

LIEUX D'ENFOUISSEMENT DE SOLS CONTAMINÉS

GUIDE D'IMPLANTATION, DE CONTRÔLE ET DE SUIVI

Février 2007



AVANT-PROPOS

Le 11 juillet 2001, le gouvernement du Québec mettait en vigueur le *Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés*. Le 9 janvier 2002, il y apportait des modifications par la mise en vigueur du *Règlement modifiant le Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés*.

Le *Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés* établit les conditions ou les prohibitions qui sont applicables lors de l'aménagement, de l'agrandissement et de l'exploitation des lieux d'enfouissement de sols contaminés. Il établit également les conditions qui sont applicables lors de la fermeture et lors du suivi post-fermeture de ces lieux.

Le présent guide a été réalisé par le Service des lieux contaminés afin de compléter et de préciser les exigences reliées à la conception, à l'aménagement, au contrôle et au suivi des lieux d'enfouissement de sols contaminés qui sont inclus dans le *Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés*.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|----------|
| INTRODUCTION..... | 2 |
| 1 SÉLECTION DU TERRAIN..... | 3 |
| 2 ÉTUDE DÉTAILLÉE DU TERRAIN..... | 4 |
| 2.1 BUT DE L'ÉTUDE..... | 4 |
| 2.2 CONTEXTE RÉGIONAL..... | 4 |
| 2.3 CONDITIONS LOCALES DU TERRAIN..... | 4 |
| 2.3.1 <i>Contexte hydrologique</i> | 4 |
| 2.3.2 <i>Contexte géologique</i> | 4 |
| 2.3.3 <i>Contexte géotechnique</i> | 5 |
| 2.3.4 <i>Contexte hydrogéologique</i> | 5 |
| 2.3.5 <i>Conditions atmosphériques</i> | 6 |
| 2.3.6 <i>Qualité de l'air ambiant</i> | 6 |
| 2.4 MÉTHODES DE CARACTÉRISATION DES SOLS ET DE L'EAU SOUTERRAINE..... | 7 |
| 2.5 MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSE..... | 7 |
| 3 IMPLANTATION D'UNE CELLULE D'ENFOUISSEMENT..... | 8 |
| 3.1 GÉOMÉTRIE D'UNE CELLULE..... | 8 |
| 3.2 AMÉNAGEMENT DU FOND ET DES PAROIS..... | 8 |
| 3.2.1 <i>Étanchéité</i> | 8 |
| 3.2.1.1 Exigences du RESC..... | 8 |
| 3.2.1.2 Équivalences..... | 8 |
| 3.2.2 <i>Systèmes de récupération des lixiviats (SRL)</i> | 8 |
| 3.2.2.1 Exigences du RESC..... | 8 |
| 3.2.2.2 Configuration des SRL..... | 8 |
| 3.2.2.3 Filtre séparateur..... | 9 |
| 3.2.2.4 Capacité de drainage..... | 10 |
| 3.2.3 <i>Intégrité des composantes</i> | 10 |
| 3.2.3.1 Tassements..... | 10 |
| 3.2.3.2 Soulèvements..... | 11 |
| 3.2.3.3 Stabilité..... | 11 |
| 3.2.3.3.1 Pentes d'excavation..... | 11 |
| 3.2.3.3.2 Système d'imperméabilisation..... | 11 |
| 3.2.3.3.3 Masse de sols enfouis..... | 14 |
| 3.2.3.4 Poinçonnement des géomembranes..... | 14 |
| 3.2.3.5 Intégrité structurale des drains..... | 15 |
| 3.2.4 <i>Préparation du niveau final d'excavation</i> | 15 |
| 3.2.4.1 Général..... | 15 |
| 3.2.4.2 Présence d'eau souterraine..... | 15 |
| 3.2.4.3 Remaniement du dépôt argileux..... | 15 |
