

## NOTE

**DATE :** **Le 31 mai 2011**

**DESTINATAIRE :** M. Réal Vaudry  
Travaux publics et Services  
gouvernementaux Canada

**PRÉPARÉ PAR :** **Bruno Vallée, géogr., M.Sc.**  
**Fonction :** Dessau inc.  
Chargé de discipline – Sédiments

**VÉRIFIÉ PAR :** **Benoit Allen, géogr., M.Env.**  
**Fonction :** Dessau inc.  
Directeur de projet – Sédiments

**OBJET :** Projet de restauration des sédiments contaminés  
au port de Gaspé - Sandy Beach  
**Revue des options d'assèchement et de traitement de la  
contamination pour les sédiments dragués**

**N/Réf. :** 045-P001130-0165-SE-0100-00

**c.c. :** Mme Pascale Couroux-Smith  
Transport Canada

M. Bernard Marsan  
Travaux publics et Services  
gouvernementaux Canada

Mme Chantal Saint-Pierre  
Transport Canada

---

### 1. Contexte

De 2004 à 2010, Dessau (nommée Dessau-Soprin de 1998 à 2007) a procédé au développement d'un projet de restauration des sédiments contaminés au quai commercial de Sandy Beach pour le compte de Transports Canada (TC). Dans le cadre de ce projet, un

volume en place de l'ordre de 37 700 m<sup>3</sup> de sédiments serait dragué (incluant le surdragage) du secteur du port de Gaspé. En considérant la synthèse des résultats des différentes études de caractérisation des sédiments présentée au rapport de Dessau-Soprin (2006), les concentrations moyennes en cuivre et en HAP<sub>totaux</sub> (16 congénères) retrouvées dans les sédiments seraient respectivement d'environ 817 mg/kg et 12 mg/kg. Ainsi, le niveau de contamination en cuivre serait supérieur au niveau « C » (500 mg/kg) des critères de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés (Politique)*, alors que le niveau de contamination d'un des congénères des HAP (benzo (b+j+k) fluoranthène) se situerait à l'intérieur de la plage « B-C » des critères de la Politique. La revue des options de traitement de sédiment examinées en 2005 n'avait pas permis d'identifier de solution permettant le traitement de la contamination mixte présente dans les sédiments de Sandy Beach, l'option retenue étant l'enfouissement des sédiments dans une cellule commerciale (Dessau-Soprin, 2006). En raison du coût élevé de la solution retenue, des impacts liés au transport des sédiments sur de longues distances (près de 1000 km) et de la possibilité de donner une deuxième vie aux sédiments (valorisation), TC a reconsidéré en 2008 les options de traitement disponibles. L'option de séparation physique et de traitement physico-chimique avait alors été identifiée comme la plus appropriée des options de traitement (Dessau, 2008).

Une évaluation environnementale préalable du projet de restauration des sédiments contaminés au quai commercial de Sandy Beach est présentement en cours. Dans le cadre de cet exercice, TC désire s'assurer que toutes les options d'assèchement et de traitement potentiellement applicables sont prises en compte. Dans ce contexte, TC a mandaté Dessau afin de réaliser une revue des options d'assèchement et de traitement qui pourraient être applicables aux sédiments à draguer dans le cadre du projet à l'étude.

## 2. Objectifs

Les objectifs de cette étude sont ❶ d'identifier les options d'assèchement et de traitement des sédiments qui sont potentiellement applicables et ❷ d'identifier les activités, la machinerie, les infrastructures, les intrants et les extrants associés à chacun des procédés ou des technologies ciblés. Si possible, une estimation des superficies approximatives nécessaires doit également être effectuée. De plus, l'étude vise à vérifier la disponibilité des procédés ou technologies auprès de consultants ou d'entrepreneurs identifiés comme étant en mesure de les mettre en œuvre.

## 3. Étude antérieure sur les options de traitement des sédiments

En 2008, Dessau a déposé un rapport d'étude portant sur la révision des options de traitement des sédiments contaminés de Sandy Beach (Dessau, 2008).

Cette étude a présenté une revue de littérature actualisant l'état des connaissances sur les options de traitement qui sont applicables aux sédiments contenant une contamination mixte (cuivre et HAP), qui peuvent permettre de traiter et de valoriser tous les sédiments dragués ou une partie d'entre eux, et qui sont disponibles à l'échelle commerciale.

L'étude de Dessau a permis d'identifier certaines technologies capables de traiter des sédiments de même nature que ceux que l'on retrouve dans le port de Gaspé – Sandy Beach. Les technologies étudiées de façon approfondie sont les suivantes :

- Solidification/stabilisation avec ajout cimentaire;
- Séparation physico-chimique;
- Électrocinétique;
- Phytorestauration;
- Encapsulation active.

Cinq promoteurs (CleanEarth, Innoventé, Dragage Verreault, Association Canadienne du Ciment (ACC) et Environnement Nouvelles Technologies) ont proposé des technologies qui ont été évaluées en fonction d'une grille multicritère.

Trois catégories de technologies se sont distinguées parmi les cinq propositions :

❶ les entreprises CleanEarth Technologies, Innoventé et Dragage Verreault proposaient toutes un procédé utilisant des techniques de séparation des métaux et des hydrocarbures par une chaîne de traitement physique et chimique; ❷ la proposition de l'ACC utilisait quant à elle une technologie de solidification et de stabilisation au ciment pour traiter les sédiments dragués; et ❸ l'entreprise Environnement Nouvelles Technologies proposait l'utilisation d'un procédé de phytorestauration.

D'après l'analyse multicritère, l'option de séparation physicochimique proposée par la compagnie CleanEarth Technologies présentait la meilleure performance globale.

Il est à noter que les technologies décrites et analysées dans le rapport de Dessau (2008) ne seront pas reprises dans la présente note. Toutefois, les promoteurs contactés par Dessau dans le cadre de la présente étude n'ont pas été limités dans l'offre de technologies et ont pu suggérer des technologies parmi celles décrites dans le rapport de Dessau (2008).

#### 4. Méthodologie

Une revue de littérature a été effectuée afin d'actualiser l'état des connaissances actuelles sur les options d'assèchement et de traitement de sédiments contaminés issus d'estuaires marins tels que ceux rencontrés au port de Gaspé. Cette revue de littérature a fait appel aux plus récentes sources de publications (conférences internationales, US Army Corps of Engineers (USACE), US Environmental Protection Agency (USEPA), Environnement Canada, etc.) ainsi qu'aux informations disponibles auprès de certains fournisseurs.

La recherche de technologies d'assèchement et de traitement s'appliquant aux sédiments de la Baie de Gaspé s'est attardée principalement à une revue des informations disponibles sur Internet et dans la littérature récente. Les principaux sites Internet visités et documents consultés ont été répertoriés dans la liste de références à la section 9 du présent document. Les recherches effectuées ont permis d'identifier certaines technologies relatives à

l'assèchement et au traitement *ex-situ*<sup>1</sup> de sols et/ou de sédiments contaminés aux HAP et au cuivre. Les technologies pertinentes ont été choisies sur la base des critères généraux suivants :

- État d'avancement de la technologie (disponibilité à l'échelle commerciale);
- Applicabilité de la technologie compte tenu de la nature physique et chimique des sédiments de Sandy Beach;
- Efficacité du traitement.

De plus, une recherche sur Internet parmi les différents projets de décontamination de sédiments déjà réalisés et dans la banque de données de fournisseurs de technologies du site *Clean-Up Information* du USEPA a permis d'identifier les principaux fournisseurs habilités à mettre en œuvre une technologie respectant les critères énumérés précédemment. Enfin, Dessau a contacté ces fournisseurs pour obtenir de plus amples informations sur leur expertise. Un exemple de courriel type envoyé aux fournisseurs identifiés est présenté à l'annexe 1.

Les principales technologies d'assèchement et de traitement des sédiments identifiées lors de la revue de littérature sont identifiées sommairement ci-dessous.

## 5. Identification des méthodes d'assèchement

L'option de dragage utilisée pour l'extraction des sédiments influence grandement la quantité d'eau entraînée et, par conséquent, la siccité<sup>2</sup> des matériaux à assécher. Le dragage mécanique permet d'obtenir une siccité près de celle des sédiments *in situ* avec des valeurs de l'ordre de 40 % à 50 %. Dans le cas d'un dragage hydraulique, les sédiments dragués présenteront plutôt une siccité de l'ordre de 10 % à 20 %. Dans le cadre de l'évaluation préalable des impacts sur l'environnement du projet de Sandy Beach, le dragage mécanique et le dragage hydraulique sont considérés. Toutefois, dans le cadre de l'étude sur les scénarios d'intervention (Dessau-Soprin, 2006), un dragage mécanique a été considéré. Les technologies d'assèchement passif (par exemple, l'assèchement en bassin) sont généralement associées au dragage mécanique alors que les technologies d'assèchement actif requièrent une siccité relativement basse (10 % à 20 %) afin que le matériel soit pompable. De plus, les technologies d'assèchement actif (séparation physique et assèchement mécanique) ne permettent généralement pas d'atteindre des degrés de siccité supérieurs à 65 %.

Le dragage mécanique permettant d'extraire les sédiments avec une augmentation du taux d'humidité d'environ 10 % seulement, il est souvent difficile de faire entrer le matériel dans une chaîne d'assèchement actif sans une réhydratation préalable. Par ailleurs, le faible gain réalisé ne justifie généralement pas l'utilisation de telles technologies dans les cas de dragage

---

<sup>1</sup> Considérant qu'une des exigences de Transport Canada quant au projet de restauration des sédiments de Sandy Beach est de draguer tous les sédiments se trouvant dans la zone d'intervention, seules les technologies de traitement *ex-situ* ont été considérées dans le cadre de la présente étude.

