non aux BPC ainsi que l'élimination hors site des boues et des matières résiduelles sont exclus. Des décisions sur le niveau de performance visée, sur les modalités de rejet, sur le choix des équipements eux-mêmes et sur l'aménagement du site et le design des équipements de traitements auront un impact majeur sur les volumes et les caractéristiques des extrants (résidus), rendant impossible l'estimation de cette catégorie de coûts;
- Les estimations budgétaires préparées par le CEMRS pourront être précisées une fois que le choix et la conception du train technologique seront avancés.

### 9.1. Technologies de captage – Étape 1

À la demande du CEMRS, la firme TechnoRem inc. a effectué une estimation des coûts d'immobilisation et des coûts d'opération annuels des scénarios de captage présentés dans la section 6. Les estimations faites par TechnoRem inc. sont les suivantes :

Technologie de captage	Coût d'immobilisation		Coût d'opération <sup>3</sup>			Coûts totaux <sup>7,9</sup> estimés	Marge de variabilité des coûts estimés <sup>8,9</sup>	
	2009 <sup>1</sup>	Taxes 2009 <sup>2</sup>	2009 <sup>1</sup>	Sur 20 ans <sup>4</sup>	Taxes sur 20 ans <sup>2</sup>		Minimum	Maximum
Barrière hydraulique - C-1	5 M\$	0,6 M\$	0,55 M\$	17,3 M\$ <sup>5</sup>	2,3 M\$ <sup>6</sup>	25,2 M\$	17,7 M\$	32,8 M\$
Barrière étanche ancrée/contrôle hydraulique - C-2 <sup>10</sup>	16 M\$	2,1 M\$	0,23 M\$	7,2 M\$	1,0 M\$	26,3 M\$	18,4 M\$	34,2 M\$
Barrière étanche ancrée avec entonnoirs et fenêtres (Funnel and gate) -C-3	21 M\$	2,7 M\$	0,17 M\$	5,4 M\$	0,6 M\$	29,7 M\$	20,8 M\$	38,6 M\$
Barrière hydraulique/réinjection	6 M\$	0,8 M\$	0,60 M\$	18,9 M\$	2,4 M\$	28,1 M\$	19,7 M\$	36,5 M\$

1- Coûts de 2009, avant taxes

2- Taxes : 5 % de TPS et 7.5 % de TVQ

3- Comprends les coûts d'opération, d'entretien, de gérance et de suivi piézométrique

4- De 2009-2029, taux d'inflation : 2.3 %

5- Exemple de calcul : Coût d'opération 2009 \*20 (1.023)<sup>20</sup>

6- Exemple de calcul : Coût d'opération sur 20 ans \*(1.05) \*(1.075) - Coût d'opération sur 20 ans

7- Coût d'immobilisation 2009 + taxes 2009 +coûts d'opération sur 20 ans + taxes

8- La précision des estimés est de niveau budgétaire, soit à plus ou moins 30 %

9- Les coûts de la gestion des huiles contaminées ou non aux BPC et de l'élimination hors site des boues et des matières résiduelles sont exclus

10-      Technologie suggérée

La précision des estimés est de plus ou moins 30 %. La Barrière hydraulique avec injection est une variante de la technologie Barrière hydraulique qui est décrite à la Section 6 du rapport. Le détail des coûts est présenté dans le rapport de TechnoRem inc.

## 9.2. Technologies de séparation – Étape 2

Les coûts pour l'installation des systèmes de séparation des phases flottantes d'hydrocarbures applicables au site du PEPSC et les coûts annuels d'opération qui y sont associés ont été estimés par le CEMRS. Les estimations faites par le CEMRS sont les suivantes :

Technologie de séparation	Coût d'immobilisation <sup>3</sup>		Coût d'opération <sup>3</sup>			Coûts totaux estimés <sup>7,8</sup>	Marge de variabilité des totaux estimés <sup>2,8</sup>	
	2009 <sup>1</sup>	Taxes 2009 <sup>2</sup>	2009 <sup>1</sup>	Sur 20 ans <sup>4</sup>	Taxes sur 20 ans <sup>2</sup>		Minimum	Maximum
Écrémage - S-1 <sup>9</sup>	1 M\$	0,1 M\$	0,1 M\$	3,2 M\$ <sup>5</sup>	0,4 M\$ <sup>6</sup>	4,7 M\$	2,8 M\$	6,6 M\$
Système d'extraction sous vide - S-2	2 M\$	0,3 M\$	0,2 M\$	6,3 M\$	0,8 M\$	9,4 M\$	5,6 M\$	13,2 M\$
Séparateurs eau-huile et bassins de décantation - S-3 <sup>9</sup>	7,6 M\$	1,0 M\$	0,4 M\$	12,6 M\$	1,6 M\$	22,8 M\$	13,7 M\$	31,9 M\$
Système de flottation par air dissous -S-4 <sup>9</sup>	7,7 M\$	1,0 M\$	0,5 M\$	15,8 M\$	2,0 M\$	26,5 M\$	15,9 M\$	37,1 M\$
Hydrocyclones de déshuilage - S-5	5,1 M\$	0,7 M\$	0,4 M\$	12,6 M\$	1,6 M\$	20 M\$	12 M\$	28 M\$
Microfiltration et Ultrafiltration - S-6	7,3 M\$	0,9 M\$	0,5 M\$	15,8 M\$	2,0 M\$	26,0 M\$	15,6 M\$	36,4 M\$
Oléofiltration - S-7	6,8 M\$	0,9 M\$	0,5 M\$	15,8 M\$	2,0 M\$	25,5 M\$	15,3 M\$	35,7 M\$
Électrocoagulation et électroflottation – S-8	9,0 M\$	1,2 M\$	0,6 M\$	18,9 M\$	2,4 M\$	31,5 M\$	18,9 M\$	44,1 M\$
Centrifugation -S-9 <sup>9</sup>	5,6 M\$	0,7 M\$	0,4 M\$	12,6 M\$	1,6 M\$	20,5 M\$	12,3 M\$	28,7 M\$

1- Coûts de 2009, avant taxes

2- La précision des estimés est de niveau budgétaire, soit à plus ou moins 40 %

3- Taxes : 5 % de TPS et 7.5 % de TVQ

4- De 2009-2029, taux d'inflation : 2.3 %

5- Exemple de calcul : Coût d'opération 2009 \*20 (1.023)<sup>20</sup>

6- Exemple de calcul : Coût d'opération sur 20 ans \*(1.05) \*(1.075) - Coût d'opération sur 20 ans

7- Coût d'immobilisation 2009 + taxes 2009 +coûts d'opération sur 20 ans + taxes

8- Les coûts de la gestion des huiles contaminées ou non aux BPC et de l'élimination hors site des boues et des matières résiduelles sont exclus

9-      Technologie suggérée

### 9.3. Technologie de traitement – Étape 3

Les coûts estimés pour l'installation des systèmes de traitement et les coûts annuels d'opération qui y sont associés ont été estimés par le CEMRS. Les estimations faites par le CEMRS sont les suivantes :

Technologie de traitement	Coût d'immobilisation <sup>3</sup>		Coût d'opération <sup>3</sup>			Coûts totaux <sup>7,8</sup> estimés	Marge de variabilité des totaux estimés <sup>2,8</sup>	
	2009 <sup>1</sup>	Taxes 2009 <sup>2</sup>	2009 <sup>1</sup>	Sur 20 ans <sup>4</sup>	Taxes sur 20 ans <sup>2</sup>		Minimum	Maximum
Biostimulation/Bio-augmentation - T-1	19,8 M\$	2,5 M\$	0,9 M\$	28,4 M\$ <sup>5</sup>	3,6 M\$ <sup>6</sup>	54,3 M\$	32,6 M\$	76,0 M\$
Bioréacteur - T-2 <sup>9</sup>	15,9 M\$	2,0 M\$	0,8 M\$	25,2 M\$	3,2 M\$	46,3 M\$	27,8 M\$	64,8 M\$
Marais filtrants évolués - T-3 <sup>9</sup>	11 M\$	1,4 M\$	0,8 M\$	25,2 M\$	3,2 M\$	40,8 M\$	24,5 M\$	57,1 M\$
Barrière réactive perméable - T-4	17 M\$	2,2 M\$	0,6 M\$	18,9 M\$	2,4 M\$	40,5 M\$	24,3 M\$	56,7 M\$
Phytoremédiation - T-5	14,7 M\$	1,9 M\$	0,9 M\$	28,4 M\$	3,6 M\$	48,6 M\$	29,2 M\$	68,0 M\$
Oxydation chimique - T-6	22,2 M\$	2,9 M\$	1 M\$	31,5 M\$	4,1 M\$	60,7 M\$	36,4 M\$	85 M\$
Adsorption - T-7 <sup>9</sup>	14,6 M\$	1,9 M\$	0,9 M\$	28,4 M\$	3,6 M\$	48,5 M\$	29,1 M\$	67,9 M\$
Ultrafiltration/Nanofiltration - T-8 <sup>9</sup>	14,8 M\$	1,9 M\$	0,9 M\$	28,4 M\$	3,6 M\$	48,7 M\$	29,2 M\$	68,2 M\$

1- Coûts de 2009, avant taxes

2- La précision des estimés est de niveau budgétaire, soit à plus ou moins 40 %

3- Taxes : 5 % de TPS et 7.5 % de TVQ

4- De 2009-2029, taux d'inflation : 2.3 %

5- Exemple de calcul : Coût d'opération 2009 \*20 (1.023)<sup>20</sup>

6- Exemple de calcul : Coût d'opération sur 20 ans \*(1.05) \*(1.075) - Coût d'opération sur 20 ans

7- Coût d'immobilisation 2009 + taxes 2009 +coût d'opération sur 20 ans + taxes

8- Les coûts de la gestion des huiles contaminées ou non aux BPC et de l'élimination hors site des boues et des matières résiduelles sont exclus

9-      Technologie suggérée

Les coûts pour la gestion des huiles dépendent de la teneur en BPC qu'elles contiennent. Selon les estimations de TechnoRem inc., un volume de l'ordre de 1850 m<sup>3</sup> de phases libres est récupérable au site du PEPSC. Avec l'hypothèse qu'il est possible de récupérer l'ensemble de ce volume d'huiles et qu'il n'est pas nécessaire de les traiter, deux scénarios sont à prévoir. Un scénario pessimiste où les concentrations en BPC sont supérieures à 50 ppm et un scénario optimiste où les concentrations en BPC sont inférieures à 50 ppm. Selon le CEMRS, en considérant ces deux scénarios, la gestion des hydrocarbures pourrait montrer des coûts variant entre 1,4 M\$ (estimé à 0,75 \$/litre) et 9,3 M\$ (estimé à 5,00 \$/litre). Ces montants comprennent les coûts de transport, de manipulation et d'élimination (> 50 ppm en BPC) et de revalorisation des huiles avec BPC (< 50 ppm). Des indications montrent que depuis 1995 près de 90% des résultats analytiques obtenus sur la phase flottante montrent des concentrations en BPC supérieures à 50 ppm. À partir de ces indications, le montant estimé pour l'élimination des huiles contaminées en BPC totaliserait près de 8,3 M\$.

## 10. ANALYSE – OUTIL DÉCISIONNEL

À la lumière des résultats des essais pilotes, compte tenu des particularités des eaux souterraines du site du PEPSC, des caractéristiques des technologies du répertoire (annexe F) et des limitations à l'application des technologies répertoriées (tableaux 4, 5 et 6 de l'annexe A-2), l'analyse qui en est faite nous permet de mettre en valeur des éléments qui seront d'une grande pertinence lorsque viendra le moment de prendre les décisions qui s'imposent quant aux choix des procédés à implanter à pleine échelle.

Suite aux essais pilotes, il apparaît clairement que certaines caractéristiques des eaux à traiter peuvent affecter la performance des procédés, notamment la température de l'eau souterraine, le débit de traitement, la quantité de MES, le fer, les carbonates (l'alcalinité) et le pH. La phase flottante d'hydrocarbures pétroliers est aussi un paramètre à prendre en considération lors du design d'un train technologique.

Les paragraphes qui suivent introduisent, sous la rubrique intitulée Paramètres liés aux caractéristiques de l'eau à traiter, chacun des paramètres température, débit, MES, fer, carbonates (l'alcalinité) et pH en les mettant en relation avec des caractéristiques des procédés mis à l'épreuve ou des événements survenus lors des essais pilotes.

Par ailleurs, à partir de l'information présentée dans les tableaux 4, 5 et 6 de l'annexe A-2 au sujet de l'applicabilité des différentes technologies proposées au site du PEPSC, et compte tenu que la mise en œuvre de ces technologies devra se faire dans le cadre d'un plan d'aménagement qui reste à définir, il ressort qu'une autre série de paramètres peuvent influencer le choix entre les différentes technologies d'une même famille. Il s'agit de : la mobilité, la quantité de déblais générés lors de la mise en place, la quantité de matières résiduelles produites par le traitement, les risques pour la santé des travailleurs et d'autres contraintes diverses. Les paramètres coût d'immobilisation et coût d'opération n'ont pas été considérés dans notre évaluation. L'information associée à ces paramètres est traitée ci-après sous la rubrique Paramètres liés aux caractéristiques des technologies du répertoire.

Les faits saillants des quelques technologies biologiques testées durant les essais pilotes qui présentent des similitudes avec celles du répertoire sont décrits brièvement sous la rubrique Application de technologies de traitement du répertoire lors des essais pilotes.

Finalement, notre analyse aborde la notion d'Entretien des équipements et risques potentiels ainsi que l'aspect Impacts de l'implantation systèmes de traitement sur les terrains voisins.

Tous ces paramètres, qui permettent de comparer une technologie aux autres d'une même famille, sont repris dans le tableau 2 Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts de l'annexe A-1 et seront utiles au gestionnaire lorsqu'il aura à faire le choix des technologies.

### Paramètres liés aux caractéristiques de l'eau à traiter

La température de l'eau souterraine est un élément de discrimination dans le choix des technologies de traitement. En effet, la performance d'une technologie biologique sera plus influencée par la température de l'eau à traiter que celle d'une technologie chimique ou physique. Lors des essais pilotes, la température de l'eau a été contrôlée dans tous les procédés puisque ceux-ci étaient en partie ou complètement biologiques.

La température de l'eau souterraine du site du PEPSC est relativement stable (10 à 12° C) et sa valeur est égale à la température moyenne annuelle observée sur le site. Afin d'en faciliter le traitement par les micro-organismes, l'utilisation de chauffe-eau a permis de réguler la température à l'intérieur d'une plage de 15 à 20° C. À pleine échelle et en présumant que les conduites seront enfouies dans le sol ou isolées si elles sont hors-sol, il est loin d'être certain qu'un chauffage d'appoint soit requis en hiver. Ainsi, il apparaît que pour éviter des problèmes opérationnels, le design à pleine grandeur devra tenir compte du paramètre qu'est la température de l'eau souterraine, mais on devra aussi vérifier si le pouvoir exothermique du traitement biologique est suffisant sans que l'ajout de sources de chaleur externes ne soit requis. Pour les technologies chimiques et physiques, la température est un paramètre de second ordre. Il faudra tout de même que les opérations respectent les fiches techniques des divers équipements et produits pour en optimiser leur fonctionnement.

Le débit d'opération en cours de traitement est un paramètre décisif dans l'efficacité des technologies biologiques. En effet, la variation du débit modifie de façon inversement proportionnelle les temps de résidence dans un module de traitement donné. Si les temps de résidence diminuent à cause de l'augmentation du débit, les taux de biodégradation diminuent. Ceci a été confirmé au cours des essais pilotes des technologies *eMaMoc* et *Multi-Points* (Golder) et *Biologique – Filtration* (Sanexen).

Les paramètres tels que la charge en MES, en fer, en carbonates et le pH sont à considérer dans le design d'un train technologique à pleine échelle, car leur effet individuel ou combiné peut se traduire par une diminution importante de l'efficacité des systèmes de captage et d'injection, mais aussi des systèmes de traitement biologique, chimique ou physique.

Dans l'eau souterraine du site du PEPSC, le fer se présente sous la forme de fer ferreux ( $Fe^{+2}$ ). Au contact de l'air, il devient  $Fe^{+3}$  (fer ferrique) beaucoup moins soluble. Il importe donc de s'assurer que le procédé de traitement des eaux prévoit une étape d'extraction des précipités, puisque le fer, en précipitant, peut favoriser le colmatage de la crépine des puits d'injection, des filtres, des bioréacteurs, des systèmes de recirculation d'eau et des installations de chauffage de l'eau. Ce colmatage pourrait aussi être associé à un dépôt formé par une gelée, collante et grasse, associée à des bactéries (ocre ferreux). Des solutions efficaces existent pour enlever ces dépôts et résidus ferreux.

L'eau souterraine du site du PEPSC possède une alcalinité élevée résultant des concentrations en carbonates. Ceux-ci peuvent s'accumuler dans les pompes dépendamment du mode de fonctionnement requis par le design (en continu ou avec

des pauses). Cette accumulation peut favoriser le colmatage des pompes. Des méthodes et des solutions de détartrage doivent être utilisées lors de l'entretien des équipements.

Le pH de l'eau souterraine est aussi un paramètre à considérer notamment lors du procédé de séparation. L'ajustement du pH permettrait la décantation des MES, des particules de fer et des carbonates avant que l'eau ne pénètre dans le système de traitement.

Outre ces paramètres qui caractérisent les eaux souterraines du PEPSC, la phase flottante pourrait colmater le système de traitement implanté à pleine échelle si celui-ci n'inclut pas un procédé adéquat pour intercepter et séparer la phase huileuse de la phase aqueuse avant le traitement de cette dernière.

#### Gestion des phases flottantes et dissoutes par étape

Nonobstant la sensibilité des technologies de traitement au colmatage, il pourrait être envisageable d'initier des travaux de gestion des phases flottantes et dissoutes par étapes. Un système de captage combiné avec un système de séparation avec récupération de la phase flottante pourrait être mis en place avant de traiter la phase dissoute de l'eau souterraine. Cette dernière devrait être entreposée en vue de son traitement ultérieur afin de réduire ou éliminer notamment sa toxicité et de respecter les normes et critères de rejet. Le rejet de la phase aqueuse non traitée devra répondre aux critères du point de rejet visé.

#### Paramètres liés aux caractéristiques des technologies du répertoire

À partir du répertoire des technologies de l'annexe F et des caractéristiques de chacune des technologies présentées aux tableaux 4, 5 et 6 de l'annexe A-2, une série de 5 paramètres qui peuvent affecter le choix décisionnel entre les technologies a été identifiée. Il s'agit de la mobilité de la technologie, de la quantité de déblais d'excavation, de la quantité de matière résiduelle, du risque pour la santé des travailleurs et diverses contraintes. La valeur de l'impact des activités associées à ces paramètres pour chacune des technologies est présentée aux Sections 6 -Captage-, 7 -Séparation- et 8 -Traitement-. Le détail est résumé au tableau 2.

- Le paramètre Mobilité fait référence à la possibilité de déplacer la technologie au cours des 20 années d'opération;
- Le paramètre Déblais d'excavation se rapporte aux volumes estimés lors de l'implantation de la technologie;
- Le paramètre Matière résiduelle concerne les quantités de matériaux résiduels générés au cours des opérations sur 20 ans;
- Le paramètre Risque pour la santé, vise la santé des travailleurs et les produits et matières utilisées au cours des opérations sur 20 ans, et
- Le paramètre Contrainte vise toutes sortes de contraintes liées aux travaux d'implantation et aux activités sur une période de 20 ans.

### Application de technologies de traitement du répertoire lors des essais pilotes

De l'analyse factuelle des quelques technologies biologiques testées durant les essais pilotes et présentant des similitudes avec celles du répertoire, il s'en dégage que :

Pour la technologie **T-1 Biostimulation/Bioaugmentation**, Sanexen, dans le cadre des essais pilotes **Biologique – Filtration** montre qu'une période d'acclimatation de la population microbienne de plusieurs semaines est requise avant le début des réactions de nitrification et de dénitrification. Malgré les quelques résultats obtenus de l'utilisateur, ceux-ci montrent que le traitement *in situ* pourrait avoir permis de réduire au maximum de 40 % les concentrations d'azote ammoniacal sur la période de traitement de 8 semaines. Géophase, dans le cadre de l'essai pilote **Zone Réactive in situ** a appliqué des principes de la biostimulation – bioaugmentation. Des bactéries qui ont été utilisées pour la nitrification de l'azote ammoniacal et de l'oxygène ont été injectées pour faire précipiter le fer.

Pour la technologie **T-2 Bioréacteurs**, l'essai pilote **Biologique – Filtration** (Sanexen) a été réalisé en utilisant un biofiltre pour la réduction des concentrations en sulfures, la bio-oxydation de l'azote ammoniacal et la dénitrification du nitrate et la DBO<sub>5</sub>. Les résultats de l'utilisateur montrent que le biofiltre doit être acclimaté aux conditions du site sur plusieurs semaines.

Pour la technologie **T-2 Bioréacteurs**, l'essai pilote **eMaMoc** (Golder) a utilisé 6 bioréacteurs pour la réduction des contaminants (HP C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>, BPC, MES, azote ammoniacal, des métaux) et de la toxicité. Les résultats de l'utilisateur montrent que, comme tout système biologique, le système est sensible aux changements brusques et doit être acclimaté aux conditions du site sur plusieurs semaines.

Pour la technologie **T-2 Bioréacteurs**, l'essai pilote Multi - Points (Golder) a utilisé 4 bioréacteurs pour la réduction des contaminants (HP C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>, BPC, MES, azote ammoniacal, des métaux) et de la toxicité.

Pour la technologie **T-6 Oxydation chimique**, l'essai de faisabilité de Genivar (**Ozonation**) a testé l'ozone comme agent oxydant pour la réduction de l'azote ammoniacal. L'utilisateur confirme que les résultats montrent que l'effet est très limité et non concluant dans le traitement de l'eau brute.

Pour la technologie **T-7 Adsorption**, l'essai pilote **Biologique – Filtration** (Sanexen) a utilisé un module Ultrasorption<sup>MD</sup> pour l'enlèvement des contaminants organiques sous forme colloïdale; un module CAG pour les composés organiques dissous; un module échange ionique sur zéolite pour l'azote ammoniacal, le strontium et le baryum dissous.

Pour la technologie **T-7 Adsorption**, l'essai pilote Multi - Points (GOLDER) a utilisé un module CAG et un filtre à sac (1µm) pour capter les métaux et les composés organiques, après avoir traversé les bioréacteurs. À la toute fin se trouve un module de traitement de l'alcalinité et du pH.

### Entretien des équipements et risques potentiels

L'entretien des équipements pour le captage, la séparation et le traitement des eaux souterraines et de la phase flottante, à pleine échelle, doit être assuré pour maintenir l'efficacité des systèmes mis en place. Les conséquences d'une panne de courant ou d'un bris d'équipement sont à considérer dans le choix qui devra être fait. Le niveau d'entretien est aussi tributaire des conditions du milieu, notamment à cause de la présence de MES, de fer et de carbonates dans l'eau et de l'existence d'une phase flottante. Par exemple, les carbonates peuvent favoriser le colmatage des pompes. Selon la viscosité de l'huile de la phase flottante à une température froide, la performance de la technologie de captage peut être affectée. La conception du système de séparation (étape 2) devra donc être capable de répondre à de tels problèmes de captage. Dans l'hypothèse de la réinjection de l'eau traitée dans le milieu, le fer pourrait créer un colmatage des crépines des puits d'injection. De plus, le rehaussement de la nappe, soit suite à l'injection de l'eau traitée dans le milieu, soit en raison d'un problème technique du système de captage, pourrait créer des problèmes d'ordre géotechnique au niveau des matériaux de remblai, aucune analyse de ce phénomène n'ayant cependant été faite pour permettre d'en évaluer l'ampleur.

Ce qu'il faut retenir, c'est que le design du train de technologie proposé devra avoir été conçu de manière à considérer différentes problématiques associées aux conditions inhérentes au site, aux conditions hydrogéologiques et climatiques, mais aussi aux problèmes liés à l'usure et aux bris d'équipement, sur une d'une période de 20 ans.

### Impacts de l'implantation systèmes de traitement sur les terrains voisins

L'implantation de systèmes de captage et de traitement sur les propriétés voisines du PEPSC ou sur le site du PEPSC devrait être connue et évaluée par les gestionnaires des sites visés, avant l'implantation d'un train technologique. L'impact de l'implantation de tels systèmes sur des propriétés adjacentes où les conditions hydrogéologiques sont intimement liées peut générer des problèmes notamment pour les propriétés situées en aval hydraulique. Différents scénarios d'impacts sur le site du PEPSC sont envisageables, toutefois ils pourraient être minimisés en autant qu'une collaboration et des échanges d'informations se fassent entre voisins. Par exemple, l'impact de la construction d'une barrière étanche en amont, suite à l'implantation sur le site du PEPSC d'un train de technologies basé sur les conditions hydrogéologiques actuelles, pourrait se traduire par une réduction drastique du volume d'eau souterraine ou par une variation de celui-ci. Les effets de cet impact seraient d'ordre économique et technique, c'est-à-dire que le processus mis en place pourrait ne plus correspondre aux besoins et que les investissements réalisés pourraient être remis en question.

## 11. CONCLUSION – RECOMMANDATIONS

Plusieurs outils ont été utilisés par le personnel du CEMRS, par des firmes spécialisées en environnement ainsi que par des experts provenant des milieux publics et privés pour permettre au CEMRS de remplir le mandat qui lui avait été confié par la Ville de Montréal. La modélisation mathématique a permis au CEMRS de compléter et de préciser l'information sur les conditions hydrogéologiques et sur la phase flottante présente sur le site du PEPSC. Par ailleurs, malgré un échéancier de réalisation très court, des essais pilotes sur quatre trains de technologies de traitement ont permis au CEMRS de lever certaines incertitudes concernant, notamment les technologies biologiques. Finalement, avec le support des membres des comités mis en place, le CEMRS a identifié, analysé et compilé, sous forme d'un répertoire, les technologies de captage, de séparation et de traitement applicables aux conditions du site du PEPSC.

Le présent rapport intègre les résultats obtenus à l'aide de ces outils, en vue de permettre à la Ville de Montréal de sélectionner la meilleure approche pour solutionner le défi technique de la gestion des phases libres et de la toxicité des eaux souterraines du site du PEPSC. Cette approche, décrite ci-dessous, pourra comprendre une série de technologies pour chacune des étapes du processus de gestion des eaux contaminées du PEPSC. Dans son analyse, le CEMRS a voulu doter le gestionnaire de projet d'un outil d'aide à la décision.

Sur la base de l'analyse des technologies de captage présentée à la Section 6, on peut conclure que toutes sont aptes à intercepter l'écoulement des eaux souterraines du site, dont le débit moyen et le débit de crue ont été estimés respectivement à 530 m<sup>3</sup>/jour et 1 100 m<sup>3</sup>/jour. Le choix d'une technologie par rapport aux autres devrait tenir compte du niveau de protection requis contre le risque environnemental, des coûts d'immobilisation et d'opération sur 20 ans des infrastructures de captage estimé à la Section 9 et de l'adaptabilité de cette technologie au plan d'aménagement qui sera établi dans le futur. Pour le captage, les coûts totaux\*<sup>5</sup> des différentes solutions retenues ont été évalués entre 25,2 M\$ et 29,7 M\$. La marge d'incertitude sur ces coûts est estimée à 30 %.

L'emploi combiné des technologies proposées pourrait permettre d'optimiser le captage, notamment en raison des variations des caractéristiques physiques du site, des matériaux de remblai, de la répartition non homogène de la contamination de l'eau souterraine et de la présence de la phase flottante.

À partir de l'analyse des technologies de séparation réalisée à la Section 7 et des coûts associés présentés à la Section 9, le CEMRS a mis en évidence deux groupes de technologies en fonction du risque qu'elles présentent de ne pas atteindre les objectifs visés. Le groupe retenu se compose de quatre technologies auxquelles on peut

---

<sup>5</sup> Les coûts totaux estimés comprennent les coûts d'immobilisation et les coûts d'opération pendant 20 ans.

associer un risque technologique faible et qui offrent une bonne capacité de séparer les phases aqueuse et huileuse. De plus, cette capacité se traduit par la possibilité de permettre une récupération accrue de la phase flottante contaminée par des BPC. Le coût de gestion des huiles est établi à la Section 9. Les technologies retenues par le CEMRS sont classées, ci-après, selon leur capacité à réduire la quantité d'huile présente dans l'eau avant l'étape de traitement, mais aussi à gérer de grands volumes d'eau contaminée. Il s'agit des technologies de séparation du type Séparateur eau-huile et bassin de décantation (fiche S-3), du type Système de flottation par air dissous (DAF) (fiche S-4), du type Centrifugation (fiche S-9) et du type Écrémage (fiche S-1). Les coûts totaux ont été évalués entre 4,7 M\$ et 31,5 M\$, avec une marge d'incertitude de 40%.

Tel que décrit à la Section 8, le traitement des eaux souterraines peut se faire de façon biologique, physique ou chimique. Au total 8 technologies ont été retenues par le CEMRS pour répondre à la problématique des eaux souterraines du site du PEPSC. L'évaluation du CEMRS a permis de séparer les technologies en deux groupes dont le premier est composé de quatre méthodes auxquelles on peut associer un risque technologique faible. Les autres technologies se trouvent dans le second groupe qui présente un risque moyen à très élevé de ne pas atteindre les résultats requis sur le site du PEPSC.

Les technologies de traitement à risque faible, classées ci-après par le CEMRS selon leur degré d'efficacité, sont d'usage courant dans l'industrie de l'environnement : il s'agit des Bioréacteurs (fiche T-2), des Marais filtrants évolués (fiche T-3), de l'Ultrafiltration et nanofiltration (fiche T-8) et de l'Adsorption (fiche T-7). Le détail de l'évaluation des coûts de chacune de ces technologies est présenté à la Section 9. Les coûts totaux ont été évalués entre 40,5 et 60,7 M\$, avec une marge d'incertitude de 40 %.

La réinjection des eaux souterraines dans le milieu après leur traitement dans des bioréacteurs demeure une option intéressante qui nécessiterait une évaluation de l'impact de son application à l'intérieur de trains technologiques. Il est en effet possible que cette façon de procéder puisse réduire la durée requise du traitement. L'impact potentiel de l'application de cette approche sur l'aménagement futur du site et des coûts associés devrait aussi être évalué.

Pour le CEMRS, les résultats mitigés des essais pilotes décrits à la Section 5, sont liés, entre autres, à la courte durée des essais, mais aussi d'évènements tels que : la venue de phase flottante, le refroidissement de la température et le colmatage des équipements par le fer, qui ont marqué les opérations durant les essais pilotes, mais aussi de l'efficacité du traitement.

Malgré tout, il en ressort que les essais pilotes ont démontré que les trains de technologies de bioréacteurs de type *eMaMoc* (Golder), biologique *Multi - Points* (Golder) et de type *Biologique – Filtration* (Sanexen) peuvent réduire les concentrations d'azote ammoniacal et la toxicité des eaux souterraines du site du PEPSC sous les valeurs cibles des critères du MDDEP et des recommandations du CCME, notamment

lorsque la température est adaptée, lorsque le temps de résidence est suffisant et que le système est acclimaté.

En ce qui à trait au processus *Biologique-Filtration*, qui a répondu et respecté les lignes directrices, le CEMRS est d'avis que ce train de traitement présente des résultats intéressants, qui, avant d'être recommandé pour un aménagement à pleine grandeur devra démontrer, sur une période longue et continue, son efficacité à réduire les concentrations en azote ammoniacal, en hydrocarbures pétroliers, en HAP, en BPC et en métaux, à un débit supérieur à 5 L/m. Évidemment, ce processus devra être accompagné d'un prétraitement et d'une séquence de traitement final. Le prétraitement permettrait d'enlever, entre autres, les phases flottantes d'hydrocarbures, les matières en suspension (MES) et le fer. Le traitement final permettrait de s'assurer que l'eau traitée respecte les critères et normes de rejets applicables.

Cependant, le CEMRS a des réserves relativement aux trains technologiques suivants :

- *eMaMoc* (Golder Ltée), en raison des incertitudes concernant : la capacité des bioréacteurs à dénitrifier les nitrates afin de les transformer en azote gazeux; le colmatage à moyen ou à long terme; la réduction des concentrations en azote ammoniacal sous les critères du MDDEP à un débit supérieur 2.5 L/m et d'opérer en période froide;
- *Multi-points* (Golder Ltée), en raison: du faible débit d'opération (< 2 L/m) pour réduire les concentrations d'azote ammoniacal et des autres contaminants; de l'inefficacité du traitement pour transformer les nitrates en azote gazeux; du manque de démonstration à réduire la toxicité chronique et la concentration de certains métaux; du manque d'explication concernant le mécanisme de la réduction des concentrations des métaux et de la problématique d'opérer en période froide. Les essais des processus *eMaMoc* et *Multi-Points* ont démontré leurs capacités de réduire les concentrations de tous ou de certains contaminants problématiques, toutefois, sans respecter l'ensemble des Lignes directrices du CEMRS.

Le processus Zone Réactive *in situ* mis à l'essai n'a pas réussi à faire la démonstration de sa capacité à atteindre les objectifs visés par le CEMRS, notamment par l'absence de résultats concluants. Par conséquent, le CEMRS n'est pas en mesure de recommander le processus testé par Géophase.

Pour ce qui est de l'ozonation, seule technologie chimique testée en 2008, les essais de faisabilité, réalisés par GENIVAR, ont démontré que cette approche est complexe, délicate et coûteuse, la rendant peu intéressante de l'avis du CEMRS.

L'étude réalisée par le CEMRS a donc permis d'identifier quelques technologies qui pourraient solutionner la problématique des eaux souterraines du site du PEPSC. À ce niveau d'intervention, il est encore difficile de bien évaluer les coûts de l'ensemble du processus car, selon le CEMRS, certains aspects inhérents au site devraient être précisés, notamment pour permettre à la Ville de faire le choix le plus approprié. Il s'agit :

- des objectifs de rejet établis en fonction du lieu de rejet;
- la qualité de l'eau du fleuve immédiatement en bordure du site du PEPSC;
- de la distribution des sources d'azote ammoniacal et de la phase flottante par l'implantation de nouveaux puits, notamment le long de la bordure amont du site;
- des conditions d'écoulement de l'eau souterraine du PEPSC et de son débit le long de différents axes à travers le site;
- les liens hydrauliques entre les sites voisins et le site du PEPSC;
- de l'effet sur le site du PEPSC de la barrière hydraulique et du système de traitement implantés sur le site du CN;
- de l'effet de la réinjection sur le site de l'eau traitée en vue de la formation d'un bioréacteur à grande échelle;
- de confirmer que l'écoulement de la phase flottante au fleuve se limite à des zones circonscrites, telles que montrées à la figure 7.

Les valeurs estimées des coûts d'immobilisation et d'opération pendant 20 ans de chacune des technologies jugées applicables au site PEPSC par le CEMRS sont données strictement à titre indicatif. En conséquence, le coût du scénario final demeure encore incertain.

Les concepteurs des systèmes qui voudront s'attaquer à la problématique du site devront quant à eux :

- préciser les coûts du ou des trains de technologies qu'ils voudront implanter (stratégie technico-économique);
- utiliser l'outil de modélisation numérique afin de poursuivre le travail de simulation pour évaluer l'ampleur des installations requises et l'effet de différents scénarios d'intervention à grande échelle;
- établir le modèle numérique de la migration des phases flottantes d'hydrocarbures dans le but d'optimiser les modes de captage de ces phases flottantes et d'en prévoir le temps de récupération;
- évaluer sur une période d'une année la performance, la robustesse, la fiabilité, le mode d'opération et l'impact environnemental de la solution préconisée, avant d'en faire la mise en place à pleine échelle.

Compte tenu de la complexité de la problématique environnementale du site du PEPSC, il serait requis de poursuivre avec les propriétaires des terrains voisins, la démarche d'évaluer dans un contexte d'ensemble que les actions à entreprendre soient compatibles avec celles des autres propriétaires.