| 3.3 AMÉNAGEMENT DU RECOUVREMENT..... | 15 |
| 3.3.1 <i>Exigences du RESC</i> | 15 |
| 3.3.2 <i>Couche imperméable</i> | 15 |
| 3.3.2.1 Option 1..... | 15 |
| 3.3.2.2 Option 2..... | 16 |
| 3.3.2.3 Équivalences..... | 16 |
| 3.3.3 <i>Couche de drainage</i> | 16 |
| 3.3.4 <i>Couche de protection</i> | 18 |
| 3.3.5 <i>Couche de terre apte à la végétation</i> | 18 |
| 3.3.6 <i>Intégrité du recouvrement</i> | 18 |
| 3.3.6.1 Stabilité..... | 18 |
| 3.3.6.2 Tassement..... | 19 |
| 3.3.6.3 Poinçonnement des géomembranes..... | 19 |
| 3.3.7 <i>Utilisation de sols contaminés dans le recouvrement</i> | 20 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.4 | ANCRAGES..... | 20 |
| 4 | AMÉNAGEMENTS COMPLÉMENTAIRES..... | 22 |
| 4.1 | ZONE TAMPON | 22 |
| 4.2 | SYSTÈME DE CAPTAGE DES GAZ | 22 |
| 4.3 | RÉSEAU DE DRAINAGE DES EAUX DE SURFACE..... | 22 |
| 4.4 | RÉSEAU DE PUIITS D'OBSERVATION DES EAUX SOUTERRAINES | 23 |
| | RÉSEAU DE POINTS DE REPÈRES | 24 |
| 4.5 | | 24 |
| 4.5 | INSTALLATIONS DE GESTION DES LIXIVIATS..... | 24 |
| 4.5.1 | <i>Exigences du RESC</i> | 24 |
| 4.5.2 | <i>Système de captage</i> | 24 |
| 4.5.3 | <i>Zone d'accumulation</i> | 25 |
| 4.6 | AUTRES INSTALLATIONS..... | 26 |
| 5 | CONTRÔLE ET ASSURANCE QUALITÉ (CQ/AQ)..... | 27 |
| 5.1 | GÉNÉRAL | 27 |
| 5.2 | CONTRÔLE DE LA QUALITÉ | 27 |
| 5.2.1 | <i>Matériaux drainants</i> | 27 |
| 5.2.2 | <i>Mise en place de sols argileux</i> | 27 |
| 5.2.2.1 | Général | 27 |
| 5.2.2.2 | Caractérisations préliminaire et exhaustive | 28 |
| 5.2.2.3 | Programme de contrôle de mise en place | 28 |
| 5.2.2.4 | Mesures de protection et de correction | 30 |
| 5.2.3 | <i>Géosynthétiques</i> | 30 |
| 5.2.3.1 | Général..... | 30 |
| 5.2.3.2 | Acceptation..... | 30 |
| 5.2.3.3 | Installation..... | 31 |
| 5.2.3.4 | Cas particulier des géomembranes | 31 |
| 5.2.3.4.1 | Soudures..... | 31 |
| 5.2.3.4.2 | Défectuosités..... | 32 |
| 5.3 | ASSURANCE DE LA QUALITÉ | 32 |
| 5.3.1 | <i>Général</i> | 32 |
| 5.3.2 | <i>Cas particuliers des soudures des géomembranes</i> | 32 |
| 6 | CONTRÔLE ET SUIVI DU LIEU..... | 33 |
| 6.1 | PÉRIODE D'EXPLOITATION | 33 |
| 6.1.1 | <i>Sols contaminés</i> | 33 |
| 6.1.1.1 | Général | 33 |
| 6.1.1.2 | Admissibilité des sols | 33 |
| 6.1.1.3 | Réception des sols | 33 |
| 6.1.1.4 | Registre d'exploitation | 33 |
| 6.1.2 | <i>Eaux</i> | 33 |
| 6.1.2.1 | Général | 33 |
| 6.1.2.2 | Eaux de lixiviation..... | 33 |
| 6.1.2.3 | Eaux de surface et de rejet..... | 33 |
| 6.1.2.4 | Eaux souterraines..... | 33 |
| 6.1.3 | <i>Gaz et air ambiant</i> | 33 |
| 6.1.4 | <i>Recouvrement</i> | 34 |
| 6.1.5 | <i>Vérification des installations</i> | 34 |
| 6.1.5.1 | Général | 34 |
| 6.1.5.2 | Système de traitement..... | 35 |
| 6.1.5.3 | Aménagements particuliers | 35 |
| 6.1.5.4 | Cellules..... | 35 |
| 6.2 | PÉRIODE POST-FERMETURE..... | 35 |
| 6.3 | LABORATOIRES ACCRÉDITÉS | 35 |