<sup>2</sup> Siccité : Pourcentage massique de matière sèche. Par opposition au taux d'humidité.

mécanique. Seul l'assèchement passif a donc été considéré dans la conception préliminaire du projet de restauration de Sandy Beach (Dessau-Soprin, 2006). En raison de la possibilité d'un dragage hydraulique et/ou d'un traitement de la contamination par lavage des sédiments dragués, les technologies d'assèchement actif pourraient s'avérer justifiées, voire nécessaires.

La présente section traite donc des technologies d'assèchement potentiellement applicables aux sédiments dragués hydrauliquement ou mécaniquement. Le tableau 1 identifie les technologies d'assèchement recensées dans la littérature existante et inclut une brève description de chacune. Les technologies d'assèchement retenues se divisent en trois catégories : l'assèchement passif, la séparation physique et l'assèchement mécanique. Il est à noter que les équipements nécessaires à la mise en œuvre de ces types d'assèchement sont facilement accessibles et que les procédés sont généralement bien maîtrisés par la plupart des entrepreneurs œuvrant dans la gestion de sédiments.

## **5.1 Assèchement passif**

L'assèchement passif utilise le drainage et l'évaporation naturelle afin d'abaisser le taux d'humidité des sédiments. Le drainage peut être gravitaire ou être accéléré en utilisant, par exemple, des pompes à vide. L'utilisation de moyens mécaniques (tels que la création de tranchées à la surface des sédiments, l'enlèvement de couches de sédiments asséchés, etc.) pour accélérer ou faciliter l'assèchement est également possible (USEPA, 1994).

L'assèchement passif requiert la construction d'un ou de plusieurs bassins qui occupent une superficie importante afin de contenir tous les sédiments dragués. Le drainage peut se faire à la surface des sédiments (surverses), sous la surface des sédiments (percolation à travers les digues ou le fond du bassin, drains horizontaux) ou à l'aide de drains verticaux et de puits de pompage (USEPA, 1994). Il est important d'évaluer la qualité de l'eau de drainage avant les travaux afin de déterminer si celle-ci nécessite un traitement avant son rejet. L'évaporation participe quant à elle à réduire la quantité d'eau sur les sédiments puis à abaisser le taux d'humidité des sédiments exposés à l'air. Une couche de sédiments asséchés se forme alors graduellement à la surface des sédiments et doit être décapée pour permettre aux sédiments sous-jacents d'être asséchés à leur tour. La formation d'une couche de sédiments asséchés limite effectivement l'évaporation des sédiments sous-jacents.

Une variante de ce type d'assèchement consiste à étendre les sédiments en couches minces (généralement 300 à 600 mm) sur une surface imperméable ou drainante (si la qualité des eaux de drainage le permet). Cette technique demande toutefois que de grandes superficies soient disponibles pour l'aménagement des surfaces d'assèchement, mais permet d'accélérer les activités d'assèchement.

## **5.2 Séparation physique**

La séparation physique consiste à ségréguer mécaniquement les matériaux dragués en fonction de leurs propriétés physiques (taille et/ou densité). Elle permet de retirer les débris, les

blocs et le gravier puis le sable pour obtenir la fraction fine. La fraction grossière (> 0,08 mm) ne requiert généralement pas ou requiert peu d'assèchement supplémentaire. La fraction fine est alors dirigée vers les autres modules d'assèchement et les volumes à traiter se trouvent ainsi grandement réduits. De plus, la séparation physique permet de réduire le volume de matériel contaminé puisque la contamination est généralement associée à la fraction fine. Il est d'ailleurs à noter que la séparation physique fait partie intégrante des technologies de traitement par lavage qui incluent une chaîne de traitement comprenant une ou plusieurs de technologies décrites dans la présente section (USEPA, 1999).

L'emprise nécessaire pour procéder à la séparation physique est généralement relativement faible si la chaîne d'assèchement est en mesure de traiter le débit généré par les travaux de dragage. Il peut donc être nécessaire de concevoir la chaîne d'assèchement avec une certaine redondance dans les équipements. Autrement, un bassin tampon est nécessaire pour ne pas ralentir les travaux de dragage. Ce bassin peut être plus ou moins gros et est fonction de l'écart qui existe entre le débit de dragage et celui de la chaîne d'assèchement.

Les prochaines sections décrivent les différents types d'équipements utilisés pour la séparation physique des sédiments. Ces équipements peuvent être agencés de multiples façons dans une chaîne d'assèchement pour atteindre les objectifs visés.

## **5.2.1 Criblage**

Le criblage permet de retirer les matériaux encombrants et les débris tels que les blocs, graviers, écorces, morceaux de plastique et autres. Le besoin de retirer ces matériaux vient du fait qu'ils sont dommageables pour les toiles de filtration des différentes presses en plus de générer un traitement inutile et de demander des volumes d'entreposage supplémentaires lorsqu'il leur est permis de suivre toutes les étapes de traitement. Il existe divers équipements pour effectuer le criblage. Le crible scalpeur, le crible à barres, le tamis cylindrique et le tamis vibrant sec ou humide sont tous des équipements utilisés pour effectuer cette opération.

Le crible scalpeur peut être une grille fixe à travers laquelle les sédiments passent, mais sur laquelle les débris sont retenus. Afin de réduire les superficies nécessaires et éviter l'obturation des mailles du grillage par des algues ou autres débris organiques, il peut également consister en un tapis roulant pour accueillir un plus grand débit. Le tapis roulant se décharge dans une zone d'entreposage temporaire des débris (Estes *et al.*, 2004).

Le crible à barres consiste en une surface inclinée composée de barres espacées régulièrement à travers laquelle les sédiments sont déversés. Les matériaux grossiers sont alors interceptés par les barres et tombent à l'avant de l'équipement.

Le tamis cylindrique consiste en un grillage en forme de cylindre légèrement incliné et tournant sur lui-même dans lequel les matériaux grossiers sont emprisonnés.

Finalement, un tamis vibrant consiste en une grille dont la taille des mailles est uniforme et qui vibre pour défaire les agrégats et faire progresser les matériaux grossiers vers une zone de décharge. Des jets d'eau montés au-dessus de la grille peuvent permettre de laver les matériaux plus fins à travers les mailles. Le grillage est fait de polymères ou de fils de fer avec des ouvertures carrées ou rectangulaires qui peuvent être obturées par des débris végétaux tels que des algues. L'utilisation préalable d'un crible scalpeur aide à limiter cet effet (Estes *et al.*, 2004).

### **5.2.2 Vis à sable**

Cet équipement est muni d'un puisard dans lequel les sédiments dragués (généralement par voie hydraulique) sont acheminés. Les particules grossières sédimentent alors sur une tarière horizontale ou inclinée qui permet de les évacuer vers un convoyeur ou une zone d'entreposage adjacente. Les particules fines ainsi que la matière organique sont évacuées par une surverse. Le puisard peut également permettre la circulation à contre-courant afin d'améliorer la séparation de la fraction fine et de la fraction sableuse. Une variante consiste à laisser s'accumuler la fraction sableuse dans le puisard et à évacuer celle-ci à l'aide d'une pelle hydraulique ou autre équipement de terrassement. La taille du matériel décantant dans le puisard est contrôlée par le débit de sortie des sédiments dragués. Ainsi, le sable fin peut également être évacué avec les particules fines. Cela permet d'augmenter la perméabilité du matériel qui subira davantage d'assèchement, mais diminue également la compressibilité de celui-ci (Estes *et al.*, 2004). Ce type d'équipement permet d'obtenir une fraction sableuse avec une siccité jusqu'à 80 % (USEPA, 1999).

### **5.2.3 Hydrocyclone**

Un hydrocyclone est un équipement de forme conique ne contenant aucune pièce mobile. Il peut être en plastique ou en métal. En fonction du type de matériaux dragués, il peut être avantageux de le munir d'une gaine intérieure pour augmenter sa résistance à l'abrasion. L'hydrocyclone est alimenté de façon tangentielle. Grâce à l'effet de vortex, les particules les plus lourdes (généralement les plus grossières) sont projetées vers les parois et s'écoulent vers la base d'où elles sont expulsées. Les particules les plus légères (généralement les plus fines) migrent quant à elles vers le centre de l'hydrocyclone et sont expulsées par la surverse située au sommet de l'appareil, avec la majorité du liquide. Si les sédiments sont sableux, le matériel sortant à la base peut présenter un taux d'humidité relativement bas (Estes *et al.*, 2004).

### **5.2.4 Clarificateur / Bac d'épaississement**

Ce type d'équipement sert en fait à la décantation des sédiments. Il permet d'augmenter la siccité du matériel qui est ensuite pompé par le fond du bac. La siccité des sédiments dragués qui y sont déposés peut passer de 10-20 % à environ 30 % (Estes *et al.*, 2004, USEPA, 1999). L'eau surnageante clarifiée (concentrations en matières en suspension (MES) de 15 à 30 mg/L généralement pour des clarificateurs circulaires) franchit un déversoir avant d'être récupérée comme eau de procédé ou d'être traitée et retournée au plan d'eau. Une injection de polymères

dans les sédiments peut s'effectuer avant la décantation et, lorsqu'une injection supplémentaire est nécessaire pour l'utilisation de filtres à bande ou de filtres presses, à leur sortie par le fond du bac (Estes *et al.*, 2004).