## Liste des références :

1. ADS Associés Ltée, *Caractérisation du site et des environs de l'Adacport*, Vol. 1 et 2, Montréal, Québec, novembre 1988
2. Secrétariat de la Commission de coopération environnementale de l'Amérique du Nord (CCE), *Dossier Factuel, Communication Technoparc de Montréal (SEM-03-005), Constitué conformément à l'article 15 de l'Accord nord-américain de coopération dans le domaine de l'environnement*, mars 2008
3. CEMRS, *Sélection de technologies de traitement des eaux souterraines du secteur situé entre les ponts Champlain et Victoria, en bordure du fleuve Saint-Laurent. Phases 1, 2 et 3, Essais de traitabilité en banc d'essai*, Rapport synthèse, Montréal, Québec, mai 2008
4. TechnoRem Inc., *Modélisation de l'écoulement des eaux souterraines du secteur situé entre les Ponts Champlain et Victoria, en bordure du fleuve*, Rapport final, Montréal, Québec, No PR06-101, juin 2007
5. Terrapex Environnement Ltée, *Caractérisation complémentaire des eaux souterraines, Parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles*, Montréal, Québec, No CM2334.0, août 2008
6. CEMRS, *Recommandation des essais pilotes, Appel de propositions de technologies, Analyse, identification et recommandations de solutions pour le captage et le traitement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures au Parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC)*, Montréal, Québec, juillet 2008
7. Société du Havre de Montréal, *Rapport final et recommandations*, avril 2006
8. TechnoRem Inc., *Modélisation complémentaire de l'écoulement des eaux souterraines et développement d'un répertoire des modes de captage applicables au PEPSC*, Rapport final, No PR08-57, juin 2009
9. SNC-Lavalin Environnement inc., *Projet d'interception et de récupération des phases flottantes d'hydrocarbures Technoparc, Caractérisation environnementale complémentaire (volets 1, 2 et 3)*, Rapport final, vol. 1, 2 et 3, Montréal, Québec, mars 2002
10. SNC-Lavalin Environnement inc., *Caractérisation complémentaire du site de l'ancien Adacport*, Rapport final, Vol. 1 de 2, novembre 2005
11. Stantec Consulting Ltd, *Toxicity investigations using groundwater from Montreal's Technoparc district*, No 162704337, Ontario, march 2007
12. Mini Valorex inc., *Technoparc – Écoulement d'hydrocarbures au fleuve St-Laurent. Rapport*, Montréal, Québec, juin 1999

13. SNC-Lavalin Environnement inc. *Avis technique sur des modifications au projet d'interception et de récupération des phases flottantes au site du Technoparc, Montréal, No 602938-AVIS, Montréal, janvier 2003*
14. SNC-Lavalin Environnement inc., *Interception des phases flottantes d'hydrocarbures et des eaux souterraines, Site de l'ancien Adacport, Document d'orientation, Montréal, novembre 2003.*
15. SNC-Lavalin Environnement inc., *Essais de compatibilité du mélange ciment-bentonite, Système d'interception et de récupération des phases flottantes d'hydrocarbures au site de l'ancien Adacport, Montréal, avril 2004*
16. SNC-Lavalin Environnement inc., *Essais de récupération des hydrocarbures en phase flottante, Système d'interception et de récupération des phases flottantes d'hydrocarbures au site de l'ancien Adacport, Montréal, avril 2004*
17. CEMRS, *Suivi des activités des essais, Analyse, identification et recommandations de solutions pour le captage et le traitement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures au Parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC), Rapport, Montréal, Québec, octobre 2009*

## **ANNEXE A**

## **Annexe A-1**

**Tableau 2 : Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts**

**Tableau 3 : Paramètres, critères et réglementation applicable**

## Annexe A-1

### Tableau 2 : Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts

ÉTAPE 1	TECHNOLOGIE	PARAMÈTRES	VALEURS	DESCRIPTION
<b>CAPTAGE</b>	Barrière hydraulique (fiche C-1)	Risque technologique	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne peut pas garantir en tout temps l'interception complète des eaux souterraines contaminées et des phases flottantes d'hydrocarbures;</li> <li>• Risque de migration d'eaux contaminées lors de bris, d'entretien ou de panne électrique;</li> <li>• Technologie largement documentée et éprouvée;</li> <li>• Contrainte d'aménagement car aucune structure ne peut être construite dans le pourtour immédiat de la barrière pour ne pas créer d'affaissement du terrain;</li> <li>• Perte d'espace;</li> <li>• Viscosité de la phase flottante par temps froid/chaud;</li> <li>• Colmatage de la crépine du puits de pompage et d'injection;</li> <li>• Réduction du débit.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	5 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	17,3 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Réduite	
		Déblais d'excavation	Petite	
		Matière résiduelle	n/a	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
		Température °C	N/A	
		Débit d'opération (L/min)	N/A	
		MES, fer, carbonates, pH	Possible	
	Phase flottante	Possible		
	Barrière étanche ancrée avec contrôle hydraulique (fiche C-2)	Risque technologique	faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interception complète des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures. Technologie connue et efficace;</li> <li>• Contrainte d'aménagement car aucune structure ne peut être construite dans le pourtour immédiat de la barrière pour ne pas créer d'affaissement du terrain;</li> <li>• Perte d'espace.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	16 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	7,2 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Aucune	
		Déblais d'excavation	Grande	
		Matière résiduelle	n/a	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
		Température °C	N/A	
		Débit d'opération (L/min)	N/A	
MES, fer, carbonates, pH		Possible		
Phase flottante	Possible			

<sup>1</sup> : Incluant un taux d'inflation de 2.3 %

Les coûts sont en \$ de 2009. Tous les coûts sont à ±40 %

Coûts d'immobilisation en millions de dollars

Coûts d'opération en millions de dollars prévision 20 ans

## Annexe A-1

### Tableau 2 : Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts (suite)

ÉTAPE 1	TECHNOLOGIE	PARAMÈTRES	VALEURS	DESCRIPTION
CAPTAGE	Barrière étanche ancrée avec entonnoirs et fenêtre « Funnel and Gate » (fiche C-3)	Risque technologique	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Risque de migration d'eaux contaminées lors de bris, d'entretien ou de panne électrique du système de traitement mise en place dans les fenêtres. Technologie relativement connue et éprouvée;</li> <li>Contrainte d'aménagement : aucune structure ne peut être construite dans le pourtour immédiat de la barrière pour ne pas créer d'affaissement du terrain;</li> <li>Perte d'espace;</li> <li>Pompage de la phase flottante en amont des fenêtres.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	21 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	5,4 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Aucune	
		Déblais d'excavation	Grande	
		Matière résiduelle	n/a	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
		Température °C	N/A	
		Débit d'opération (L/min)	N/A	
		MES, fer, carbonates, pH	Possible	
		Phase flottante	Possible	

1 : Incluant un taux d'inflation de 2.3 %

Les coûts sont en \$ de 2009. Tous les coûts sont à ±40 %

Coûts d'immobilisation en millions de dollars

Coûts d'opération en millions de dollars prévision 20 ans

## Annexe A-1

### Tableau 2 : Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts (suite)

ÉTAPE 2	TECHNOLOGIE	PARAMÈTRES	VALEURS	DESCRIPTION
<b>SÉPARATION</b>	Écrémage (fiche S-1)	Risque technologique	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologie largement documentée et éprouvée .Efficace même pour de faibles épaisseurs de phases flottantes;</li> <li>• Plus la viscosité des hydrocarbures est grande, plus leur récupération est difficile;</li> <li>• Aucune contrainte spécifique;</li> <li>• Installation directement sur les puits de pompage;</li> <li>• Perte d'espace;</li> <li>• Température de l'eau souterraine relativement stable (10 à 12 °C) ;</li> <li>• Viscosité de la phase flottante.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	1 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	3,2 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Mobile	
		Déblais d'excavation	n/a*	
		Matière résiduelle	Grande	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
		Température °C	N/A	
		Débit d'opération (L/min)	Certain	
		MES, fer, carbonates, pH	Possible	
		Phase flottante	Certain	
	Système d'extraction sous vide (fiche S-2)	Risque technologique	Élevé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un matériel hétérogène ou la présence d'interlits imperméables ou de chemins préférentiels peut réduire considérablement son efficacité;</li> <li>• Les phases flottantes d'hydrocarbures situées à plus de 10 m de profondeur ne pourront pas être efficacement récupérées à l'aide de cette technologie;</li> <li>• Technologie relativement récente, mais éprouvée;</li> <li>• Aucune contrainte spécifique;</li> <li>• Installation directement dans les puits de pompage;</li> <li>• Perte d'espace.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	2 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	6,3 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Mobile	
		Déblais d'excavation	n/a*	
		Matière résiduelle	Grande	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
		Température °C	N/A	
		Débit d'opération (L/min)	Certain	
MES, fer, carbonates, pH	Possible			
Phase flottante	Certain			

<sup>1</sup> : Incluant un taux d'inflation de 2.3 %

Les coûts sont en \$ de 2009. Tous les coûts sont à ±40 %

Coûts d'immobilisation en millions de dollars

Coûts d'opération en millions de dollars prévision 20 ans

## Annexe A-1

### Tableau 2 : Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts (suite)

ÉTAPE 2	TECHNOLOGIE	PARAMÈTRES	VALEURS	DESCRIPTION
<b>SÉPARATION</b>	Séparateurs eau-huile et bassins de décantation (fiche S-3)	Risque technologique	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologie appliquée couramment lorsque des phases flottantes d'hydrocarbures doivent être séparées d'eaux extraites de la nappe souterraine; • La formation d'émulsions eau huile impose des temps de résidence plus longs, donc des équipements de plus grande capacité;</li> <li>• Requiert l'installation de réservoirs préférablement à l'intérieur d'un bâtiment;</li> <li>• Perte d'espace.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	7,6 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	12,6 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Mobile	
		Déblais d'excavation	n/a	
		Matière résiduelle	Grande	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
		Température °C	N/A	
		Débit d'opération (L/min)	Certain	
		MES, fer, carbonates, pH	Possible	
		Phase flottante	Certain	
	Systèmes de flottation par air dissous (fiche S-4)	Risque technologique	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologie couramment appliquée dans le traitement des eaux usées;</li> <li>• Requiert l'installation à l'intérieur d'un bâtiment;</li> <li>• Perte d'espace.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	7,7 M\$	
		Coûts d'opération (prévision 20 ans)	15,8 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Mobile	
		Déblais d'excavation	n/a	
		Matière résiduelle	Grande	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
Température °C		N/A		
Débit d'opération (L/min)		Certain		
MES, fer, carbonates, pH		Possible		
Phase flottante		Certain		

<sup>1</sup> : Incluant un taux d'inflation de 2.3 %

Les coûts sont en \$ de 2009. Tous les coûts sont à ±40 %

Coûts d'immobilisation en millions de dollars

Coûts d'opération en millions de dollars prévision 20 ans

## Annexe A-1

### Tableau 2 : Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts (suite)

ÉTAPE 2	TECHNOLOGIE	PARAMÈTRES	VALEURS	DESCRIPTION
<b>SÉPARATION</b>	Hydrocyclones de déshuilage (fiche S-5)	Risque technologique	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>La technologie doit être adaptée aux conditions du PEPSC et complétée par des équipements de protection au cas où les concentrations varieraient brusquement;</li> <li>Requiert l'installation à l'intérieur d'un bâtiment;</li> <li>Perte d'espace.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	5,1 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	12,6 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Mobile	
		Déblais d'excavation	n/a	
		Matière résiduelle	Grande	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
		Température °C	N/A	
		Débit d'opération (L/min)	Certain	
		MES, fer, carbonates, pH	Possible	
	Phase flottante	Certain		
	Microfiltration et ultrafiltration (fiche S-6)	Risque technologique	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>La technologie doit être adaptée aux conditions du PEPSC;</li> <li>Requiert l'installation à l'intérieur d'un bâtiment;</li> <li>Perte d'espace.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	7,3 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	15,8 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Réduite	
		Déblais d'excavation	n/a	
		Matière résiduelle	Grande	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
		Température °C	N/A	
		Débit d'opération (L/min)	Certain	
MES, fer, carbonates, pH		Certain		
Phase flottante	Certain			

1 : Incluant un taux d'inflation de 2.3 %

Les coûts sont en \$ de 2009. Tous les coûts sont à ±40 %

Coûts d'immobilisation en millions de dollars

Coûts d'opération en millions de dollars prévision 20 ans

## Annexe A-1

### Tableau 2 : Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts (suite)

ÉTAPE 2	TECHNOLOGIE	PARAMÈTRES	VALEURS	DESCRIPTION
SÉPARATION	Oléofiltration (fiche S-7)	Risque technologique	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>La technologie doit être adaptée aux conditions du PEPSC;</li> <li>Requiert l'installation à l'intérieur d'un bâtiment;</li> <li>Perte d'espace.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	6,8 M\$	
		Coûts d'opération (prévision 20 ans)	15,8 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Réduite	
		Déblais d'excavation	n/a	
		Matière résiduelle	Grande	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
		Température °C	N/A	
		Débit d'opération (L/min)	Certain	
		MES, fer, carbonates, pH	Certain	
	Phase flottante	Certain		
	Électrocoagulation et électroflottation (fiche S-8)	Risque technologique	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>La technologie doit être adaptée aux conditions du PEPSC;</li> <li>Requiert l'installation à l'intérieur d'un bâtiment;</li> <li>Perte d'espace.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	9 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	18,9 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Réduite	
		Déblais d'excavation	n/a	
		Matière résiduelle	Grande	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
		Température °C	N/A	
		Débit d'opération (L/min)	Certain	
MES, fer, carbonates, pH		Possible		
Phase flottante	Certain			

1 : Incluant un taux d'inflation de 2.3 %

Les coûts sont en \$ de 2009. Tous les coûts sont à ±40 %

Coûts d'immobilisation en millions de dollars

Coûts d'opération en millions de dollars prévision 20 ans

## Annexe A-1

### Tableau 2 : Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts (suite)

ÉTAPE 2	TECHNOLOGIE	PARAMÈTRES	VALEURS	DESCRIPTION
SÉPARATION	Centrifugation (fiche S-9)	Risque technologique	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologie appliquée couramment dans l'industrie;</li> <li>• Fonctionne bien dans des conditions où les phases à séparer sont en concentrations stables, ce qui pourrait être le cas au PEPSC si les eaux des différents points de pompage sont mélangées;</li> <li>• Requiert l'installation à l'intérieur d'un bâtiment;</li> <li>• Perte d'espace.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	5,6 M\$	
		Coûts d'opération (prévision 20 ans)	12,6 M <sup>1</sup>	
		Mobilité	Réduite	
		Déblais d'excavation	n/a	
		Matière résiduelle	Grande	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
		Température °C	N/A	
		Débit d'opération (L/min)	Certain	
		MES, fer, carbonates, pH	Possible	
		Phase flottante	Certain	

1 : Incluant un taux d'inflation de 2.3 %

Les coûts sont en \$ de 2009. Tous les coûts sont à ±40 %

Coût d'immobilisation en millions de dollars

Coûts d'opération en millions de dollars prévision 20 ans

## Annexe A-1

### Tableau 2 : Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts (suite)

ÉTAPE 3	TECHNOLOGIE	PARAMÈTRES	VALEURS	DESCRIPTION
<b>TRAITEMENT</b>	Bioréacteurs/ Bioaugmentation (fiche T-1)	Risque technologique	Très élevé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Résultats variables en fonction des conditions du sol; • Contrainte d'aménagement car aucune structure ne peut être construite dans le pourtour immédiat de la barrière pour ne pas créer d'affaissement du terrain;</li> <li>• Débris organiques;</li> <li>• Perte d'espace.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	19,8 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	28,4 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Réduite	
		Déblais d'excavation	Petite**	
		Matière résiduelle	Petite	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
		Température °C	Certain	
		Débit d'opération (L/min)	Certain	
		MES, fer, carbonates, pH	Certain	
		Phase flottante	Certain	
	Bioréacteurs (fiche T-2)	Risque technologique	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologie appliquée couramment dans le traitement des eaux;</li> <li>• Les réactions biologiques se produisent dans des conditions qui doivent minimiser des changements brusques;</li> <li>• Contrainte d'aménagement car aucune structure ne peut être construite dans le pourtour immédiat de la barrière pour ne pas créer d'affaissement du terrain</li> <li>• Débris organiques;</li> <li>• Perte d'espace.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	15,9 M\$	
		Coûts d'opération (prévision 20 ans)	25,2 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Réduite	
		Déblais d'excavation	Moyenne**	
		Matière résiduelle	Moyenne	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Présent	
		Température °C	Certain	
		Débit d'opération (L/min)	Certain	
MES, fer, carbonates, pH	Certain			
Phase flottante	Certain			

1 : Incluant un taux d'inflation de 2.3 %

Les coûts sont en \$ de 2009. Tous les coûts sont à ±40 %

Coûts d'immobilisation en millions de dollars

Coûts d'opération en millions de dollars prévision 20 ans

## Annexe A-1

### Tableau 2 : Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts (suite)

ÉTAPE 3	TECHNOLOGIE	PARAMÈTRES	VALEURS	DESCRIPTION
<b>TRAITEMENT</b>	Marais filtrants évolués (fiche T-3)	Risque technologique	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De nombreuses applications ont été réalisées avec de bons résultats.</li> <li>• Nécessite une grande surface d'aménagement. Au moins 2 ha.</li> <li>• Odeur et débris organiques;</li> <li>• Perte d'espace;</li> <li>• Opération à température froide démontrée lors des essais de traitabilité 2006-2007.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	11 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans) <sup>1</sup>	25,2 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Aucune	
		Déblais d'excavation	Moyenne	
		Matière résiduelle	Petite	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Présent	
		Température °C	Possible	
		Débit d'opération (L/min)	Certain	
		MES, fer, carbonates, pH	Certain	
	Phase flottante	Certain		
	Barrière réactive perméable (BRP) (fiche T-4)	Risque technologique	Très élevé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La BRP pourrait être inefficace dans certains secteurs du PEPSC où les conditions hydrogéologiques ne sont pas favorables;</li> <li>• Les médias réactifs peuvent se colmater par la précipitation de métaux ou la création de biomasse;</li> <li>• Aucun plan de mitigation en cas d'une perte de performance de la BRP. Doit être mise à l'essai avant son utilisation sur le site;</li> <li>• Technologie récente appliquée avec succès sur une base commerciale;</li> <li>• Contrainte d'aménagement car aucune structure ne peut être construite dans le pourtour immédiat de la barrière pour ne pas créer d'affaissement du terrain. Perte d'espace;</li> <li>• Poussière;</li> <li>• Ajustement du débit lors du design en fonction du débit de l'écoulement de l'eau souterraine;</li> <li>• Média réactif en fonction de la température du milieu.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	17 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	18,9 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Aucune	
		Déblais d'excavation	Grande**	
		Matière résiduelle	Petite	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
		Température °C	Possible	
		Débit d'opération (L/min)	Certain	
MES, fer, carbonates, pH		Certain		
Phase flottante	Certain			

<sup>1</sup> : Incluant un taux d'inflation de 2.3 %

Les coûts sont en \$ de 2009. Tous les coûts sont à ±40 %

Coûts d'immobilisation en millions de dollars

Coûts d'opération en millions de dollars prévision 20 ans

## Annexe A-1

### Tableau 2 : Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts (suite)

ÉTAPE 3	TECHNOLOGIE	PARAMÈTRES	VALEURS	DESCRIPTION
<b>TRAITEMENT</b>	Phytorémédiation (fiche T-5)	Risque technologique	Très élevé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'action des plantes s'arrête avec l'hiver;</li> <li>• L'ajout de chélates favorise la mobilisation des métaux d'où le risque élevé d'un transfert vers l'eau souterraine;</li> <li>• Potentiel d'augmentation des concentrations de métaux lourds et du niveau de toxicité de l'eau souterraine;</li> <li>• Gestion des résidus organiques contaminés en métaux lourds;</li> <li>• Coût d'élimination/incinération;</li> <li>• On estime à près de 20 000 le nombre d'arbres pour couvrir le terrain sur 2,1 km de long par 80 m de large (bande riveraine et la limite sud du PEPSC. Débris organiques;</li> <li>• Perte d'espace.</li> </ul>
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	28,4 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Aucune	
		Déblais d'excavation	Petite	
		Matière résiduelle	Petite	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Présent	
		Température °C	Certain	
		Débit d'opération (L/min)	Possible	
		MES, fer, carbonates, pH	Possible	
	Phase flottante	Certain		
	Oxydation chimique (fiche T-6)	Risque technologique	Élevé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les bases théoriques du procédé sont solides et l'oxydation est appliquée pour la dégradation des hydrocarbures;</li> <li>• Cependant, la démonstration de l'efficacité du procédé et de l'innocuité des sous-produits des réactions reste à faire.</li> <li>• L'utilisation de produits chimiques est une contrainte importante;</li> <li>• Accès limité au site des travaux;</li> <li>• Poussières;</li> <li>• Perte d'espace.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	22,2 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	31,5 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Réduite	
		Déblais d'excavation	n/a	
		Matière résiduelle	Petite	
		Risque pour la santé	Élevé	
		Contrainte	Présent	
		Température °C	N/A	
Débit d'opération (L/min)		Certain		
MES, fer, carbonates, pH	Certain			
Phase flottante	Certain			

1 : Incluant un taux d'inflation de 2.3 %

Les coûts sont en \$ de 2009. Tous les coûts sont à ±40 %

Coûts d'immobilisation en millions de dollars

Coûts d'opération en millions de dollars prévision 20 ans

## Annexe A-1

### Tableau 2 : Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts (suite)

ÉTAPE 3	TECHNOLOGIE	PARAMÈTRES	VALEURS	DESCRIPTION
<b>TRAITEMENT</b>	Adsorption (fiche T-7)	Risque technologique	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologie éprouvée dans une vaste gamme d'applications.</li> <li>• Débris inorganiques (CAG) et résidus de régénération;</li> <li>• Perte d'espace.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	14,6 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	28,4 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Réduite	
		Déblais d'excavation	n/a	
		Matière résiduelle	Moyenne**	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Négligeable	
		Température °C	N/A	
		Débit d'opération (L/min)	Certain	
		MES, fer, carbonates, pH	Certain	
		Phase flottante	Certain	
	Ultrafiltration et nanofiltration (fiche T-8)	Risque technologique	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologie couramment appliquée dans le traitement de l'eau;</li> <li>• Technologie bruyante;</li> <li>• Requiert l'installation dans un bâtiment;</li> <li>• Perte d'espace;</li> <li>• Débit variable en fonction de la surcharge de MES ou de minéraux va affecter l'efficacité du traitement.</li> </ul>
		Coût d'immobilisation	14,8 M\$	
		Coût d'opération (prévision 20 ans)	28,4 M\$ <sup>1</sup>	
		Mobilité	Réduite	
		Déblais d'excavation	n/a	
		Matière résiduelle	Grande	
		Risque pour la santé	Faible	
		Contrainte	Présent	
		Température °C	N/A	
		Débit d'opération (L/min)	Certain	
MES, fer, carbonates, pH	Certain			
Phase flottante	Certain			

1 : Incluant un taux d'inflation de 2.3 %

Les coûts sont en \$ de 2009. Tous les coûts sont à ±40 %

Coûts d'immobilisation en millions de dollars

Coûts d'opération en millions de dollars prévision 20 ans

## Annexe A-1

### Tableau 2 : Outil décisionnel – Paramètres d'évaluation du risque et des coûts (suite)

Légende des paramètres retenus :

#### Risque technologique

Probabilité que le procédé n'atteigne pas le rendement attendu; évaluée en terme de risque faible, moyen, élevé et très élevé

#### Mobilité

Aucune : Requier une déconstruction et une reconstruction / affecte l'intégrité du design

Réduite : Comprend l'ajout ou le retrait de module au système en place/ n'affecte pas l'intégrité du design

Mobile : Déplacement du système en place/ n'affecte pas l'intégrité du design

#### Déblais d'excavation

Petite : Estimé des quantités de 0 à 1000 m<sup>3</sup>

Moyenne : Estimé des quantités de 1000 m<sup>3</sup> à 10 000 m<sup>3</sup>

Grande : Estimé des quantités supérieures à 10 000 m<sup>3</sup>

\*Ne tient pas compte de l'aménagement de puits de pompage ou d'extraction

\*\* Les quantités sont fonction du design

#### Matière résiduelle

Petite : Estimé des quantités produites de 0 à 500 m<sup>3</sup>

Moyenne : Estimé des quantités produites de 500 à 1500 m<sup>3</sup>

Grande : Estimé des quantités produites supérieures à 1500 m<sup>3</sup>

Pour l'Étape 2, les matières résiduelles visées sont la totalité de la phase flottante d'hydrocarbures

Pour l'Étape 3, nous avons considéré les médias filtrants, les médias réactifs, les boues et tous autres produits et matières non utilisables

\*\* Les quantités sont fonction du design

#### Risque pour la santé

Faible : Requier un minimum de protection pour la santé des travailleurs

Élevé : Peut affecter la santé des travailleurs

#### Contrainte

Négligeable : Aucun ou peu d'effet de nuisance associé

Présent : Présence notable d'effets de nuisance visuelle, olfactive, auditive, de gaz inodore, de débris organiques et inorganiques, de poussière, perte d'espace, renforcer la chaussée

#### Température °C, débit d'opération, MES, fer, carbonates, pH et phase flottante

N/A : Non applicable ou aucun effet sur l'efficacité de la technologie

Possible : Un effet peut se produire au niveau de l'efficacité de la technologie

Certain : A un effet direct sur l'efficacité de la technologie

## Annexe A-1

### Tableau 3 : Paramètres, critères et réglementation applicables

Paramètres analytiques	Unité	MDDEP <sup>(1)</sup>	CCME <sup>(2)</sup>	Règl. 87 <sup>(3)</sup>
<b>Métaux et métalloïdes</b>				
Aluminium (Al) total	µg/L	-	-	-
Aluminium (Al) dissous	µg/L	750	-	-
Antimoine (Sb) total	µg/L	-	5 à 100	-
Antimoine (Sb) dissous	µg/L	-	-	-
Argent (Ag) total	µg/L	-	0,1	-
Argent (Ag) dissous	µg/L	0,62	-	-
Arsenic (As) total	µg/l	-	5	1000
Arsenic (As) dissous	µg/L	340	-	-
Baryum (Ba) total	µg/L	-	-	1000
Baryum (Ba) dissous	µg/L	5300	-	-
Béryllium (Be) total	µg/l	-	-	-
Béryllium (Be) dissous	µg/L	-	-	-
Bismuth (Bi) total	µg/L	-	-	-
Bismuth (Bi) dissous	µg/L	-	-	-
Bore (Bo) total	µg/l	-	-	-
Bore (Bo) dissous	µg/L	-	-	-
Cadmium (Cd) total	µg/L	-	0,017	100
Cadmium (Cd) dissous	µg/L	2,1	-	-
Calcium (Ca) total	µg/l	-	-	-
Calcium (Ca) dissous	µg/L	-	-	-
Chrome (Cr) total	µg/L	-	8,9	1000
Chrome (Cr) dissous	µg/L	-	-	-
Cobalt (Co) total	µg/L	-	-	-
Cobalt (Co) dissous	µg/L	500	-	-
Cuivre (Cu) total	µg/L	-	2 à 4	1000
Cuivre (Cu) dissous	µg/L	7,3	-	-
Étain (Sn) total	µg/l	-	-	1000
Étain (Sn) dissous	µg/L	-	-	-
Fer (Fe) total	µg/L	-	300	17000
Fer (Fe) dissous	µg/L	-	-	-
Fer 2+ (ferreux)	µg/L	-	-	-
Fer 3+ (ferrique)	µg/L	-	-	-
Magnésium (Mg) total	µg/L	-	-	-
Magnésium (Mg) dissous	µg/L	-	-	-
Manganèse (Mn) total	µg/l	-	-	-
Manganèse (Mn) dissous	µg/L	-	-	-

## Annexe A-1

### Tableau 3 : Paramètres, critères et réglementation applicables (suite)

Paramètres analytiques	Unité	MDDEP <sup>(1)</sup>	CCME <sup>(2)</sup>	Règl. 87 <sup>(3)</sup>
<b>Métaux et métalloïdes (suite)</b>				
Molybdène (Mo) total	µg/L	-	730	-
Molybdène (Mo) dissous	µg/L	2000	-	-
Nickel (Ni) total	µg/L	-	25 à 150	1000
Nickel (Ni) dissous	µg/L	260	-	-
Plomb (Pb) total	µg/L	-	1 à 7	100
Plomb (Pb) dissous	µg/L	34	-	-
Potassium (K) total	µg/l	-	-	-
Potassium (K) dissous	µg/L	-	-	-
Sélénium (Se) total	µg/L	-	1	-
Sélénium (Se) dissous	µg/L	20	-	-
Silicium (Si) total	µg/l	-	-	-
Silicium (Si) dissous	µg/L	-	-	-
Sodium (Na) total	µg/L	-	-	-
Sodium (Na) dissous	µg/L	-	-	-
Strontium (Sr) total	µg/l	-	-	-
Strontium (Sr) dissous	µg/L	-	-	-
Thalium (Tl) total	µg/L	-	0,8	-
Thalium (Tl) dissous	µg/L	-	-	-
Titane (Ti) total	µg/l	-	-	-
Titane (Ti) dissous	µg/L	-	-	-
Tungstène (W) total	µg/L	-	-	-
Tungstène (W) dissous	µg/L	-	-	-
Uranium (U) total	µg/l	-	-	-
Uranium (U) dissous	µg/L	-	-	-
Vanadium (V) total	µg/L	-	-	-
Vanadium (V) dissous	µg/L	-	-	-
Zinc (Zn) total	µg/l	-	30	1000
Zinc (Zn) dissous	µg/L	67	-	-
Zirconium (Zr) total	µg/L	-	-	-
Zirconium (Zr) dissous	µg/L	-	-	-
<b>Autres composés inorganiques</b>				
Azote ammoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	µg/L	2910 <sup>4a)</sup> / 396 <sup>4b)</sup>	-	-
Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	µg/L	860 000	-	1 500 000
Nitrate (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	µg/L	200 000	13 000	-
Nitrite (N-NO <sub>2</sub> )	µg/L	60	60	-
Sulfures (H <sub>2</sub> S)	µg/L	200	-	1000

## Annexe A-1

### Tableau 3 : Paramètres, critères et réglementation applicables (suite)

Paramètres analytiques	Unité	MDDEP <sup>(1)</sup>	CCME <sup>(2)</sup>	Règl. 87 <sup>(3)</sup>
<b>Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)</b>				
Acénaphène	µg/L	67	5,8	-
Anthracène	µg/L	11 000 000	0,012	-
Benzo (a) anthracène	µg/L	4,9	0,018	-
Benzo (b,,j et k) fluoranthène	µg/L	4,9	-	-
Benzo (a)pyrène	µg/L	4,9	0,015	-
Chrysène	µg/L	4,9	-	-
Dibenzo (a,h) anthracène	µg/L	4,9	0,018	-
Fluoranthène	µg/L	2,3	0,04	-
Fluorène	µg/L	1 400 000	3,0	-
Indéno (1,2,3-cd) pyrène	µg/L	4,9	-	-
Naphtalène	µg/L	340	1,1	-
Phénanthrène	µg/L	30	0,4	-
Pyrène	µg/L	1 100 000	0,025	-
<b>Paramètres intégrateurs</b>				
Hydrocarbures pétroliers (C <sub>10</sub> -C <sub>50</sub> )	µg/L	3500	-	-
Toxicité chronique	µg/L	100 UTC	-	-
Toxicité aiguë	µg/L	1 UTA	-	-
<b>Byphéniles polychlorés</b>				
Biphényles polychlorés (BPC)	µg/L	0,012	-	-
<b>Autres paramètres</b>				
Alcalinité (CaCO <sub>3</sub> )	µg/L	-	-	-
Carbone organique total (COT)	µg/L	-	-	-
Carbone inorganique total (CIT)	µg/L	-	-	-
Matière en suspension (MES)	µg/L	-	-	30 000
Conductivité	µmhos/cm	-	-	-
pH	-	-	6,5 à 9,0	6,5 à 9,5

#### Notes:

- : Aucun critère

(1) : Critère applicable aux cas de résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts de la "Politique de protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés", MDDEP

(2) : Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique, eau douce. CCME (à titre indicatif)

(3) : Règlement 2001-9 de la CMM qui a reconduit le règlement 87 de l'ancienne CUM

(4) : Le critère varie selon la température (20°C) et le pH (8,3), voir "Critères de qualité de l'eau de surface au Québec" (MENV)

4a : Protection de la vie aquatique, critères de toxicité aiguë 4b: Protection de la vie aquatique, critères de toxicité chronique

## **Annexe A-2**

**Tableaux 4, 5, 6 : Technologies applicables**  
**Tableau 7 : Technologies non retenues**

Tableau 4 : Technologies applicables pour le captage des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures

TECHNOLOGIE	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	TYPE		ÉTAPE			SUBSTANCES VISÉES	CONTRAINTES	AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS	PERTINENCE A LA PROBLÉMATIQUE DU SITE	REMARQUES
		<i>In situ</i>	<i>Ex situ</i>	1	2	3					
Barrière hydraulique (fiche C-1)	- Pompage;  - Création d'une barrière hydraulique par rabattement de la nappe des eaux souterraines à l'aide de puits de captage placés à la limite sud du PEPSC.	√		√	√		- Eaux souterraines;  - Phases flottantes d'hydrocarbures selon l'aménagement des pompes dans le puits de captage.	- Limiter la dilution de la contamination due à un pompage excessif des eaux de l'enrochement sous l'autoroute Bonaventure et du fleuve;  - La présence de fer et de carbonates peut colmater les équipements de pompage.	- Sa mise en œuvre sur le chantier s'avère moins complexe et coûteuse que la barrière étanche; - Peu d'impact sur les infrastructures Aucune excavation des sols; - Applicables avec plusieurs technologies de traitement des eaux et/ou de récupération des phases flottantes d'hydrocarbures; - Demande un suivi, des ajustements et un entretien constant pour toute la durée des opérations.	- S'ajuste à des modifications importantes d'infrastructures souterraines et en surface; - Peut aussi capter une portion des eaux souterraines (et des phases flottantes) sous l'autoroute Bonaventure; - Une partie de l'eau pompée et traitée peut être réinjectée en amont hydraulique du PEPSC.	-La conception des puits ainsi que le nettoyage préventif des composantes de pompage s'avèrent des éléments clés à la fiabilité et au succès de cette technologie; -Le volume d'eau à gérer est plus important que la technique de la barrière étanche; -Risque de migration d'eaux contaminées lors de bris, d'entretien ou de panne électrique; -Technologie largement documentée et éprouvée.
										<b>APPLICABILITÉ AU PEPSC</b> : Selon TechnoRem (réf. 4), un contrôle hydraulique et une technologie de Séparation peuvent y être combinés (étapes 1 et 2), selon le design proposé.	
Barrière étanche ancrée avec contrôle hydraulique (fiche C-2)	- Confinement et pompage;  - Confinement des eaux souterraines, à l'aide d'un mur imperméable ancré dans le till ou le roc sur toute sa longueur à la limite sud du PEPSC;  - Requiert obligatoirement un contrôle hydraulique à l'aide d'une série de puits de pompage en amont du mur.	√		√	√		- Eaux souterraines;  - Phases flottantes d'hydrocarbures.	- La présence de fer et de carbonates peut colmater les équipements de pompage.	- Un degré de protection supérieure réduit au minimum (ou évite) le pompage des eaux de l'enrochement de l'autoroute Bonaventure/fleuve; - Travaux d'envergure pour sa mise en œuvre et Gestion de quantités importantes de déblais lors des travaux d'installation; - Dégradation avec le temps de certains types de barrières; - Coût d'implantation important - Nécessite essais de compatibilité entre la barrière et les liquides interceptés.	- Selon SNC-Lavalin (réf. 10) limitation quant aux possibilités du lieu d'implantation, car présence d'infrastructures souterraines à la limite sud du PEPSC (zone de servitude au nord immédiat de la rue Carrie-Derrick); - Nécessite une connaissance accrue des conditions hydrogéologiques.	- L'eau pompée et traitée est rejetée directement au fleuve ou peut être réinjectée en amont hydraulique du PEPSC; - Dans le cas où le système de captage doit être interrompu (après la fin des mesures de mitigation), prévoir coûts supplémentaires pour la restauration de l'écoulement des eaux souterraines (ex : démolition de certaines parties du mur); - Technologie connue et éprouvée.
										<b>APPLICABILITÉ AU PEPSC</b> : Selon SNC-Lavalin (réf. 9), la barrière devrait être constituée de ciment-bentonite; Selon Technorem (réf. 4), un contrôle hydraulique et une technologie de Séparation peuvent y être combinés (étapes 1 et 2), selon le design proposé.	
Barrière étanche ancrée avec entonnoirs et fenêtres ("Funnel and Gate") (fiche C-3)	- Confinement et traitement in situ;  - Confinement des eaux souterraines à l'aide d'un mur imperméable ancré dans le till ou le roc sur toute sa longueur à la limite sud du PEPSC et qui dirige l'écoulement des eaux vers des fenêtres de traitement.	√		√	√		- Eaux souterraines et phases flottantes d'hydrocarbures.	- La présence de fer et de carbonates peut colmater le média de traitement constituant la fenêtre et diminuer le temps de résidence requis pour le traitement de l'eau.	- Évite le pompage des eaux souterraines pour le contrôle hydraulique en amont de la barrière -Simplicité d'opération Peu d'impacts visuels;  - Idem à C-2.	Idem à C-2	Risque important de migration des contaminants si le média de traitement devient peu performant;  Technologie relativement connue et éprouvée.
										<b>APPLICABILITÉ AU PEPSC</b> : Selon SNC-Lavalin (réf. 9) la barrière devrait être constituée de ciment-bentonite; Selon Technorem (réf. 4), un contrôle hydraulique et une technologie de Séparation peuvent y être combinés (étapes 1 et 2), selon le design proposé.	

Tableau 5 : Technologies applicables pour la séparation des phases flottantes hydrocarbures

TECHNOLOGIE	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	TYPE		ÉTAPE			SUBSTANCES VISÉES	CONTRAINTES	AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS	PERTINENCE A LA PROBLÉMATIQUE DU SITE	REMARQUES
		In situ	Ex situ	1	2	3					
Écrémage (fiche S-1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Physique;</li> <li>- Des écrémeurs sont installés dans les puits de captage localisés aux endroits où les hydrocarbures sont susceptibles de s'accumuler;</li> <li>- Les phases flottantes HP sont récupérées par l'écrémeur- Son utilisation peut être passive ou active.</li> </ul>	√		√	√		- Phases flottantes d'hydrocarbures.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En raison de la variabilité de la viscosité et de la profondeur des phases flottantes, l'utilisation de plus d'un type d'écrémeur pourrait être requise.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efficace même pour de faibles épaisseurs de phases flottantes;</li> <li>- Minimise la gestion des eaux récupérées;</li> <li>- Frais de fonctionnement peu élevés;</li> <li>- Plus la viscosité des hydrocarbures est grande, plus leur récupération est difficile.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compte tenu du volume important d'hydrocarbures en phases flottantes, cette technologie est avantageuse afin de réduire la charge sur les autres étapes du procédé de traitement ;</li> <li>- Prévoir la gestion et possiblement l'élimination des hydrocarbures.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selon certains essais testés sur le site, les types d'écrémeur (récupération active) ayant obtenu les meilleurs résultats sont le « Spill Buster » pour des hydrocarbures ayant une viscosité inférieure à 30 cSt et la courroie « Abanaki » pour des hydrocarbures ayant une viscosité supérieure à 30 cSt;</li> <li>-Technologie largement documentée et éprouvée.</li> </ul>
Système d'extraction sous vide (fiche S-2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Physique;</li> <li>- Aux endroits où les hydrocarbures sont susceptibles de s'accumuler, cette technique consiste à récupérer les phases flottantes d'hydrocarbures dans des puits de récupération scellés et sous vide partiel, à l'aide de tuyaux d'extraction reliés à une pompe à vacuum et dont les extrémités sont positionnées aux interfaces air/phase flottantes;</li> <li>- Technologie relativement récente, mais éprouvée.</li> </ul>	√		√	√		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phases flottantes d'hydrocarbures.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un matériel hétérogène ou la présence d'interlits imperméables ou de chemins préférentiels peut réduire considérablement son efficacité;</li> <li>- Les phases flottantes d'hydrocarbures situées à plus de 10 m de profondeur ne pourront pas être efficacement récupérées à l'aide de cette technologie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La circulation d'air stimule la biodégradation de la contamination organique résiduelle et entraîne les composés organiques volatils situés dans la zone de vadose;</li> <li>- Technique agressive et souvent efficace;</li> <li>Nécessite des séparateurs air-liquide et eau-hydrocarbure ;</li> <li>- La séparation des phases peut être complexe selon la nature des contaminants. Une émulsion d'hydrocarbures peut également être générée;</li> <li>- Des fluctuations importantes du niveau de la nappe demandent des ajustements de la profondeur des tuyaux d'extraction.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interventions ciblées dans les zones où les phases flottantes sont présentes;</li> <li>- Technique complémentaire en amont d'une barrière étanche ou réactive ou bien accouplée à un système de pompage;</li> <li>- Prévoir la gestion de l'air et d'un faible volume d'eau ainsi que des hydrocarbures;</li> <li>- Compte tenu du volume important d'hydrocarbures en phases flottantes, cette technologie est avantageuse afin de réduire la charge sur les autres étapes du procédé de traitement.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technologie utilisée depuis une douzaine d'années sur la propriété du CN (ligne Butler) au nord du PEPSC;</li> <li>- Technologie relativement récente, mais éprouvée.</li> </ul>
										<p><b>APPLICABILITÉ AU PEPSC :</b> Selon SNC-Lavalin (réf. 9) la technologie d'Écrémage est applicable.</p>	
										<p><b>APPLICABILITÉ AU PEPSC :</b> Selon SNC-Lavalin (réf. 9) la technologie d'extraction sous vide n'est pas applicable.</p>	

Tableau 5: Technologies applicables pour la séparation des phases flottantes hydrocarbures (suite)

TECHNOLOGIE	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	TYPE		ÉTAPE			SUBSTANCES VISÉES	CONTRAINTES	AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS	PERTINENCE A LA PROBLÉMATIQUE DU SITE	REMARQUES
		In situ	Ex situ	1	2	3					
Séparateurs eau-huile et bassins de décantation (fiche S-3)	- Physique;  - Les liquides immiscibles se séparent à cause de la différence de leur densité sous l'effet de la gravité.		√		√		- Mélanges et émulsions d'hydrocarbures et eau;  - Matières en suspension.	- Temps de résidence longs faisant en sorte que les équipements sont volumineux;  - Addition de réactifs pour favoriser le processus de séparation.	- Simples à concevoir et à faire fonctionner;  - Acceptent des variations du débit et de la charge des phases flottantes.	- Cette technologie est en mesure de traiter non seulement des eaux très chargées en hydrocarbures, mais aussi de retenir une partie des précipités de métaux et des matières en suspension.	- Le dépôt de matières en suspension, la précipitation de métaux et la formation de biomasse nécessiteront un dispositif d'assèchement des boues et une filière d'élimination de ces résidus.
Systèmes de flottation par air dissous (fiche S-4)	- Physique;  - L'air est dissous sous pression dans un liquide et les microbulles qu'il a formées lors de la dépressurisation du liquide adhèrent aux particules gouttelettes d'hydrocarbures et les matières en suspension, puis les entraînent vers la surface où elles forment ainsi une écume collectée.		√		√		- Hydrocarbures et eau;  - Émulsions d'hydrocarbures et eau;  - Matières en suspension.	- Pas adaptée à de fortes concentrations en hydrocarbures;  - Requièrent des conditions relativement stables d'alimentation (débit, concentrations).  - Addition de réactifs pour favoriser les réactions le processus de séparation (flottation).	- Polyvalence (extraction des hydrocarbures, des matières en suspension et de certains métaux);  - La conception doit être bien adaptée aux effluents à traiter;  - Supposent une vigilance dans le suivi des conditions d'opération.	- L'injection d'air dans le courant d'eau à traiter en tête du procédé pourrait s'avérer intéressante en favorisant la précipitation de métaux (notamment le du fer).	- Les résidus nécessiteront un dispositif d'assèchement et une filière d'élimination adaptée;  - Utilisation courante dans l'industrie chimique et pétrochimique ainsi que les usines de traitement stations d'épuration des eaux usées.
Hydrocyclones de déshuilage (fiche S-5)	- Physique;  - Les liquides immiscibles se séparent sous l'effet de la force centrifuge.		√		√		- Hydrocarbures et eau;  - Matières en suspension.	- Requièrent une alimentation de débit, de pression et de charge stables;  - Requièrent un traitement de polissage pour éliminer la charge résiduelle.	- Les conditions d'opération fixées à la conception doivent être respectées Gestion de résidus à prévoir.	- Technologie peu adaptée aux conditions variables de charge observées sur le site.	- S'assurer que les effluents traités sont compatibles avec la technologie choisit pour le traitement d'eau l'étape 3 du processus.
Microfiltration et ultrafiltration (fiche S-6)	- Physique;  - Filtration à travers une membrane semi-perméable sous une pression de moins de 1300 kPa (200 psi).		√		√	√	- Mélanges et émulsions d'hydrocarbures et eau;  - Matières en suspension et Colloïdes.	- Les membranes peuvent être incompatibles avec certains composés.	- Performance élevée;  - Peut nécessiter un traitement préliminaire en cas de fortes charges;  - Nécessite un suivi serré et un entretien fréquent qui sont fonction de la qualité de l'eau.	- Cette technologie présente une performance d'extraction des hydrocarbures élevée.	- Technologie évoluée qui permet d'atteindre des puretés de filtrat poussées; - Prévoir un système de traitement du concentrat et une filière d'élimination des hydrocarbures et des matières dissoutes qui seront extraites; - Utilisation courante dans l'industrie chimique et pharmaceutique.

Tableau 5 : Technologies applicables pour la séparation des phases flottantes hydrocarbures (suite)

TECHNOLOGIE	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	TYPE		ÉTAPE			SUBSTANCES VISÉES	CONTRAINTES	AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS	PERTINENCE A LA PROBLÉMATIQUE DU SITE	REMARQUES
		In situ	Ex situ	1	2	3					
Oléofiltration (fiche S-7)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Physique;</li> <li>- Filtration à travers des granules de céramique enduites d'une substance oléophile.</li> </ul>		√		√		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hydrocarbures et émulsion eau-hydrocarbures.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas adaptée à des fortes concentrations en hydrocarbures.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N'est pas en mesure de traiter tous les effluents à cause de la limitation sur la concentration en hydrocarbures;</li> <li>- Requiert un entretien fréquent et des conditions d'opération stables;</li> <li>- Remplacement du milieu filtrant à prévoir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technologie pointue moins adaptée aux conditions du PEPSC</li> <li>Gestion de résidus à prévoir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- S'assurer que le système est en mesure de traiter les concentrations prévues et porter attention aux coûts d'opération.</li> </ul>
										<p><u>APPLICABILITÉ AU PEPSC</u> : Application commerciale. N'a pas été testée par le CEMRS.</p>	
Électrocoagulation et électroflottation (fiche S-8)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Electrochimique /physique;</li> <li>- Un courant passant entre deux électrodes libère des ions métalliques et des bulles de gaz qui entraînent des précipités.</li> </ul>		√		√	√	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eaux usées municipales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas adapté à des fortes concentrations en hydrocarbures;</li> <li>- Nécessite un suivi rigoureux et un entretien important.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet de traiter un effluent chargé en ions métalliques, en matières en suspension et en émulsion eau-hydrocarbures;</li> <li>- Les électrodes à être remplacées périodiquement à cause de leur dissolution (libération d'ions métalliques).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technologie lourde et pas adaptée à des fortes concentrations en hydrocarbures telles qu'au site du PEPSC;</li> <li>- Gestion de résidus à prévoir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Constitue une variante à la flottation par air dissous.</li> </ul>
										<p><u>APPLICABILITÉ AU PEPSC</u> Procédés industriels et utilisation commerciale. N'a pas été testée par le CEMRS.</p>	
Centrifugation (fiche S-9)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Physique;</li> <li>- Les liquides immiscibles se séparent à cause de leur différence de densité sous l'effet de la force centrifuge.</li> </ul>		√		√		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mélanges liquides ou solides liquides.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet la séparation rapide en continu d'émulsions et de mélanges immiscibles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Équipement compact qui s'accommode de variations dans le débit d'alimentation;</li> <li>- Pas d'additifs requis;</li> <li>- Les fractions résultantes sont relativement bien séparées, ce qui facilite leur élimination.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La fiabilité, la flexibilité et le faible encombrement des centrifugeuses en font des équipements qui répondent aux besoins du site.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Est en mesure de traiter des émulsions et des mélanges eau-hydrocarbures;</li> <li>- Gestion de résidus à prévoir.</li> </ul>
										<p><u>APPLICABILITÉ AU PEPSC</u> Utilisation courante dans l'industrie chimique et alimentaire ainsi que les stations d'épurations des eaux usées. N'a pas été testée par le CEMRS.</p>	

Tableau 6 : Technologies applicables pour le traitement des eaux souterraines

TECHNOLOGIE	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	TYPE		ÉTAPE			SUBSTANCES VISÉES	CONTRAINTE	AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS	PERTINENCE A LA PROBLÉMATIQUE DU SITE	REMARQUES
		In situ	Ex situ	1	2	3					
Bio stimulation/ Bioaugmentation (fiche T-1)	- Biologique;  - Les microorganismes présents dans le sol et les eaux souterraines sont stimulés par l'apport de nutriments et la modification de certaines des conditions de leur environnement (notamment l'oxygène, humidité, température).	√		√		√	- Hydrocarbures en phase dissoute ou en suspension;  - Azote ammoniacal et nitrates dans la zone vadose et la zone saturée;  - Contaminants organiques.	- Le milieu doit être caractérisé pour évaluer si les souches appropriées de bactéries ou de champignons sont naturellement présentes, ou si l'on doit en importer; - La présence de métaux précipitables peut bloquer les pores du sol; - Les sols doivent être suffisamment perméables et homogènes.	- Intervention qui ne requiert pas de travaux de terrassement importants et qui permet de poursuivre les activités sur le site;  - Requiert un suivi serré des conditions chimiques et biologiques du milieu à traiter;  - Difficulté à évaluer la qualité de l'eau traitée.	- S'adapte bien aux contraintes d'aménagement du site.  <u>APPLICATION LORS DES ESSAIS PILOTES</u> : SANEXEN indique une période d'acclimatation de la population microbienne de plusieurs semaines avant les réactions de nitrification et de dénitrification. Le traitement <i>in situ</i> a permis de réduire d'environ 40 % les concentrations d'azote ammoniacal sur la période d'essai de huit (8) semaines.  GÉOPHASE, dans le cadre de l'essai pilote <i>Zone réactive in situ</i> a appliquée des principes de la bio stimulation – bioaugmentation. Des bactéries qui ont été utilisées pour la nitrification de l'azote ammoniacal et de l'oxygène, ont été injectées pour faire précipiter le fer.	- Appliquée sur une base commerciale.
Bioréacteurs (fiche T-2)	- Biologique;  - Les contaminants organiques sont dégradés en composés simples non toxiques par des microorganismes dans un réacteur où règnent des conditions favorables à leur développement et adaptées à leur métabolisme.	√	√	√		√	- Contaminants organiques tels les HAP, organochlorés et hydrocarbures en phase dissoute, matière organique, azote ammoniacal et nitrates;  - Certains métaux.	- Nécessite un temps de résidence adéquat pour le traitement optimal des contaminants visés; - Les conditions physico-chimiques du milieu biologique doivent être maintenues dans une gamme de valeurs déterminées; - La population microbienne est sensible aux variations des caractéristiques de l'eau traitée.	- Traite les contaminations dissoutes d'hydrocarbures et l'ammoniaque;  - Le rendement diminue lorsque la température descend au dessous d'un seuil critique;  - Technologie modulaire et adaptable au développement du site.	- Fonctionne en donnant les résultats attendus avec les eaux du site.  <u>APPLICATION LORS DES ESSAIS PILOTES</u> : SANEXEN a utilisé un biofiltre pour la réduction des concentrations en sulfures, la bio-oxydation de l'azote ammoniacal et dénitrification du nitrate et la DBO <sub>5</sub> Résultats : augmentation de nitrites/nitrates. Aucune dénitrification.  GOLDER ( <i>eMaMoc</i> ) a utilisé 6 bioréacteurs. Réduction des HP C <sub>10</sub> -C <sub>50</sub> , des BPC, des MES, l'azote ammoniacal, des métaux sauf baryum et sodium, fer, cuivre. Colmatage des réacteurs par précipités. Attention au relargage des métaux. Sensible à température froide. Dégazage de COV. GOLDER (Multipoints) a utilisé 4 bioréacteurs. Réduction de l'azote ammoniacal, des HP C <sub>10</sub> -C <sub>50</sub> , des HAP, BPC. Sensible à température froide. Dégazage de COV.	- Les volumes en cours de traitement peuvent représenter seulement 2 à 3 jours de débit d'effluent;  - Appliquée sur une base commerciale au en traitement de l'eau potable et en épuration des eaux usées municipales et industrielles.
Marais filtrants évolués (fiche T-3)	- Biologique/physique;  - Milieu artificiel permettant aux eaux de circuler dans un milieu où des microorganismes anaérobie ou aérobie prolifères et peuvent dégrader : contaminants organiques et fixer des matières inorganiques contaminants organiques et de fixer des matières inorganiques.		√			√	- Hydrocarbures en phase dissoute;  - Azote ammoniacal, nitrates.  - Capture de certains métaux, comme le fer.	- Mêmes commentaires que pour la technologie des bioréacteurs;  - La biomasse végétale peut accumuler des métaux toxiques et elle doit être récoltée;  - Le milieu filtrant (sable en général) qui supporte la microflore peut se colmater à la longue et doit être entretenu à coûts modiques.	- Approche écologique avantageuse;  - Dégradation totale de l'azote ammoniacal en juxtaposant la zone aérobie à une zone anaérobie;  - Requiert un espace important pour aménager le marais;  - Prévoir étape de captage pour la gestion des phases flottantes et des matrices filtrantes.	- À considérer, mais doit faire l'objet d'un essai pilote pour optimiser les paramètres de conception;  - Requiert un plan d'aménagement pour intégration au développement du site.  <u>APPLICATION LORS DES ESSAIS PILOTES</u> : Testée avec succès lors des essais de traitabilité 2006-2007 (réf. 3).	- Appliquée sur une base commerciale au traitement d'eaux usées;  - Ces marais hébergent des plantes qui ont une action bénéfique (Phytorémédiation) quoique marginale sur les contaminants.

Tableau 6 : Technologies applicables pour le traitement des eaux souterraines (suite)

TECHNOLOGIE	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	TYPE		ÉTAPE			SUBSTANCES VISÉES	CONTRAINTES	AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS	PERTINENCE A LA PROBLÉMATIQUE DU SITE	REMARQUES
		<i>In situ</i>	<i>Ex situ</i>	1	2	3					
Barrière réactive perméable (BRP) (fiche T-4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chimique et/ou biologique;</li> <li>- Aménagement souterrain, perpendiculaire à l'écoulement de l'eau souterraine et dont la constitution permet une action désirée sur les flux de masse qui la traversent.</li> </ul>	√				√	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eaux contaminées de composés organiques, organochlorés et azote ammoniacal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les médias réactifs peuvent se colmater par la précipitation de métaux ou la création de biomasse;</li> <li>- Aucun plan de mitigation en cas d'une perte de performance de la BRP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet d'éviter le pompage de la nappe pour traitement ex situ;</li> <li>- Combine l'interception et le traitement de la nappe d'eau;</li> <li>- Nécessite un suivi. périodique et rigoureux;</li> <li>- Coût d'opération de résiduit par rapport aux autres technologies proposées;</li> <li>- Les phases flottantes d'hydrocarbures doivent être extraites en amont.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La BRP pourrait être inefficace dans certains secteurs du PEPSC ou les conditions hydrogéologiques ne sont pas favorables;</li> <li>- Prévoir l'entretien et le remplacement plus que probable du médium constituant la BRP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Considérer la possible précipitation du fer qui pourrait affecter la perméabilité de la barrière et diminuer le temps de résistance nécessaire au traitement des eaux souterraines contaminées;</li> <li>- Technologie récente appliquée avec succès sur une base commerciale.</li> </ul>
Phytoremédiation (fiche T-5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biologique;</li> <li>- La rhizosphère (interface sol et racines), riche en microorganismes (champignons) aptes à capter des métaux et à dégrader des composés organiques. Certaines plantes peuvent puiser et épurer de grandes quantités d'eau, retenant les matières inorganiques et dégradantes.</li> </ul>	√	√			√	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Certains métaux solubles;</li> <li>- Charge organique;</li> <li>- Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP);</li> <li>- Azote ammoniacal, nitrates.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Il est nécessaire d'avoir une filière de traitement de la biomasse qui accumule les contaminants qui ne sont pas dégradés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Approche écologique;</li> <li>- Création de biomasse et captage de GES (gaz à effet de serre);</li> <li>- Création d'espaces verts qui peuvent améliorer le milieu;</li> <li>- La performance des plantes varie selon les conditions atmosphériques et au fil des saisons.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cette technologie pourrait être considérée lors des travaux d'aménagement paysagiste du site.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le potentiel d'application de la technologie au site sera testé par l'IRBV au cours des prochaines années dans le cadre d'une étude subventionnée par la Ville de Montréal.</li> </ul>
Oxydation chimique (fiche T-6)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chimique;</li> <li>- In situ : injection d'oxydants dans zone vadose ou saturée pour dégrader composés organiques;</li> <li>- Ex situ : Dégradation contaminants organiques par l'action de l'ozone, du peroxyde ou du chlore.</li> </ul>	√	√			√	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composés organiques incluant les organochlorés;</li> <li>- Précipitation de certains métaux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La présence de fer, de carbonates, de matière organique, un pH élevé peuvent affecter la performance;</li> <li>- Des sous-produits de dégradation peuvent être plus toxiques que les contaminants traités</li> <li>Réaction exothermique avec certains oxydants.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efficace pour traiter des sols imprégnés de phases flottantes lorsque celles-ci sont localisées avec précision et qu'elles sont difficilement récupérables à cause des caractéristiques des sols.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intérêt secondaire, car les phases flottantes peuvent être récupérées. L'oxydant doit être géré avec précaution;</li> <li>- Sensibilité du public sur l'utilisation de matières dangereuses.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'approche biologique est utilisée en complément de l'oxydation comme polissage final;</li> <li>- Technologie récente appliquée sur une base commerciale.</li> </ul>
<u>APPLICATION LORS DES ESSAIS PILOTES : AUCUNE</u>											
<u>APPLICATION LORS DES ESSAIS PILOTES : GENIVAR a testé l'oxygène et d'ozone comme agents oxydants pour la réduction de l'azote ammoniacal. Les résultats montrent que l'effet est très limité et non concluant dans le traitement de l'eau brute.</u>											

Tableau 6 : Technologies applicables pour le traitement des eaux souterraines (suite)

TECHNOLOGIE	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	TYPE		ÉTAPE			SUBSTANCES VISÉES	CONTRAINTES	AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS	PERTINENCE A LA PROBLÉMATIQUE DU SITE	REMARQUES
		In situ	Ex situ	1	2	3					
Adsorption (fiche T-7)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chimique et physique ;</li> <li>- L'adsorption est un phénomène de surface par lequel des molécules se fixent sur les surfaces solides des adsorbants sous l'action de forces d'attraction physiques ou chimiques.</li> </ul>		√		√	√	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hydrocarbures;</li> <li>- Matières organiques et inorganiques, ainsi que l'azote ammoniacal en phase gazeuse ou aqueuse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le lien contaminant-adsorbant doit pouvoir être brisé afin de régénérer le milieu traitant, sinon une gestion des médias est requise;</li> <li>- La solution résultante de la régénération doit elle-même être éliminée;</li> <li>-Le matériel adsorbant doit être renouvelé périodiquement.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Des adsorbants spécifiques permettent d'obtenir des taux d'enlèvement élevés des contaminants;</li> <li>- Requiert des équipements pour la régénération des adsorbants si on veut les réutiliser.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usage courant en début de procédé de traitement pour favoriser, le cas échéant, le traitement biologique et/ou en fin de procédé de traitement pour un polissage avant le rejet;</li> <li>- Régénération de l'adsorbant possible diminuant la gestion des résidus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technologie éprouvée en essai pilote et en essai de traitabilité;</li> <li>- La régénération et le remplacement des résines de même que l'élimination des adsorbants usés doivent être évalués;</li> <li>- Appliquée sur une base commerciale dans l'industrie chimique, alimentaire, dans les laboratoires et en médecine.</li> </ul>
		<p><u>APPLICATION LORS DES ESSAIS PILOTES :</u> SANEXEN a utilisé un module Ultrasorption<sup>MD</sup> pour l'enlèvement des contaminants organiques sous forme colloïdale; un module CAG pour les composés organiques dissous; un module échange ionique sur zéolite pour l'azote ammoniacal, le strontium et le baryum dissous.</p> <p>GOLDER (multipoints) a utilisé un module CAG et filtre à sac (1µm) les métaux et les composés organiques (après bioréacteurs). Suivi d'un module de traitement de l'alcalinité et pH.</p>									
Ultrafiltration et nanofiltration (fiche T-8)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Physique ;</li> <li>- Les solutions à traiter sont pompées sous pression dans des tubes semi-perméables et elles traversent la paroi qui comprend des pores de dimensions définies et microscopiques ;</li> <li>- Le filtrat est débarrassé des contaminants qui sont retenus dans la solution concentrée.</li> </ul>		√		√	√	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hydrocarbures en phases dissoutes;</li> <li>- Métaux;</li> <li>- Ammoniaque (sous forme de nitrates).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un prétraitement permettant d'enlever les métaux précipitables, les carbonates, les huiles et les matières en suspension doit être prévu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Performance d'enlèvement des contaminants élevée, en particulier pour les métaux;</li> <li>- Contrôle des paramètres de rejet aisé;</li> <li>- Requiert un suivi de la qualité des membranes et leur remplacement lorsque la performance diminue.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La conception à grande échelle devrait idéalement être validée par des essais pour vérifier que la technologie répond bien aux fluctuations des caractéristiques des eaux à traiter.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technologie éprouvée en essai de traficabilité;</li> <li>- Les contaminants sont concentrés dans un faible volume;</li> <li>- Il faut prévoir le traitement du concentra et la gestion de résidus qui se présentent sous la forme d'un concentré liquide;</li> <li>- Appliquée sur une base commerciale dans l'industrie chimique, la production d'eau potable, l'industrie alimentaire et pharmaceutique.</li> </ul>
		<p><u>APPLICATION LORS DES ESSAIS PILOTES :</u> Testée avec succès lors des essais de traitabilité 2006-2007 (réf. 3).</p>									

Tableau 7 : Technologies non applicables

TECHNOLOGIE	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	RAISONS JUSTIFICATIVES DE L'EXCLUSION DU RÉPERTOIRE
Barrage sur pieux (<300 m) et récupération passive au fleuve	Consiste à construire un barrage fixe au fleuve, à l'endroit des résurgences, en vue d'intercepter les phases flottantes d'hydrocarbures sur la surface d'eau libre retenue. Construit à l'aide de pieux ancrés au roc.	Ne vise que les résurgences de phases flottantes d'hydrocarbures au fleuve. La Ville n'est pas propriétaire des berges. Difficultés techniques de mise en place (pente abrupte, autoroute, glaces, courant, etc.). D'autres résurgences au fleuve peuvent survenir en dehors des zones de mitigation. Migration d'eau souterraine contaminée.
Imperméabilisation de la berge (enrochement) et récupération passive	Usage des puits de récupération sous l'autoroute existants opérés par pompage passif. Construction d'un ouvrage d'imperméabilisation de la berge. Aménagement de puits sur la berge afin de récupérer les hydrocarbures s'accumulant à l'arrière des ouvrages d'imperméabilisation. Automatisation des puits de pompage passif.	Difficultés techniques de mise en place (pente abrupte, autoroute, glaces, courant, etc.). D'autres résurgences au fleuve peuvent survenir en dehors des zones de mitigation. Migration d'eau souterraine contaminée.
Barrière étanche partiellement ancrée	Le mur flottant dont la profondeur atteint au moins deux mètres sous le niveau d'étiage de la nappe phréatique.	Laisse passer une partie de la contamination dissoute sous le mur. Solution qui a soulevé des inquiétudes et qui n'est plus recommandée depuis 2003.
Barrière de puits de récupérations passifs	Aménagement de puits de récupération opérés par pompage passif. Les puits sont regroupés aux endroits où les hydrocarbures sont susceptibles de s'accumuler et aux endroits où ils sont susceptibles de migrer avant leur résurgence au fleuve.	Risque de migration d'hydrocarbures vers le fleuve et migration d'eau souterraine contaminée.
Barrière de puits d'aspiration d'extraction sous vide	Il consiste à faire l'aménagement d'une série de puits d'extraction sous vide sur les terrains du PEPSC, placé côte à côte, servant à la fois de barrière d'interception de l'eau souterraine et de récupération des phases flottantes d'hydrocarbures.	Risque de migration d'eau contaminée et des phases flottantes d'hydrocarbures lors de bris, d'entretien ou de panne électrique. Gestion de l'air et de l'eau aspirés. Efficacité non assurée compte tenu de la forte hétérogénéité du sous-sol.
Chimio électrocinétique, couplée à une récupération des phases immiscibles	L'électrocinétique nécessite l'application d'un potentiel électrique entre des paires d'électrodes (anodes et cathodes) situées dans les sols au pourtour d'une zone contaminée. Le potentiel appliqué permet de faire migrer les contaminants vers les électrodes. La partie "chimio" implique l'injection d'un agent facilitant la migration des phases organiques simultanément aux phases inorganiques.	Solution énergivore, non éprouvée. Difficile de s'assurer que tous les contaminants sont retenus. Risque de migration de l'eau souterraine contaminée et des phases flottantes d'hydrocarbures si récupération passive ou lors de panne électrique ou de bris, ou d'entretien.
Atténuation naturelle	Le principe de base de l'atténuation naturelle réside dans la capacité de la nature à se régénérer. L'atténuation naturelle représente l'ensemble des phénomènes agissant dans le sens de la réduction de la masse des contaminants sur un site. Les phénomènes peuvent être de nature biologique (biodégradation, phytoremédiation) ou physico-chimique (photo dégradation, catalyse chimique).	Ne fonctionne pas pour les contaminants présents à cause des conditions inhérentes au site.  Similaire au statu quo.
Traitement thermique	Traitement consistant à augmenter la température du média à traiter de façon à extraire ou à dégrader certains composés.	Les volumes importants d'eau à traiter ne se prêtent pas à la distillation, la cristallisation ou le craquage thermique. La présence de BPC dans les phases flottantes d'hydrocarbures écarte le recours à l'incinération.

## **ANNEXE B**

# **MÉTHODOLOGIE DÉTAILLÉE D'ÉVALUATION DES PROPOSITIONS DE TECHNOLOGIES ET CONTRÔLE DE LA QUALITÉ**

## **Annexe B-1 : Appel de propositions de technologies (CEMRS)**

Le document d'appel de propositions présente l'ensemble du processus pour ce volet. Le CEMRS et son comité technique ont suivi les étapes suivantes pour le volet appel de propositions de technologies.

1. Chaque membre devait évaluer individuellement chacune des technologies à l'aide de la grille d'analyse en annexe B2 ;
2. Si la technologie pour le traitement des phases flottantes d'hydrocarbures (H) était différente de la technologie de traitement de la phase dissoute (E), les membres devaient alors évaluer chacune des technologies à l'aide de la même grille d'analyse (un score sur 100 pour chacune des technologies) ;
3. Une compilation des scores pour chacune des technologies (H et E) a ensuite été effectuée par le CEMRS. Tout écart significatif entre les notes reçues était discuté entre les membres du comité technique. Dans ce cas-ci, les membres discutaient de chacun des critères de la grille d'analyse et les membres qui le désiraient pouvaient ensuite modifier leur score. La note finale était alors compilée et une moyenne fut établie pour chacune des technologies ;
4. Les technologies présentant le meilleur potentiel ont été identifiées pour un essai pilote et les incertitudes nécessitant un essai pilote ont été identifiées par les membres du comité technique. L'incertitude se définit par des méthodes peu conventionnelles ou peu documentées, ainsi que par celles qui ont peu de réalisations en chantier. Certaines technologies comportaient plusieurs étapes de traitement et parmi ces étapes, certaines pouvaient montrer des incertitudes. Dans ce cas, le CEMRS voulait valider uniquement cette étape du processus avec l'essai pilote ;
5. La Ville de Montréal, en collaboration avec son comité de partenaires, devait procéder à la sélection finale des cinq (5) technologies qui seront éprouvées en essai pilote sur le site du PEPSC à l'aide de leur propre grille d'analyse en annexe B3 ;
6. Invitation d'un maximum de cinq (5) proposants à participer à un essai pilote pour une période de 12 semaines avec une contribution financière maximale de 100 000.00 \$ par proposant ;
7. Suivi des essais pilotes ;
8. Révision du rapport préliminaire des essais pilotes, et ;
9. Analyse finale des technologies par le CEMRS et son comité technique;
10. Préparation d'un tableau synthèse des essais pilotes.

## Annexe B- 2 : Grille d'analyse de technologies soumises aux essais pilotes et définitions de critères

Les technologies retenues ont toutes été analysées à l'aide d'une grille d'évaluation par tous les membres du comité technique et un score (moyenne du comité) sur 100 est décerné à chaque technologie. La grille d'analyse est un outil de discernement qui prend en compte plusieurs éléments clés et le score final ne constitue pas un enjeu dans la sélection des technologies, car l'idée n'est pas d'identifier la ou les meilleures technologies, mais de présenter toutes les technologies pouvant être utilisées sur le site du PEPSC.

Les éléments de la grille au nombre de sept (7) sont :

1. État de la technologie ;
2. Efficacité/Performance ;
3. Robustesse ;
4. Fiabilité ;
5. Mode opératoire et impacts environnementaux ;
6. Coût (budget +/- 35 %) ;
7. Adaptabilité à divers modes de captage.

Comme mentionné précédemment, le score final pour chacune des technologies a permis d'identifier où se situe la technologie par rapport aux autres technologies. Outre les rubriques énumérées pour la grille d'analyse, le CEMRS juge également que le score final est tributaire des coûts et ceux-ci sont très incertains.

Par ailleurs, les coûts présentés dans les propositions incluent le coût pour le mode de captage des phases flottantes d'hydrocarbures et des eaux souterraines et le détail de ces coûts n'est pas disponible pour l'ensemble des technologies. De plus, il est difficile d'identifier exactement quelle portion des coûts est liée uniquement à des technologies de traitement. Cette information est essentielle pour l'évaluation du critère « Coût » compte tenu du fait que les modes de captage diffèrent selon les propositions reçues.

### Grille d'analyses des technologies

No	Critères	Total
1.0	État de la technologie et cas pratiques	/15
2.0	Efficacité- Performance	/20
3.0	Robustesse	/15
4.0	Fiabilité	/15
5.0	Mode opératoire et impacts environnementaux	/10
6.0	Coûts	/15
7.0	Adaptabilité à divers modes de captage	/10
	<b>TOTAL</b>	/100

## Annexe B- 3 : Grille d'analyse de technologies du comité de partenaires et définitions des critères

**INTÉGRATION :** Compatibilité des installations technologiques avec la vision de développement du site.

Volets spécifiques visés :

- Vision SHM
- Intégration visuelle harmonieuse

**ADAPTABILITÉ :** Facilité de polyvalence, voire souplesse, de la technologie aux différents usages et occupations du site, actuels et projetés.

Volets spécifiques visés :

- Déplacement de l'autoroute non fixé dans le temps
- Inter relation avec solution PJCC
- Accès aux berges

**COÛT ANTICIPÉ :** Le coût est défini comme le coût (investissement et opération) par volume pour le captage et le traitement de l'eau et l'huile.

**ACCEPTABILITÉ :** Potentiel d'acceptation des installations.

Volets spécifiques

- Le voisinage immédiat
- Les citoyens en général

**INNOVATION :** Technologie dont le potentiel novateur s'allie à des résultats probants

**PROXIMITÉ :** Utilisation de technologie

- québécoise
- canadienne

	Pondération
INTÉGRATION	30 %
ADAPTABILITÉ	15 %
COÛT ANTICIPÉ	15 %
ACCEPTABILITÉ	15 %
INNOVATION	15 %
PROXIMITÉ	10 %

## **Annexe B- 4 : Cheminement du processus de sélection des technologies mises à l'essai**

Le CEMRS a lancé un appel d'offres public pour obtenir des propositions de technologies ayant la capacité de résoudre la problématique des eaux souterraines du PEPSC. Le devis technique précisait les critères d'analyse des propositions et c'est sur cette base que le comité technique a évalué au mérite chacune des propositions. Le rapport synthèse présente cette information en annexe B2, Grille d'analyse de technologies soumises aux essais pilotes et définitions de critères.

Un total de 18 promoteurs ont pris connaissance du document d'appel de propositions à partir du site MERX sur lequel se faisait l'appel d'offres public pan-canadien, soient :

- Amec Earth & Environmental
- Biogenie
- Deltares -consortium néerlandais
- Énergie Carcassonne
- Franz environmental inc.
- Genivar société en commandite-Mabarex inc.
- Geophase Dessau inc.
- Golder et associés innovations appliquées (Gaia) inc.
- Golder associates ltd.
- Imausar inc.
- CRA- InspecSol inc.
- Jacques Whitford ltée
- John Meunier inc.
- Les consultants LCBD inc.
- Hayka inc..
- SNC-Lavalin environnement inc.
- Sanexen services environnementaux inc.
- Terrapex environnement ltée

En date de la clôture de l'appel d'offres, le 26 juin 2008, brièvement sept proposants avaient déposé neuf propositions. Le 10 juillet 2008, les membres du comité technique ont présenté au CEMRS les résultats de leur évaluation des offres de services faites à partir de la grille d'analyse de l'annexe B du document d'appel de propositions de technologies. La compilation des résultats a permis de classer les offres au mérite et de recommander (R) à la Ville six technologies pouvant faire l'objet d'un essai pilote. Elles sont identifiées par un « R » dans la liste ci-dessous et il s'agit de :

- Golder et Associés ltée./Traitement séquentiel biologique, filtration, élimination de l'alcalinité/R

- Golder et Associés ltée./Traitement biologique aérobie et anaérobie combinés, filtration et adsorption/R
- Geophase Dessau inc./ Barrière réactive perméable/R
- Génivar société en commandite-Mabarex inc./Électrodéposition, filtration membranaire, ozonation
- Jacques Whitford ltée / Traitement par marais artificiels évolués
- Les consultants LCBD inc.-Grandy Enviro-Services-Chlorophylle environnement/Biodégradation et ozonation
- Sanexen services environnementaux inc./Filtration séquentielle et bio-oxydation de l'ammoniaque /R
- SNC-Lavalin environnement inc.-Hayka inc./Ultrafiltration, nanofiltration, microfiltration/R
- SNC-Lavalin environnement inc./Traitement physicochimique conventionnel (coagulation-floculation, flottation par air dissous, décantation secondaire) et bioréacteur /R

Selon le processus décrit dans le document de l'appel de propositions de technologies, le CEMRS doit déposer à la Ville son analyse et les recommandations de son comité technique. C'est la Ville qui, par le biais de son comité de partenaires, évalue à son tour les six technologies recommandées afin d'identifier les cinq qui sont appelées à faire l'objet d'un essai pilote sur le site du PEPSC. Les propositions retenues aux termes des consultations sont celles qui ont été soumises par :

- Sanexen services environnementaux inc.
- Golder et Associés ltée. (EMaMoc)
- SNC- Lavalin environnement inc.-Hayka inc.
- Golder et Associés ltée. (Multi-Points)
- Géophase Inc.