### **5.3 Assèchement mécanique**

L'assèchement mécanique fait appel à des équipements qui écrasent ou pressent le matériel à assécher ou encore soutire l'eau des sédiments. Cette méthode d'assèchement a été utilisée abondamment pour l'assèchement des boues municipales ou industrielles ainsi que dans l'industrie minière. De façon générale, l'assèchement mécanique permet d'augmenter la siccité des sédiments jusqu'à 70 % (USEPA, 1994). L'ajout de polymères afin de coaguler les particules fines est requis pour améliorer la performance de ce type d'assèchement. Pour les boues organiques, le dosage est généralement faible (< 0,1 % en masse), mais dans le cas de matières inorganiques, ce dosage peut être significativement plus élevé. (USEPA, 1994).

#### **5.3.1 Filtre à bande**

Les filtres à bande ont historiquement été utilisés par les papetières afin d'épaissir leurs boues résiduelles. Ils possèdent généralement trois « zones » : une zone de drainage gravitaire, une zone à faible pression et une zone de haute pression. Dans la zone de drainage gravitaire, l'eau s'écoule librement du matériel à travers la toile de la courroie filtrante. Une herse permet également de répartir le matériel sur la courroie pour faciliter l'écoulement. Le matériel se déverse ensuite sur une courroie sous-jacente pour entrer dans la zone à faible pression. Il est ensuite emprisonné entre deux courroies roulant en chicane autour d'une série de rouleaux de dimension moyenne. Dans la zone de haute pression, la dimension des rouleaux est moindre et les chicanes sont plus rapprochées (Estes *et al.*, 2004). Les courroies sont configurées pour faire en sorte qu'elles y progressent à des vitesses légèrement différentes de façon à exercer un cisaillement sur le matériel et à extraire une plus grande quantité d'eau (Englis et Hunter, 2010). L'eau expulsée du matériel s'écoule à travers les courroies et est récupérée sous le filtre à bande. La courroie filtrante est constamment lavée à l'aide de jets d'eau à haute pression pour éviter le colmatage.

L'opération de ces équipements se fait en continu et elle demande peu de manœuvres de la part de l'opérateur. De plus, les coûts en capitaux qui y sont associés sont raisonnables, la maintenance est simple et facile, le débit de solide est élevé, l'emprise nécessaire est relativement faible, la concentration en MES dans l'eau extraite est faible, la consommation d'énergie et le besoin en polymères est moyen. Les filtres à bande sont par ailleurs facilement accessibles, sont fiables et s'adaptent facilement à des changements dans les conditions des sédiments à traiter (Estes *et al.*, 2004). Ce type d'équipement peut accepter des boues dont la siccité varie de 1 à 40 % (USEPA, 1999). Par contre, la siccité finale (40 à 50 %) est plus faible que dans le cas d'un filtre presse (50 à 65 %). Ces valeurs sont fonction de la densité des solides présents dans le matériel ainsi que de la compression atteignable par les équipements utilisés (Estes *et al.*, 2004).



### 5.3.2 *Filtre presse*

Ces équipements fonctionnent en mode discontinu, mais l'utilisation d'équipements surdimensionnés ou en parallèle peut permettre d'accueillir un débit continu (Estes *et al.*, 2004). Ils utilisent une série de plaques couvertes d'un médium filtrant. La pression de la boue entrant dans le système est la force motrice de ce système de filtration. La boue est pompée sous pression entre deux plaques et l'eau est expulsée à travers le filtre vers la zone de drainage. Lorsque la pression voulue est atteinte dans le filtre (généralement autour de 100 psi), le pompage est arrêté, de l'air est soufflé à travers le gâteau de filtration pour l'assécher et ce dernier est déversé sur un convoyeur pour l'évacuer. Dans le cas de projets avec des sols ou sédiments contaminés, l'épaisseur des gâteaux est généralement de l'ordre de 2,5 à 7,5 cm (USEPA, 1999).

Les filtres presses demandent plus d'opérations, une plus grande emprise et un investissement généralement plus important que les filtres à bande. Par contre, les concentrations en MES dans l'eau expulsée sont très faibles et la siccité du gâteau de filtration est plus élevée que dans le cas des filtres à bande. La consommation en énergie de ce type d'équipement peut être élevée en raison de la chute de pression lorsque le filtre devient rempli de solides (Estes *et al.*, 2004).

### 5.3.3 *Centrifugeuse*

Les centrifugeuses sont utilisées pour assécher ou clarifier les boues en augmentant la sédimentation à l'intérieur d'un boîtier tournant rapidement autour d'un axe central, généralement horizontal. Elles sont généralement équipées d'une tarière à l'intérieur du boîtier. Celle-ci permet d'acheminer les particules accumulées sur la paroi interne vers un déversoir à l'extrémité du boîtier. Une centrifugeuse requiert une alimentation relativement constante, nécessitant généralement un bassin de rétention des boues pour l'assurer. Elles sont utilisées pour l'assèchement de la fraction fine des sédiments, mais peuvent également servir à la séparation granulométrique par l'ajustement de certains paramètres d'opération. La boue entrant dans une centrifugeuse peut avoir une siccité variant de 1 à 70 %, mais celle-ci doit être uniforme (USEPA, 1999).

Les centrifugeuses fonctionnent en continu et requièrent des coûts de main-d'œuvre relativement faibles lors de l'opération. Les coûts en capitaux varient en fonction de leur conception et de l'efficacité des centrifugeuses. La demande en énergie d'une centrifugeuse est importante (Estes *et al.*, 2004). La maintenance de ce type d'équipement est plutôt complexe et la fiabilité peut être un problème lorsque le matériel à assécher est abrasif, ce qui demande souvent d'avoir des unités de rechange pour éviter de ralentir les travaux de dragage en raison de l'entretien de la machinerie (Englis et Hunter, 2010). L'eau extraite contient généralement plus de MES que dans les cas des filtres à bande et des filtres presses. Les centrifugeuses sont toutefois très compactes (Estes *et al.*, 2004).

### 5.3.4 Géotubes®

Les Géotubes® sont des tubes de géotextile spécialement conçus pour retenir et emprisonner les particules solides contenues dans les boues tout en laissant s'échapper les liquides par des parois perméables. Ils sont fabriqués à partir de fils de polypropylène ou de polyester tissés, ce qui les rend inertes et inattaquables par des contaminants chimiques acides ou alcalins. Les textiles tissés sont cousus ensemble de façon à leur fournir une grande résistance aux tensions. Les espaces entre les filaments permettent à l'eau de s'échapper tout en conservant les particules solides traitées à l'aide de polymères à l'intérieur. Chaque tube peut être fabriqué sur mesure et comporter plusieurs entrées de façon à assurer une distribution uniforme de la boue à l'intérieur. Les tubes peuvent être empilés les uns sur les autres pour limiter l'empiétement et augmenter la consolidation du matériel. Le degré de dessiccation des sédiments qui peut être atteint dépend de la capacité de l'eau à se frayer un chemin entre les particules pour être expulsée entre les filaments (Englis et Hunter, 2010). Il est nécessaire d'ajouter des polymères afin de favoriser la floculation des particules. L'ajout de polymères se fait en ligne avant l'acheminement des boues vers les Géotube®. Le mélange passe par la suite par une chambre de mélange (chicanes de tuyaux) afin de permettre la floculation (Terratube, 2011). On peut s'attendre à atteindre une siccité similaire à celle des sédiments *in situ* ou supérieure si le dosage et la nature des polymères ajoutés sont adéquats (Englis et Hunter, 2010).

Il est nécessaire d'aménager la surface sous les tubes afin d'assurer la récupération des eaux de filtration pour s'assurer de leur qualité avant leur rejet ou leur traitement, le cas échéant. Cet aménagement consiste généralement en la mise en place d'une géomembrane sur laquelle peut être aménagée une surface drainante composée de balles de foin ou de matériaux granulaire. Elle peut également être munie d'un système de tuyauterie permettant l'acheminement de l'eau vers un système de gestion ou de traitement, le cas échéant. Les sédiments dragués hydrauliquement peuvent être pompés directement à l'intérieur des Géotubes® alors que les sédiments dragués mécaniquement requièrent généralement une réhydratation avant le pompage. Le remplissage se fait de façon séquentielle. Un premier remplissage s'effectue puis le flot de boue est dirigé vers le Géotube® suivant. Cela permet un égouttement et une consolidation initiaux ainsi que la libération d'espace dans le tube. Après une première séquence de remplissage des tubes, le flot est redirigé vers le premier tube et la séquence recommence jusqu'à ce que les tubes soient remplis à pleine capacité.

Selon l'information obtenue auprès de Terratube, fournisseur québécois de Géotubes®, il serait possible de contenir tous les sédiments dragués hydrauliquement à Sandy Beach dans un espace d'environ 7 500 m<sup>2</sup> à l'intérieur de 30 sacs empilés sur trois niveaux. Chaque sac aurait une emprise au sol de 560 m<sup>2</sup>. Toutefois, en se basant sur l'étude des scénarios d'intervention de Dessau-Soprin (2006), l'hypothèse utilisée par Terratube d'une siccité à 30 % lors du dragage hydraulique semble optimiste et, par conséquent, il est probable que l'empiétement réel soit plus important. Toujours selon Terratube, une réduction de l'ordre de 95 à 99 % est observée entre la concentration en MES observée à l'entrée du Géotube® et celle observée

dans l'eau qui filtre à travers le tube, et ce, grâce aux polymères flocculants qui préviennent l'expulsion des particules fines vers l'extérieur du Géotube® (Terratube, 2011). Il est donc nécessaire d'effectuer des études préalables afin de choisir les polymères à utiliser et leur dosage pour un site donné.