Des lettres d'invitation ont été envoyées le 24 juillet 2008 à ces cinq soumissionnaires. Étaient annexées à cette lettre, l'amendement no 1 des lignes directrices des essais pilotes, les consignes du CEMRS et le plan d'assurance et de contrôle de la qualité. Ces annexes apportaient des précisions sur les exigences que les proposants devraient respecter lors des essais pilotes et qui doivent être incluses dans les protocoles d'essais.

Suite à ces invitations, les firmes ont déposé le 12 août 2008 des protocoles d'essais pilotes qui décrivent le détail de la conduite de leurs essais sous le respect des conditions spécifiées par le CEMRS. Suite à l'évaluation des protocoles d'essais pilotes et à l'émission des questions par le comité technique, le CEMRS a adressé, en date du 26 août 2008 aux soumissionnaires identifiés, une lettre comprenant en annexe les points à éclaircir et l'amendement s'y rattachant. À la réception de cette lettre, ces derniers ont déposé au CEMRS leur protocole révisé le 2 septembre 2008.

Le CEMRS et les soumissionnaires ont procédé à la signature des protocoles d'entente les 9 et 10 septembre 2008, à l'exception du consortium SNC-Lavalin/Hayka qui a confirmé par écrit le 15 septembre 2008 son refus de participer aux essais pilotes. En effet, lors de la négociation des conventions de réalisation des essais pilote, la firme SNC-Lavalin environnement inc. a décidé de retirer son offre, refusant la clause de prise en charge des assurances responsabilité.

Quant à l'essai de faisabilité de l'oxydation de l'ammoniacque par ozonation, la démarche suivie par le CEMRS a été radicalement différente de son *modus operandi* normal puisque l'on n'a pas fait appel aux entreprises du milieu pour faire connaître leurs innovations ou leurs procédés. Le CEMRS a développé, avec le concours de l'ETS, un montage expérimental et un protocole d'essai qu'il a fait exécuter par une firme choisie à la suite d'un appel d'offres sur invitation. À la date de clôture le 14 novembre 2008, deux firmes ont soumis leur offre, les consultants LBCD inc. et la firme Génivar SEC. Le comité de sélection a recommandé que la proposition de la firme Génivar SEC (qui s'est associée avec la firme Mabarex inc.) soit retenue principalement pour la compréhension du mandat et les garanties qui étaient offertes que le protocole d'essai soit strictement suivi.

Enfin, le CEMRS a reçu le 15 janvier 2009 la proposition de technologies de la firme hollandaise Deltares/TNO. Cette proposition a été discutée brièvement lors d'une réunion du comité technique le 22 janvier 2009. Il en est ressorti que cette dernière, qui préconise l'approche par gestion de risque, ne pouvait pas être analysée au même titre que les autres propositions qui visent à l'enlèvement des contaminants.

Quant à Grandy Uyama, il s'agit d'une des nombreuses variantes de l'approche biologique et elle a été présentée dans l'offre déposée par les consultants LBCD qui était basée sur le traitement à l'ozone de l'azote ammoniacal. Le comité technique n'a pas retenu cette proposition notamment en raison du manque de clarté quant à l'approche proposée. Le CEMRS a toutefois rencontré le représentant de Grandy Enviro-Services au siège social de la compagnie à Montréal. En ce qui concerne la technologie Uyama, l'opinion du CEMRS est que la technologie des enzymes s'apparente à l'approche biologique et qui ne présentait pas d'incertitude suffisante pour la proposer comme un essai

traitabilité. Ceci notamment parce que cette technologie a été sujet à des certificats d'autorisation du MDDEP pour le traitement d'hydrocarbures légers en phase dissoute. Les enzymes brevetés sont acceptés par la Loi canadienne de la protection de l'environnement (LCPE). Cette technologie des enzymes est commercialisée et elle a été utilisée sur deux propriétés privées dans la région de Montréal et de Trois-Rivières. Noter que Grandy Enviro-Services détient une licence exclusive de la biotechnologie de *Biodégradation accélérée* à l'intérieur de laquelle est appliquée la technologie Uyama.

De façon générale, le travail du comité technique s'inscrit dans une continuité logique qui a débuté avec l'examen de 18 propositions pour des essais de traitabilité en laboratoire en 2006 (Phases 1, 2 et 3) et qui s'est poursuivie dans le cadre du présent mandat (Phases 4 et 5) avec l'examen de 18 nouvelles propositions pour des essais pilotes. Ce sont sur des technologies qui présentaient un potentiel sérieux de réussite qu'ont porté les efforts et les ressources pour vérifier qu'elles fonctionnaient dans les conditions réelles sur le site.

Les points que le comité technique souhaitait vérifier sont principalement :

- Confirmer les résultats obtenus en essais de traitabilité;
- La performance des technologies, notamment lorsque les paramètres de débit, de concentrations, de température et de caractéristiques des contaminants fluctuent;
- Obtenir des données pour faire la mise à pleine échelle, notamment sur les constantes de réaction;
- Mettre en évidence des facteurs non prévus qui auraient un impact sur les résultats escomptés. Par exemple, fonctionner en continu sur site présente des conditions différentes que fonctionner en lots de 60 litres à la fois;
- Vérifier en fonctionnant sur une plus grande échelle l'effet de certains paramètres dont l'effet cumulatif peut devenir important, mais considéré comme négligeable en laboratoire (alcalinité, déposition du fer).

## **ANNEXE C**

### **SOMMAIRE DES ACTIVITÉS DE LA FIRME TECHNOREM INC.**

## **Sommaire des activités de la firme Technorem Inc. :**

1. Localisation des infrastructures souterraines et des sondages ;
2. Réalisation de sept (7) puits de pompage d'un diamètre de 254 mm (10 pouces) et aménagement de ceux-ci avec un tubage crépiné de 152 mm de diamètre (6 pouces). Ces puits furent installés en aval du site du PEPSC ;
3. Mise en place de sept (7) puits d'observation (diamètre de 203 mm ou 8 pouces) en amont du site du PEPSC, soit 3 à double niveau (série PO08-1 à PO08-3) et un à simple niveau (PO08-4). Les puits ont été aménagés avec un tubage de CPV de 51 mm ;
4. Développement des puits d'observation et des puits de pompage ;
5. Nivellement et arpentage de tous les nouveaux puits ;
6. Mesures des niveaux d'eau et détection des phases non miscibles ;
7. Réalisation de six (6) essais de pompage de courte durée dont les résultats complets figurent à l'annexe C-1 du rapport de Technorem ;
8. Réalisation de sept (7) essais de pompage de longue durée avec réinjection de l'eau pompée dans des tranchées ou dans des puits d'observation suffisamment éloignés du puits d'essai ;
9. Constitution d'un répertoire de technologies de captage et de confinement des eaux souterraines et des phases flottantes d'hydrocarbures ;
10. Mise à jour du modèle numérique d'écoulement des eaux souterraines développé en 2007 ;
11. Calcul de la recharge et du bilan hydrologique ;
12. Calcul des charges imposées à la limite nord (amont) du site ;
13. Calcul des conductivités hydrauliques ;
14. Réajustement du modèle numérique par des simulations prédictives des conditions hydrogéologiques et par une analyse de sensibilité ;
15. Évaluation finale des scénarios de captage des phases flottantes d'hydrocarbures et des eaux souterraines ;
16. Évaluation de chacune des méthodes retenues à l'aide de la grille d'analyse ;
17. Présentation de certains éléments de conception préliminaire pour chacune des technologies ;
18. Analyse géostatistique de l'épaisseur et du volume des phases flottantes d'hydrocarbures.

## **ANNEXE D**

### **LIGNES DIRECTRICES ET PLAN D'ASSURANCE ET DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ POUR LES ESSAIS PILOTES**

## **Annexe D-1 : Lignes directrices des essais pilotes (amendement no 3)**

Les proposants dont la technologie est identifiée pour un essai pilote devront tenir compte des lignes directrices suivantes :

1. Le proposant doit présenter une description de l'essai pilote qui doit forcément être un modèle réduit de la technologie proposée. Le CEMRS s'attend à recevoir, sans s'y limiter les informations suivantes :
  - l'organigramme présentant l'équipe de travail et les sous-traitants qui participeront à l'essai pilote;
  - le nom, numéro de téléphone et le courriel de la personne-ressource qui sera le contact principal avec le CEMRS durant toute la durée de l'essai pilote;
  - le plan à l'échelle montrant la disposition des infrastructures des essais pilotes, incluant les contaminants traités, les points d'échantillonnage, les analyses chimiques et essais s'y rattachant;
  - la description complète des procédures de traitement;
  - le débit de traitement proposé, incluant le temps de résidence du traitement;
  - la méthodologie de prélèvement de chaque type d'échantillon (incluant le temps requis pour chaque prélèvement), en particulier des eaux brutes (avant traitement) et de l'eau traitée (après traitement);
  - le schéma d'installation dans les puits du système de récupération des phases flottantes d'hydrocarbures ;
  - la description complète des procédures de récupération des phases flottantes d'hydrocarbures ;
  - le mode de gestion et la quantité présumée des résidus (eaux, air et solides);
  - le tableau synthèse du programme de suivi analytique et des méthodes d'analyses et d'essais proposés ;
  - le ou (les) laboratoire(s) d'analyses et d'essais ;
  - l'échéancier montrant entre autres, la période de rodage, le début présumé du traitement, les étapes du processus de traitement et les fréquences d'échantillonnages du programme de suivi analytique ;
  - La table des matières du rapport final des essais pilotes.
2. Le montage du système de traitement des essais pilotes doit préférentiellement refléter celui présenté dans la proposition de technologies. Si des modifications sont apportées dans votre protocole d'essais avant ou lors des essais pilotes alors, celles-ci devront être documentées dans votre rapport et devront être utilisées pour le projet à grande échelle.
3. Suite à la signature des protocoles d'entente et avant le début des essais, le CEMRS convoquera les proposants à une réunion de démarrage.

4. Les essais pilotes (incluant les travaux d'implantation et de rodage) auront une durée de 12 semaines. Les travaux d'implantation et de rodage de l'essai pilote doivent être complétés au plus tard quatre (4) semaines après la signature du protocole d'entente.
5. Toute installation de vos équipements devra tenir compte d'une possibilité d'une période de gel au sol.
6. Le proposant aura la responsabilité d'obtenir les permis requis pour réaliser ses essais. Sans limitations, il doit obtenir les permis de rejets (eau, air), de transports de matières dangereuses, de forages ou d'excavation, de creusage et le permis de consortium bactérien ou autres produits de la part d'Environnement Canada ou de Santé Canada, etc.
7. Le proposant est responsable de tous les travaux électriques qui devront être réalisés pour les besoins de son essai pilote. Ces travaux doivent inclure sans s'y limiter : le filage électrique, la mise en place d'un transformateur si requis et la mise en place d'un compteur, etc.
8. Les proposants sont reconnus maître d'œuvre de leurs essais pilotes en vertu de la Loi sur la santé et sécurité en vigueur dans la province du Québec.

Le CEMRS et la Ville de Montréal ne sont pas responsables de la sécurité durant les travaux et/ou de la perte ou des vols des équipements. Les mesures appropriées des aires désignées doivent donc être effectuées par les proposants.

Le plan de santé et sécurité devra indiquer les coordonnées de la personne-ressource au chantier et les mesures qui seront prises pour préserver la santé et assurer la sécurité du public ainsi que celles de tout le personnel affecté aux essais pilotes.

Le proposant ne doit pas accumuler indûment de matériaux de façon à ne pas encombrer le site des travaux. Le proposant doit s'assurer de garder le site des travaux propre et exempt de tous débris, résidus et matériaux, etc.

Le proposant devra s'assurer que l'entreposage temporaire sur le site des débris, des résidus et des matériaux ou autre se fasse en conformité avec la réglementation en vigueur.

Le proposant sera tenu responsable de toute contamination des sols causés par ses activités. Par conséquent, il devra procéder à leur

décontamination à la demande de la Ville de Montréal (propriétaire du terrain).

Les émissions des bruits associés aux travaux d'essais pilotes doivent correspondre aux normes prescrites au niveau municipal ou autres réglementations applicables.

Le plan de l'aire de travail réservée pour les essais pilotes s'y rattachant est présenté à la figure 1. À l'intérieur de cette aire de travail, chaque proposant se verra allouer une aire désignée d'environ 2 500 m<sup>2</sup> dont il faudra délimiter. Le CEMRS identifiera sur place, à l'aide des piquets d'arpentage, les différents espaces désignés.

L'attribution finale des aires sera effectuée suite à la réception et à l'analyse par le CEMRS des protocoles des essais pilotes où chacun des proposant aura à présenter ses propres besoins.

La préparation, l'entretien des espaces désignés ainsi que le chemin d'accès sont l'entière responsabilité du proposant.

9. Il est recommandé au proposant d'effectuer une visite de reconnaissance du site pour la préparation de son protocole d'essais pilotes. Aucun coût supplémentaire causé par les conditions d'accessibilité du site ne pourra être demandé par le proposant.
10. Au début des essais, chaque proposant se verra attribuer par le CEMRS deux puits d'observation. Chaque système de traitement sera alimenté par les eaux brutes de ces deux puits. Une permutation de puits sera effectuée à la 8<sup>e</sup> semaine. À cette occasion, le CEMRS attribuera des nouveaux puits à chaque proposant. Ainsi, chaque proposant pompera des eaux brutes provenant des quatre (4) puits d'observation répartis sur l'ensemble des aires réservées pour les essais pilotes.

Le tableau 1 présente les derniers résultats de la caractérisation des eaux souterraines de juillet 2008 et le tableau 2 présente l'inventaire des puits d'observation existant à l'intérieur de cette aire de travail.

S'il le désire, le proposant pourra installer, à ses frais, un (ou des) nouveau(x) puits d'observation dans son aire réservée. Toutefois, il devra en faire la demande au CEMRS. Celle-ci sera accompagnée d'un schéma d'installation et d'un mode de développement du puits. Avant son utilisation, une analyse de la concentration en azote ammoniacale et une mesure de la phase flottante d'hydrocarbure devra être effectuée et les résultats devront être fournis au CEMRS. De plus, celui-ci se réserve le droit d'interrompre l'utilisation du puits au proposant lors de la permutation des puits. Le rapport de forage, le schéma d'installation du puits, les essais hydrauliques (le cas échéant), les analyses physico-

chimiques et toute autre information pertinente concernant ce (ou ces) nouveau(x) puits devront être présentés dans le rapport final.

11. Le débit d'intrant des eaux brutes dans le système de traitement devra obligatoirement être d'au moins 5 L/min. Aucun mode d'entreposage temporaire de l'eau ne sera toléré à la sortie de l'eau traitée du système de traitement. Le proposant devra s'assurer en tout temps que le rayon d'influence causé par le rabattement des eaux souterraines autour de chacun des puits pompés, soit inférieurs à 20 mètres.

Le proposant devra tenir un registre du taux de pompage dans chacun des puits pompés et en fournir une copie au CEMRS à sa demande. Un débitmètre devra être installé en permanence à l'entrée du système de traitement.

Aucun produit externe ne pourra être introduit dans les puits d'observation et tout équipement installé dans lesdits puits devra être propre.

12. Le proposant doit s'assurer que ses appareils de mesure soient calibrés et il doit préciser la limite des quantifications. Les certificats de calibration devront être disponibles pour consultation sur le site par le CEMRS en tout temps.
13. Le temps de résidence dans les réacteurs, qui seront ajustés lors des essais pilotes, doit être équivalent à celui prévu dans le projet à grande échelle.
14. Indépendamment aux essais pilotes, chaque proposant devra présenter dans son rapport le système qu'il propose pour la récupération des phases flottantes. Le proposant devra démontrer que le système proposé possède les qualités requises pour :
  - a. Optimiser le taux (L/min) de récupération des phases flottantes d'hydrocarbures dans les puits d'observation ;
  - b. Minimiser la proportion eau / huile récupérée ;
  - c. Favoriser un coût avantageux (incluant, achat des équipements, contrôle des opérations, dispositifs de sécurité et des périphéries et tous autres coûts connexes).
15. Le CEMRS fera plusieurs visites avec préavis durant la durée de réalisation d'essais pilotes au cours desquelles, des prises de photos, des consultations de registres et des demandes d'informations sur les essais pourront être effectuées.

16. Dans le but de vérifier la démarche et la performance des essais pilotes, chaque proposant sera soumis à un plan d'assurance et de contrôle de la qualité du CEMRS.
17. Le proposant pourra réaliser son propre programme d'échantillonnage pour le suivi du traitement. Le proposant devra tenir à jour un registre de tous les résultats d'analyses d'échantillons liquides, solides et gazeux. Ce registre devra être disponible en tout temps pour consultation par le CEMRS.
18. Le CEMRS procédera, à ses frais, à certaines validations analytiques suivant le programme défini dans le plan d'assurance et de contrôle de la qualité.
19. Aucuns travaux, autres que ceux décrits dans le protocole d'essais pilotes approuvés par le CEMRS, ne devront être entrepris sans l'approbation préalable du CEMRS.

Le proposant devra tenir un registre de suivi et de contrôle de tous les changements dans la méthodologie au cours de la réalisation de l'essai pilote (équipement, conception, méthodologie, traitement, échantillonnage, coûts, installation, opération et entretien). Ce registre devra être disponible en tout temps pour consultation par le CEMRS.

20. Le proposant devra gérer et assumer l'ensemble des coûts pour toute la durée de l'essai. Il se chargera, sans s'y limiter, du design, de la mise en chantier, de l'installation de la clôture (le cas échéant), de la fourniture des équipements pour l'ensemble des essais, de la pose de puits additionnels (si requis), de la connexion électrique, du suivi de l'essai, du gardiennage du site, des analyses chimiques, de la disposition des matières résiduelles et des effluents gazeux et liquides, de la santé et sécurité dans l'aire désignée, de la démobilisation et de toutes les autres dépenses afférentes à l'essai pilote.
21. Lorsque l'essai pilote sera terminé, le proposant devra garder les installations jusqu'à ce que le CEMRS autorise par écrit le démantèlement complet des équipements.

Le proposant sera responsable du démantèlement complet de toutes les installations servant à son essai et, le cas échéant, de son chemin d'accès.

22. Le CEMRS fournira un montant maximal de 100 000.00 \$ (toutes les taxes applicables incluses) à chacun des proposant identifié pour effectuer un essai pilote. Le montant fourni sera établi en fonction de la ventilation des coûts soumis par le proposant. Le pourcentage du montant octroyé pour l'essai pilote sera distribué de la façon suivante :

- 30 % du montant initial alloué à la signature du protocole d'entente;
  - 20 % du montant initial alloué après 6 semaines (50 % de la durée de l'essai pilote) ;
  - 50 % du montant initial alloué avec l'approbation du rapport final.
23. Un rapport complet en français présentant l'ensemble des travaux réalisés durant l'essai pilote et les résultats obtenus sera préparé par le proposant. Sans s'y restreindre, ce rapport devra comprendre les informations suivantes :
- La page titre du rapport :
    - i. Titre du projet ;
    - ii. Titre des procédures d'essais pilotes;
    - iii. Nom du proposant ;
  - Le sommaire du rapport (max. 3 pages);
  - Les objectifs à atteindre ;
  - Le résumé des résultats obtenus lors des essais de traitabilité (2006-07), le cas échéant ;
  - La méthodologie détaillée ;
  - Le mode de fonctionnement et les étapes de traitement ;
  - Les schémas détaillés montrant le fonctionnement de l'essai pilote, les étapes de traitement, les temps de résidence dans les différentes unités de traitement ainsi que les différents points d'échantillonnage avec les analyses et les essais s'y rattachant ;
  - La présentation du système de récupération des phases flottantes d'hydrocarbures proposés soit, entre autres, le schéma d'installation, la description complète des procédures d'opération, l'ensemble des coûts (incluant, achat des équipements, contrôle des opérations, dispositifs de sécurité et des périphéries et tout autre coût connexe) ainsi que les avantages et inconvénients ;
  - Le reportage photographique de chaque étape de réalisation des essais pilotes et des essais de récupération des phases flottantes d'hydrocarbures ainsi que celui de l'aire désignée avant et après les travaux d'essais pilotes ;
  - Le programme de suivi analytique, les résultats et les performances obtenus;
  - Les tableaux des résultats des analyses chimiques et des essais de l'écotoxicité ;
  - Le registre du suivi et de contrôle de tous les changements dans la méthodologie au cours de la réalisation de l'essai pilote;
  - La gestion, la disposition des déchets et des rebuts produits au cours des essais (incluant un tableau récapitulatif), incluant les manifestes de transport et les billets de pesée ;

- La détermination de la quantité des résidus solides générés par le traitement en terme de volumes de résidus  $m^3/1000 m^3$  de l'eau traitée et de poids des solides secs  $kg/1000 m^3$  de l'eau traitée.
- Le type des déchets générés, soit déchets solides, matériaux secs ou matières dangereuses aux termes de la réglementation ainsi que la siccité de ces déchets ;
- Le résultat du bilan de masse tel que décrit dans le plan d'assurance et de contrôle de la qualité ;
- Le mode de gestion des matières résiduelles ;
- Les discussions des résultats ;
- Le schéma d'installation du système de traitement des eaux souterraines à grande échelle en y indiquant, sans s'y limiter, les dimensions des principales unités de traitement, les temps de résidence de l'eau traitée aux principales unités de traitement, les débits, les différents paramètres de fonctionnement (pression, puissance, débits, demande en énergie, etc), les contaminants traités à chaque étape de traitement et les points de contrôle ;
- Une estimation des coûts de traitement à pleine échelle ;

Les certificats d'analyses chimiques signés par un chimiste et réalisés dans un laboratoire accrédité par le MDDEP.

24. Toutes recommandations ayant un impact important sur la technologie mise à pleine échelle et qui n'a pas été mis à l'essai lors des essais pilotes ne seront pas considérées lors de l'évaluation des technologies.
25. Le rapport complet de l'essai pilote doit être livré au bureau du CEMRS au plus tard le 12 décembre 2008 à 16 :00 heures (H.N.E). Il devra être sur cédérom sous un seul fichier, en format PDF. Le CEMRS pourra émettre des commentaires et/ou demander des éclaircissements et le proposant sera tenu d'inclure les éclaircissements dans un rapport amendé.

## Annexe D-2 : Plan d'assurance et de contrôle de la qualité

Dans le but de vérifier la démarche et la performance des essais pilotes, chaque proposant sera soumis à un plan d'assurance et de contrôle de qualité du CEMRS durant les essais pilotes. Ce plan comprend des audits des essais pilotes et un programme d'assurance qualité (caractérisation). L'ensemble de ce plan est sous le contrôle du CEMRS.

### Audits des essais pilotes

Les audits des essais pilotes seront effectués conjointement par un représentant du CEMRS et un représentant du CEAEQ. La fréquence des audits est à la discrétion du CEMRS. La personne ressource, désignée par le proposant, sera avisée avant chacune des visites (avis minimal de 24 heures). La personne ressource du proposant devra être présente lors de ces audits. Des prises de photos, des prélèvements d'échantillons (au besoin) et des demandes d'informations sur les essais pilotes pourront être effectués durant ces visites.

De plus, après 5 semaines et suivant la dixième semaine, des rencontres auront lieu entre l'équipe du proposant et le CEMRS pour permettre de valider la bonne marche des essais pilotes.

### Programme d'assurance qualité (Caractérisation)

Le programme d'assurance qualité comprend des analyses physico-chimiques et des essais d'écotoxicité qui seront réalisés afin de vérifier la performance des technologies ou de ses équipements connexes. Pour ce faire, une caractérisation initiale des eaux brutes et une caractérisation finale de l'eau traitée seront effectuées.

Pour ce faire, **cinq (5) séries** de résultats d'analyses, réalisées par les proposants, devront être fournies au CEMRS pour le suivi de l'efficacité du système en cours de traitement. Une cédule d'échantillonnage s'étalonnant sur toute la période d'essai devra être fournie par les proposants au CERMS pour approbation, avant le début de chaque essai.

Les paramètres analysés pour la caractérisation initiale (eaux brutes) et finale (eau traitée) des eaux doivent être les mêmes afin de permettre une bonne évaluation de l'efficacité des traitements. Ceux-ci sont présentés à la section « **Liste des paramètres du programme d'Assurance et de contrôle de la qualité** » de ce document. Le CERMS choisira des paramètres de cette liste pour le suivi des essais pilotes. Le proposant aura la responsabilité des analyses qui, lui sera demandé. Les résultats de celles-ci serviront précisément à vérifier

le devenir des contaminants ainsi qu'à établir un bilan de masse et à déterminer le pourcentage d'efficacité du traitement.

Le programme d'assurance qualité des laboratoires retenus par les proposants doit contenir les éléments suivants :

- Les résultats d'analyses utilisés pour évaluer l'efficacité du traitement et établir le bilan de masse devront provenir d'un laboratoire accrédité par le MDDEP pour les paramètres ciblés dans le projet ;
- Les laboratoires doivent inclure des éléments de contrôle de la qualité comme demandé dans le SCA-01 (chimie), SCA-02 (microbiologie) et SAC-03 (toxicologie). Les critères d'acceptabilité des résultats de contrôles de qualité (% de récupération et écart par rapport aux valeurs de référence) doivent être conformes aux documents mentionnés ci-dessus. Ils doivent être fournis avec les résultats des analyses des intrants et des extrants (eau brute, eau traitée, produits ajoutés ainsi que tous les résidus gazeux, solides ou liquides) du procédé de traitement ;
- 10 % des analyses nécessaires au calcul de l'efficacité des procédés de traitement doivent être réalisés en double par un second laboratoire accrédité.

**Toute modification au devis de traitement, qui devra être au préalable acceptée par le CEMRS, devra automatiquement inclure une révision du plan d'assurance et de contrôle de la qualité.** Des points de prélèvement et/ou des paramètres à analyser pourront être ajoutés aux frais du proposant.

#### Prélèvement et conservation des échantillons

Le prélèvement des échantillons pour AQ/CQ sera effectué par le proposant sous la supervision du CEMRS. Un échantillon et un duplicata seront prélevés et l'un d'eux sera remis au CEMRS.

Le débit de traitement de chacun des proposants étant spécifique, le proposant doit s'assurer de garder l'échantillon à 4°C durant la période de prélèvement. Celui-ci doit être conservé selon le mode de conservation requis pour les échantillonnages de rejets liquides (procédure DR-09-04). **Afin de permettre une caractérisation efficace des eaux, le proposant devra effectuer un échantillon composite des eaux avant et après traitement à toutes les heures sur une période de six heures.**

Le proposant doit prévoir le prélèvement d'environ 100 litres d'eau afin d'effectuer les analyses chimiques et biologiques. Le volume d'eau prélevé est constitué de 15 litres pour les analyses physico-chimiques et de 75 litres pour les analyses toxicologiques.

La subdivision d'un échantillon (duplicata) pour l'analyse des différents paramètres se fera dans les bouteilles contenant l'agent de préservation spécifique à chaque série d'analyse. Les bouteilles seront celles du laboratoire retenu par le CEMRS pour les analyses. Le proposant pourra, en parallèle, analyser le second échantillon par le laboratoire accrédité de son choix.

En cas de contradiction des résultats, le schéma décisionnel en page 5 de ce document sera appliqué.

### Analyse des résidus et bilan de masse

Le but des essais pilotes vise à évaluer non seulement l'efficacité de décontamination, mais aussi l'efficacité de récupération des technologies proposées. Pour ce faire, les proposants devront caractériser tous les résidus liquides, solides et gazeux et établir un bilan de masse.

Étant donné le contexte spécifique de ces essais pilotes, le bilan de masse ne sera pas réalisé pour tous les paramètres d'analyses. Il consistera à analyser les composés azotés et carbonés dans tous les intrants et extrants du système de traitement (eau initiale, eau finale, produits ajoutés ainsi que tous les résidus gazeux, solides ou liquides). Pour ce faire, les laboratoires devront analyser l'azote total, les nitrites et les nitrates, l'azote gazeux, le carbone inorganique total (CID), le carbone organique total (COT) dans les matrices liquides et solides ainsi que le CO<sub>2</sub> pour les rejets à l'atmosphère. Les proposants devront fournir la liste des méthodes d'analyse utilisées par les laboratoires pour ce faire. S'il le juge requis, le CEMRS pourra prélever des échantillons de contrôle des extrants, en duplicata. Dans ce cas, le premier échantillon sera remis au proposant et le second sera conservé par le CEMRS.

Le proposant devra expliquer les résultats obtenus avec les diverses analyses et produire un bilan de masse.

Les technologies utilisées pour le captage et l'élimination des phases d'hydrocarbures pétroliers ne requièrent pas de suivi écotoxicologique dans le contexte du projet.

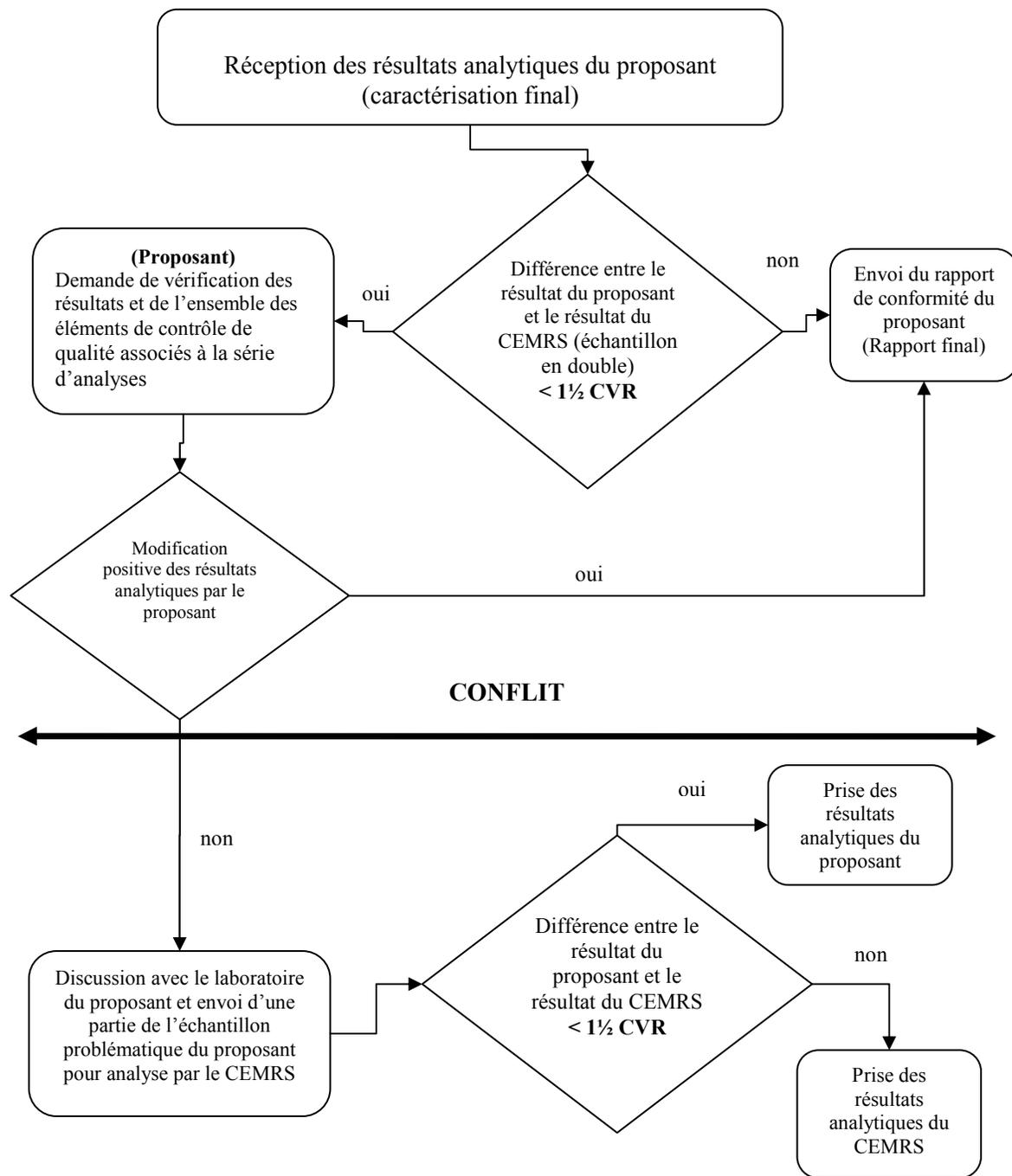
La caractérisation de l'ensemble des résidus permettra de définir les différents permis nécessaires pour disposer de ces résidus.

Des proposants ont envisagé la possibilité de valoriser certains résidus de procédé et les hydrocarbures pétroliers obtenus. Les procédures d'évaluation propres à chaque type de résidus pourront être déterminées à la suite de la caractérisation physico-chimique de ces résidus. Au besoin, le CEAEQ pourra discuter des procédures d'évaluation écotoxicologique à mettre en place pour juger du potentiel de valorisation de ces résidus.

## Points généraux

- Les procédures de vérification (calibration, précision) des instruments (débitmètres, balance, pH, etc.) utilisées par les proposants doivent être transmises au CEMRS pour approbation avant leur utilisation.
- Les méthodes d'analyses du laboratoire retenu par les proposants doivent être identifiées et la limite de détection de chaque méthode d'analyse doit être fournie au CEMRS.
- L'azote ammoniacal est fortement présent dans les eaux souterraines du PEPSC. C'est le principal contaminant problématique de ces eaux et son écotoxicité vis-à-vis des poissons est très élevée. Ainsi, lors de la réalisation des essais de létalité avec la truite arc-en-ciel ainsi que le tête-de-boule, l'aération du milieu pourrait provoquer une augmentation du pH (par perte de CO<sub>2</sub> ayant pour origine la dégradation de la matière organique par les microorganismes), ce qui induirait une augmentation de la teneur en ammoniac non ionisée. C'est cette forme de l'ammoniac qui est toxique et donc, la dérive du pH au cours des essais de l'écotoxicité pourrait induire une surévaluation de l'écotoxicité des eaux. Il est possible de stabiliser le pH des eaux au cours des essais de létalité de la truite afin d'éliminer cette interférence (Environnement Canada, 2008). Cependant, les techniques utilisées sont coûteuses et nécessitent des ajustements propres à chaque échantillon, ce qui est difficilement envisageable dans le contexte de ce projet. Par conséquent, il est recommandé de suivre très rigoureusement l'évolution du pH des eaux au cours des essais avec la truite arc-en-ciel et le tête-de-boule, de même que la température des eaux afin de pouvoir relier les effets mesurés avec les teneurs en ammoniac non ionisé. La réalisation des essais poissons en conditions standards, sans stabilisation du pH, va augmenter la sensibilité des essais pour détecter la présence de l'azote ammoniacal. L'analyse des résultats devra tenir compte de cet aspect.

- Schéma décisionnel



## Liste des paramètres du programme d'Assurance et de contrôle de la qualité pour tous les proposant

Les paramètres inorganiques à mesurer pour caractériser les eaux avant et après traitement pour les **cinq séries d'échantillons** sont les suivants :

- Le balayage des métaux dissous et totaux ;
- Les sulfures ;
- Les chlorures ;
- Le pH, la température, la conductivité et les matières en suspension.

Les paramètres organiques à mesurer pour caractériser les eaux avant et après traitement sur la **troisième série d'échantillons** sont les suivants:

- Les biphényles polychlorés (BPC) ;
- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ;
- Les hydrocarbures pétroliers C10-C50.

Pour l'établissement du bilan de masse, les paramètres à analyser sur les **cinq séries d'échantillons** des eaux avant et après traitement sont :

- Dans l'eau avant et après traitement : Azote total ( $N_{tot}$ ),  $NH_3$ ,  $NO_2$ ,  $NO_3$ , carbone inorganique total (CID), carbone organique total (COT) ;
- Dans les résidus solides : COT,  $N_{tot}$ ;
- Dans l'air :  $CO_2$ ,  $N_2$  ( $CH_4$  et  $O_2$  s'il y a lieu) ;

Pour la détermination de la diminution de l'écotoxicité des eaux avant et après traitement, les essais d'écotoxicité à réaliser sur la **troisième série d'échantillons** sont les suivants :

- Essais d'écotoxicité létale :
  - Létalité de la truite arc-en-ciel *Oncorhynchus mykiss*, 96 heures, à l'aide de la méthode SPE 1/RM/13 d'Environnement Canada (2000) ;
  - Létalité de la daphnie *Daphnia magna*, 48 heures, à l'aide de la méthode MA. 500 – D.mag. 1.1 du CEAEQ (2007) ;
  - Létalité du tête-de-boule *Pimephales promelas*, 96 heures, à l'aide de la méthode EPA-821-R-02-012 de l'USEPA (2002) ;
- Essais d'écotoxicité sous-létale :
  - La reproduction de la cériodaphnie *Ceriodaphnia dubia*, 7 jours, à l'aide de la méthode SPE 1/RM/21 d'Environnement Canada (1992) ;
  - La survie et la croissance du tête-de-boule *Pimephales promelas*, 7 jours, à l'aide de la méthode SPE 1/RM/22 d'Environnement Canada (1992) ;
  - La croissance des algues *Pseudokirchneriella subcapitata*, 96 heures, à l'aide de la méthode MA. 500 – P.sub. 1.0 du CEAEQ (2005).

Pour l'évaluation de l'évolution de l'écotoxicité des eaux au cours du traitement, les essais simplifiés d'écotoxicité à réaliser sur **la première et cinquième série d'échantillons** des eaux avant et après traitement sont les suivants :

- Essais d'écotoxicité létale :
  - Létalité de la truite arc-en-ciel *Oncorhynchus mykiss*, 96 heures, à l'aide de la méthode SPE 1/RM/13 d'Environnement Canada (2000) ;
  - Létalité de la daphnie *Daphnia magna*, 48 heures, à l'aide de la méthode MA. 500 – D.mag. 1.1 du CEAEQ (2007) ;
- Essais d'écotoxicité sous-létale :
  - La croissance des algues *Pseudokirchneriella subcapitata*, 96 heures, à l'aide de la méthode MA. 500 – P. sub. 1.0 du CEAEQ (2005).

Il convient de préciser que la batterie d'essais d'écotoxicité utilisée pour évaluer l'efficacité des technologies de traitement proposées est pertinente en tant que batterie conventionnelle. Il faut toutefois souligner qu'elle ne permettra pas d'établir le caractère génotoxique ni perturbateur endocrinien des eaux souterraines qui sont rejetées dans le fleuve Saint-Laurent. Cela aurait été possible si des essais supplémentaires couvrant ces effets toxiques non conventionnels avaient été ajoutés à cette batterie d'essais d'écotoxicité.

## **ANNEXE E**

### **PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL ET MÉTHODOLOGIE D'ESSAIS DE FAISABILITÉ -TRAITEMENT PAR OZONATION DES EAUX SOUTERRAINES-**

## Annexe E : Protocole expérimental

Un protocole expérimental a été mis au point par l'expert externe et approuvé par le CEMRS. Un appel d'offres sur invitation a été envoyé aux firmes qui s'étaient montrées intéressées par cette question et l'offre de Génivar a été retenue. Les essais se sont déroulés du 11 décembre 2008 au 12 janvier 2009 dans les locaux de la firme Mabarex Inc. dans l'arrondissement de St-Laurent. Un représentant du CEMRS a suivi sur place les essais pour prélever des échantillons, vérifier le déroulement des essais et approuver les modifications au protocole ou au montage expérimental.

Le montage expérimental des essais consiste en un réservoir vertical contenant 100 l d'eau à traiter, d'une pompe installée sur une boucle de circulation et dans laquelle est injecté l'oxygène ou l'ozone à la pression désirée, d'un circuit d'évacuation des gaz via deux trappes sous contrôle de pression, d'un dispositif de destruction de l'ozone évacuée, d'appareillage d'analyse en ligne dont le pH et l'ORP, d'un appareil de production d'ozone et une bombonne d'oxygène sous pression.

Le protocole lui-même prévoyait plusieurs séries d'essais sur des eaux brutes prélevées dans un puits situé sur le site du PEPSC et choisi par le CEMRS. Ces séries d'essais consistaient à traiter 100 l d'eau avec de l'oxygène et de répéter les mêmes conditions le lendemain avec de l'ozone, faisant varier au cours des séries d'essais un facteur à la fois, soit la pression, soit la concentration des gaz. Cette méthode permet, par comparaison avec un témoin d'isoler l'effet de l'ozone sur les concentrations de contaminants.

Cinq séries d'essais identifiées A, B, C, D et E, dix expériences au total ont été conduites. Les conditions expérimentales furent les suivantes :

A1 Pression absolue 2 atm, injection d'oxygène O<sub>2</sub> à 283 l/h  
A2 Pression absolue 3,5 atm, injection d'ozone O<sub>2</sub> à 283 l/h

B1 Pression abs 1 atm, concentration O<sub>3</sub> de 6 g/h  
B2 Pression abs 1 atm, débit O<sub>2</sub> à 283 l/h

C1 Pression abs 2 atm, concentration O<sub>3</sub> de 6 g/h  
C2 Pression abs 2 atm, débit O<sub>2</sub> à 283 l/h

D1 Pression abs 4 atm, volume O<sub>2</sub> de 165 l  
D2 Pression abs 4 atm, quantité O<sub>3</sub> injectée 7 g

Pour la série E, la concentration de l'azote ammoniacal dans les eaux a été augmentée d'environ 100 mg/l par l'ajout de chlorure d'ammonium (dans les faits de 35 à 160 mg/l)

- E1 Pression abs 1 atm, débit O<sub>2</sub> à 330 l/h
- E2 Pression abs 1 atm, débit O<sub>3</sub> de 6 g/h

Pour la série F, les eaux ont été prétraitées principalement pour éliminer l'alcalinité et les MES par l'ajout de 222 g de chaux éteinte ( Ca[OH]<sub>2</sub> ) en excès, de polymère Maganfloc 219 à raison de 2 mg/l et de 30 ml de sulfate ferrique. Le pH résultant de 9,3 a été augmenté par l'addition d'une solution de soude à 30%.

C'est sur ces eaux débarrassées de leur turbidité, des traces d'hydrocarbures et de leur alcalinité que deux essais de la série F ont été menés: l'un à l'oxygène et à pH 12 pour vérifier s'il est possible d'éliminer l'azote ammoniacal par volatilisation et entraînement (essai F1), l'autre à pH 11 avec l'ozone pour vérifier s'il est possible d'oxyder le NH<sub>3</sub> en nitrate. La pression appliquée: 2 atm absolu, débit O<sub>3</sub> de 6 g/h (essai F2).

#### Méthodologie d'évaluation de technologies pour essai de faisabilité - traitement par ozonation des eaux souterraines

L'essai de faisabilité du traitement par ozonation des eaux souterraines a été réalisé par le consortium Génivar-Mabarex. La méthodologie suivie par le CEMRS dans le cadre de cet essai consistait à :

1. Mettre sur pied un comité technique spécialisé dans le domaine de l'ozonation ;
2. Préparer un protocole d'expérimentation pour encadrer les essais de faisabilités ;
3. Inviter des firmes à présenter une soumission répondant aux exigences du document d'appel d'offres de service professionnel ;
4. Analyser les soumissions à l'aide de la grille d'analyse insérée dans le document d'appel d'offres. L'analyse s'est faite par tous les membres du comité technique identifiés dans cet exercice ;
5. Inviter la firme retenue à participer aux essais de faisabilité. Une contribution financière maximale de 35 000.00 \$ est fixée pour cet essai ;
6. Suivre les essais dont la durée est de 1 mois ;
7. Réviser le rapport préliminaire des essais déposés par la firme ;
8. Conclure sur la faisabilité de cette technologie.

**ANNEXE F**  
**RÉPERTOIRE DES FICHES TECHNIQUES**

Étape 1 : *Captage*

Famille : *Pompage*

Technologie : **Barrière hydraulique**

**Fiche C-1**

### *Description*

La technologie de la « barrière hydraulique » consiste à prévenir et contrôler la propagation d'un panache de contamination à l'aide de puits de pompage installés en aval de la contamination. Une pompe submersible par puits sera installée, permettant d'ajuster les débits de pompage selon la perméabilité variable des matériaux et facilitant les opérations d'entretien sans nuire significativement au maintien du piège hydraulique. Le nombre de puits de pompage à installer, de même que leur débit, dépend des conditions hydrogéologiques de l'aquifère et des dimensions du panache de contamination. Les puits de pompage doivent être installés de façon à ce que leurs rayons d'influence, ou zones de captage couvrent l'étendue du panache de contamination.

Au besoin, plusieurs types de système de récupération de phases flottantes d'hydrocarbures peuvent s'ajouter au système de captage des eaux souterraines sans réduire l'efficacité de son piège hydraulique.

### *Application*

La technique du piège hydraulique peut être utilisée pour intercepter uniquement le panache de contamination des eaux souterraines et/ou les phases flottantes d'hydrocarbures.

Une variante de la technique du piège hydraulique (avec ou sans captage des phases flottantes d'hydrocarbures) consiste à réinjecter une portion des eaux pompées en amont hydraulique.

### *Type de captage*

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> In situ                           | <input type="checkbox"/> Biologique          | <input type="checkbox"/> Résorption          |
| <input type="checkbox"/> Ex situ                                      | <input type="checkbox"/> Chimique            | <input checked="" type="checkbox"/> Contrôle |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination dissoute            | <input checked="" type="checkbox"/> Physique | <input type="checkbox"/> Thermique           |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination résiduelle          |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures |  |  |

### *État de la technologie*

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

### *Contaminants ciblés*

---

Tous les types de contaminants en phase dissoute et en phases flottantes d'hydrocarbures.

### *Limitations de la technologie*

---

- Nécessite une étude de caractérisation très rigoureuse afin d'établir le contexte géologique et hydrogéologique du site.
- Importante quantité d'eau à gérer.
- Demande un suivi, des ajustements et un entretien constant pour toute la durée des opérations.
- N'offre pas de protection secondaire en cas de bris, d'entretien ou de panne électrique.

### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du captage*

---

Des puits d'observation des eaux souterraines, installés en amont et en aval du piège hydraulique, sont fortement recommandés afin de s'assurer de l'efficacité du piège hydraulique.

### *Traitement secondaire requis*

---

Aucun.

### *Performances*

---

L'efficacité d'un système de pièges hydraulique dépend principalement des conditions hydrogéologiques du site, mais aussi de ses critères de conception (emplacement, nombre, profondeur et débit des puits de pompage). L'entretien préventif des composantes de pompage s'avère des éléments clés à la fiabilité de cette technologie.

Un système de pièges hydrauliques bien adapté et installé adéquatement sur un site est efficace pour contenir une contamination sur une courte durée ainsi que sur une longue période de temps.

### *Applicabilité au PEPSC*

---

Selon Technorem (réf. 4), un contrôle hydraulique et une technologie de séparation peuvent y être combinés (étapes 1 et 2), selon le design proposé.

*Exemple d'application, brevet et licence*

---

Lieu d'enfouissement de Sainte-Sophie, à Sainte-Anne-des-Plaines – implantation d'une barrière hydraulique pour capter le lixiviat (eau percolant à travers les déchets) généré par une cellule et les eaux souterraines – eau contaminée notamment par de l'azote ammoniacal.

Étape 1 : *Captage*

Famille : *Confinement et pompage*

Technologie : **Barrière étanche avec contrôle hydraulique** **Fiche C-2**

---

### *Description*

---

Les barrières étanches sont des techniques de confinement des eaux souterraines utilisées dans les cas de contamination en phase dissoute et/ou en phases flottantes d'hydrocarbures. Afin de s'assurer un confinement complet, la barrière doit atteindre en profondeur une couche imperméable. Différents types de barrière, ayant chacune leurs avantages et leurs limites, existent, soit entre autres :

- Barrière sol-bentonite;
- Barrière-ciment-bentonite;
- Barrière gelée;
- Barrière par palplanches;
- Barrière en colonnes de ciment injecté (Jet grouting);
- Barrière par mixage des sols (Deep Soil mixing);
- Barrière géomembranaire;
- Barrière géomembranaire par poutre vibratoire (Vibrating beam).

Selon le type de barrières, son épaisseur peut varier entre 0,6 et 1,2 m.

Cette technologie de confinement doit être accompagnée d'un contrôle hydraulique afin d'éviter que les eaux souterraines, comme les phases flottantes d'hydrocarbures ne passent ni par dessus, ni par les limites horizontales de la barrière.

### *Application*

---

Les barrières étanches peuvent être appliquées à grande échelle et pour des projets de traitement à long terme compte tenu de l'envergure des travaux d'installation et de la permanence des installations.

Cette approche a fréquemment été retenue pour le contrôle de la migration des eaux contaminées en particulier sur des lieux d'enfouissement technique de matières résiduelles.

Mentionnons qu'une partie des eaux pompées peuvent être réinjectées en amont hydraulique du site.

### Type de captage

---

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <input type="checkbox"/> In situ                                      | <input type="checkbox"/> Biologique          | <input type="checkbox"/> Résorption          |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ex situ                           | <input checked="" type="checkbox"/> Physique | <input checked="" type="checkbox"/> Contrôle |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination dissoute            | <input type="checkbox"/> Chimique            | <input type="checkbox"/> Thermique           |
| <input type="checkbox"/> Contamination résiduelle                     |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures |  |  |

### État de la technologie

---

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

### Contaminants ciblés

---

Tous les types de contaminants en phase dissoute et des phases flottantes d'hydrocarbures.

### Limitations de la technologie

---

- Travaux d'envergure pour sa mise en œuvre.
- Gestion de déblais lors des travaux d'installation.
- Le rehaussement de la surface piézométrique et son débordement en périphérie exigent un contrôle hydraulique en amont de la barrière et d'un suivi rigoureux des conditions hydrogéologiques de part et d'autre de la barrière.
- Certains types de barrières (ex. : sol-bentonite) peuvent se dégrader avec le temps.
- Nécessite des essais de compatibilité entre les matériaux constituant la barrière et les liquides (eaux contaminées, hydrocarbures) interceptés.
- Comportement incertain au compactage dynamique à proximité de la barrière.
- Prévoir des coûts pour le contrôle hydraulique post-traitement ou des travaux de démobilitation de certaines parties de la barrière afin de permettre à l'eau circuler à travers cette dernière.

### Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du captage

---

Aucun.

### *Traitement secondaire requis*

---

Aucun.

### *Performances*

---

Un degré de protection supérieur confère un avantage à ce mode de captage qui englobe à la fois un écran d'étanchéité et un contrôle hydraulique. Toutefois, l'efficacité des barrières étanche peut diminuer avec le temps selon sa constitution, la pression hydraulique et le type de contaminants dans les eaux souterraines.

### *Applicabilité au PEPSC*

---

Selon SNC-Lavalin (réf. 9), la barrière devrait être constituée de ciment-bentonite;

Selon Technorem (réf. 4), un contrôle hydraulique et une technologie de Séparation peuvent y être combinés (étapes 1 et 2), selon le design proposé.

### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Lieu d'enfouissement Dépôt Rive-Nord de Saint-Thomas – implantation d'une barrière étanche ancrée (sol-bentonite) jusqu'à près de 35 m de profondeur et qui s'enfonce dans l'argile avec contrôle hydraulique pour capter le lixiviat (eau percolant à travers les déchets).

Étape 1 : *Captage*

Famille : *Confinement et traitement in situ*

Technologie : **Barrière étanche ancrée avec entonnoirs et fenêtres** **Fiche C-3**

---

### *Description* **Fiche C-3**

---

Cette technologie consiste à orienter les eaux souterraines et, le cas échéant, les phases flottantes d'hydrocarbures vers des « fenêtres » à travers lesquelles l'eau subit un traitement passif.

Il s'agit donc de mettre en place une barrière physique étanche en tout point à l'exception des sections correspondant aux ouvertures. Afin de s'assurer un confinement complet, la barrière doit atteindre en profondeur une couche imperméable.

Différents types de barrière, ayant chacune leurs avantages et leurs limites, existent, soit entre autres :

- Barrière sol-bentonite;
- Barrière-ciment-bentonite;
- Barrière gelée;
- Barrière par palplanches;
- Barrière en colonnes de ciment injecté (Jet grouting);
- Barrière par mixage des sols (Deep Soil mixing);
- Barrière géomembranaire;
- Barrière géomembranaire par poutre vibratoire (Vibrating beam).

Selon le type de barrières, son épaisseur peut varier entre 0,6 et 1,2 m.

### *Application*

---

Les barrières étanches peuvent être appliquées à grande échelle et pour des projets de traitement à long terme compte tenu de l'envergure des travaux d'installation et de la permanence des installations.

### *Type de captage*

---

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> In situ                          | <input type="checkbox"/> Biologique          | <input type="checkbox"/> Résorption          |
| <input type="checkbox"/> Ex situ                                     | <input checked="" type="checkbox"/> Physique | <input checked="" type="checkbox"/> Contrôle |
| <input type="checkbox"/> Contamination résiduelle                    | <input type="checkbox"/> Chimique            | <input type="checkbox"/> Thermique           |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination dissoute           |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbure |  |  |

### *État de la technologie*

---

Démonstration                       Commercialisation

### *Contaminants ciblés*

---

Tous les types de contaminants en phase dissoute et des phases flottantes d'hydrocarbures.

### *Limitations de la technologie*

---

- Travaux d'envergure pour sa mise en œuvre.
- Gestion de déblais lors des travaux d'installation.
- Certains types de barrières (ex. : sol-bentonite) peuvent se dégrader avec le temps.
- Nécessite des essais de compatibilité entre les matériaux constituant la barrière et les liquides (eaux contaminées, hydrocarbures) interceptés.
- Comportement incertain au compactage dynamique à proximité de la barrière.
- N'offre pas de protection complète en cas de bris, d'entretien ou de panne électrique du système de traitement aménagé aux fenêtres

### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du captage*

---

Aucun.

### *Traitement secondaire requis*

---

Aucun.

### *Performances*

---

La performance de la barrière de type "Funnel and gate" et conséquemment de la configuration (conception) des fenêtres est étroitement liée à la capacité du système de traitement mise en place dans chacune des fenêtres. La largeur et l'épaisseur des fenêtres doivent permettre un temps de résidence suffisamment long pour assurer le traitement des eaux souterraines contaminées.

L'étanchéité des barrières peut diminuer avec le temps selon sa constitution, la pression hydraulique et le type de contaminants dans les eaux souterraines.

### *Applicabilité au PEPSC*

---

Selon SNC-Lavalin (réf. 9), la barrière devrait être constituée de ciment-bentonite; Selon Technorem (réf. 4), un contrôle hydraulique et une technologie de séparation peuvent y être combinés (étapes 1 et 2) selon le design proposé.

### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Lieu d'enfouissement Gloucester à Ottawa (1957 à 1980) – implantation d'une barrière étanche ancrée jusqu'à au moins 20 mètres de profondeurs dans dépôts meubles fins caractérisés par deux aquifères contaminés par des composés variés associés aux lixiviats (eau percolant à travers les déchets).

Étape 2 : *Séparation*

Famille : *Physique*

Technologie : **Puits de captage muni d'un système d'écumage** **Fiche S-1**

---

### *Description*

---

L'écumage est une technique qui permet de récupérer les hydrocarbures en phases flottantes à la surface de la nappe phréatique. Cette technique, installée dans un puits de captage, peut être passive ou active.

Dans la méthode passive, on introduit un réservoir oléophile à la hauteur de la phase. Seuls les hydrocarbures (produit pur) pénètrent à l'intérieur du réservoir qui est vidé régulièrement.

La méthode active permet de pomper la phase flottante d'hydrocarbures soit directement (pompage à bande, pompe péristaltique, etc), soit à l'aide d'un filtre oléophile hydrophobe.

### *Application*

---

- Des puits de récupération sont localisés aux endroits où les hydrocarbures sont susceptibles de s'accumuler;
- L'écumage permet de récupérer les hydrocarbures en phases flottantes tout en minimisant le volume de récupération des eaux souterraines;
- Technologie souvent appliquée quand les hydrocarbures en phases flottantes ont de faibles épaisseurs (inférieur à 5 cm).

### *Type de captage*

---

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> In situ                           | <input checked="" type="checkbox"/> Physique | <input checked="" type="checkbox"/> Résorption |
| <input type="checkbox"/> Ex situ                                      | <input type="checkbox"/> Biologique          | <input type="checkbox"/> Contrôle              |
| <input type="checkbox"/> Contamination résiduelle                     | <input type="checkbox"/> Chimique            | <input type="checkbox"/> Thermique             |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination dissoute            |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures |  |  |

### *État de la technologie*

---

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

### *Contaminants ciblés*

---

Phases flottantes d'hydrocarbures

### *Limitations de la technologie*

---

- Le temps de récupération s'allonge lorsque la perméabilité du sol est faible;
- Récupération plus difficile quand le niveau piézométrique fluctue;
- Plus la viscosité des hydrocarbures est grande, plus sa récupération est difficile.

### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du captage*

---

- Couplé à un système de captage actif
- Chauffage des sols.

### *Traitement secondaire requis*

---

Aucun.

### *Performances*

---

Permet de récupérer jusqu'à moins d'un millimètre d'épaisseur tout en gérant peu ou pas d'eau. Son efficacité est surtout fonction de la viscosité, de l'épaisseur, de la profondeur de récupération des hydrocarbures ainsi que la variation du niveau piézométrique.

### *Applicabilité au PEPSC*

---

Selon SNC-Lavalin (réf. 9), la technologie d'Écrémage est applicable.

### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Site de « Wastewater Technology » Center pour traiter les eaux sous terraines.

Commercialisée par John Martin, U.S. EPA, NRMRL, sous le nom de Séparation.

Étape 2 : *Séparation*

Famille : *Physique*

Technologie : **Système d'extraction sous vide**

**Fiche S-2**

---

### *Description*

---

La technique d'extraction sous vide (ou bioaspiration) consiste à récupérer les phases flottantes d'hydrocarbures dans des puits de récupération scellés et sous vide partiels, aux endroits où des phases flottantes d'hydrocarbures sont présentes en fortes épaisseurs. La récupération se fait à l'aide de tuyaux d'extraction reliée à une pompe vacuum et dont les extrémités sont positionnées aux interfaces air/phase flottantes. Le vide partiel à l'intérieur des puits sert à créer des gradients de pression entre l'extérieur et l'intérieur des puits et ainsi forcer le transfert des phases flottantes vers les puits. Le vide partiel à l'intérieur des puits sert également à induire une circulation d'air dans la zone non saturée du sol de façon à favoriser les mécanismes naturels de biodégradation des hydrocarbures. La pression négative établie dans les puits dépend du taux de retrait de l'air par la pompe ainsi que de la perméabilité de la formation.

### *Application*

---

- Aux endroits où des phases flottantes d'hydrocarbures sont présentes en fortes épaisseurs, ce système peut être combiné avec une technologie de captage des eaux souterraines. Ainsi, un système de récupération sous vacuum est ajouté, soit de façon indépendante (puits différents des puits de captage), soit en un système combiné dans un même puits à l'aide d'une seule pompe (aspiration totale ou pompage total) ou à l'aide d'une pompe submersible pour le pompage et rabattement hydraulique et d'un tubage d'aspiration relié à l'unité de récupération sous vide, installée dans les mêmes puits pour récupérer les hydrocarbures.
- Le système d'extraction sous vide peut être utilisé pour des formations de perméabilité modérée à faible ( $10^{-5}$  à  $10^{-3}$  cm/s).

### *Type de captage*

---

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> In situ                           | <input checked="" type="checkbox"/> Biologique | <input checked="" type="checkbox"/> Résorption |
| <input type="checkbox"/> Ex situ                                      | <input checked="" type="checkbox"/> Physique   | <input type="checkbox"/> Contrôle              |
| <input type="checkbox"/> Contamination dissoute                       | <input type="checkbox"/> Chimique              | <input type="checkbox"/> Thermique             |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination résiduelle          |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures |  |  |

### *État de la technologie*

---

Démonstration       Commercialisation

### *Contaminants ciblés*

---

Hydrocarbures pétroliers en phase flottante

### *Limitations de la technologie*

---

- Difficile à démontrer l'efficacité en tout point, considérant la variabilité des perméabilités ou la présence d'interlits imperméables ou de chemins préférentiels;
- Des fluctuations importantes du niveau de la nappe demandent des ajustements des tuyaux d'extraction de façon à les repositionner à l'interface air-produit;
- Dans certains cas, la récupération des phases flottantes d'hydrocarbures génère un volume d'eau non négligeable à traiter;
- La séparation des phases (eau/produit/vapeur) peut être complexe selon la nature des contaminants (formations d'émulsions stables et de biomasse);
- Les basses températures peuvent ralentir les phénomènes de biodégradation;
- Nécessite des séparateurs air-liquide et eau-huile, mais les quantités des eaux à gérer sont moindres que pour la technique de pompage;
- Des émulsions eau-huiles difficiles à séparer peuvent être créées.

### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

---

- Le chauffage des sols peut diminuer la viscosité des contaminants et ainsi augmenter leur mobilité dans les sols, le chauffage des sols accélère également les processus de biodégradation à condition que les chaleurs atteintes ne soient pas trop élevées;
- La fracturation mécanique ou pneumatique améliore la perméabilité des sols;
- L'imperméabilisation de la surface du sol élargit les rayons d'influence des puits d'extraction, cette technologie complémentaire s'applique au cas des sols plus perméables que  $10^{-3}$  cm/s;
- L'abaissement du niveau piézométrique peut aider à traiter la frange capillaire, cette technique s'applique après que les phases flottantes hydrocarbures aient été récupérées.

### *Traitement secondaire requis*

---

- Requier un système de séparation de l'effluent composé d'air, d'eau et d'hydrocarbures, soit un séparateur air-liquide et un séparateur eau-hydrocarbure;
- Peut requérir un système de traitement des effluents aqueux et un système de

traitement des effluents gazeux.

### *Performances*

---

L'efficacité d'un système dépend principalement des types de contaminants organiques, des conditions hydrogéologiques du site, mais aussi de ses critères de conception (emplacement, nombre, position des tuyaux d'extraction et pression de succion appliquée). Son efficacité peut être réduite en raison de la variabilité des perméabilités de la zone à traiter.

### *Applicabilité au PEPSC*

---

Selon SNC-Lavalin (réf. 9) la technologie d'extraction sous vide n'est pas applicable.

### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Nouvelle technologie mis au point par Golder Associés, et expérimentée sur le terrain de la station-service. Selon Golder, cette dernière a permis d'atteindre des taux de récupération supérieurs à ceux obtenus avec les procédés d'extraction habituels.

Étape 2 : *Séparations*

Famille : *Physique*

Technologie : **Séparateurs eau-huile et bassins de décantation**    **Fiche S-3**

---

### *Description*

---

Ces systèmes sont composés d'un réservoir dans lequel la séparation des phases flottantes d'hydrocarbures et de l'eau se fait par gravité. Des chicanes sont souvent présentes dans un séparateur, car elles permettent de régulariser l'écoulement. Les phases flottantes d'hydrocarbures ayant une densité inférieure à celle de l'eau se retrouvent à la surface du réservoir et elles sont collectées via un exutoire situé près de la surface. Un autre tuyau de sortie est utilisé pour maintenir le niveau d'eau constant dans le séparateur. Les séparateurs peuvent contenir des plaques coalescentes servant à agglomérer les gouttelettes d'huile en suspension dans l'eau, de façon à les amener à la surface. Des polymères ou des sels d'aluminium ou de fer sont souvent mélangés à l'eau lorsqu'elle pénètre dans le système afin de favoriser la formation de floccs.

Ce sont des séparateurs eau-huile qui sont le plus souvent utilisés pour le traitement des eaux huileuses et la séparation des phases flottantes d'hydrocarbures.

Les bassins de décantation, basés sur le même principe de séparation physique des phases, peuvent également être utilisés comme traitement primaire ou couplé avec un séparateur eau-huile.

### *Application*

---

Il s'agit d'une méthode de traitement primaire qui sépare efficacement l'eau et les phases flottantes d'hydrocarbures. Dans le cas des émulsions, ce système de traitement récupère seulement la fraction la plus grossière des gouttelettes d'hydrocarbures, typiquement les gouttelettes supérieures à 60 microns. Il est probable que l'eau à la sortie du séparateur nécessite un traitement secondaire.

En présence d'un grand volume de phases flottantes d'hydrocarbures tels qu'au PEPSC, un traitement primaire de ce type doit être envisagé.

Grâce à l'addition de produits de floculation, les matières en suspension (MES) et avec l'effet de l'oxygénation à l'air, le fer à l'état ferrique sont également extraits.

### *Type de traitement*

---

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <input type="checkbox"/> In situ                                      | <input type="checkbox"/> Biologique          | <input type="checkbox"/> Résorption          |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ex situ                           | <input type="checkbox"/> Chimique            | <input checked="" type="checkbox"/> Contrôle |
| <input type="checkbox"/> Contamination dissoute                       | <input checked="" type="checkbox"/> Physique | <input type="checkbox"/> Thermique           |
| <input type="checkbox"/> Contamination résiduelle                     |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures |  |  |

### *État de la technologie*

---

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

### *Contaminants ciblés*

---

Hydrocarbures pétroliers, liquides immiscibles moins denses que l'eau, MES, fer.

### *Produits secondaires ou métabolites*

---

Dans certains cas, des processus de biodégradation se produisent dans le séparateur générant la formation de biomasse qui se retrouve flottant en surface. Cette biomasse doit être périodiquement vidangée de façon à assurer l'efficacité du système.

Si des sédiments sont présents dans l'eau, ceux-ci s'accumulent au fond du séparateur et doivent également être vidangés périodiquement.

### *Limitations de la technologie*

---

Ce système ne traite pas efficacement la fraction fine des émulsions. Typiquement, les gouttelettes d'hydrocarbures inférieures à 60 microns restent dans l'eau à la sortie d'un séparateur eau-hydrocarbure à plaques coalescentes;

La pompe utilisée pour alimenter le séparateur doit minimiser l'agitation des fluides de façon à éviter la formation de fines gouttelettes ou d'émulsion. Le dimensionnement doit être ajusté au débit de traitement pour que cette technologie demeure performante.

### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

---

Les fluides peuvent être chauffés à l'intérieur du séparateur pour augmenter la différence de densité entre l'eau et les hydrocarbures et ainsi stimuler leur séparation.

L'utilisation de plaques coalescentes à l'intérieur de séparateurs permet une récupération de particules d'hydrocarbures plus fines et augmente donc la performance de l'équipement.

#### *Traitement secondaire requis*

---

Un traitement secondaire et possiblement tertiaire serait requis pour traiter les eaux du PEPSC.

#### *Domaines et exemples d'application*

---

Les séparateurs eau-hydrocarbures sont omniprésents dans les sphères industrielles faisant appel à des procédés utilisant des hydrocarbures. Cette technologie est également largement utilisée et la plus courante en matière de traitement primaire des phases flottantes d'hydrocarbures lors de travaux de réhabilitation de terrains contaminés

#### *Performances*

---

Les performances de ces équipements sont sensibles à divers aspects qui doivent être pris en compte avant de choisir un type de séparateur plutôt qu'un autre. Parmi les facteurs pouvant affecter la performance des séparateurs on note le design du séparateur, sa capacité, la charge initiale en contaminants et la turbidité de l'eau (les émulsions peuvent avoir tendance à s'agglomérer aux particules).

#### *Applicabilité au PEPSC*

---

Utilisation courante dans l'industrie et les stations d'épuration des eaux usées. N'a pas été testée par le CEMRS

#### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Expérimentée de 1997 à 1998 sur 28 sites aux Etats-Unis (Selon U.S Environmental Protection Agency) pour traiter les phases libres d'hydrocarbures des produits pétroliers. Les sites en questions, sont entre autres : « Gold Coast SF Site, FL (Gold Coast), CERCLIS #FLD071307680 » et « Former Firestone Facility SF Site, CA (Firestone), CERCLIS #1CAD990793887 ».

Étape 2 : *Séparation*

Famille : *Physique*

Technologie : **Systeme de flottation par air dissous** **Fiche S-4**

### *Description*

Le système de flottation par air dissous (« dissolved air flotation » - DAF) est une technique de clarification des eaux usées qui consiste à séparer et à extraire les matières en suspension, telles les émulsions d'hydrocarbures, en dissolvant de l'air sous pression dans les eaux et en libérant ensuite l'air à la pression atmosphérique dans un réservoir ou bassin de flottation. L'air libéré retourne en phase gazeuse et forme de minuscules bulles qui adhèrent aux matières en suspension et les font flotter à la surface de l'eau. Les bulles et la matière en suspension peuvent alors être enlevés en écumant la surface de l'eau.

### *Application*

Le système de flottation par air dissout est couramment employé pour traiter les effluents d'eaux usées industrielles (raffineries de pétrole, usines pétrochimiques et chimiques, usines de traitement de gaz naturel, etc.) et pourrait être appliqué comme traitement secondaire des eaux huileuses du PEPSC.

Le système DAF permet de retirer les émulsions d'hydrocarbures. Ce système est également apte à agglomérer et à faire flotter les solides en suspension dans l'eau. Cette fonction est avantageuse lorsqu'un traitement tertiaire de l'eau est prévu, par exemple par l'utilisation d'un bioréacteur ou encore d'un traitement sur filtre de charbon activé, ceci afin de ne pas bloquer ou rendre moins efficace ces procédés. Le système DAF peut également servir à retirer de l'eau les précipités de métaux (Fe, Zn), présents dans l'eau du PEPSC, qui pourraient avoir été obtenus à l'aide d'une modification préalable du pH de l'eau.

### *Type de traitement*

- |   |   |  |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> In situ                                      | <input type="checkbox"/> Biologique           | <input type="checkbox"/> Résorption          |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ex situ                           | <input checked="" type="checkbox"/> Physique  | <input checked="" type="checkbox"/> Contrôle |
| <input type="checkbox"/> Contamination dissoute                       | <input type="checkbox"/> Chimique             | <input type="checkbox"/> Thermique           |
| <input checked="" type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures | <input checked="" type="checkbox"/> Émulsions |  |

### *État de la technologie*

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

### *Contaminants ciblés*

---

Émulsions d'hydrocarbures et d'eau, matières en suspension (MES) incluant les précipités de métaux (Fe, Zn).

### *Produits secondaires ou métabolites*

---

Aucun

### *Limitations de la technologie*

---

Requiert un débit constant pour s'assurer que le système opère selon les réglages prévus. Coût d'achat élevé.

### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

---

Cette technologie requiert l'enlèvement préalable de la masse principale d'hydrocarbures par le biais d'un traitement primaire (ex. : séparateur ou bassin de décantation). L'ajout de flocculant et de coagulant dans l'eau à l'entrée du système DAF ainsi que l'ajustement du pH de l'eau peut être considéré pour accroître l'efficacité du traitement.

### *Traitement secondaire requis*

---

En fonction des objectifs environnementaux de rejet requis à l'effluent final, un traitement tertiaire de l'eau pourrait être nécessaire (p. ex. bioréacteurs, filtres de charbon activé, etc.).

### *Domaine et exemples d'application*

---

Les systèmes de flottaison par air dissout sont employés à divers usages, du traitement de l'eau potable jusqu'au traitement des effluents et des boues industrielles.

### *Performances*

---

Des taux d'enlèvement des émulsions et MES élevés sont observés.

### *Applicabilité au PEPSC*

---

Application commerciale. N'a pas été testée par le CEMRS

*Exemple d'application, brevet et licence*

---

Technologie utilisée pour extraire la phase libre et certains métaux aux États-Unis par « Naval Construction Battalion Center (NCBC) » sur « Environmental Baseline Survey Site 21, Davisville » dans le Rhode Island.

Cette technologie est commercialisée par John Martin, U.S. EPA, NRMRL, sous le nom de Séparation.

Étape 2 : *Séparations*

Famille : *Physique*

Technologie : **Hydro cyclones de déshuilage**

**Fiche S-5**

### *Description*

Les hydro cyclones de déshuilage sont couramment utilisés dans l'industrie de l'exploitation pétrolière, sur les plates-formes pétrolières, dans les raffineries et, plus récemment, comme technologie de séparation des phases dans le cadre de réhabilitation de terrains contaminés. L'eau huileuse est introduite sous pression à l'intérieur de l'hydrocyclone induisant un mouvement de rotation. Les forces centrifuges et gravitaire séparent les liquides, solides et gaz de densités différentes qui sont récupérées aux différents exutoires de l'hydrocyclone prévu à cet effet.

### *Application*

Peut être utilisé comme système de traitement primaire et/ou secondaire des eaux huileuses, incluant les émulsions.