## **6. Identification des technologies de traitement**

Les technologies de décontamination des sédiments de Sandy Beach se divisent en deux grandes catégories : ❶ les traitements physicochimiques et ❷ les traitements thermiques. Le tableau 2 présente les technologies considérées ainsi qu'une brève description de chacune. Les traitements se basant sur des processus biologiques ont été exclus puisqu'ils ne permettent pas le traitement de la contamination par des métaux et ne sont pas efficaces pour la contamination de certains HAP, particulièrement ceux à haut poids moléculaire, comme plusieurs HAP présentant les plus fortes concentrations dans les sédiments de Sandy Beach. De plus, de fortes concentrations en métaux, comme c'est le cas dans les sédiments de Sandy Beach, peuvent s'avérer toxiques pour les microorganismes responsables de la biodégradation des hydrocarbures.

### **6.1 Traitement physicochimique**

Les technologies de traitement entrant dans cette catégorie sont celles qui font appel aux propriétés physiques et/ou chimiques des contaminants ou de la matrice contaminées afin de détruire (convertir chimiquement), séparer ou contenir la contamination. Dans les processus physiques, un transfert de la contamination d'une phase à une autre est induit. Dans les processus chimiques, la structure chimique et le comportement des contaminants sont modifiés à l'aide de réactions chimiques afin de produire des composés moins toxiques ou plus facilement séparables de la matrice d'origine. En général, ces traitements s'avèrent économiquement viables et peuvent être complétés dans un laps de temps relativement court. Les équipements nécessaires sont accessibles et leur intégration dans une chaîne de traitement ne demande pas un effort de conception considérable. De plus, ce type de traitement ne génère pas une forte consommation énergétique (EUGRIS, 2011). Les traitements physico-chimiques peuvent être applicables seuls ou en combinaisons avec d'autres pour former une chaîne de traitement.

Les traitements de séparation, de lavage et de solidification/stabilisation font partie de la famille des traitements physicochimiques, mais ils ne seront pas repris ici, car ils ont déjà été décrits dans le rapport de Dessau (2008). Il est toutefois à noter que la plupart des méthodes ou équipements utilisés pour la séparation physique décrite à la section 5 peuvent être utilisés dans les procédés de séparation ou de lavage pour le traitement des sédiments.

La section suivante décrit le seul traitement physicochimique applicable au cas spécifique de Sandy Beach qui n'a pas été décrit dans le rapport de Dessau (2008) : l'extraction chimique.

## 6.1.1 Extraction chimique

Ce procédé permet d'extraire les contaminants des particules de sol et de les concentrer dans un plus petit volume sous forme liquide. Les contaminants ne sont donc pas détruits en cours de traitement. Les deux principaux processus d'extraction sont l'extraction à l'acide et l'extraction à l'aide de solvants. Le choix du produit d'extraction dépend du type de contaminants présents dans les sédiments.

L'extraction à l'acide (acide chlorhydrique généralement) est utilisée lorsque la contamination à traiter comprend des métaux lourds. Les particules grossières des sédiments sont d'abord retirées par séparation physique. L'acide est ensuite ajouté aux sédiments dans une unité de traitement. Le temps de contact varie en fonction du type de sédiment, du type de contaminants et de la concentration des contaminants, mais se situe généralement entre 10 et 40 minutes (FRTR, 2011). Le mélange de sédiment et d'acide est continuellement pompé vers l'extérieur de l'unité d'extraction, séparé à l'aide d'un ou plusieurs hydrocyclones ou autres modes de séparation puis les deux phases (solide et liquide) sont retournées dans l'unité de traitement. Lorsque l'extraction est complète, la phase solide (sédiment) est dirigée vers un système de rinçage et les sédiments sont rincés pour retirer l'acide et les métaux s'y trouvant toujours. La solution d'extraction et les eaux de rinçage sont ensuite traitées dans un séparateur en utilisant des agents précipitants commerciaux (hydroxyde de sodium, chaux ou autres) ainsi qu'un flocculant qui permet de retirer les métaux et de reformer l'acide qui sera réutilisée dans le système. Les métaux sont alors concentrés sous une forme qui peut permettre leur récupération. La dernière étape du traitement consiste à assécher les sédiments et à les mélanger avec de la chaux et un fertilisant afin de neutraliser l'acide résiduel (FRTR, 2011). Considérant que l'extraction à l'acide ne permet pas de traiter la contamination organique, elle ne pourrait être utilisée seule dans le cas des sédiments de Sandy Beach.

L'extraction à l'aide de solvants utilise quant à elle des solvants organiques tels que le méthanol, l'éthanol, l'alcool d'isopropyl, l'hexane ou l'éthylène-diamine comme agent d'extraction (Reis *et al.*, 2007). Elle est fréquemment utilisée en combinaison avec d'autres technologies de traitement telles que la solidification/stabilisation, l'incinération ou le lavage de sédiments en fonction des conditions propres au site. Elle peut également être utilisée comme seule technologie de traitement dans certains cas. Le procédé utilisé est similaire à celui décrit pour l'extraction à l'acide. Les métaux associés à la matière organique peuvent également être extraits à l'aide de ce procédé (FRTR, 2011). Toutefois, considérant son incapacité à extraire les métaux lourds sous forme libres ou associés aux particules inorganiques, comme c'est le cas pour les sédiments de Sandy Beach (CEMRS, 2009), elle devrait être utilisée à l'intérieur d'une chaîne de traitement dans le cas du présent projet. La toxicité des solvants utilisés est un paramètre important à considérer puisque des solvants en concentrations traces peuvent subsister dans les sédiments traités (FRTR, 2011). Tout comme dans le cas de l'extraction à l'acide, l'ajout de flocculant est généralement requis pour retirer les particules en suspension dans les eaux provenant du traitement et de l'assèchement final (Reis *et al.*, 2007, Maguire Group, 2002). Une réduction des volumes de matériaux contaminés de l'ordre de 20 fois peut

être possible à l'aide de cette méthode et l'efficacité dépasse généralement les 90 %, atteignant les 98 à 99 % (Maguire Group, 2002).

L'extraction chimique à l'acide pourrait être applicable à une partie de la contamination en métaux dans les sédiments de Sandy Beach alors que celle à l'aide de solvants pourrait être applicable à la contamination en HAP. Toutefois, en se basant sur les résultats obtenus par QSAR (2002) lors d'un essai d'extraction séquentielle, une partie du cuivre présent dans les sédiments de Sandy Beach se trouverait dans la fraction ayant résisté à l'extraction à l'*Aqua Regia* (mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique), soit dans la fraction résiduelle. Ce type d'extraction étant très agressif, il est probable que l'extraction chimique d'une partie du cuivre s'avère difficilement réalisable. L'extraction chimique peut être effectuée à l'aide d'unités mobiles de traitement. Toutefois, la recherche effectuée dans le cadre du présent mandat n'a pas permis d'identifier de fournisseur pouvant mobiliser ces équipements au quai de Gaspé-Sandy Beach.

## **6.2 Traitement thermique**

Les traitements thermiques utilisent la chaleur afin d'augmenter la volatilité, de brûler, de décomposer, de détruire ou de fondre les contaminants. Ils offrent un temps de traitement relativement court, mais sont généralement les plus coûteux. Ces coûts dépendent du coût de l'énergie ainsi que des équipements. L'investissement en capitaux et les coûts d'opération sont tous deux importants pour ce type de traitement.

### **6.2.1 Incinération**

L'incinération consiste à détruire les contaminants organiques par volatilisation ou combustion (en présence d'oxygène) en soumettant les sédiments à des températures très élevées (870 à 1 200 °C). Des combustibles auxiliaires sont utilisés afin d'initier et de soutenir la combustion. L'efficacité des procédés d'incinération atteint les 99,99 % (FRTR, 2011). Les émissions gazeuses produites et les résidus de combustion nécessitent généralement un traitement. Lorsqu'opéré adéquatement, un incinérateur est en mesure de rencontrer la plupart des normes pour les émissions atmosphériques en utilisant des systèmes de capture des particules atmosphériques et de neutralisation des gaz acides (HCl, NO<sub>x</sub> et SO<sub>x</sub>) (EUGRIS, 2011). Les métaux présents dans les sédiments ne seront pas détruits par incinération et se retrouvent généralement dans les cendres en fortes concentrations. L'incinération peut augmenter la mobilité des métaux dans les sédiments traités (Maguire Group, 2002). Des eaux usées sont également produites lors du procédé d'incinération. Ces eaux proviennent de l'assèchement préalable des sédiments et de l'opération des systèmes de contrôle des émissions atmosphériques (Maguire Group, 2002).

Il existe quatre principaux types d'incinérateurs soit le four rotatif, le four à lit fluidisé, l'injection de liquide et le four à infrarouge (EUGRIS, 2011). Les coûts associés à l'incinération sont élevés, et ce, principalement en raison de la forte consommation d'énergie.

Cette technologie demande par ailleurs que les sédiments à traiter présentent un très faible taux d'humidité et, par conséquent, un assèchement préalable des sédiments (Maguire Group, 2002).

L'incinération des sédiments pourrait être utilisable pour traiter les HAP contenus dans les sédiments de Sandy Beach, mais ne permettrait pas le traitement du cuivre. Certains des résidus obtenus pourraient d'ailleurs contenir des concentrations en cuivre plus élevées que les sédiments non traités. De plus, la mobilité du cuivre devrait être évaluée dans ces résidus afin de déterminer le mode de gestion approprié. Selon le site du Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR, 2011), des unités mobiles d'incinération sont disponibles sur le marché, mais la recherche effectuée dans le cadre du présent mandat n'a pas permis d'identifier de fournisseur pouvant mobiliser un tel équipement au quai de Gaspé – Sandy Beach.

## **6.2.2 Pyrolyse**

Cette technologie permet la décomposition chimique des composés organiques par le chauffage des sédiments en l'absence d'oxygène, à des températures supérieures à 430 °C. Cette condition permet la séparation des matériaux en une fraction organique gazeuse et une fraction inorganique (sels, métaux, particules) carbonisée. La pyrolyse est généralement utilisée pour traiter des concentrations élevées de contaminants organiques qui ne sont pas propices à une incinération conventionnelle (Maguire Group, 2002). Lorsque des composés volatils et semi-volatils sont présents, une certaine désorption thermique se produira également (FRTR, 2011). Les produits résiduels issus de la pyrolyse sont des cendres qui contiennent généralement des métaux lourds. Les émissions atmosphériques contiennent généralement du monoxyde de carbone, de l'hydrogène et du méthane. Des eaux usées sont également générées lors du procédé de pyrolyse et proviennent de l'assèchement préalable des sédiments et des systèmes de traitement des effluents gazeux (Maguire Group, 2002). Ces eaux usées peuvent avoir un pH acide (en raison de l'hydrogène) et contenir certains hydrocarbures. Des fours rotatifs, des fours à lit fluidisé et la destruction à l'aide de sels fondus sont utilisés pour la pyrolyse (FRTR, 2011).

Tout comme l'incinération, la pyrolyse exige un taux d'humidité très faible dans les sédiments à traiter, ce qui demande un assèchement préalable (Maguire Group, 2002).

La pyrolyse des sédiments pourrait être utilisable pour traiter les HAP contenus dans les sédiments de Sandy Beach, mais ne permettrait pas le traitement du cuivre. Une seule unité de pyrolyse a été identifiée dans le cadre du présent mandat, mais l'information à savoir si celle-ci pouvait être mobilisée sur le site à l'étude n'était pas disponible au moment de rédiger la version préliminaire de la présente note.

### **6.2.3 Désorption thermique**

La désorption thermique volatilise l'eau et les contaminants organiques en exposant les sédiments à des températures moyennement élevées. Deux catégories de technologies de désorption thermiques sont disponibles, soit celles à haute température et celles à basse température. Les contaminants à volatiliser dictent le type de système à utiliser en fonction de leur point d'ébullition. Les systèmes à haute température utilisent des températures entre 320 °C et 560 °C. À ces températures, un grand nombre de contaminants organiques sont volatilisés, de même que certains contaminants inorganiques tels que le mercure. Les systèmes à basse température utilisent quant à eux des températures entre 90 °C et 320 °C (EUGRIS, 2011). Ces températures ne volatilisent pas les métaux. La plupart des unités de désorption thermique disponibles sur le marché sont des fours rotatifs ou des vis thermiques (Maguire Group, 2002). Les métaux lourds ne sont pas visés par cette technologie de traitement.

Comme c'est le cas pour les technologies de traitement thermique identifiées plus haut, des émissions atmosphériques et des eaux usées sont générées durant le processus de désorption thermique. Un système de contrôle des émissions atmosphériques doit donc être utilisé. Ce système consiste généralement en une unité thermique secondaire accumulant et détruisant les contaminants volatilisés ainsi qu'en un dépoussiéreur humide. Ce dernier produit une partie des eaux usées à traiter, l'autre partie provenant de l'assèchement préliminaire des sédiments qui doivent entrer dans le système à un taux d'humidité maximum de 60 % (Maguire Group, 2002). Une séparation préalable visant l'enlèvement des particules plus grosses que 5 µm est par ailleurs requise.

Dans le cas des sédiments de Sandy Beach, la désorption thermique pourrait être applicable pour le traitement des HAP, mais serait inefficace pour la contamination au cuivre. Toutefois, celui-ci serait concentré dans un plus petit volume de matrice solide. Des unités mobiles de désorption thermique ont été identifiées dans le cadre du présent mandat.

### **6.2.4 Vitrification**

Les procédés de vitrification constituent en quelque sorte un procédé de solidification/stabilisation. Ils consistent effectivement à constituer une matrice relativement homogène vitrifiée par chauffage à haute température (> 1 600 °C) à l'intérieur de laquelle les composés inorganiques sont immobilisés. Les composés organiques sont détruits par pyrolyse ou oxydation et certains métaux (mercure par exemple) peuvent être volatilisés en partie durant la fusion du matériel. Le « verre » ainsi obtenu est non-toxique et peut être recyclé ou enfoui lorsque la réglementation le permet. Il peut être brisé à l'aide de marteaux pneumatique conventionnels ou à l'aide d'un concasseur pour faciliter le transport et la mise en place du matériel. La matrice vitrifiée a démontré une grande résistance à la lixiviation (USEPA, 2004; Impact Services, 2010). La vitrification est toutefois une des technologies les plus coûteuses (Maguire Group, 2002).

Généralement, les sédiments sont tout d'abord asséchés pour atteindre un taux maximum d'humidité d'environ 45 à 55 % (USEPA, 2004). Toutefois, dans certains cas, il peut être inabordable de traiter des sédiments dont le niveau d'humidité excède 25 % en raison de la trop grande quantité d'énergie requise pour évaporer l'eau en début de procédé (Evanko et Dzombak, 1997). Les sédiments sont ensuite placés dans le compartiment de fusion (conteneur, four rotatif ou autre). Ils sont alors chauffés à l'aide d'une torche à plasma ou d'électrodes insérées dans le matériel (du graphite est alors utilisé en surface des sédiments entre les électrodes pour augmenter la conductivité électrique) entre lesquelles on fait circuler un fort courant. La forte augmentation de température du matériel permet la fusion du matériel (Reis *et al.*, 2007). Une fois le matériel complètement fondu, le courant est coupé puis le matériel est mis à refroidir. Cette période de refroidissement peut s'avérer assez longue (Maguire Group, 2002). Le résultat est une matrice vitrifiée avec des inclusions de minéraux cristallisés ressemblant vaguement à une obsidienne (Impact Services, 2010). En général, les sels doivent être retirés avant le procédé de vitrification puisque certains d'entre eux sont volatilisés durant la fonte et peuvent provoquer des problèmes de corrosion du système ou de dépôt de sels dans le système de traitement des effluents gazeux. C'est pourquoi certains systèmes demandent un lavage préalable des sédiments avec de l'eau douce ce qui permet également de retirer les débris grossiers (Reis *et al.*, 2007). Notons toutefois que certains procédés sont bien adaptés pour recevoir des débris grossiers et que même les matières résiduelles issues du procédé (filtres usés, vêtements de protection du personnel, etc.) peuvent être incluses dans le matériel de fonte (Impact Services, 2010).

Ce type de système génère des émissions atmosphériques qui doivent être traitées afin rencontrer les normes de rejet. Ce traitement peut inclure une combustion et une oxydation des gaz. Des filtres sont également employés pour capter les gaz et particules et des laveurs (wet scrubbers) pour neutraliser les gaz acides et capter les particules.

La vitrification pourrait être efficace pour éliminer la contamination en HAP et pour immobiliser le cuivre dans les sédiments de Sandy Beach. Le cuivre ne serait pas retiré ou détruit, mais il serait très peu mobile. Des unités mobiles permettant de procéder à la vitrification des sédiments dragués ont été identifiées dans le cadre du présent mandat.

## **7. Cas particulier de la contamination par des BPC**

Selon des informations rapportées par TC lors d'une rencontre le 13 avril 2011, il est possible que des BPC soient présents en concentrations relativement élevées dans le secteur du quai des pêcheurs (bien que les BPC ne soient pas considérés comme un contaminant problématique dans les sédiments de Sandy Beach). Cette problématique pourrait changer l'approche de traitement des sédiments. Selon les informations recueillies dans la littérature et auprès de certains fournisseurs, seules les technologies de déhalogénéation, d'incinération, de pyrolyse, de désorption thermique et de vitrification pourraient permettre de traiter les BPC en fonction des contraintes applicables au projet de Sandy Beach. Le lavage de sol pourrait être applicable avec certaines limitations.



## **8. Vérification de la disponibilité et de l'applicabilité des technologies auprès de fournisseurs**

Afin de valider la disponibilité et l'applicabilité des technologies d'assèchement et de traitement décrites dans cette note au projet de restauration des sédiments contaminés de Sandy Beach, plusieurs fournisseurs potentiels ont été identifiés et contactés. Le tableau 3 résume les fournisseurs contactés et les informations reçues quant à l'applicabilité des technologies investiguées. Les informations spécifiques fournies par les différents fournisseurs sont pour leur part présentées au tableau 4. Les réponses des différents fournisseurs ainsi que la documentation technique fournie sont présentées à l'annexe 2.

Selon l'information obtenue auprès des fournisseurs, il appert que les technologies suivantes pourraient être utilisées pour traiter les sédiments de Sandy Beach à Sandy Beach même ou dans la région des travaux puisqu'une ou des unités mobiles sont disponibles :

- + Assèchement par séparation physique;
- + Assèchement mécanique;
- + Séparation physique;
- + Lavage de sols;
- + Solidification/stabilisation ou stabilisation uniquement;
- + Désorption thermique;
- + Vitrification.