Bien que les hydrocyclones ne constituent pas des filtres en soi n'étant pas pourvus de barrières physiques pour trier les particules, ils peuvent également être utilisés comme prétraitement pour réduire la charge en particules solides.

Les hydrocyclones peuvent être configurés pour ségréguer différents états (ex : solides vs liquides) ou des phases distinctes d'un même état (ex. : liquide vs liquide) pour autant que la différence de densité soit suffisante.

### *Type de traitement*

- |   |   |  |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> In situ                                      | <input type="checkbox"/> Biologique           | <input checked="" type="checkbox"/> Contrôle |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ex situ                           | <input checked="" type="checkbox"/> Physique  | <input type="checkbox"/> Résorption          |
| <input type="checkbox"/> Contamination dissoute                       | <input type="checkbox"/> Chimique             | <input type="checkbox"/> Thermique           |
| <input checked="" type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures | <input checked="" type="checkbox"/> Émulsions |  |

### *État de la technologie*

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

### *Contaminants ciblés*

Mélange hydrocarbures-eau.

### *Produits secondaires ou métabolites*

---

Aucun.

### *Limitations de la technologie*

---

Consommation énergétique élevée par rapport à d'autres types de traitement primaires ou secondaires.

### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

---

Les hydrocyclones peuvent être disposés seuls, en série linéaire ou en batteries circulaires selon les débits à traiter.

L'ajout de produits chimiques dans l'eau huileuse inhibant l'émulsion d'hydrocarbures peut améliorer la performance de l'hydrocyclone.

Traitement primaire en amont de l'hydrocyclone.

### *Traitement secondaire requis*

---

En fonction des critères environnementaux de rejet, un traitement de l'eau en aval pourrait être nécessaire (bioréacteurs, filtres de charbon activé, etc.).

### *Performances*

---

Typiquement, un hydrocyclone permet de retirer de l'eau les gouttelettes d'hydrocarbures allant jusqu'à 5 à 10 microns. Selon leur dimensionnement et configuration, les hydrocyclones peuvent traiter des débits pouvant aller jusqu'à 1000 m<sup>3</sup>/heure.

### *Applicabilité au PEPSC*

---

Utilisation dans l'industrie. N'a pas été testée par le CEMRS.

### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Technologie utilisée sur le site contaminé Norvégien de l'État du chemin de fer de Lillestrom de la Norvège pour la séparation des phases libres et comme prétraitement pour réduire la charge en particules solides.

Commercialisée notamment par John Martin, U.S. EPA, NRMRL, sous le nom de Séparation et par un autre vendeur sous le nom de Brevet : *Fortec<sup>R</sup> (Fast Organic Removal Technology)*.

Étape 2 : *Séparation*

Famille : *Physique*

Technologie : **Microfiltration et ultrafiltration**

**Fiche S-6**

### *Description*

La microfiltration et l'ultrafiltration sont des procédés physiques de filtration à basse pression (<200 psi) servant à séparer des solutés d'une solution aqueuse à l'aide d'une membrane semi-perméable. Les dimensions des pores des membranes de microfiltration varient généralement entre 0,1 et 10 µm tandis que celles utilisées pour l'ultrafiltration varient entre 0,005 et 0,05 µm. La microfiltration est effectuée à partir de l'écoulement d'une solution sous pression le long d'une membrane. Les solutés retenus, tels que les matières en suspension et les gouttelettes d'hydrocarbures en émulsions, ne s'accumulent pas sur la surface de membrane, ils s'écoulent plutôt sur un de ses côtés. L'eau qui traverse la membrane est clarifiée.

### *Application*

La microfiltration est utilisée dans des domaines variés (pharmaceutiques, alimentation, filtration d'eau ultra pure dans l'industrie des semis conducteurs, etc.) mais également en tant que procédé de traitement d'eau contaminée. La microfiltration, dans le cadre du système de traitement des eaux du PEPSC, pourrait avoir la fonction multiple de permettre la récupération des émulsions d'hydrocarbures, des MES et des colloïdes métalliques (ex : oxydes et hydroxydes).

Ce procédé permet d'extraire de l'eau les émulsions d'hydrocarbures dont les dimensions sont de l'ordre de 1 à 10 microns. La microfiltration et l'ultrafiltration réduisent également les concentrations des phases dissoutes dans les eaux.

### *Type de traitement*

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> In situ                           | <input type="checkbox"/> Biologique          | <input checked="" type="checkbox"/> Résorption |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ex situ                | <input checked="" type="checkbox"/> Physique | <input type="checkbox"/> Contrôle              |
| <input type="checkbox"/> Contamination dissoute            | <input type="checkbox"/> Chimique            | <input type="checkbox"/> Thermique             |
| <input type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures |  | <input checked="" type="checkbox"/> Émulsions  |

### *État de la technologie*

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

### *Contaminants ciblés*

---

Hydrocarbures pétroliers (émulsions); matières en suspension, contaminants adsorbés.

### *Produits secondaires ou métabolites*

---

Aucun

### *Limitations de la technologie*

---

Nécessite un suivi et entretien fréquent;

Accumulation de filtrat à la surface des membranes entraînant une réduction du débit traité;

L'obstruction du filtrat peut être de cause inorganique (ex : MES, oxyde de fer, etc.); organique (boue d'hydrocarbures) ou biologique (développement bactérien).

### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

---

La microfiltration est un traitement secondaire ou tertiaire. Des systèmes doivent être installés en amont du traitement pour récupérer la majorité de la masse de phases flottantes d'hydrocarbures ou de particules présentes dans l'eau.

### *Traitement secondaire requis*

---

En fonction des critères de qualité de l'eau requis à l'effluent final, un traitement de la contamination en phase dissoute pourrait être nécessaire (bioréacteurs, filtres de charbon activé, etc).

### *Performances*

---

Très efficace pour extraire les MES et les métaux divalents. Taux d'efficacité associé aux hydrocarbures en émulsion peu documenté.

### *Applicabilité au PEPSC*

---

La microfiltration a été testée avec succès lors des essais de traitabilité en 2006-2007 (réf. 3)

### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Selon Innovative Treatment Technologies, cette technologie a été expérimentée sur plusieurs sites contaminés pour le traitement des eaux souterraines et des eaux municipales. Notamment sur «Superfund Site: Motor Wheel, Lansing TWP, MI» et «Englin AFB, Edward G., Marchand, HQ AFCESA/RAVW, Tyndall AFB, FL (904) 283-6023», pour le traitement des eaux souterraines et des eaux usées municipales. Ce procédé a permis d'extraire de l'eau, les émulsions d'huile et de réduire également les concentrations en phase dissoute dans les eaux souterraines.

Commercialisée sous le nom de : *Fortec<sup>R</sup> (Fast Organic Removal Technology) et sous le nom de Ultrafiltration.*

## Étape 2 : Séparation

Famille : *Électrochimique/Physique*

Technologie : **Oléofiltration**

**Fiche S-7**

### *Description*

L'oléofiltration est un système de traitement des émulsions qui fonctionne à l'aide d'un filtre constitué de granules (ex. : céramique) enduites d'une substance oléophile (ex. : amine). Les hydrocarbures s'agglomèrent au filtre.

Le système est automatisé et s'auto nettoie lorsque les filtres deviennent saturés.

### *Application*

Traitement secondaire des eaux contenant de faibles quantités d'hydrocarbures.

### *Type de traitement*

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> In situ                           | <input type="checkbox"/> Biologique          | <input type="checkbox"/> Résorption           |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ex situ                | <input checked="" type="checkbox"/> Physique | <input checked="" type="checkbox"/> Contrôle  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination dissoute | <input type="checkbox"/> Chimique            | <input type="checkbox"/> Thermique            |
| <input type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures |  | <input checked="" type="checkbox"/> Émulsions |

### *État de la technologie*

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

### *Contaminants ciblés*

Principalement les hydrocarbures pétroliers. Dans une moindre mesure, les oléofiltres peuvent traiter les HAP et BPC en phase dissoute.

### *Produits secondaires ou métabolites*

Les granules en céramique des filtres s'érodent progressivement et se retrouvent avec les hydrocarbures lors des cycles d'auto nettoyage.

### *Limitations de la technologie*

Les teneurs en hydrocarbures et MES à l'entrée de l'oléofiltre ne doivent pas dépasser respectivement 300 et 100 mg/l ce qui peut restreindre son application dans le cas du PESC à un traitement de polissage. Même en conditions de

traitement idéales, il est reporté que l'effluent des oléofiltres contient entre 4 et 15 mg/L d'hydrocarbures dissous.

Nécessite un nettoyage périodique, voire quotidien, des filtres qui peuvent être actionnés manuellement ou automatiquement. Le nettoyage des filtres, qui s'étale sur une période de 20 à 60 minutes, se fait par recirculation des fluides en sens inverse («backwash»). Des hydrocarbures très visqueux peuvent bloquer les filtres et rendre leur auto nettoyage moins efficace.

Les granules oléophiles des filtres doivent être périodiquement remplacées. La documentation consultée indique que  $\pm 10\%$  des granules doivent être remplacées annuellement. Un pH de l'eau supérieur à 10,5 à l'entrée du filtre rend les granules plus fragiles;

La présence de solvants chlorés dans l'eau peut endommager les filtres et les rendre inefficaces.

#### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

---

Dans le cas du PEPSC, un traitement primaire doit être utilisé en amont du système d'oléofiltration. Celui-ci ne pourrait être configuré pour récupérer de façon efficace la totalité des phases flottantes hydrocarbures présents dans le terrain du PEPSC parce que la concentration excède 300 mg/l.

La solution introduite dans le système peut être chauffée pour en réduire la viscosité.

#### *Traitement secondaire requis*

---

Un traitement tertiaire ou un polissage des concentrations en phase dissoute serait requis (bioréacteurs, filtres de charbon activé, etc).

#### *Performances*

---

Ce système permet de rejeter une eau à moins de 15 ppm d'hydrocarbures sous réserve d'une charge initiale à moins de 500 ppm en hydrocarbures et d'un taux de matières en suspension (MES) inférieur à 100 ppm.

Dans le cas des émulsions chimiques induites à l'aide de surfactants, l'oléofiltration est plus efficace en présence de surfactants cationiques et non-ioniques qu'en présence de surfactants anioniques.

#### *Applicabilité au PEPSC*

---

Application commerciale. N'a pas été testée par le CEMRS.

### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Technologie expérimentée pour la comparaison d'un système de traitement par oléofiltration et par flottation d'air dissout pour le traitement d'un système de captage des phases flottantes par bioaspiration. Notamment utilisée en 1995 à 1997, sur les trois (3) sites suivants : « Balfour Road Site » en Californie, « Fourth plain Service Station Site » à Washington et « Steve Standard and Golden Belt 66 Site » au Kensas, pour évaluer le coût et la performance d'ORCR à traiter des eaux souterraines. Par ailleurs, l'oléofiltration a été aussi utilisée en 1997 sur le site « Coastal Systems Station, AOC 1 » en Floride afin de démontrer son efficacité à traiter les hydrocarbures pétroliers et les métaux.

Commercialisée notamment sous les noms de : Enhanced Biorémédiation of Groundwater et Oléofiltration.<sup>R</sup>

Étape 2 : *Séparation*

Famille : *Physique*

Technologie : **Électrocoagulation - Electroflottation**

**Fiche S-8**

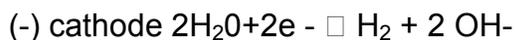
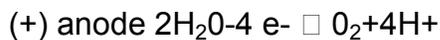
### *Description*

---

L'électrocoagulation et l'électroflottation sont des procédés électrochimiques de traitement des eaux usées basés sur l'induction d'un courant électrique continu entre plusieurs couples d'électrodes dans un bassin contenant l'eau à traiter.

L'action du courant entre deux électrodes permet la libération d'ions métalliques ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) par oxydation de l'anode. Ces ions métalliques se combinent avec les ions hydroxydes  $\text{OH}^-$  libérés par l'électrolyse de l'eau et génère des hydroxydes métalliques (précipités) favorables à la formation de floccs. En plus, les groupements hydroxydes  $\text{OH}^-$  libérés à la cathode permettent la formation d'hydroxydes métalliques (précipités) avec les ions métalliques contenus dans la solution à traiter.

L'action du courant entre deux électrodes produit également des microbulles d'oxygène et d'hydrogène par les réactions suivantes (électrolyse de l'eau) :



Ces bulles finement divisées ( $< 10\ \mu\text{m}$ ) vont, lorsqu'elles refont surface, entraîner les matières en suspension, les hydrocarbures en émulsion dans l'eau, les colloïdes, et ainsi arriver à une clarification des eaux traitées.

De plus, l'oxygène fait office d'oxydant et permet aux molécules organiques de se scinder plus facilement et favorise un traitement biologique ultérieur éventuel.

L'hydrogène produit à la cathode est utilisé, comme réducteur et permet d'hydrogéner les molécules organiques, les rendant moins réfractaires à l'oxydation.

### *Application*

---

Il s'agit d'un traitement secondaire ou tertiaire. Cette technologie est utilisée pour le traitement des eaux usées municipales et des eaux de procédés industriels. Elle permet la récupération et le traitement d'émulsions d'hydrocarbures.

*Type de traitement*

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> In situ                           | <input type="checkbox"/> Biologique          | <input type="checkbox"/> Résorption           |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ex situ                | <input type="checkbox"/> Physique            | <input checked="" type="checkbox"/> Contrôle  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination dissoute | <input checked="" type="checkbox"/> Chimique | <input type="checkbox"/> Thermique            |
| <input type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures |  | <input checked="" type="checkbox"/> Émulsions |

*État de la technologie*

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

*Contaminants ciblés*

Les contaminants associés au PEPSC que peut prendre en charge une unité électrocoagulation-électroflottation sont les hydrocarbures pétroliers (émulsions), les matières en suspension (MES), les métaux lourds (Cd, Cr, Cu, Pb, Sn, Zn).

*Produits secondaires ou métabolites*

Des boues riches en métaux sont collectées par écumage des bassins de flottation.

*Limitations de la technologie*

Gestion des boues;

Nécessite un suivi attentif des équipements pour s'assurer de l'efficacité optimale du système. Les coûts d'entretien et de suivi sont conséquents.

En fonction des objectifs de traitement désirés, il est possible que l'ajustement du pH et l'ajout de flocculant soient nécessaires.

*Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

Traitement primaire en amont du système d'électrocoagulation-électroflottation.

*Traitement secondaire requis*

En fonction des critères de qualité de l'eau requis à l'effluent final, un traitement ou polissage subséquent des eaux pourrait être nécessaire (bioréacteurs, filtres de charbon activé, etc).

*Performances*

Des taux d'enlèvement élevés des émulsions, des métaux lourds en solution et des MES sont observés.

### *Applicabilité au PEPSC*

---

Procédés industriels et utilisation commerciale. N'a pas été testée par le CEMRS.

### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

L'électroflottation russe, est utilisée à pleine échelle (avec l'implication de l'armée américaine « USAF »), dans un projet en Europe de l'Est pour traiter les hydrocarbures pétroliers (émulsions), les matières en suspension (MES), les métaux lourds et l'azote ammoniacal. Les sites concernés sont entre autres : « AFP3 – boieng Aerospace Corporation » et « AFP 44 – Hugues Missile Systems Company/Raytheon Systems Company ».

Commercialisée sous le nom de : Electroflottation Technology.

Étape 2 : *Séparation*

Famille : *Physique*

Technologie : **Centrifugation**

**Fiche S-9**

---

### *Description*

---

La centrifugeuse est un appareil comprenant un rotor tournant à haute vitesse dans lequel le mélange à traiter est mis en rotation rapide. Selon les caractéristiques du mélange à séparer, le rotor peut être monté verticalement ou horizontalement. La force centrifuge est appliquée pour augmenter par un facteur important l'effet de la gravité sur des mélanges immiscibles de densités différentes, qu'ils soient liquide solide ou liquide liquide. L'utilisation de centrifugeuses couvre une gamme étendue d'applications allant de la séparation de gaz de poids moléculaires différents à l'assèchement de particules solides d'une grosseur pouvant aller jusqu'à 6 mm.

Dans les procédés industriels, les appareils fonctionnent en continu grâce à un dispositif d'extraction qui permet de soutirer les différentes phases même si l'appareil est en rotation. La force centrifuge auquel est soumis le mélange et qui atteint de plusieurs centaines à plusieurs milliers de fois l'accélération de la gravité permet de réduire à quelques dizaines de secondes les temps de décantation qui dureraient des heures voire des jours dans les conditions ambiantes ou qui seraient tout simplement impossibles dans le cas d'émulsions stables.

### *Application*

---

Les applications typiques des séparateurs centrifuges consistent à séparer des matières solides de l'ordre du micron (0,2 à 10  $\mu\text{m}$ ) avec très faible différence de masse volumique (30 à 300  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) ainsi que des mélanges de liquides provenant de procédés de lavage ou d'extraction et représentant également de très faibles différences de masse volumique (20 à 400  $\text{kg}/\text{m}^3$ ). La concentration acceptable en matières solides pour ces types de centrifugeuses varie de 0,1 à 25 % vol/vol.

Dans le cas du PEPSC, il pourrait s'agir d'une méthode de traitement primaire ou secondaire des mélanges ou des émulsions d'eaux et d'hydrocarbures et des MES. Cette technologie de traitement peut récupérer de fines gouttelettes d'hydrocarbures.

### Type de traitement

---

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> In situ                           | <input type="checkbox"/> Biologique          | <input type="checkbox"/> Résorption          |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ex situ                | <input checked="" type="checkbox"/> Physique | <input checked="" type="checkbox"/> Contrôle |
| <input type="checkbox"/> Contamination dissoute            | <input type="checkbox"/> Chimique            | <input type="checkbox"/> Thermique           |
| <input type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures |  |  |
| <input type="checkbox"/> Contamination résiduelle          |  |  |

### État de la technologie

---

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

### Contaminants ciblés

---

Hydrocarbures pétroliers, liquides immiscibles de densité différente de celle de l'eau, MES.

### Produits secondaires ou métabolites

---

Non.

### Limitations de la technologie

---

Pas de limitation lorsqu'elle est utilisée dans le cadre des paramètres de conception.

### Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement

---

Un traitement primaire visant à assurer une relative uniformité dans la composition de l'alimentation est souhaitable, telles une décantation ou une filtration en amont.

### Domaines et exemples d'application

---

Les centrifugeuses sont des équipements largement utilisés en laboratoire comme dans l'industrie. Les applications sont très variées : fractionnement du sang, séparation du gluten de la farine, extraction de la crème du lait, fabrication d'explosifs, extraction de solvant de polymères, purification d'huiles, fabrication de médicaments, etc.

### Performances

---

Les caractéristiques du mélange à fractionner dictent la configuration, les dimensions et les paramètres d'opération des centrifugeuses. Les performances de ces équipements sont élevées, mais sensibles à la différence de densité des composants du mélange.

### *Applicabilité au PEPSC*

---

Utilisation courante dans l'industrie chimique et alimentaire ainsi que les stations d'épurations des eaux usées. N'a pas été testée par le CEMRS

### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Utilisée dans le projet de la Communauté urbaine de Montréal (CUM) qui consistait à exploiter un lieu d'enfouissement sanitaire à la Carrière Demix. L'équipement de captage était utilisé par centrifugation, les particules présentes dans les gaz de combustion.

Étape 3 : *Traitement*

Famille : *Biologique*

Technologie : **Biostimulation/Bioaugmentation**

**Fiche T-1**

---

### *Description*

---

La biostimulation/bioaugmentation est une technique de réhabilitation in situ utilisée pour le traitement des sols et/ou des eaux souterraines contaminés. Selon le type de contaminant et la faune bactérienne ciblés, la biostimulation peut avoir pour objectif de créer des conditions in situ aérobiques (riches en oxygène) ou anaérobiques (dépourvues ou pauvres en oxygène). La bioaugmentation a pour objectif d'augmenter la masse ou même d'introduire dans le milieu à traiter des organismes qui ont la capacité de dégrader certains des contaminants présents.

Cette approche consiste à fournir de l'oxygène, des nutriments, de l'humidité ou d'autres composés nécessaires aux micro-organismes du sol ou des eaux souterraines (bactéries, champignons, moisissures ou levures) afin d'accélérer les processus permettant la biodégradation des contaminants. Les amendements peuvent être administrés par un système d'aération forcé, par l'injection d'un liquide oxydant ou par l'utilisation de composés à relâchement progressif d'oxygène (ORC). Les nutriments peuvent être incorporés in situ sous forme solide, liquide ou gazeuse. Historiquement, la biostimulation aérobie a davantage été utilisée en présence de contaminants organiques, mais cette technologie a également été utilisée avec succès pour des contaminations par des inorganiques tel l'azote ammoniacal. L'utilisation de la biostimulation anaérobie (absence d'oxygène) pour traiter des contaminants organiques ou organochlorés est également courante.

Cette technologie permet la biodégradation des contaminants en composés moins toxiques tels que du dioxyde de carbone, de l'eau, du méthane, de l'azote et des sels inorganiques.

### *Application*

---

Permet de traiter la contamination des sols située dans la zone vadose et la zone saturée ainsi que la contamination dissoute dans les eaux souterraines. La biostimulation peut être utilisée autant dans la zone source qu'à l'intérieur et en bordure d'un panache de contamination.

*Type de traitement*

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> In situ                  | <input checked="" type="checkbox"/> Biologique | <input checked="" type="checkbox"/> Résorption |
| <input type="checkbox"/> Ex situ                             | <input type="checkbox"/> Physique              | <input type="checkbox"/> Contrôle              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination dissoute   | <input type="checkbox"/> Chimique              | <input type="checkbox"/> Thermique             |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination résiduelle |  |  |
| <input type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures   |  |  |

*État de la technologie*

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

*Contaminants ciblés*

Biostimulation aérobie,  $\text{NH}_4^+$ , HP C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>, HAM, HAP (avec restrictions), BPC (avec restrictions), créosote.

Biostimulation anaérobie : HP C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>, HAM, Hydrocarbures aliphatiques chlorés, chlorophénols, chlorobenzènes.

*Produits secondaires ou métabolites*

La biodégradation de l'azote ammoniacal produit des nitrites, lesquels s'oxydent pour produire des nitrates. Ces produits peuvent être problématiques dans la mesure où la Politique du MDDEP prévoit des concentrations seuils pour les nitrites et nitrates. Dans certains cas, la chaîne de dégradation de l'azote ammoniacal peut être poursuivie jusqu'à la production d'azote et d'hydrogène gazeux.

Les hydrocarbures aromatiques monocycliques et polycycliques ainsi que des hydrocarbures pétroliers ne génèrent habituellement pas de produits secondaires ou de métabolites nuisibles.

La biodégradation de certains contaminants, tels les hydrocarbures aliphatiques chlorés, peut générer des métabolites pouvant être plus toxiques que le produit d'origine, par exemple la déchlorination du dichloroéthène (DCE) en chlorure de vinyle (CV).

*Limitations de la technologie*

- Ne traite pas d'importants volumes de phases flottantes d'hydrocarbures;
- Une concentration trop élevée en contaminants dans les eaux souterraines peut être toxique pour les microorganismes et inhiber la biodégradation;
- Les sols doivent être suffisamment perméables pour permettre l'injection d'oxygène, de nutriments ou d'autres substances;

- En présence de concentrations élevées en fer ferreux ou en manganèse dissout dans les eaux souterraines, l'ajout d'oxygène peut provoquer la formation de précipités de fer et de manganèse lesquels peuvent causer un colmatage des équipements d'injection. De plus, la présence élevée de fer ou de manganèse dissout dans les eaux souterraines fait en sorte de consommer rapidement l'oxygène injecté et de réduire les rayons d'influence des puits;
- L'homogénéité de la formation géologique influe sur le taux de diffusion des amendements. Une formation homogène favorisera une bonne dispersion des amendements et conséquemment, un traitement plus efficace de la zone ciblée;
- Le pH des sols doit idéalement être en 6 et 8;
- Il peut être nécessaire de créer une circulation des eaux souterraines de sorte que les contaminants ne se déplacent pas hors des zones actives de biodégradation;
- Une caractérisation détaillée des conditions biologiques et physico-chimiques est requise pour bien comprendre les mécanismes de dégradation qui prévalent. Cette caractérisation peut impliquer, entre autres, le dénombrement de la population hétérotrophe totale et spécifique, des essais de minéralisation en microcosmes, des essais de biodégradation en bancs d'essais, des études de biologie moléculaire et une caractérisation des concentrations en oxygène dissout, métaux, nutriments, fer ferreux et manganèse dissout, pH, etc.

#### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

---

Pour les sols peu perméables, la fracturation pneumatique des sols permet une meilleure diffusion des amendements.

#### *Traitement secondaire requis*

---

Dans certains cas, la récupération des phases flottantes d'hydrocarbures combinée à la bioaugmentation in situ peut suffire à atteindre les objectifs de réhabilitation. Toutefois, les processus biologiques de dégradation in situ ne peuvent traiter tous les types de contaminants. Ainsi, en présence de contamination multiple, un procédé de traitement doit être envisagé pour traiter les contaminants qui ne seraient pas dégradés biologiquement (ex : sulfures, certains métaux, BPC et HAP).

#### *Performances*

---

Le temps nécessaire à la réhabilitation d'un site par biostimulation aérobie in situ est très variable. La revue de littérature montre que le temps de traitement se mesure en années avec des taux de réduction des concentrations des contaminants très variables.

### *Application lors des essais pilotes*

---

SANEXEN indique une période d'acclimatation de la population microbienne de plusieurs semaines avant les réactions de nitrification et de dénitrification. Le traitement in situ a permis de réduire d'environ 40 % les concentrations d'azote ammoniacal sur la période d'essai de huit (8) semaines.

### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

La Biostimulation à été utilisée à grande échelle de 2000 à 2003, sur : « Moss-American Site, Milwaukee, Wisconsin », au Kansas (contaminé pendant 50 ans par les activités industrielles), « Gilbert-Mosley, Wichita » et en Californie « Dow facility, Pittsburgh) pour traiter entre autres l'azote ammoniacale, le nitrate dans les eaux souterraines.

Commercialisée notamment sous les noms de : "IEG's GCW™ (Groundwater Circulation Well)" et « Funnel and Gate System with Biotreatment » et par Grace Bioremediation Technologies (Canada) sous le nom de bioremediation.

Étapes 3 : *Traitement*

Famille : *Biologique*

Technologie : **Bioréacteurs**

**Fiche T-2**

---

### *Description*

---

Les bioréacteurs sont des dispositifs de traitement ex situ des eaux souterraines. Le principe de base sur lequel s'appuie le fonctionnement des bioréacteurs consiste à augmenter la surface de contact entre les contaminants et les microorganismes aptes à les dégrader. La population microbienne peut être cultivée à partir d'un échantillon prélevé directement sur le site dans la zone source de contamination ou à partir d'un inoculum préparé en laboratoire spécifiquement pour les conditions du site.

Deux principaux types de bioréacteurs existent, ceux à base fixe, où la population microbienne repose sur un support inerte que l'on met en contact avec les eaux souterraines contaminées, ou les bioréacteurs à culture libre, où les microorganismes sont supportés par une matrice liquide ou boueuse.

La taille des bioréacteurs peut varier de plusieurs ordres de grandeur en fonction du volume d'eau contaminée à traiter. Dans tous les cas, les conditions environnementales à l'intérieur du bioréacteur doivent être contrôlées afin d'optimiser les taux d'activité biochimique des microorganismes.

---

### *Application*

---

Les bioréacteurs sont employés à plusieurs fins. Les principaux champs d'utilisation consistent au traitement des eaux usées municipales et industrielles et du lixiviat des sites d'enfouissement. De façon plus marginale, mais tout aussi efficace, les bioréacteurs sont utilisés pour le traitement des eaux souterraines et eaux de surface contaminées.

---

### *Type de traitement*

---

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> In situ                             | <input checked="" type="checkbox"/> Biologique | <input checked="" type="checkbox"/> Résorption |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ex situ                  | <input type="checkbox"/> Physique              | <input type="checkbox"/> Contrôle              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination dissoute   | <input type="checkbox"/> Chimique              | <input type="checkbox"/> Thermique             |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination résiduelle |  |  |
| <input type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures   |  |  |

---

### *État de la technologie*

---

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

### *Contaminants ciblés*

---

Les bioréacteurs sont utilisés pour traiter les contaminations par des hydrocarbures, qu'ils soient en émulsion ou en phase dissoute, incluant les organochlorés, dont les BPC. Les bioréacteurs peuvent également traiter la contamination en azote ammoniacal, par la méthode conventionnelle de nitrification/dénitrification employée pour le traitement des eaux usées municipales.

La traitabilité des métaux en phase dissoute par les bioréacteurs n'a pas été démontrée.

### *Produits secondaires ou métabolites*

---

Des boues résiduelles sont générées par les bioréacteurs.

La dégradation partielle des composés chlorés peut générer des composés secondaires toxiques (ex. : déchlorination du dichloroéthène en chlorure de vinyle).

### *Limitations de la technologie*

---

- Des concentrations trop élevées en contaminants vont inhiber la prolifération des consortiums bactériens;
- Les bioréacteurs fonctionnent à débits relativement faibles, pour permettre un temps de contact adéquat entre l'eau traitée et les microorganismes;
- La dilution des contaminants dans l'eau à traiter peut nécessiter l'ajout de nutriments afin de soutenir une densité microbienne suffisante;
- Le contrôle de la pollution de l'air peut être nécessaire si le procédé génère une volatilisation des contaminants;
- Des microorganismes indésirables peuvent coloniser les bioréacteurs et inhiber la croissance des microorganismes impliqués dans la biodégradation des contaminants;
- Les boues résiduelles des bioréacteurs peuvent être contaminées et nécessiter des mesures de gestion particulières.
- La température doit se situer au-dessus d'un seuil critique pour obtenir des rendements adéquats.

### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

---

- L'ajout de matériaux adsorbants, tel le charbon activé, dans la matrice de support biologique permet l'adsorption rapide des contaminants et leur libération progressive en vue d'une dégradation par les microorganismes;
- Le préchauffage de l'eau favorise les processus de dégradation;

- Des concentrations très élevées d'hydrocarbures pétroliers nécessitent une étape de prétraitement;
- Le retrait de métaux présents dans l'eau peut être nécessaire avant le traitement;
- La recirculation des effluents riches en bactéries et en oxygène dissous dans les eaux souterraines peut être utilisée de façon à promouvoir la biodégradation in situ;
- Dans le cas spécifique du PEPSC, les MES et le fer des eaux souterraines devraient être extraites de l'eau en amont des bioréacteurs, et ce, afin d'éviter le colmatage de l'unité.

#### *Traitement secondaire requis*

---

- Les bioréacteurs ne traitent pas les phases libres. Celles-ci doivent être récupérées en amont de ce procédé;
- Avant le rejet des eaux à l'effluent final et selon les critères de rejet, un traitement subséquent (ex. : polissage) peut être requis;
- Les boues résiduelles nécessitent, en général, un traitement pour accroître leur siccité.

#### *Performances*

---

Cette technologie donne des rendements adéquats dans les applications industrielles et municipales. Les essais pilotes ont confirmé ce fait.

#### *Application lors des essais pilotes*

---

SANEXEN a utilisé un biofiltre pour la réduction des concentrations en sulfures, la bio-oxydation de l'azote ammoniacal et dénitrification du nitrate et la DBO5  
Résultats : augmentation de nitrites/nitrates. Aucune dénitrification.

GOLDER (eMaMoc) a utilisé 6 bioréacteurs. Réduction des HP C10-C50, des BPC, des MES, l'azote ammoniacal, des métaux sauf baryum et sodium, fer, cuivre. Colmatage des réacteurs par précipités. Attention au relargage des métaux. Sensible à température froide. Dégazage de COV.

GOLDER (Multipoints) a utilisé 4 bioréacteurs. Réduction de l'azote ammoniacal, des HP C10-C50, des HAP, BPC. Sensible à température froide. Dégazage de COV.

### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Deux essais pilotes de traitement par bioréacteurs ont été réalisés sur le site du PEPSC. Le premier comprend deux bioréacteurs placés en série couplés à une unité de polissage installée en aval du procédé. Le second consiste en un train de traitement physique et biologique où interviennent des unités de filtration physique suivi d'un traitement biologique de l'eau souterraine.

Par ailleurs, cette technologie a été expérimentée pour la dépollution du sol de 2000-2002, des essais préliminaires sur l'emploi de l'extraction par solvant combinée au bioréacteur de séparation ont été effectués en deux phases pour le traitement d'HAP présents dans le sol. Le résultat obtenu a montré que les HAP peuvent être extraits à l'aide des solvants et que l'on pouvait dégrader dans le bioréacteur, les HAP bi- et tricycliques (Environnement Canada, rapport Biennal 2002, section 10.4).

Commercialisée sous le nom de Bioréacteurs.

Étape 3 : *Traitement*

Famille : *Biologique/Physique*

Technologie : **Marais filtrants évolués**

**Fiche T-3**

---

### *Description*

---

Les marais filtrants évolués (MFE) sont créés artificiellement pour traiter les contaminants présents dans les eaux pluviales et usées, l'eau de surface, les eaux souterraines, les eaux usées, les lixiviats de site d'enfouissement et les drainages miniers acides. Les MFE aspirent à reproduire, dans la mesure du possible, les conditions retrouvées dans les marais naturels qui agissent en quelque sorte comme filtre en raison de la riche population microbienne de leurs sédiments.

Il s'agit en fait d'un bioréacteur construit sur le site et qui a la configuration d'un marais. Un volume de milieu poreux (sable) est mis en place et il est colonisé par des microorganismes. L'eau traverse le marais en empruntant des chicanes et des buses d'injection d'air produisent des conditions aérobies qui font en sorte que l'azote ammoniacal est transformé en nitrates par action biologique. Les plantes n'ont qu'un effet marginal sur l'efficacité de l'ensemble.

À l'opposé des technologies de traitement plus conventionnelles qui peuvent ne cibler qu'une classe de contaminants, les MFE sont le foyer de processus multiples de dégradation symbiotiques et interdépendants qui permettent le traitement simultané de plusieurs types de contaminants.

Les MFE tolèrent les fluctuations des niveaux d'eau et de charge en contaminants. Ils peuvent être construits de façon à s'harmoniser avec le paysage environnant et offrent un habitat pour les plantes et animaux. De par leur nature, les MFE se veulent une approche de réhabilitation moins intrusive, d'apparence sensée et dont le bilan environnemental global paraît plus positif que d'autres technologies énergivores et invasives ce qui se traduit généralement par un plus grand potentiel d'acceptabilité par le public et les agences gouvernementales.

### *Application*

---

Eaux usées municipales et industrielles.

Pour le cas spécifique du PEPSC, un éventuel MFE serait strictement aménagé comme système de traitement des eaux souterraines. Celle-ci devrait alors au préalable être captée par pompage, débarrassée des hydrocarbures en phases flottantes avant d'être dirigée vers le MFE pour traitement.

### Type de traitement

---

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> In situ                             | <input checked="" type="checkbox"/> Biologique | <input checked="" type="checkbox"/> Résorption |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ex situ                  | <input checked="" type="checkbox"/> Physique   | <input type="checkbox"/> Contrôle              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination dissoute   | <input checked="" type="checkbox"/> Chimique   | <input type="checkbox"/> Thermique             |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination résiduelle |  |  |
| <input type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures   |  |  |

### État de la technologie

---

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

### Contaminants ciblés

---

Les MFE peuvent traiter une grande variété de contaminants organiques, inorganiques et peuvent également filtrer les matières colloïdales et en suspension dans l'eau. Bien qu'un même MFE puisse traiter divers types de contaminants, les mécanismes diffèrent d'une substance à l'autre. Une bonne compréhension des mécanismes de traitement qui prévalent permet d'établir un design adéquat et ainsi d'accroître les probabilités d'atteinte des objectifs de réhabilitation.

Cette technologie est en mesure de traiter l'azote ammoniacal et de faibles concentrations d'hydrocarbures et, si l'on ne tient pas compte d'un possible colmatage, de filtrer les MES et le fer.

### Produits secondaires ou métabolites

---

Les MFE ne génèrent pas en soi de produits secondaires ou métabolites. Néanmoins, puisqu'il peut y avoir accumulation de contaminants dans les végétaux, un contrôle des résidus végétaux (chute des feuilles à l'automne, végétaux morts, etc.) doit être instauré.

À la fin de la durée de vie active du MFE, la qualité des sédiments du marais doit faire l'objet d'une évaluation puisque c'est à cet endroit que le risque d'accumulation de contaminants est le plus significatif.