## 9. Références

Centre d'excellence de Montréal en réhabilitation de site, 2009. *Évaluation du potentiel de traitabilité des sédiments contaminés par des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des métaux au port de Gaspé – Sandy Beach (Qc)*. Montréal, Qc, 47 p. et annexes.

Dessau Inc., 2008. *Sédiments du port de Gaspé – Sandy Beach. Révision des options de traitement des sédiments*. Présentée à Transport Canada, Réf. 045-P001130-0906-RE-0100-01, Montréal, Qc, 52 p. et annexes

Dessau-Soprin inc., 2006. *Étude pour la décontamination du port de Gaspé – Sandy Beach. Description détaillée des scénarios d'intervention sélectionnés (produits 4.3)*. Présentée à Transports Canada et Falconbridge ltée, 87 pages, tableaux, figures, plans et annexes.

Englis, M. et Hunter, D.W., 2010. *A Description of Sediment Dewatering Methods*. Document consulté sur Internet le 22 mars 2011 :  
[http://www.idswater.com/water/us/sediment\\_dewatering/381/paper\\_information.html](http://www.idswater.com/water/us/sediment_dewatering/381/paper_information.html). 16 p.

Estes, T. J., Waugh, J., Schwartz, R. L., Green, G., Buhr, V., Braddock, B., and Detzner, H.-D. 2004, *Mechanical dewatering of navigation sediments: Equipment, bench-scale testing, and fact sheets*. DOER Technical Notes Collection (ERDC TN DOER-T7), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS., 34 p.

European Groundwater and Contaminated Land Remediation Information System (EUGRIS), 2011. Site Internet consulté le 27 avril 2011 :  
<http://www.eugris.info/FurtherDescription.asp?Ca=2&Cy=0&T=Ex%20situ%20treatment%20technologies&e=25>

Evanko, C.R. et Dzombak, D.A., 1997. *Remediation of Metals-Contaminated Soils and Groundwater*. TE-97-1, Technology Evaluation Report, Pittsburgh, PA, 53 p.

Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR), 2011. *The Remediation Technologies Screening Matrix*. Site internet consulté le 21 avril 2011 :  
[http://www.frtr.gov/matrix2/top\\_page.html](http://www.frtr.gov/matrix2/top_page.html)

Impact Services Inc., 2010. *Geomelt® Technologies – In-Container Vitrification – Process Description*, Richland, WA, 20 p.

Maguire Group Inc., 2002. *Dredged Material Management Plan (DMMP) EOE No. 11669 – Draft Environmental Impact Report (DEIR) for New Bedford and Fairhaven Massachusetts*. Foxboro, MA, pagination multiple.

Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs (MDDEP) 1998, *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. Rév. 2001, 124 pages.

QSAR, 2002. *Évaluation du risque à l'environnement et à la santé humaine associé aux sédiments contaminés en cuivre – Quai de Gaspé*. Présenté à Transports Canada et Noranda inc., 196 p.

United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1999. *Physical Separation (Soil Washing) for Volume Reduction of Contaminated Soils and Sediments – Processes & Equipment*. Great Lakes National Program Office, Chicago, IL, 97 p. et annexes.

Reis, E., Lodolo, A. et Miertus, S., 2007. *Survey of Sediment Remediation Technologies*, International Centre for Science and High Technology, Trieste, Italy, 124 p.

Terratube Inc. 2011. *Gestion des sédiments de dragage – Sandy Beach – Gaspé*. Lettre datée du 5 mai, Saint-Romuald, Qc, 4 p.

United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1994. *ARCS Remediation Guidance Document*. EPA 905-B94-003. Great Lakes National Program Office, Chicago, IL., 332 p.

United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1999. *Physical Separation (Soil Washing) for Volume Reduction of Contaminated Soils and Sediments – Processes & Equipment*. Great Lakes National Program Office, Chicago, IL, 97 p. et annexes.

United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2004. *Minergy Corporation Glass Furnace Technology Evaluation – Innovative Technology Evaluation Report*. EPA/540/R03/500, Office of Research and Development, Cincinnati, OH, 150 p.

BV/sv

## Tableaux

Tableau 1 : Identification préliminaire des technologies/équipements d'assèchement

Type d'assèchement	Technologie d'assèchement	Description sommaire
<b>Passif</b>	En bassin	Assèchement à l'air libre des sédiments dans un ou des bassins d'entreposage drainants ou imperméables. On procède à l'enlèvement successive de couches de sédiments asséchés.
	En couches minces	Disposition des sédiments en couches minces (généralement 300 à 600 mm) sur surface drainante ou imperméable et assèchement avec ou sans retournement/brassage.
<b>Séparation physique <sup>(1)</sup></b>	Criblage	Technique utilisant des tamis (fixes, vibrants, rotatifs ou autres) ou tapis roulant lavés ou non par des jets d'eau et qui permet de retirer les particules grossière et autres débris.
	Vis à sable	Dispositif muni d'un puisard à la base d'une tarière installée en angle ou à l'horizontal qui achemine le sable et autres particules grossières vers un convoyeur ou une aire d'entreposage temporaire. Les particules fines et la matière organique sont évacuées du puisard par un trop-plein.
	Hydrocyclone	Équipement conique dans lequel la boue est injectée de façon tangentielle et dans lequel les matériaux grossiers s'écoulent en spirale vers la base du cône. Les matériaux fins et légers (incluant une bonne partie de l'eau) migrent quant à eux vers le centre du cône et sont expulsées par le trop-plein situé au sommet.
	Clarificateur / Bac d'épaississement	Enceinte destinée à recevoir la boue afin de permettre une décantation des particules et un épaississement du matériel. L'eau clarifiée est évacuée par une surverse et les sédiments épaissis sont pompés par le fond de l'enceinte.
<b>Mécanique</b>	Filtre presse	Expulse l'eau des sédiments en les chargeant et les emprisonnant entre deux filtres verticaux et en créant une pression hydraulique. Une série de filtres cordés horizontalement sont généralement utilisés.
	Filtre à bande	Équipement pressant les sédiments entre deux filtres en toile monofilament tissée dans un système de rouleaux de différents diamètres.
	Centrifugeuse	Équipement utilisant la force centrifuge pour séparer les matériaux de densité différente par mouvement de rotation rapide sur un pivot central.
	Géotubes®	Tubes de géotextile spécialement conçus pour emprisonner et retenir les solides tout en laissant les liquides s'échapper par les parois perméables.

**Note :**

<sup>(1)</sup> : Les équipements servant à la séparation physique des sédiments font parfois partie intégrante de procédés de traitement de la contamination, la séparation physique étant d'ailleurs elle-même considérée comme technologie permettant de réduire le volume de matériel contaminé à éliminer.

Tableau 2 : Identification préliminaire des techniques/équipements d'assèchement

Catégorie de traitement	Technologie de traitement	Description sommaire	Retenue pour analyse	Unité mobile disponible	Justification
<b>Biologique</b>	Biopiles	Biodégradation des contaminants organiques dans des piles ou cellules statiques de sols amendés et aérés à l'aide de soufflantes.	Non	N/A	Inapte à traiter les métaux. Les HAP à haut poids moléculaire sont difficilement biodégradés.
	Compostage	Biodégradation des contaminants organiques par l'ajout d'amendements sous forme de matière organique (par ex. copeaux de bois, fumier, végétaux) et par un brassage régulier.	Non	N/A	Inapte à traiter les métaux. Les HAP à haut poids moléculaire sont difficilement biodégradés. Forte augmentation du volume de sols à composter par l'ajout de matière organique ce qui demanderait des superficies très importantes.
	Bioréacteur	Technique utilisant des tamis ou tapis roulant lavés ou non par des jets d'eau et qui permet de retirer les particules grossières et autres débris.	Non	N/A	Inapte à traiter les métaux. Les HAP à haut poids moléculaire sont difficilement biodégradés.
	Épandage contrôlé	Épandage des sédiments en couches minces avec retournement ou labour régulier pour assurer l'aération.	Non	N/A	Inapte à traiter les métaux. Les HAP à haut poids moléculaire sont difficilement biodégradés. Demande des superficies très importantes.
<b>Physique/chimique</b>	Extraction chimique	Dissolution des contaminants dans un mélange de solvants ou d'acides puis séparation des contaminants et des agents extracteurs.	Oui : HAP et cuivre	Oui selon la littérature, mais non identifiée dans le cadre de la présente recherche	L'extraction à l'aide de solvants peut permettre de retirer les HAP et le cuivre lié à la matière organique des sédiments. L'extraction à l'acide peut permettre d'extraire une partie du cuivre.
	Oxydation / réduction chimique	Conversion des contaminants en des composés moins toxiques qui sont plus stables et moins mobiles.	Non	N/A	L'oxydation/réduction pourrait servir à décomposer les HAP, mais la forte présence de matière organique et l'interférence des sulfates et carbonates dans les sédiments demanderait une très grande quantité d'oxydant qui rendrait le procédé inabordable.
	Séparation	Concentration des contaminants solides par moyens physiques et chimiques. Vise à détacher les contaminants des matériaux sur lesquels ou dans lesquels ils se trouvent.	Oui : HAP et cuivre	Oui	Pourrait permettre une réduction significative du volume de la matrice contaminée et la valorisation des sols traités. La fraction contaminée devrait être éliminée selon la réglementation applicable.
	Lavage	Séparation des contaminants adsorbés sur les particules dans un système aqueux sur la base de la taille des particules. L'eau de lavage peut être additionnée de surfactant, de chélateur, de substances modifiant le pH ou d'agents favorisant la lixiviation.	Oui : HAP et cuivre	Oui	Pourrait permettre une réduction significative du volume de la matrice contaminée et la valorisation des sols traités. La fraction contaminée devrait être éliminée selon la réglementation applicable.
	Solidification / stabilisation	Enprisonnement des contaminants dans une matrice cohérente (solidification) et/ou immobilisation des contaminants par réaction chimique	Oui : HAP et cuivre	Oui	Pourrait permettre d'obtenir une matrice dans laquelle les contaminants (surtout inorganiques), sont très peu mobiles.
<b>Thermique</b>	Incinération	Combustion (en présence d'oxygène) des contaminants organiques à haute température (870 à 1 200°C).	Oui : HAP	Oui, selon la littérature, mais non identifiée dans le cadre de la présente recherche	Pourrait permettre de détruire les HAP contenues dans les sédiments, mais ne détruit pas le cuivre.
	Pyrolyse	Décomposition chimique des contaminants organiques par chauffage en l'absence d'oxygène.	Oui : HAP	ND	Pourrait permettre de détruire les HAP contenues dans les sédiments, mais ne détruit pas le cuivre.
	Désorption thermique	Chauffage des sédiments afin de volatiliser l'eau et les contaminants organiques.	Oui : HAP	Oui	Pourrait permettre de débarrasser les sédiments de la contamination au HAP. Le cuivre resterait toutefois dans les sédiments.
	Vitrification	Création d'un solide non-cristallin par la fusion à haute température.	Oui : HAP et cuivre	Oui	Permettrait d'obtenir une matrice dans laquelle les contaminants ne sont ni disponibles, ni mobiles.