### Limitations de la technologie

---

- Dans le cas du PEPSC, il faut prévoir que durant la saison froide l'eau circule dans le marais à une profondeur suffisante pour que la température se maintienne au-dessus du seuil critique de conception;
- La durée du traitement peut être relativement longue par rapport à d'autres technologies;
- Cette technologie requiert une superficie importante de terrain. Toutefois, puisque dans le cas du PEPSC les eaux souterraines seraient pompées pour

être acheminées au MFE, celui-ci n'a pas à être positionné à un endroit spécifique du terrain, par exemple, directement en amont hydraulique du fleuve;

- Moins efficace pour les contaminants qui ont une forte propension à l'adsorption (ex. : BPC);
- La toxicité, l'écotoxicité et la biodisponibilité des contaminants emmagasinés dans les végétaux et leurs résidus ne sont pas toujours connues;
- Une concentration en contaminants trop élevée peut s'avérer toxique pour les végétaux;
- Un programme de gestion des végétaux et de leurs résidus doit être instauré;
- La présence de MFE pourrait devenir une source de prolifération d'insectes et d'émanation d'odeurs indésirables. Un contrôle et design adéquat permet généralement de minimiser l'effet de ces nuisances potentielles.

#### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

---

Les MFE en soi ne requièrent pas de technologies complémentaires et sont généralement autonomes et suffisants pour prendre en charge le traitement de l'eau. Soulignons toutefois que l'efficacité du traitement est intimement liée et très dépendante du design du MFE. Une excellente connaissance des conditions du site, du bilan hydrique et des processus de traitement qui vont prévaloir à l'intérieur du MFE est impérative au succès du traitement.

En présence d'objectifs de qualité restrictifs, lorsque la superficie libre pour un tel aménagement est limitée ou pour accélérer la durée du traitement, un traitement primaire des eaux souterraines peut être envisagé. Dans ces cas, les MFE jouent le rôle d'un traitement final (ou polissage).

#### *Traitement secondaire requis*

---

De façon générale, aucun traitement secondaire n'est requis. Néanmoins, un suivi de la qualité des divers médiums (végétaux, sédiments, eau traitée) doivent être instaurés pour vérifier l'efficacité du traitement et pour maintenir la santé écologique de système.

#### *Performances*

---

Les efficacités sont comparables à celles des bioréacteurs.

#### *Application lors des essais pilotes*

---

Testée avec succès lors des essais de traitabilité 2006-2007 (réf. 3).

*Exemple d'application, brevet et licence*

---

Technologie expérimentée en Ontario dans le projet « Coasts Paradise, Town of Dundas » et aux Etats-Unis : en Californie de 1981 à 1996 sur le site « City of San Diego » pour traiter les eaux souterraines.

Étape 3 : *Traitement*

Famille : *Chimique et/ou biologique*

Technologie : **Barrières réactives perméables**

**Fiche T-4**

---

### *Description*

---

Les barrières réactives perméables (BRP) sont des aménagements souterrains généralement installés perpendiculairement à l'écoulement des eaux souterraines. Elles sont constituées d'un matériau réactif qui permet l'adsorption, la dégradation ou la transformation d'un contaminant lorsque les eaux souterraines s'écoulent au travers de la barrière. Elles peuvent également être constituées d'un matériau favorisant la biodégradation des contaminants tels que la tourbe et le charbon activé granulaire ont de fortes capacités d'absorption. Il est toutefois possible que ces matériaux doivent être renouvelés périodiquement lorsqu'ils deviennent saturés. Des agents chélateurs ou du calcaire sont utilisés pour faire précipiter les métaux indésirables solubilisés dans les eaux souterraines.

Les BRP peuvent être installées dans une tranchée continue perpendiculaire à l'écoulement des eaux ou en utilisant un système en forme d'entonnoir qui dirige les eaux souterraines vers le matériau réactif.

Les BRP offrent l'avantage de nécessiter peu d'entretien une fois installé. Il n'y a pas d'équipements mécaniques ou de pièces à remplacer. Les BRP sont pratiquement invisibles, étant souterraines. Cette technologie est très peu énergivore puisqu'elle met à profit le mouvement naturel de l'eau souterraine.

---

### *Application*

---

Il s'agit d'une technologie récente qui donne de bons résultats, mais dont l'historique est de moins de 10 ans pour des installations à pleine échelle sur des problématiques semblables à celles sous étude. En outre, l'essai pilote portant sur l'essai d'une BPR sur le site du PEPSC n'a pas permis de lever les incertitudes quant aux effets d'une telle installation.

---

### *Type de traitement*

---

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> In situ                  | <input checked="" type="checkbox"/> Biologique | <input checked="" type="checkbox"/> Résorption |
| <input type="checkbox"/> Ex situ                             | <input type="checkbox"/> Physique              | <input type="checkbox"/> Contrôle              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination dissoute   | <input checked="" type="checkbox"/> Chimique   | <input type="checkbox"/> Thermique             |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination résiduelle |  |  |
| <input type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures   |  |  |

### *État de la technologie*

---

Démonstration                       Commercialisation

### *Contaminants ciblés*

---

Une grande variété de contaminants présents dans les eaux souterraines peut être traitée avec cette technique telle que les composés organiques chlorés (barrière réactive) et l'azote ammoniacal.

Efficacité non démontrée pour les BPC.

### *Produits secondaires ou métabolites*

---

Les produits secondaires générés par les BRP dépendent du type de contaminants présents dans les eaux souterraines et du type de matériau utilisé dans la barrière perméable. Les eaux souterraines en aval du traitement doivent être analysées afin de contrôler l'efficacité de la BRP mais également pour détecter la présence de produits secondaires.

À l'instar des autres technologies visant à oxyder l'azote ammoniacal, le produit formé par cette transformation sera en premier lieu des nitrites et secondairement des nitrates. Une éventuelle BRP devra tenir compte de la probable augmentation des concentrations de ces substances à la suite de l'oxydation de l'azote ammoniacal et prévoir un système de contrôle ou de dénitrification en aval hydraulique pour s'assurer du respect des critères de rejet.

### *Limitations de la technologie*

---

- L'épaisseur du panache de contamination peut constituer un obstacle à l'installation des BRP. Typiquement, celles-ci peuvent être installées jusqu'à une profondeur de l'ordre de 15 à 20 mètres;
- Risque de mobilité des contaminants;
- Certains matériaux utilisés dans les BRP (ex. : charbon, tourbe) peuvent perdre leur efficacité avec le temps, ce qui implique de remplacer périodiquement le matériau réactif;
- Cette technologie n'est pas recommandée lorsque le panache de contamination se situe dans l'argile ou le roc en raison de la faible perméabilité de ces unités;
- Un système de surveillance des eaux souterraines doit être mis en place;
- La configuration du site doit faire en sorte qu'il soit physiquement possible d'installer la BRP et les puits de surveillance en amont d'un récepteur humain ou environnemental potentiel;

- Longue durée du traitement;
- La barrière doit intercepter complètement le panache de contamination autant latéralement que verticalement.

#### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

---

Les phases flottantes d'hydrocarbures doivent être récupérées au moyen d'une autre technologie. À titre d'exemple, cette étape peut se faire au niveau de la première BRP laquelle, dans sa portion sommitale correspondant à la zone de fluctuation du sommet de la nappe, pourrait être constituée d'un matériau imperméable confinant les hydrocarbures. Des puits de récupération installés directement en amont permettraient la récupération de ces hydrocarbures.

Les barrières réactives/passives perméables peuvent être installées en série, dans un système appelé multicouche. Par exemple, la technique des barrières réactives/passives chimiques peut être combinée à des technologies de biorestauration telles que les barrières réactives biologiques.

#### *Traitement secondaire requis*

---

De façon générale, aucun traitement secondaire n'est requis. Néanmoins, un suivi de la qualité des eaux souterraines en aval hydraulique de la BRP doit être instauré pour vérifier l'efficacité de la barrière.

#### *Performances*

---

Plusieurs études et démonstrations ont été effectuées pour démontrer l'efficacité des barrières perméables réactives/ passives. Dans de nombreux cas, la technique fut efficace pour réduire la contamination selon les objectifs de restauration.

La performance est influencée par de nombreux facteurs comme la vitesse de l'écoulement souterrain, le colmatage possible du média filtrant, les variations de niveau de la nappe souterraine, etc.

#### *Application lors des essais pilotes*

---

GÉOPHASE a tenté d'utiliser certains principes de fonctionnement de la BRP dans une d'implantation d'une Zone réactive in situ. Des bactéries utilisées pour la nitrification de l'azote ammoniacal et de l'oxygène injectée pour précipiter le fer. Les résultats montrent la non-performance de l'essai.

### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Technologie utilisée en Australie sur le site «CSIRO Land and Water, Private Bag No. 5, Wembley 6913, Western Australia» et en Belgique pour réduire la contamination selon les objectifs de restauration et pour réduire au mieux, la quantité d'azote ammoniacal présente dans les eaux souterraines.

Commercialisée par GEO-CON, INC. sous le nom de « Permeable Reactive Barrier ».

Étape 3 : *Traitement*

Famille : *Biologique*

Technologie : **Phytoremédiation**

**Fiche T-5**

---

### *Description*

---

La phytoremédiation consiste à utiliser la capacité naturelle des plantes à extraire du milieu où elles vivent, à concentrer dans leurs tissus, à métaboliser ou à dégrader des composés chimiques pour améliorer la qualité des sols et des eaux souterraines. Dans le cas des eaux souterraines, des plantes grandes consommatrices d'eau agissent comme des pompes. Les racines peuvent puiser à quelques mètres dans le sol l'eau et les contaminants. Ces derniers peuvent être métabolisés (azote ammoniacal), accumulés dans les tissus (métaux) ou être dégradés dans la rhizosphère (hydrocarbures).

Avec les préoccupations récentes liées aux changements climatiques, la phytoremédiation connaît un intérêt grandissant puisque cette technologie permet d'améliorer la qualité environnementale d'un site à faible coût énergétique tout en favorisant la création d'espaces verts.

---

### *Application*

---

Cette technologie est appliquée sur une base commerciale à des sites qui sont inutilisés et libres pour des longues périodes de temps. Elle est souvent combinée à des aménagements paysagers et elle peut viser une contamination résiduelle qui n'a pas été complètement éliminée par un traitement antérieur.

---

### *Type de traitement*

---

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> In situ                  | <input checked="" type="checkbox"/> Biologique | <input checked="" type="checkbox"/> Résorption |
| <input type="checkbox"/> Ex situ                             | <input type="checkbox"/> Physique              | <input type="checkbox"/> Contrôle              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination dissoute   | <input type="checkbox"/> Chimique              | <input type="checkbox"/> Thermique             |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination résiduelle |  |  |
| <input type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures   |  |  |

---

### *État de la technologie*

---

- Démonstration                       Commercialisation

---

### *Contaminants ciblés*

---

La phytoremédiation a été utilisée comme technologie pour traiter virtuellement l'ensemble des groupes de contaminants existants, avec des niveaux de succès variables, notamment au niveau des eaux souterraines en raison de la profondeur

limitée que peuvent atteindre les racines dans la zone saturée. L'azote ammoniacal fait partie des contaminants qui ont été ciblés lors du traitement des eaux souterraines par phytoremédiation.

#### *Produits secondaires ou métabolites*

---

La phytoremédiation ne génère pas en soi de produits secondaires ou métabolites. Néanmoins, puisqu'il peut y avoir accumulation de contaminants dans les végétaux, un contrôle des résidus végétaux (chute des feuilles à l'automne, végétaux morts, etc.) doit être instauré.

La toxicité des végétaux utilisés en phytoremédiation pour les organismes qui s'en nourrissent et tout au long de la chaîne alimentaire n'est pas parfaitement établie et fait présentement l'objet d'études.

#### *Limitations de la technologie*

---

- Dans le cas du PEPSC, les principales limitations à l'utilisation de la phytoremédiation in situ comme technologie de traitement des eaux souterraines consistent en la profondeur et l'épaisseur du panache de contamination sous forme dissoute. À cela s'ajoute également le climat régional qui fait en sorte de restreindre l'activité biologique des plantes pendant une période significative de l'année;
- Une concentration en contaminants (hydrocarbures) trop élevée peut s'avérer toxique pour les végétaux;
- Dans certains cas, la phytoremédiation peut uniquement transférer les contaminants d'un médium à l'autre (ex. : eau-air);
- Peu efficace pour les contaminants qui ont une forte propension à l'adsorption (ex : BPC);
- La phytoremédiation requiert une superficie importante de terrain, notamment en amont d'un récepteur potentiel, pour que le traitement puisse être efficace;
- La toxicité, l'écotoxicité et la biodisponibilité des contaminants emmagasinés dans les végétaux et leurs résidus ne sont pas toujours connues;
- Longue durée du traitement;
- Un programme de gestion des végétaux et de leurs résidus doit être instauré.

#### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

---

L'ajout d'amendements visant à mobiliser les contaminants peut favoriser le traitement.

Des technologies telles la mise en place d'une barrière imperméable et la plantation d'arbres en amont qui agit comme des pompes et l'utilisation complémentaire de

technologies favorisant la volatilisation de contaminants (ex. : bioaspiration, bioventilation, désorption thermique) peut augmenter l'efficacité du traitement.

Le pompage mécanique des eaux souterraines contaminées et l'irrigation des plantes en surface avec l'eau constituent une alternative favorisant la mise en contact de l'eau contaminée avec les systèmes racinaires des végétaux et conséquemment, le traitement des eaux souterraines. C'est davantage dans ce contexte que la phytoremédiation pourrait être envisagée pour le PEPSC.

#### *Traitement secondaire requis*

---

De façon générale, aucun traitement secondaire n'est requis. Néanmoins, un suivi de la qualité des eaux souterraines en aval hydraulique du site de traitement par phytoremédiation doit être instauré pour vérifier l'efficacité du traitement.

#### *Performances*

---

La phytoremédiation in situ n'a pas démontré sa capacité pour traiter une contamination par l'azote ammoniacal en phase dissoute à une profondeur similaire à celle retrouvée au PEPSC. Un projet de recherche vient d'être initié par la Ville de Montréal qui a confié à l'Institut de recherche en biologie végétale un mandat sur cette question.

#### *Application lors des essais pilotes*

---

AUCUN

#### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Par ailleurs, la phytoremédiation a été initiée à pleine échelle en 1996 par « U.S. Geological Survey (USGS) » avec la coopération de « U.S. Air Force » sur le site de « Naval Air Station-Joint Reserve Base Carswell Field (NAS-JRB) » au Texas pour traiter les eaux souterraines.

Commercialisée par Geo-Con, inc. sous le nom de « Wetland Construction/ Phytoremediation ».

Étape 3 : *Traitement*

Famille : *Chimique*

Technologie : **Oxydation chimique**

**Fiche T-6**

---

### *Description*

---

L'oxydation chimique in situ consiste à injecter sous pression ou en mode gravitaire un liquide ou un gaz oxydant, généralement dans un aquifère, dans le but de transformer les contaminants du sol ou des eaux souterraines en composés chimiques moins ou non toxiques. L'oxydation chimique agit sur toutes les substances ayant un potentiel d'oxydation. Quatre types d'oxydants sont les plus couramment utilisés soit : le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) en combinaison avec le fer (réaction de Fenton), le permanganate ( $MnO_4^-$ ), le persulfate ( $S_2O_8^{2-}$ ) et l'ozone ( $O_3$ ). Le chlore est également un oxydant qui peut être utilisé pour oxyder l'azote ammoniacal.

L'oxydation chimique comme technologie de traitement peut être utilisée à diverses applications que ce soit en zone saturée et même comme traitement ex situ.

L'eau est généralement utilisée comme vecteur de transport des oxydants. Puisque le temps de contact entre l'oxydant et le médium contaminé constitue un des éléments clés du succès de cette technologie, le traitement par oxydation chimique des sols en zone vadose est moins approprié.

De façon simplifiée, l'oxydation chimique est un procédé au cours duquel l'état d'oxydation d'une substance est augmenté. À la suite de l'injection, l'oxydant est réduit en acceptant les électrons des composés ciblés et non ciblés présents dans le médium traité, qui se trouve alors lui-même oxydé. L'oxydation de ces composés favorise leur interaction avec d'autres éléments du milieu et les transforme ainsi en substances moins ou non toxiques. Bien que les composés inorganiques puissent également être oxydés et dégradés, cette technologie cible principalement les contaminants organiques.

---

### *Application*

---

L'oxydation chimique in situ permet la destruction des contaminants organiques. Cette technologie agit sur la phase aqueuse, adsorbée et sur la phase non aqueuse (phase flottante d'hydrocarbure) des contaminants. Néanmoins, la demande élevée en oxydant exigé pour dégrader les phases flottantes d'hydrocarbures fait en sorte que, dans la plupart des cas, il soit plus avantageux d'envisager d'autres méthodes de récupération/traitement de la phase flottante d'hydrocarbure que le traitement par oxydation chimique.

### Type de traitement

---

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> In situ                           | <input type="checkbox"/> Biologique          | <input checked="" type="checkbox"/> Résorption  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ex situ                           | <input type="checkbox"/> Physique            | <input type="checkbox"/> Contrôle               |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination dissoute            | <input checked="" type="checkbox"/> Chimique | <input checked="" type="checkbox"/> Thermique * |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination résiduelle          |  |   |
| <input checked="" type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures |  |   |

\*Note : La réaction de Fenton engendrée lors de l'utilisation du peroxyde d'hydrogène + fer comme oxydant est exothermique. La chaleur produite par la réaction stimule le transfert de masse des contaminants et l'activité microbienne.

### État de la technologie

---

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

### Contaminants ciblés

---

La plupart des oxydants utilisés traitent avec efficacité les hydrocarbures pétroliers, HAM, phénols, HAP, les organochlorés et les matières énergétiques. Certains oxydants ont également été utilisés avec succès pour dégrader les BPC (ozone, persulfate) et les pesticides (permanganate et persulfate).

Bien qu'aucune référence à l'utilisation de l'oxydation chimique in situ pour traiter une contamination par l'azote ammoniacal n'ait été trouvée, il n'est pas exclu qu'un tel traitement puisse être approprié pour le site du PEPSC sachant que la dégradation de l'azote ammoniacal est favorisée lors de conditions aérobiques (oxydantes). Toutefois, à l'instar des autres types de traitement s'appliquant à l'oxydation de l'azote ammoniacal, il est envisageable qu'une augmentation des concentrations en nitrates/nitrites résulte du traitement.

### Produits secondaires ou métabolites

---

L'oxydation chimique brise les chaînes de carbone des hydrocarbures pétroliers et les fragments sont transformés en dioxyde de carbone et en eau lorsqu'il y a minéralisation complète du contaminant. Cette transformation est irréversible. Cette technique accroît la quantité d'oxygène dissout dans les sols et les eaux souterraines contaminées ce qui peut favoriser la biodégradation des contaminants résiduels après le traitement d'oxydation.

La dégradation des contaminants par oxydation chimique peut engendrer des sous-produits toxiques selon la nature des contaminants dégradés. Des composés volatils peuvent aussi être dégagés lors des réactions chimiques d'oxydation.

Une augmentation des concentrations en métaux peut résulter du relâchement des impuretés présentes dans l'oxydant ou de la mobilisation, selon le pH du milieu des métaux présents dans la zone traitée.

### *Limitations de la technologie*

---

- Faisabilité non démontrée pour l'azote ammoniacal dans les eaux du PEPSC (par ozonation);
- Les sols doivent être suffisamment perméables pour permettre la diffusion adéquate de l'oxydant;
- Ne s'applique pas aux métaux;
- La demande naturelle en oxydant (DNO) du milieu doit être évaluée. Dans certains cas, la DNO est telle qu'il n'est pas avantageux d'utiliser cette technologie par rapport à une autre;
- Des précipités peuvent se former en présence de fortes concentrations en contaminants ce qui peut colmater les puits d'injection, réduire la perméabilité des sols ou provoquer l'encapsulation de contaminants adsorbés aux sols;
- Enjeux de santé-sécurité lors de la manipulation des réactifs;
- L'oxydation chimique peut affecter la population de micro-organismes du milieu et conséquemment la capacité du milieu à atténuer naturellement les concentrations résiduelles à la suite du traitement.

### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

---

La récupération des phases flottantes d'hydrocarbures préalablement au traitement par oxydation chimique est une première étape importante dans l'utilisation de cette technologie. Ceci aura pour effet de réduire la masse d'oxydant requise pour dégrader les contaminants. Pour les mêmes raisons, l'excavation des sols fortement contaminés (ex. : zone source) peut être envisagée.

Puisque l'oxydation chimique utilise les eaux souterraines comme voie de diffusion et cible donc l'horizon saturé, cette technologie peut être utilisée en combinaison avec une technologie permettant la réhabilitation des sols en zone vadose (ex. : bioaspiration ou bioslurping).

En présence de contamination mixte, l'alternance entre une technologie permettant la création d'un environnement aérobie, telle l'oxydation chimique, et une autre engendrant des conditions anaérobies (ex. : bioaugmentation) peut améliorer l'efficacité du traitement.

L'atténuation naturelle du milieu peut faire partie intégrante d'un procédé de traitement qui inclut l'oxydation chimique puisque cette technologie, à elle seule, ne permet pas la destruction totale des contaminants notamment dans les zones sources où de fortes concentrations sont présentes.

### *Traitement secondaire requis*

---

L'installation d'un système d'extraction des gaz peut être nécessaire si le traitement est effectué sous des zones habitées.

### *Performances*

---

L'efficacité de cette technologie est en grande partie fonction de l'efficacité à mettre en contact l'oxydant avec les contaminants dans l'aquifère. Une compréhension approfondie de la géologie et l'hydrogéologie du site est requise pour optimiser la diffusion de l'oxydant.

Dans le cas du PEPSC, c'est en application ex situ que cette technologie a été testée en essai de traitabilité et les résultats montrent que l'ozone n'est pas en mesure d'oxyder suffisamment l'azote ammoniacal présent dans l'eau.

### *Application lors des essais pilotes*

---

GENIVAR a testé l'oxygène et d'ozone comme agents oxydants pour la réduction de l'azote ammoniacal. Les résultats montrent que l'effet est très limité et non concluant dans le traitement de l'eau brute.

### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Technologie utilisée en 1996 au Canada, sur le site de « Canadian Forces Base Borden, Ontario Canada » pour traiter entre autres les hydrocarbures pétroliers, HAM phénols, HAP, les organos-chlorés et les matières énergétiques.

Commerçialisée par Eli Eco Logic International, Inc. (Canada) sous le nom de « Oxidation/Reduction »

Étape 3 : *Traitement*

Famille : *Chimique et physique*

Technologie : **Adsorption**

**Fiche T-7**

---

### *Description*

---

L'adsorption des contaminants en phase dissoute ou dans l'air au moyen de filtres adsorbants est une technologie employée dans les milieux industriels et municipaux depuis plusieurs décennies. Cette technologie est non destructive. Les médiums extraits du sous-sol par pompage sont acheminés vers une unité de traitement composée de matériau adsorbant. Les contaminants sont retirés de leur médium d'origine par adsorption et accumulés dans l'unité de traitement. Lorsque saturé, l'adsorbant peut être régénéré sur place, hors site ou encore éliminée hors site.

Différents matériaux peuvent être utilisés pour adsorber les contaminants et agissent avec une efficacité variable selon le type de contaminant :

1. Le charbon activé (CA) est le plus couramment utilisé. Son efficacité est reconnue pour adsorber les contaminants organiques tels que les hydrocarbures pétroliers, les composés organiques volatils et semi-volatils, les BPC, les explosifs ainsi que l'azote ammoniacal;
2. L'aluminium activé (AA) est produit par traitement du minerai d'aluminium (bauxite) rendu poreux et hautement adsorbant. L'AA est généralement utilisé pour filtrer les contaminants inorganiques des médiums liquides tels que les métaux lourds, le fluorure et l'azote ammoniacal;
3. L'éponge de lignine et l'argile peuvent être utilisées comme matériau filtrant pour les contaminants organiques et les métaux lourds en phase aqueuse;
4. Des résines synthétiques (RS) ont été développées pour adsorber divers contaminants spécifiques, tels que les métaux, les hydrocarbures pétroliers et les explosifs. Le RS peut permettre une meilleure sélectivité et un meilleur taux d'absorption que d'autres matériaux filtrants étant conçus pour traiter un type précis de contaminant. Les résines synthétiques sont régénérées au moyen de solutions acides, basiques ou de solvants.

### *Application*

---

Cette technologie est applicable aux contaminants en phase dissoute dans l'eau et aux phases gazeuses. Il s'agit d'une technologie de traitement ex situ. Le matériel adsorbant doit être renouvelé périodiquement.

S'applique principalement aux contaminants organiques, mais peut également s'avérer efficace pour certains métaux lourds et les explosifs.

L'adsorption peut être efficace pour traiter de faibles concentrations à divers débits d'injection. Pour les concentrations élevées, le débit doit être diminué ou le volume de matière adsorbante augmenté pour s'assurer d'un temps de contact adéquat entre le médium traité et le matériel adsorbant.

Le traitement par adsorption est couramment utilisé en combinaison avec une ou des technologies de traitement in situ ou ex situ générant des extraits gazeux (ex : volatilisation, barbotage, la bioventilation, etc.) pour en traiter les émissions gazeuses.

#### *Type de traitement*

---

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> In situ                           | <input type="checkbox"/> Biologique          | <input checked="" type="checkbox"/> Résorption |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ex situ                | <input checked="" type="checkbox"/> Physique | <input type="checkbox"/> Contrôle              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contamination dissoute | <input checked="" type="checkbox"/> Chimique | <input type="checkbox"/> Thermique             |
| <input type="checkbox"/> Contamination résiduelle          |  |  |
| <input type="checkbox"/> Phases flottantes d'hydrocarbures |  |  |

#### *État de la technologie*

---

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Démonstration | <input checked="" type="checkbox"/> Commercialisation |
|--|---|

#### *Contaminants ciblés*

---

Selon le matériau adsorbant utilisé, une large gamme de contaminants peut être traitée par adsorption dont les principaux contaminants retrouvés historiquement au PEPSC, comme les hydrocarbures, les métaux et l'azote ammoniacal.

#### *Produits secondaires ou métabolites*

---

Aucun

#### *Limitations de la technologie*

---

- Non applicable pour le traitement des phases flottantes d'hydrocarbures;
- La présence de contaminants multiples peut affecter l'efficacité du traitement;
- Des essais à l'échelle pilote sont généralement requis pour évaluer l'efficacité du traitement et estimer la consommation du matériau filtrant;
- Généralement, l'efficacité du traitement diminue radicalement lorsque le matériau filtrant atteint son point de saturation. Le taux de saturation doit être préétabli et le remplacement de l'adsorbant doit être effectué avant qu'il

- n'atteigne son point de saturation pour éviter que les contaminants ne soient rejetés à l'environnement;
- En présence de concentrations élevées, le remplacement fréquent du matériau adsorbant peut s'avérer contraignant et coûteux;
  - Le niveau de performance est intimement lié au type, à la qualité et à la porosité de matériau adsorbant utilisé ainsi qu'à la température d'utilisation. Les fournisseurs devraient être consultés lors du processus de sélection du matériau adsorbant;
  - Le CA utilisé pour le traitement des métaux et des explosifs ne peut être régénéré;
  - Les contaminants très solubles ou formés de petites molécules (ex. : chlorure de vinyle) sont difficilement adsorbés;
  - En phase gazeuse, un taux d'humidité élevé peut se traduire par la saturation précoce du matériau filtrant.

#### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

---

Un système de séparation des phases flottantes d'hydrocarbures et des phases aqueuses ainsi qu'une unité de filtration des particules solides peut être installé en amont de l'unité de traitement par adsorption. Dans le cas spécifique du PEPSC, les hautes concentrations en MES et en fer des eaux souterraines devraient être réduites de l'eau en amont d'un procédé de traitement par adsorption, et ce, afin d'éviter son colmatage et de prolonger la durée de vie utile de l'unité;

Un traitement primaire peut être approprié pour traiter la majeure partie de la charge en contaminant afin de réduire la consommation de matériau adsorbant. Dans ces cas, le traitement par adsorption est ensuite utilisé pour le polissage du médium traité;

Un système de déshumidification de l'effluent gazeux peut être installé en amont du matériau adsorbant si requis.

#### *Traitement secondaire requis*

---

Cette technologie est généralement utilisée en aval de traitements secondaires comme polissage avant le rejet des médiums à l'environnement ou aux égouts municipaux. Dans ces cas, le traitement par adsorption ne nécessite aucune intervention subséquente autre que le contrôle périodique des effluents pour s'assurer de l'atteinte des objectifs de traitement.

#### *Performances*

---

En condition optimale, le traitement par adsorption peut réduire à des niveaux indétectables la charge de contaminant initiale.

Les coûts associés à cette technologie peuvent varier significativement en fonction des conditions propres à chaque site puisqu'ils sont principalement tributaires du taux de consommation du matériau filtrant. Une évaluation spécifique à chaque site doit être complétée.

#### *Application lors des essais pilotes*

---

SANEXEN a utilisé un module Ultrasorption MD pour l'enlèvement des contaminants organiques sous forme colloïdale; un module CAG pour les composés organiques dissous; un module échange ionique sur zéolite pour l'azote ammoniacal, le strontium et le baryum dissous.

GOLDER (multipoints) a utilisé un module CAG et filtre à sac (1µm) les métaux et les composés organiques (après bioréacteurs). Suivi d'un module de traitement de l'alcalinité et pH.

#### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Selon Innovative Treatment Technologies de novembre 1996, cette technologie a été utilisée sur « Pease Air Force Base, Newington » de New Hampshire pour traiter entre autres les contaminants des eaux souterraines en phase dissoute et en phases gazeuses.

Commercialisée par Roland Turner sous le nom de : Adsorption «Ambersorb<sup>R</sup> 563 adsorbent».

Étape 3 : *Traitement*

Famille : *Physique*

Technologie : **Ultrafiltration et nanofiltration**

**Fiche T-8**

### *Description*

---

La nanofiltration (NF) est une technologie membranaire dont le fonctionnement et la configuration sont très similaires à l'osmose inverse. Le procédé est semblable aux autres techniques de séparation membranaire en ce sens que la pression est utilisée pour forcer le passage de l'eau à travers une membrane semi-perméable pour en retirer les contaminants. La membrane de nanofiltration retient prioritairement les ions divalents et les grosses molécules ainsi que les sels et les métaux lourds dont la taille est supérieure à 1 nm.

Par comparaison avec l'osmose inverse, la nanofiltration nécessite une pression moindre, généralement inférieure à 7 bars, permettant une réduction de la consommation d'énergie par rapport à une installation identique d'osmose inverse.

En plus de permettre un enlèvement des particules et des macromolécules comme en ultrafiltration, les membranes de NF sont conçues pour assurer un enlèvement poussé des ions multivalents ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ) ce qui fait de la NF un bon choix pour le traitement des eaux souterraines en vue de l'alimentation en eau potable. La NF permet aussi un enlèvement poussé de la matière organique et donc une forte réduction de la concentration en carbone organique total (COT).

### *Application*

---

La nanofiltration est principalement utilisée dans les procédés de purification d'eau, tels que l'enlèvement de la dureté (adoucissement) et l'élimination de contaminants à l'état de traces.

Dans les procédés industriels la nanofiltration est utilisée pour éliminer des composants particuliers comme des agents colorants, des pesticides, des métaux lourds, les ions multivalents métalliques, l'azote ammoniacal ou des nitrates. On trouve aussi des applications dans l'industrie pharmaceutique et alimentaire.

### *Type de traitement*

---

In situ  
 Ex situ

Biologique  
 Physique

Résorption  
 Contrôle

- Contamination dissoute                       Chimique                       Thermique  
 Contamination résiduelle  
 Phases flottantes d'hydrocarbures

#### *État de la technologie*

---

- Démonstration                       Commercialisation

#### *Contaminants ciblés*

---

Matières en suspension, métaux dissous, ions multivalents, azote ammoniacal, faibles quantités d'huiles en suspension dans l'eau.

#### *Produits secondaires ou métabolites*

---

Aucun.

#### *Limitations de la technologie*

---

Les essais de traitabilité réalisés sous l'égide du CEMRS permettent de penser que le procédé de nanofiltration est en mesure de traiter la problématique du PEPSC moyennant qu'il soit intégré dans un train de traitement comprenant entre autres un module pour extraire les phases flottantes ainsi qu'une unité pour traiter le concentrat ultime en résidu solide qui représente environ 0,2 % en poids de l'eau traitée.

#### *Technologie complémentaire améliorant l'efficacité du traitement*

---

L'ultrafiltration peut aussi être appliquée comme prétraitement de l'eau avant une nanofiltration ou une étape d'osmose inverse.

Un système de séparation des phases flottantes d'hydrocarbures et des phases aqueuses ainsi qu'une unité de filtration des particules solides doit être installé en amont de l'unité de traitement par nanofiltration.

#### *Traitement secondaire requis*

---

Aucun.

#### *Performances*

---

En condition optimale, le traitement par nanofiltration peut réduire à des niveaux quasi indétectables la charge de contaminants ciblés. Ainsi, les essais de

traitabilité ont montré que les concentrations d'azote ammoniacal, des métaux et des MES pouvaient être réduits bien en deçà des limites d'écotoxicité.

#### *Application lors des essais pilotes*

---

Testée avec succès lors des essais de traitabilité 2006-2007 (réf. 3).

#### *Exemple d'application, brevet et licence*

---

Technologie utilisée sur le site du C.E.T de FroidChappelle (situé à proximité du bassin d'orage et des unités de valorisation de biogaz) en 1996, pour le traitement de l'eau. Les lixiviats étaient pompés et traités à l'extérieur du site. Succinctement, ce procédé d'épuration des lixiviats mis en œuvre au niveau de la STEP comportait un traitement biologique, une séparation (ultrafiltration) sur membrane et un traitement physico-chimique par coagulation. Ce site est fonctionnel depuis 2002 et une station y a été bâtie.