Notes :

NA : Non applicable. La technologie n'ayant pas été retenue, aucune recherche n'a été effectuée afin d'identifier une unité mobile.

ND : Non déterminé. Le fournisseur potentiel n'a pas indiqué s'il disposait d'une unité mobile.

Tableau 3 : Identification des fournisseurs contactés

Nom du fournisseur	Contact	Adresse courriel / # Tél.	Pays	Type de fournisseur	Technologies de traitement										Réponse obtenue	Unité mobile disponible	Commentaires		
					Assèchement	Extraction chimique	Séparation physique	Lavage de sol	Solidification / stabilisation	Incineration	Pyrolyse	Désorption thermique	Vitrification						
3R Environmental Technologies Ltd.	Edward Someus	edward@terrenum.net	Hon	Entrepreneur													Oui	Non	Les deux technologies pourraient être efficaces pour détruire ou extraire les HAP, mais les métaux ne seraient pas détruits, mais concentrés dans le matériel résiduel. Aucune unité mobile disponible, mais il serait possible d'en bâtir une.
		36 20 980 6996																	
Aecom	Jocelyn Marcotte	ND	Can	Consultant												Oui	NA	Plusieurs projets impliquant des sédiments contaminés, mais ne possèdent pas de technologie spécifique.	
		514.287.8500																	
AIM Environmental Group	Jim Skeoch	jskeoch@aimgroup.ca	Can	Entrepreneur	•		•	•								Oui	Oui	Technologie de lavage applicable pour le cuivre et potentiellement pour les HAP. Pour ces derniers, s'ils résistent au lavage, ils proposent de la phytorestauration ou du biotraitement.	
		905.560.0090																	
Anchor	Thomas Wang	twang@anchorqa.com	US	Consultant												Oui	NA	Plusieurs projets impliquant des sédiments contaminés, mais ne possèdent pas de technologie spécifique.	
		206.287.9130																	
Arcadis	Martin Beaudoin	mbeaudoin@arcadis-canada.com	Can	Consultant												Oui	NA	Plusieurs projets impliquant des sédiments contaminés, mais ne possèdent pas de technologie spécifique.	
		514.975.3235																	
ART Engineering	Carl Seward	cseward@iampabay.rr.com	US	Entrepreneur	•		•	•	•					•		Oui	Oui	À première vue, selon eux, leur technologie de lavage pourrait être viable.	
		813.855.9852																	
Biogenesis	John Sontag	jsontag@biogenesis.com	US	Entrepreneur	•		•	•								Oui	Oui	Technologie applicable selon eux. Plusieurs essais effectués sur des sédiments contaminés aux Etats-Unis et au Canada. Une démonstration à grande échelle effectuée sur des sédiments provenant de trois sources différentes.	
		610.436.6393																	
DEC Environmental Contractors (DEME)	Jérôme Metz	metz.jerome@deme.be	Bel	Entrepreneur	•		•	•	•							Oui	Oui	Le lavage de sols serait selon eux l'approche qui semble la plus prometteuse pour le traitement des sédiments de Sandy Beach. Possèdent également une grande expertise en ce qui a trait à l'assèchement de sédiments.	
		32 3 250 54 11																	
DOE Run Company	Louis Magdits	lmagdits@doerun.com	US	Entrepreneur		•										Non	ND	Aucune réponse reçue.	
		573.626.3476																	
Environmental Chemical Corporation	Doug McClure	dmccclure@ecc.net	US	Entrepreneur	•		•	•	•					•		Oui	Oui	La désorption thermique permettrait de traiter la contamination au HAP. Pour le cuivre, ils proposent un procédé de lavage ou de solidification/stabilisation.	
		508.229.2270 poste 228																	
ESMI	Robert Martin	rmartin@esmiofny.com	US	Entrepreneur						•				•		Oui	Oui	La désorption thermique permettrait de traiter la contamination au HAP. Pour le cuivre, ils proposent un processus de solidification/stabilisation.	
		518.747.5500																	
Golder Ass.	Sylvain Hains	shains@golder.com	Can	Consultant												Oui	NA	Ne possèdent pas de technologie spécifique.	
		418.781.0285 poste 222																	
Impact Services Inc.	Brett Campbell	brett.campbell@impactservicesinc.com	US	Entrepreneur										•		Oui	Oui	Technologie applicable selon eux. Toutefois, le cuivre ne serait pas retiré, mais stabilisé dans la matrice vitreuse. Les HAP seraient pour leur part détruits dans le procédé.	
		509.942.1114																	
Innova Soil Technology	John Lucas	john.lucas@innovasoil.com.au	Aus	Entrepreneur										•		Non	ND	Aucune réponse reçue.	
		61 2 4968 6770																	
MT2	Jim Barthel	jbarthel@mt2.com	US	Entrepreneur						•						Oui	Oui	Leur technologie Ecobond® pourrait servir à stabiliser les métaux, mais ceux-ci seraient toujours présents dans la matrice.	
		303.456.0023																	
Midwest Soil Remediation	Mike Fetherling	mike.fetherling@midwestsoil.com	US	Entrepreneur										•		Oui	NA	Ne traitent pas de sédiments	
		847.742.4331																	
Minergy	Jens Bogh	jens@minergy.com	US	Entrepreneur										•		Oui	Oui	Le cuivre ne serait pas retiré, mais stabilisé dans la matrice vitreuse. Les HAP seraient pour leur part détruits dans le procédé. Toutefois, considèrent le projet de Sandy Beach trop petit pour que la technologie soit rentable.	
		44 207 193 6684																	
MSE Technology Applications	Jody Bickford	jody.bickford@mse-ta.com	US	Consultant/entrepreneur										•		Oui	ND	Se disent incapables de proposer des technologies de traitement puisqu'ils considèrent qu'ils ont besoin d'une caractérisation détaillée pour le faire.	
		406.494.7327																	
Newalta	Steve Prévost	sprevost@newalta.com	Can	Entrepreneur	•											Oui	Oui	Possèdent des centrifugeuses mais pas d'autres types d'équipements pour l'assèchement mécanique.	
		418.837.1444																	
Sanexen	Jean Paquin	jpaquin@sanexen.com	Can	Consultant/entrepreneur												Oui	NA	Ne possèdent pas de technologie spécifique.	
		450.652.9990																	
Sevenson	Philip De Luca	pdeluca@sevenson.com	US	Entrepreneur	•				•							Oui	Oui	Leur technologie Maectite® pourrait servir à stabiliser les métaux, mais ceux-ci seraient toujours présents dans la matrice. Ils ont une bonne expérience avec des sédiments contaminés, mais ne possèdent pas d'autres technologies spécifiques.	
		716.284.0431																	
Shaw Group	Diana McMillan	diana.mcmillan@shawgrp.com	US	Consultant/entrepreneur					•	•	•	•				Non	ND	Aucune réponse reçue.	
		225.932.2500																	
SNC-Lavalin	Martin Duquette	martin.duquette@snclavalin.com	Can	Consultant												Oui	NA	Ne possèdent pas de technologie spécifique.	
		514.393.1000																	
Stuyvesant (Boskalis)	Bastiaan Lammers	b.m.lammers@boskalis.nl	US/Hol	Entrepreneur	•		•	•								Oui	Oui	Proposent une séparation physique des sédiments comme réalisé pour les projets de Miami River et de Fox River. Possèdent également une grande expertise en ce qui a trait à l'assèchement de sédiments.	
		609.897.0800																	
Tecosol	Pierre Dufresne	p.dufresne@tecosol.com	Can	Entrepreneur			•	•								Oui	Oui	Leur technologie (Organométox) a été testée en laboratoire sur des sédiments de Sandy Beach en 2010 et permettrait de réduire les concentrations en contaminants de 85 à 99 %.	
		450.922.1206																	
Terratube	Jocelyn Douheret	jdouheret@terratube.ca	Can	Entrepreneur	•											Oui	Oui	Leur technique d'assèchement (Géotubes®) pourrait être utilisée pour l'assèchement des sédiments dragués hydrauliquement.	
		418.603.2272																	

Notes :  
 NA : Non applicable. Le fournisseur contacté ne possède pas de technologie spécifique pour le traitement des sédiments de Sandy Beach.  
 ND : Non déterminé. Le fournisseur contacté n'a pas fourni de réponse à la demande.

Tableau 4 : Synthèse des informations fournies par les fournisseurs

Fournisseur	Technologie <sup>(1)</sup>	Superficie nécessaire <sup>(2)</sup> (m <sup>2</sup> )	Énergie nécessaire		Traitement des effluents gazeux nécessaire <sup>(3)</sup>	Volumes d'eau utilisé		Utilisation de produits chimiques <sup>(3)</sup>	Capacité de traitement des sédiments	Besoin d'une chaîne de traitement <sup>(4)</sup>	Pourcentage de sol valorisable <sup>(4) (5)</sup>
			Source d'énergie <sup>(3)</sup>	Énergie requise		Volume de départ (m <sup>3</sup> )	Volume additionnel (m <sup>3</sup> /h)				
3R Environmental Technologies	Désorption thermique	--	Électricité ou gaz naturel	--	Oui	--	--	Oui pour assèchement	--	Oui. Ne permet pas le traitement des métaux.	--
AIM Environmental Group	Lavage	120	Électricité	< 3 kW/t.m.	Non	250	5	--	25 à 40 t.m./h	Non	90%
	Assèchement	Inclus dans lavage	Électricité	Inclus dans lavage	Non	Inclus dans lavage	Inclus dans lavage	Oui	25 à 40 t.m./h	NA	NA
ART Engineering	Lavage	--	Électricité	--	Non	--	--	--	40 t.m./h	Non	--
	Assèchement	--	Électricité	--	Non	--	--	Oui	40 t.m./h	NA	NA
BioGenesis	Lavage	3 250 avec un dégagement de 7,5 m au pourtour	Électricité	3 000 kVA	Non	30 à 33	30 à 33	Oui pour lavage et assèchement	35 m <sup>3</sup> /h	Non	--
	Assèchement	Inclus dans lavage	Électricité	Inclus dans lavage	Non	Inclus dans lavage	Inclus dans lavage	Oui	35 m <sup>3</sup> /h	NA	NA
DEC (DEME)	Lavage	--	Électricité	400 kVA	Non	140	4	Oui pour lavage et assèchement	--	Non	--
	Assèchement	--	Électricité	Inclus dans lavage	Non	Inclus dans lavage	Inclus dans lavage	Oui	--	NA	NA
Environmental Chemical Corporation	Lavage	--	Électricité	--	Non	--	--	Oui pour lavage et assèchement	--	Non	80 à 90 %
	Assèchement	--	Électricité	--	Non	--	--	Oui	--	NA	NA
	Stabilisation	--	--	--	Non	--	--	Oui pour stabilisation et assèchement	--	Non	--
	Désorption thermique	--	Gaz naturel, huile ou propane et électricité	600 kVA	Oui	--	--	Oui pour assèchement	--	Oui. Ne permet pas le traitement des métaux.	--
ESMI	Stabilisation	--	--	--	Non	--	--	Oui pour stabilisation et assèchement	--	Non	--
	Désorption thermique	--	Gaz naturel, huile ou propane et électricité	--	Oui	--	--	Oui pour assèchement	50 t.m./h	Oui. Ne permet pas le traitement des métaux.	--
Impact Services	Vitrification	100	Électricité	--	Oui	--	--	Oui pour assèchement	3 à 5 t.m./h	Non	--
Minergy	Vitrification	--	Électricité	--	Oui	--	--	Oui pour assèchement	--	Non	--
MT2	Stabilisation	--	--	--	Non	--	--	Oui pour stabilisation et assèchement	--	Non	--
Newalta	Assèchement	1 000	Électricité	120 kVA	Non	--	--	Oui	--	NA	NA
Stuyvesant (Boskalis)	Lavage	5 625	Électricité	--	Non	--	--	Oui pour lavage et assèchement	--	Non	--
	Assèchement	Inclus dans lavage	Électricité	--	Non	--	--	Oui	--	NA	NA
Tecosol	Lavage	300	Électricité	--	Non	250	--	Oui pour lavage et assèchement	5 t.m./h	Non	90%
	Assèchement	Inclus dans lavage	Électricité	--	Non	Inclus dans lavage	--	Oui	5 t.m./h	NA	NA
Terratube	Assèchement	Un peu plus de 7 500	Électricité	12 kVA	Non	--	--	Oui	Débit de dragage	NA	NA

## Notes :

- (1) : Les technologies rapportées ici sont uniquement celles proposées par les fournisseurs. Il est possible que l'offre de service pour un fournisseur donné soit plus large que ce qui est rapporté dans le présent tableau (voir tableau 3).
- (2) : Exclut l'espace nécessaire pour l'entreposage des sédiments avant ou après traitement. Dans le cas des procédés de lavage, la superficie des unités est relativement importante, mais la capacité de traitement étant plus grande, les espaces requis pour l'entreposage pré-traitement peuvent être moindres, voir inexistant. Dans les cas des procédés thermiques, la superficie des unités est relativement petite, mais la capacité de traitement étant plus faible, les espaces requis pour l'entreposage pré-traitement sont plus grands. De plus, les sédiments doivent être préalablement asséchés dans le second cas, ce qui n'est pas inclus dans les superficies rapportées. Finalement, ils doivent être combinés à d'autres types traitement puisqu'ils ne permettent pas de traiter les métaux.
- (3) : Information tirée de la littérature lorsqu'elle n'était pas fournie par les fournisseurs.
- (4) : Pour les traitements de la contamination. Exclut l'assèchement.
- (5) : Estimation du fournisseur selon les résultats obtenus dans le cadre de projets semblables. Nécessite des essais de traitabilité pour être validé.
- : Non disponible. Information non fournie.
- ND : Non déterminé.
- NA : Non applicable.



**Annexe 1 Courriel type**

Dear Madam/Sir,

We are currently working on the development of a remediation project for sediments at Sandy Beach commercial wharf in Gaspé, Québec on behalf of Transport Canada. As part of the process, we are investigating sediment dewatering and soil/sediment treatment technologies to confirm if beneficial reuse of the sediments would be feasible for this project. Knowing that your company offers services in soil/sediment treatment, we would greatly appreciate if you were able to give us some insight as to which technologies you are able to implement for sediment dewatering (geotubes, centrifugation, presses, etc.) and/or soil/sediment treatment (biological, physical/chemical, thermal). Therefore, here is some basic information on our project:

- The site is located in the sector of the Port of Gaspé – Sandy Beach, Québec, Canada;
- An *in situ* volume of approximately 37,700 m<sup>3</sup> of contaminated sediments were estimated during the characterization studies;
- The average *in situ* percent solids is around 60%, and it is expected that the dredged sediments would have a 50% solids content if dredged mechanically (approx. 49,800 m<sup>3</sup>) and 15% solids if dredged hydraulically (approx. 219,500 m<sup>3</sup>);
- The average thickness of the contaminated sediments in the areas identified is between 30 and 65 cm;
- The average levels of contamination in these sediments are 817 mg/kg for the copper (maximum of 5,800 mg/kg) and 12.4 mg/kg for the total PAHs (maximum of 107.5 mg/kg; benzo(a)anthracene, benzo(b+j+k)fluoranthene, chrysene, fluoranthene, phenanthrene and pyrene being the most significant PAH contaminants);
- Following a risk analysis study, clean-up goals were established at 2 400 mg/kg for copper and 5 mg/kg for total PAHs. Most sediments will therefore have concentrations above one or both of these values;
- It is possible that some sediments will be impacted with PCBs, but the contamination level is not known for now;
- The sediments consist of, on average, 58 % coarse particles (gravel and sand) and 42 % fine particles (silt and clay).

We would appreciate if you could give us a quote including a description of the technology/technologies or treatment train that you would be able to implement to dewater and/or treat the sediments including all machinery, infrastructures, inputs, outputs and an approximation of the surface areas that would be required. The quote should also include all pertinent documentation that could be useful in the comprehension of the proposed techniques. A list of projects successfully undertaken using the proposed methods would also be appreciated, and should include the volumes treated, the treatment rates, the decontamination levels achieved, the locations and dates of the projects, the final destinations for the treated sediments and by-products of the treatment. If PCB impacted sediments were to impact the process (process water treatment, extra technology needed, etc.) it would have to be denoted.

Please note that this is a preliminary evaluation and that there is still no precise schedule for this project. If you consider answering this request, we would appreciate you doing so within the next week or so. Because of the very short timeframe, we are not looking for a budget or performance estimate for now, but to make sure that we account for all potentially applicable technologies. We are looking for all applicable technologies which have been demonstrated at full scale and which are commercially available.

Don't hesitate to call me if you need anymore information.

Thank you in advance.

Regards,

**BRUNO VALLÉE, géogr., M.Sc.**  
Project Manager  
Geoenvironment

**DESSAU**  
1080, Beaver Hall Hill, Suite 300  
Montréal (Québec) H2Z 1S8  
T 514.281.5173, ext. 2695  
F 514.798.8790  
E [bruno.vallee@lvm.ca](mailto:bruno.vallee@lvm.ca)  
[www.dessau.com](http://www.dessau.com)

**Annexe 2 Documents pertinents  
(en format électronique)**