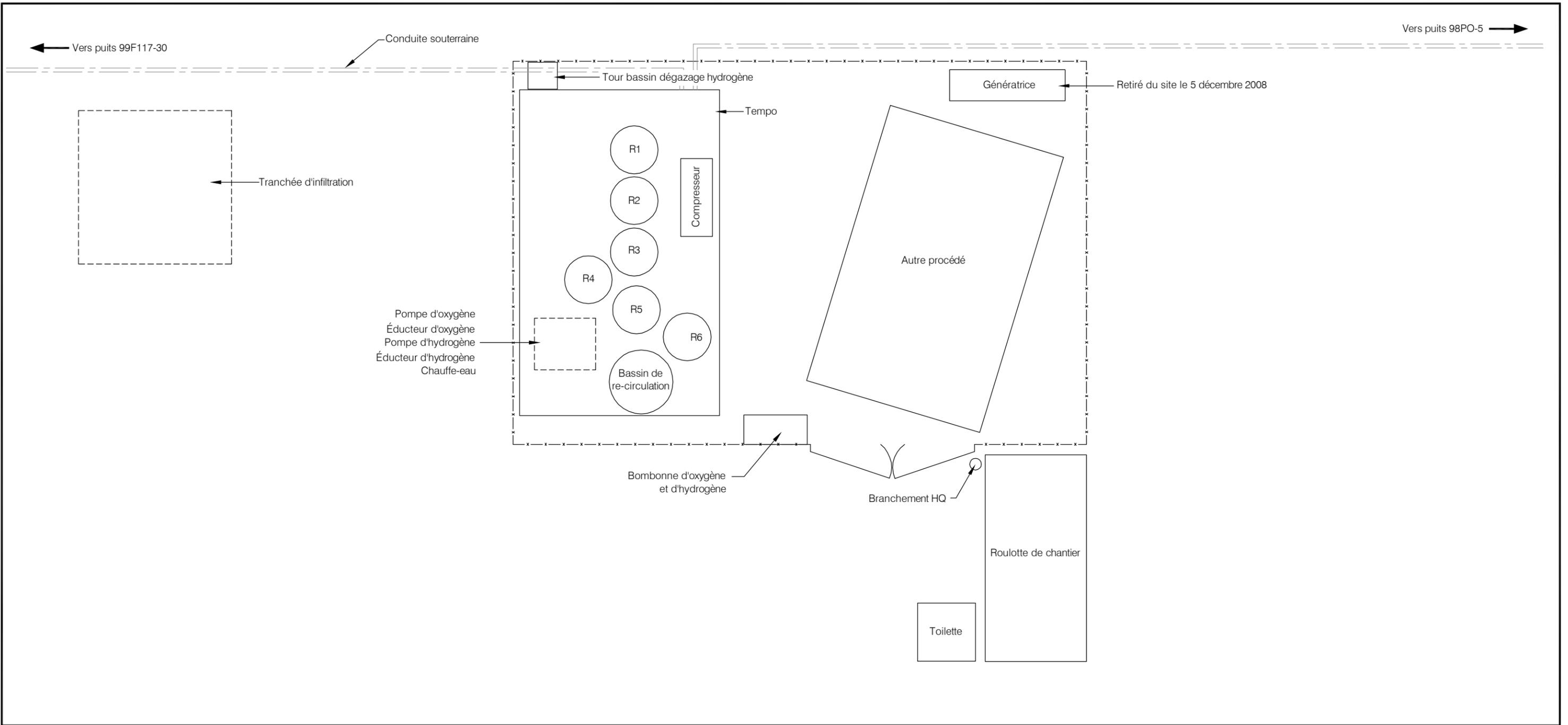
## **ANNEXE G**

### **SCHÉMA D'AMÉNAGEMENT DES PROCÉDÉS ET PHOTOGRAPHIES DES TRAINS TECHNOLOGIQUES**

## **Annexe G-1**

**Processus *eMaMoc* de Golder**

**Schéma d'aménagement et photographies de l'essai pilote**



RUE MARC-CANTIN



**Golder Associés**  
9200, boul. de l'Acadie, bureau 10  
Montréal (Québec) H4N 2T2  
Tél.: (514) 383-0990 Fax: (514) 383-5332

Date:	2009-04-30	Échelle:	1 : 100
Dessiné par:	M. Binette	Projeté par:	P. Thériault
Vérifié par:	S. Hains	Approuvé par:	C. Gosselin
No. de dessin:	0812230060-02	No. de projet:	08-1223-0060

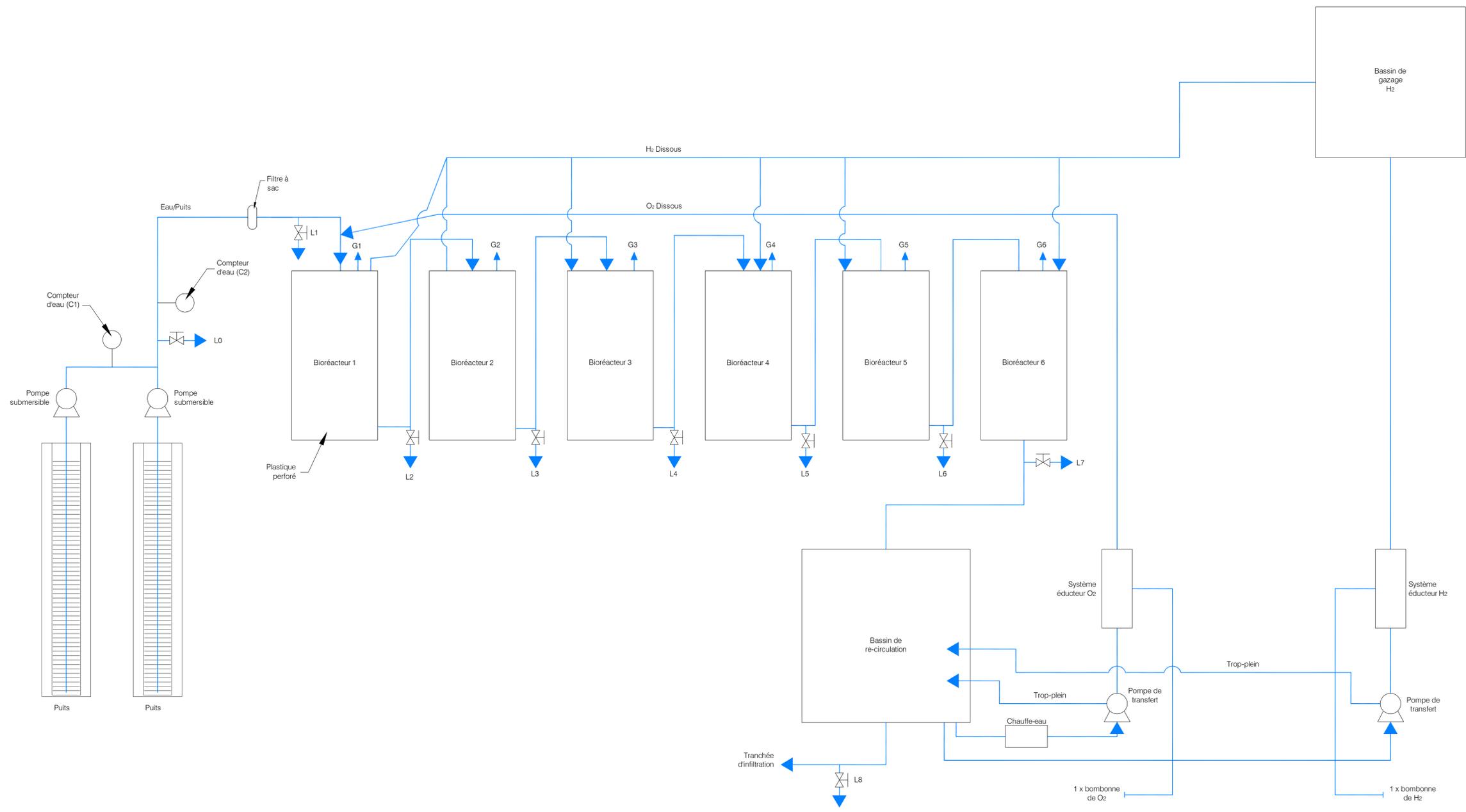
**CEMRS**  
Centre d'excellence de Montréal  
en réhabilitation de sites

**MCEBR**  
Montréal Centre of Excellence  
in Brownfields Rehabilitation

ANALYSE, IDENTIFICATION ET RECOMMANDATIONS DE SOLUTIONS POUR LE CAPTAGE ET LE TRAITEMENT DES EAUX SOUTERRAINES ET DES PHASES FLOTTANTES D'HYDROCARBURES AU PARC D'ENTREPRISES DE LA POINTE SAINT-CHARLES (PEPSC)

DISPOSITION DES ÉQUIPEMENTS

FIGURE 2



Analyses chimiques:

Maxxam Analytiques:

- L1 & L8: Ammoniaque, nitrates, nitrites, HAP, C10-C50, métaux
- L8: Toxicité: Truite-arc-en-ciel, CL50, 96hr, Daphnia magna, CL50-48hr (avant permutation puits et fin)

Golder:

- L1 → L7: Ammoniaque, nitrates, nitrites, DO, pH, redox, température
- G1 → G6: CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>

Note:

- Contaminants traités dans chaque bioréacteur:
  - Ammoniaque
  - Nitrate
  - Nitrite
  - C10-C50
  - HAP
- Volume Bioréacteur 1 à 6: HDPE 1000 L
- Volume Bassin Re-Circulation: HDPE 2000 L

Légende:

- Valve à bille
- Valve à pointeau

<b>ANALYSE, IDENTIFICATION ET RECOMMANDATIONS DE SOLUTIONS POUR LE CAPTAGE ET LE TRAITEMENT DES EAUX SOUTERRAINES ET DES PHASES FLOTTANTES D'HYDROCARBURES AU PARC D'ENTREPRISES DE LA POINTE SAINT-CHARLES (PEPSC)</b>		
<b>SCHÉMA DE PROCÉDÉ</b>		
No. DE PROJET:	08-1223-0060	DATE:
No. DE FICHER:	0812230060-01A	ÉCHELLE:
DESSINÉ:	M. Binette	
PROJETÉ:	P. Thériault	
VÉRIFIÉ:	S. Hains	
APPR:	C. Gosselin	





PHOTO 1 : VUE DE L'INSTALLATION DU SYSTÈME DE TRAITEMENT EMAMOC

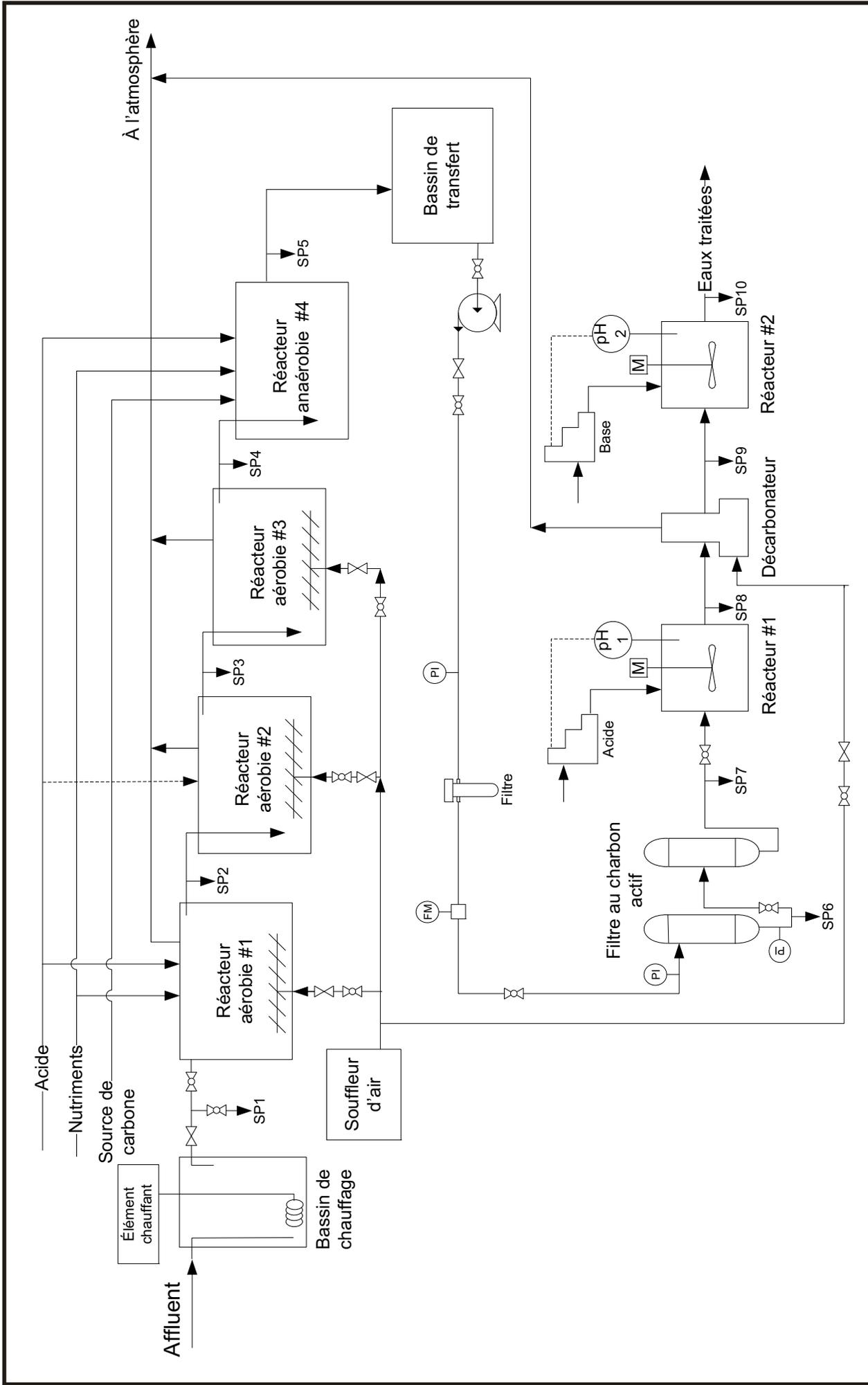


PHOTO 2 : VUE DU BASSIN DE RECIRLUTATION ET DES BIORÉACTEURS

## **Annexe G-2**

**Processus *Multi-points* de Golder**

**Schéma d'aménagement et photographies de l'essai pilote**



TITLE

Diagramme de procédé de l'unité pilote  
Tel que construite

CLIENT/PROJET	BIOTRAITEMENT DES EAUX SOUERRAINES TOXIQUES PAR UN PROCÉDÉ BIOLOGIQUE (MULTI-POINTS)		
DRAWN	BDH	DATE	11/17/08
CHECKED	REH	SCALE	Pas à l'échelle
REVIEWED	KWC	FILE NO.	N:\Activ\2008\1223\08-1223-0061-Techno-Parc-Procédé Denver\Rapport\Rapport francais\figure 1_vsd
		JOB NO.	08-1223-0061
		DWG. NO.	NA
		FIGURE NO.	1





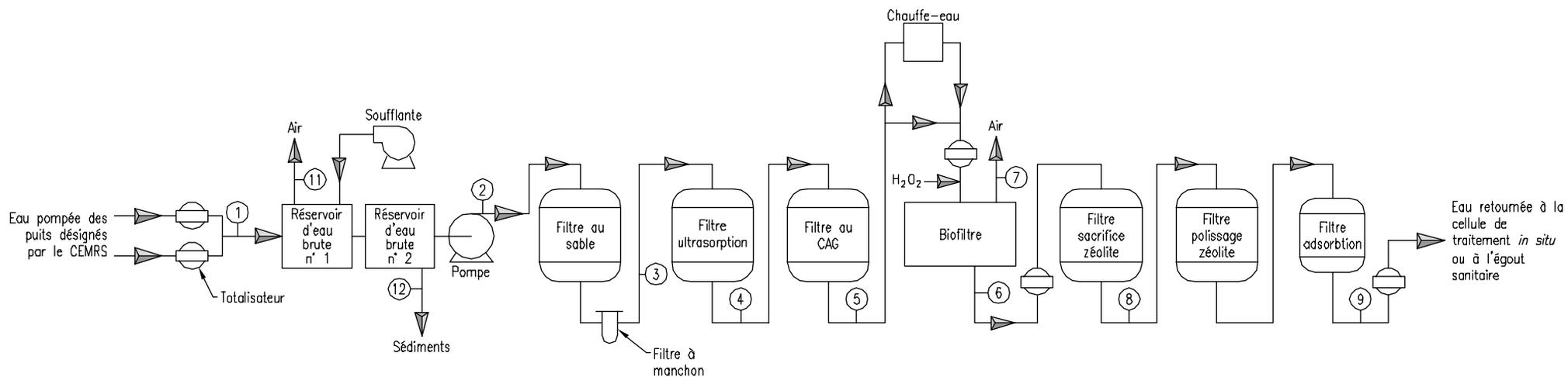
PHOTO 3 : VUE DES INSTALLATIONS POUR LE POMPAGE DES EAUX BRUTES POUR LE TRAIN DE TRAITEMENT *MULTI-POINTS*



PHOTO 4: VUE DU MONTAGE DES ESSAIS PILOTES POUR LE SYSTÈME DE TRAITEMENT *MULTI-POINTS*

## **Annexe G-3**

**Processus *Biologie et Filtration* de Sanexen  
Schéma d'aménagement et photographies de l'essai pilote**



### ÉTAPES DE PROCÉDÉ

Réservoir d'eau brute n° 1 : précipitation du fer

Réservoir d'eau brute n° 2 : décantation des floccs d'oxyde de fer

Filtre au sable et filtre à manchon : enlèvement des MES

Filtre Ultrasorption : enlèvement des colloïdes organiques

Filtre adsorption (CAG) : enlèvement des contaminants organiques soluble

Biofiltre : enlèvement de l'azote ammoniacal

Filtres de zéolite : enlèvement de l'azote ammoniacal et des cations

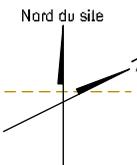


Figure 1B  
Système de traitement *ex situ* d'eau souterraine  
ESSAIS PILOTES  
TRAITEMENT DES EAUX SOUTERRAINES ET DE LA  
PHASE FLOTTANTE

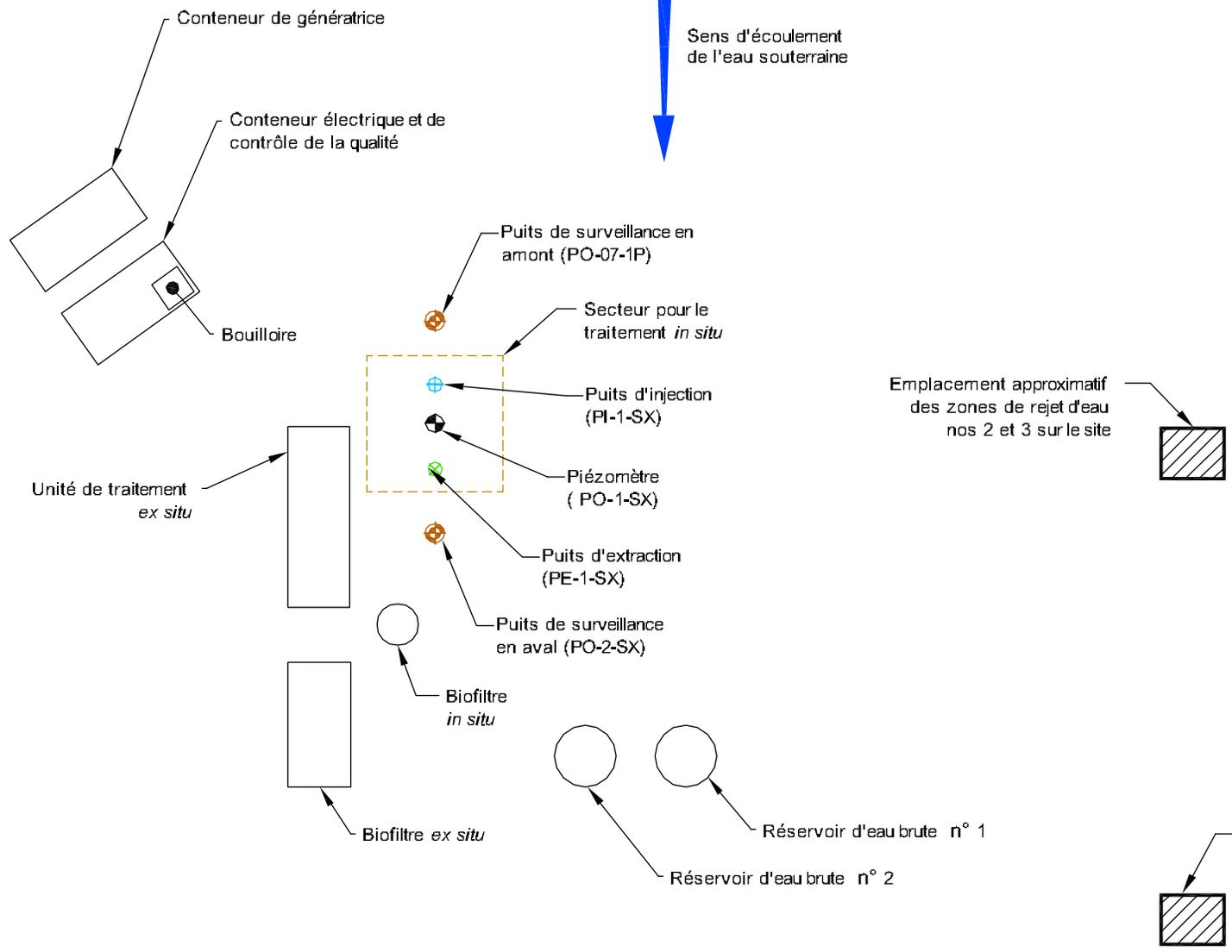
Echelle : Comme indiqué	Date de conception : 2008-08-14	Date de révision : 2009-01-09
Dessiné par : J. Bergeron	Vérifié par : M. Beaudoin	Approuvé par : J. Paquin
Projet no : RA08-272-1	Dessin no : RA08-272-1-15	onglet : A
	Référence géodésique :	
	Aucune	Aucune



rue Marc-Cantin



rue Ferdinand-Séguin



Sens d'écoulement de l'eau souterraine

Figure 3  
 Schéma d'aménagement pour les essais pilote au site du PEPSC  
 ESSAIS PILOTES  
 TRAITEMENT DES EAUX SOUTERRAINES ET DE LA PHASE FLOTTANTE

Échelle : Aucune échelle	Date de conception : 2008-12-09		Date de révision : 2009-03-27	
	Dessiné par : J. Bergeron		Vérifié par : É. Bélisle-Roy	
Projet no : RA08-272-1	Dessin no : RA08-272-1-16	Dnglet : A	Approuvé par : J. Paquin	
			Référence géodésique : Aucune      Aucune	



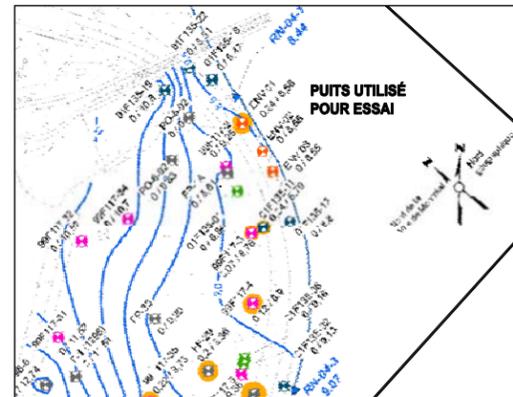
PHOTO 5 : VUE D'ENSEMBLE DES INSTALLATIONS EFFECTUÉS PAR SANEXEN



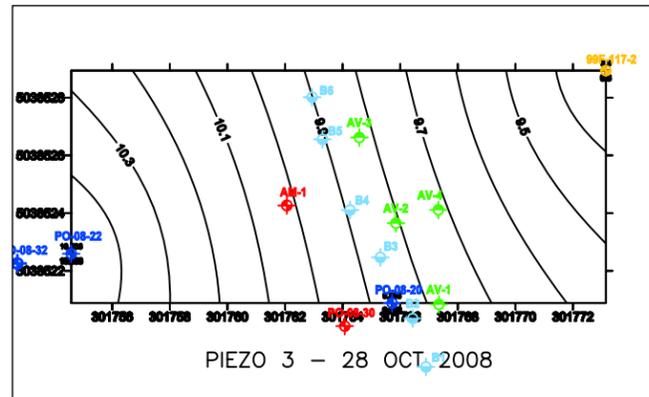
PHOTO 6 : VUE DES UNITÉS DE FILTRATION

## **Annexe G- 4**

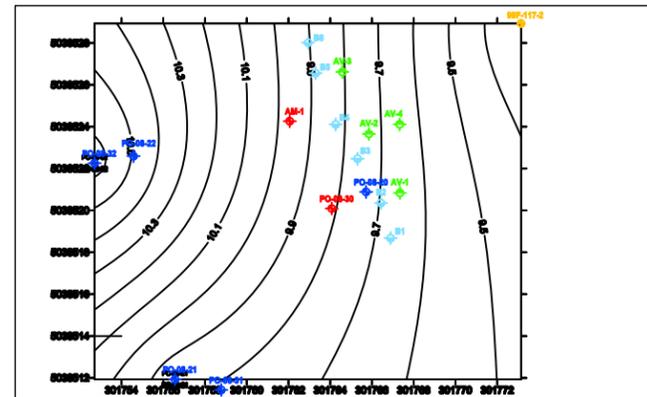
**Schéma d'aménagement et photographies de l'essai pilote  
Processus *Zone Réactive in situ* de Géophase**



ÉCOULEMENT RÉGIONAL  
(tiré de SNC-LAVALIN, 2005)



ÉCOULEMENT LOCAL 1  
PIEZO 3 - 28 OCT. 2008



ÉCOULEMENT LOCAL 2



NORD GÉOGRAPHIQUE

AUTOROUTE BONAVENTURE

FLEUVE ST-LAURENT

LAMPADAIRE

REGARD

LAMPADAIRE

ROULOTTE DE CHANTIER

PLAN CLÉ 1 : 1 000

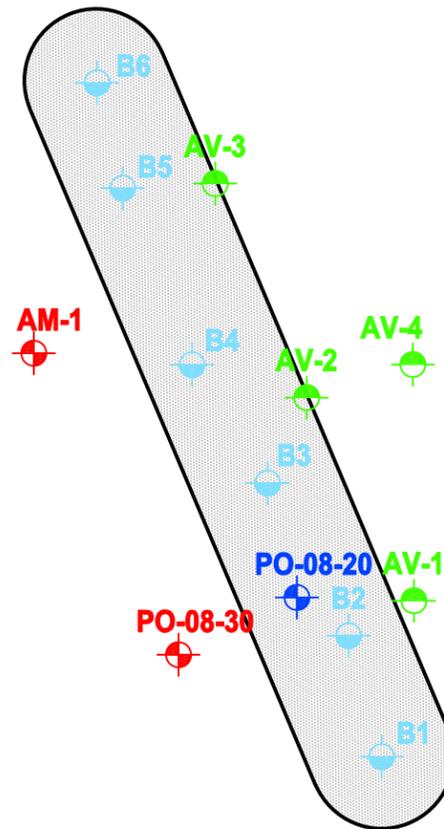


NORD GÉOGRAPHIQUE

FLEUVE ST-LAURENT

PO-08-32 PO-08-22

ÉCOULEMENT RÉGIONAL  
ÉCOULEMENT MÉDIAN  
ÉCOULEMENT LOCAL 1  
ÉCOULEMENT LOCAL 2



99F-117-2

LÉGENDE :

- PO-08-22 PUIITS D'OBSERVATION (GÉOPHASE 2008)
- 99F-117-2 PUIITS D'OBSERVATION (AUTRES FIRMES)
- AM-1 PUIITS D'OBSERVATION AMONT (GÉOPHASE 2008)
- B-1 PUIITS DE POMPAGE ET D'INJECTION (GÉOPHASE 2008)
- AV-1 PUIITS D'OBSERVATION AVAL (GÉOPHASE 2008)
- CLÔTURE
- 8,87 COURBE ISOPIÈZE (m)
- 8,841 NIVEAU D'EAU (m)
- DIRECTION D'ÉCOULEMENT DE L'EAU SOUTERRAINE
- ZONE RÉACTIVE

Projet  
**CENTRE D'EXCELLENCE DE MONTRÉAL EN RÉHABILITATION DE SITES**  
ZONE RÉACTIVE IN SITU – ESSAI PILOTE-PEPSC

Titre  
**FIGURE 3**  
**PIEZOMÉTRIE - RELEVÉ 28 OCTOBRE 2008**

**DESSAU** Dessau inc.  
1080, Côte du Beaver Hall, bureau 300  
Montréal (Québec) H2Z 1S8  
Téléphone : 514.281.1010  
Télécopieur : 514.798.8790

Préparé <b>N. Sbarato</b>	Discipline <b>Environnement</b>	Chargé de projet <b>M. Cadotte</b>
Dessiné <b>C. Simard M.</b>	Échelle <b>1 : 100</b>	Extrait de: Rév.:
Vérifié <b>M. Cadotte</b>	Date <b>2009-04-07</b>	

Proj. No	Lot	Sous-Lot	Disc.	No Dessin	Rév.
<b>049 P020395</b>	<b>0100</b>	<b>000</b>	<b>IS</b>	<b>0903</b>	<b>00</b>

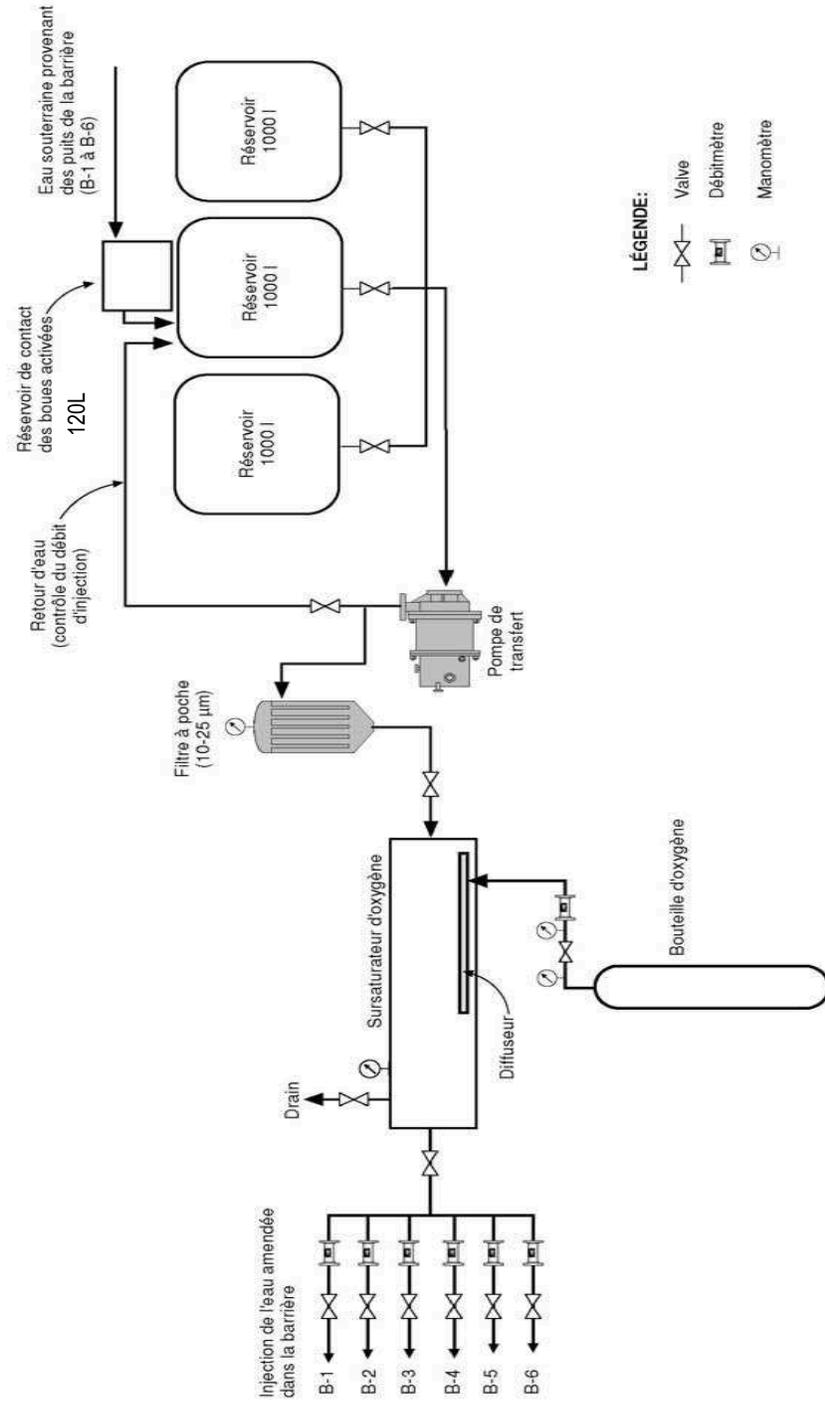
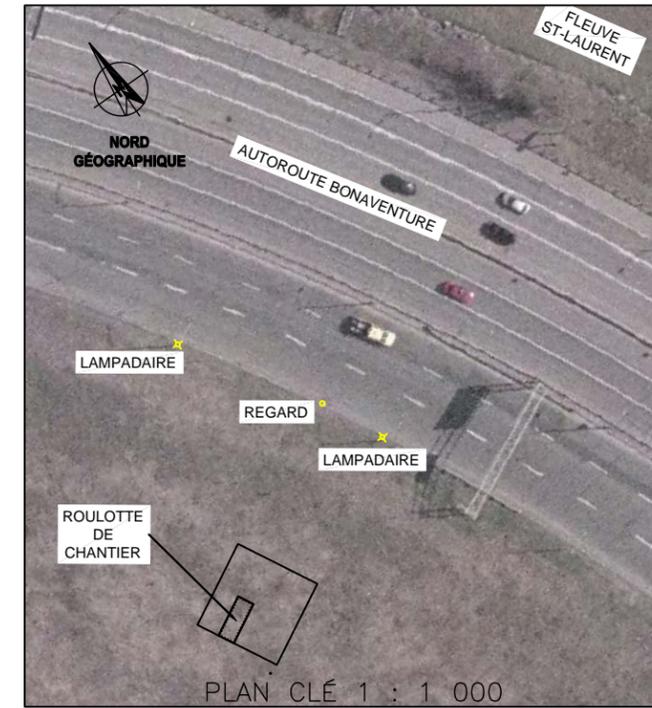
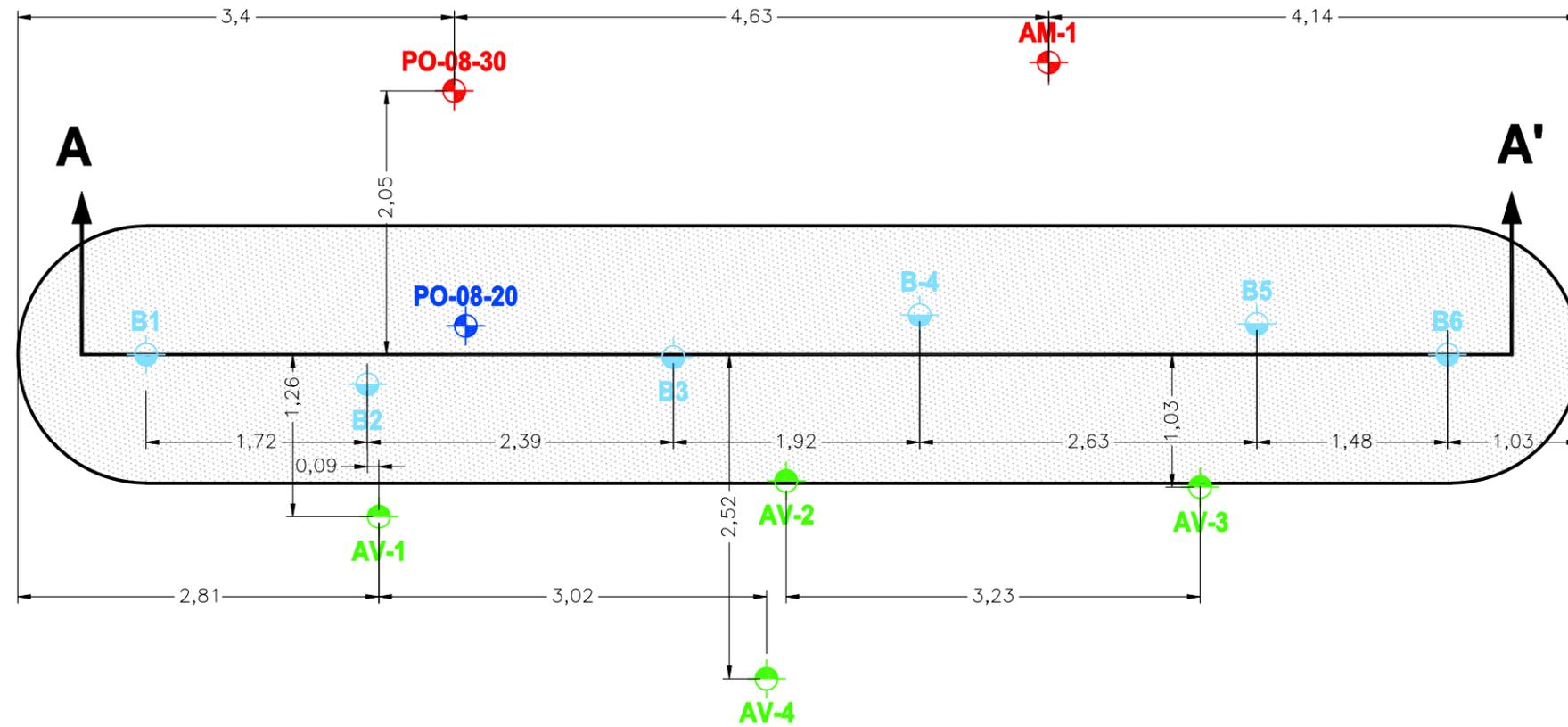


Figure 4 : Schéma de procédé du système de traitement



NORD GÉOGRAPHIQUE

ÉCOULEMENT - 17 NOV. 2008



LÉGENDE :

- **PO-08-20** PUIIS D'OBSERVATION (GÉOPHASE 2008)
- **AM-1** PUIIS D'OBSERVATION AMONT (GÉOPHASE 2008)
- **B-1** PUIIS DE POMPAGE ET D'INJECTION (GÉOPHASE 2008)
- **AV-1** PUIIS D'OBSERVATION AVAL (GÉOPHASE 2008)
- DIRECTION D'ÉCOULEMENT DE L'EAU SOUTERRAINE - 17 NOV. 2008
- ZONE RÉACTIVE

Projet  
**CENTRE D'EXCELLENCE DE MONTRÉAL  
 EN RÉHABILITATION DE SITES**  
 ZONE RÉACTIVE IN SITU -  
 ESSAI PILOTE-PEPSC

Titre  
**FIGURE 5  
 AMÉNAGEMENT DE LA BARRIÈRE  
 VUE EN PLAN**

**DESSAU** Dessau inc.  
 1080, Côte du Beaver Hall, bureau 300  
 Montréal (Québec) H2Z 1S8  
 Téléphone : 514.281.1010  
 Télécopieur : 514.798.8790

Préparé <b>M. Richard</b>	Discipline <b>Environnement</b>	Chargé de projet <b>M. Cadotte</b>	
Dessiné <b>C. Simard M.</b>	Échelle <b>1 : 50</b>	Extrait de: <b>Rév.:</b>	
Vérifié <b>M. Cadotte</b>	Date <b>2009-04-07</b>		

Proj. maître	Projet	Lot	Sous-Lot	Disc.	N° Dessin	Rév.
	<b>049 P020395</b>	<b>0100</b>	<b>000</b>	<b>IS</b>	<b>0905</b>	<b>00</b>

Fichier: G:\049\PO20395\_Pilote\_Technoparc\Z5\_CAD\Activ\100\049-P020395-0100RE0902-00.dwg



PHOTO 9 : VUE DES INSTALLATIONS POUR LE PROCESSUS DE TRAITEMENT DE LA ZONE RÉACTIVE IN SITU



PHOTO 10 : VUE SUR LES PROCEDURES D'ÉCHANTILLONNAGE RÉALISÉES PAR GÉOPHASE