| | | |
|----|---|----|
| 7 | INFORMATIONS À FOURNIR AU MENY..... | 36 |
| | GÉNÉRAL..... | 36 |
| | CONTEXTE RÉGIONAL ET CONDITIONS LOCALES DU TERRAIN..... | 36 |
| | CONCEPTION..... | 36 |
| | PLANS ET DEVIS DE CONSTRUCTION..... | 36 |
| | PROGRAMME DE CONTRÔLE ET D'ASSURANCE QUALITÉ..... | 36 |
| | PROGRAMME DE CONTRÔLE ET DE SUIVI DU LIEU..... | 37 |
| | ENGAGEMENTS NIVEAUX DE BRUITS..... | 37 |
| 38 | REFERENCES..... | |
| 41 | BIBLIOGRAPHIE..... | |
| 42 | ANNEXE I..... | |

FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Géométrie standard d'une cellule selon le RESC..... | 8 |
| Figure 2 : Construction d'un ouvrage de drainage au pourtour d'une cellule..... | 8 |
| Figure 3 : Aménagement du fond et des parois d'une cellule selon le RESC..... | 8 |
| Figure 4 : Configurations d'un lit de drainage et des drains français..... | 9 |
| Figure 5 : Risques de perte d'intégrité reliés à une cellule d'enfouissement | 13 |
| Figure 6 : Séquences types du recouvrement d'une cellule selon le RESC | 17 |
| Figure 7 : Exemples types d'ancrages des géosynthétiques..... | 21 |
| Figure 8 : Ancrage d'une cellule d'enfouissement de sols contaminés | 21 |
| Figure 9 : Réseau de drainage des eaux de surface | 23 |
| Figure 10 : Réseau de puits d'observation des eaux souterraines | 24 |
| Figure 11 : Fond et parois de la zone d'accumulation des lixiviats | 26 |
| Figure 12 : Procédure applicable pour le suivi de la qualité des eaux souterraines | 33 |

TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Propriétés des sols pulvérulents et cohérents | 5 |
| Tableau 2 : Exigences minimales de contrôle des matériaux drainants | 27 |
| Tableau 3 : Contrôle de la mise en place de sols argileux | 29 |
| Tableau 4 : Critères d'acceptation de la mise en place de sols argileux | 29 |
| Tableau 5 : Caractéristiques des géosynthétiques visés par les essais d'acceptation..... | 31 |
| Tableau 6 : Programme d'échantillonnage des sols contaminés à la réception | 33 |
| Tableau 7 : Mesures de suivi de la qualité des eaux dans un LESC | 33 |
| Tableau 8 : Fréquences de vérification des installations | 34 |

INTRODUCTION

Ce guide constitue un recueil des principaux aspects techniques à considérer et des principales exigences du Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs (MDDEP) à respecter, lors de la conception, de l'implantation, du contrôle et du suivi d'un lieu d'enfouissement de sols contaminés.

Il s'agit d'un document complémentaire au *Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés*, qui s'avère être d'une grande utilité aux divers intervenants impliqués dans un projet d'établissement d'un lieu d'enfouissement de sols contaminés.

Tous les aspects traités dans ce guide ont été abordés en considérant que l'enfouissement est une alternative de gestion des sols contaminés qui nécessite une protection à très long terme du milieu environnant. Lors de l'établissement d'un lieu d'enfouissement de sols contaminés, chacune des étapes du projet devra être abordée dans cette optique par chacun des intervenants impliqués. Par conséquent, les techniques, pratiques et matériaux qui seront utilisés à l'intérieur d'un tel projet devront toujours être les plus performants disponibles sur le marché.

Les aspects techniques reliés à l'enfouissement étant toujours en évolution constante, ce guide devra être considéré comme un outil évolutif, dont le contenu nécessitera d'être constamment validé auprès du MDDEP. Dans ce but, une version électronique à jour du guide contenant les dernières modifications qui y ont été apportées sera en tout temps disponible sur le site internet du MDDEP.

1 SÉLECTION DU TERRAIN

La première phase du processus de sélection d'un terrain dans le but d'y établir un lieu d'enfouissement de sols contaminés (LESC) consiste à évaluer s'il est possible d'y implanter un tel lieu (espace, zonage, etc.).

Le cas échéant, la seconde phase du processus consistera principalement à vérifier si les exigences du *Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés* (RESC) concernant la localisation du lieu et l'étanchéité des dépôts meubles du terrain sont respectées.

Cette vérification s'effectuera par l'entremise de la réalisation d'une étude préliminaire de reconnaissance constituée de quatre étapes :

- I. Localisation du terrain par rapport aux utilités publiques des articles 5 et 8 du RESC (prise d'eau de surface et ouvrage de captage d'eau souterraine);
- II. Localisation du terrain par rapport aux zones de restrictions des articles 6 et 7 du RESC (zones à risques de mouvement de terrain et zone d'inondation d'un cours ou plan d'eau);
- III. Validation préliminaire de la conductivité hydraulique, de l'homogénéité et de l'épaisseur des dépôts meubles du terrain (article 11 du RESC);
- IV. Validation préliminaire de l'absence d'une nappe libre ayant un potentiel aquifère élevé (article 8 du RESC).

Pour la réalisation de l'étape I et II, une consultation auprès des organismes municipaux localisés en périphérie du lieu est exigé.

2 ÉTUDE DÉTAILLÉE DU TERRAIN

2.1 But de l'étude

Suite à l'étude de reconnaissance préliminaire, lorsque les caractéristiques d'un terrain sont telles qu'il est envisageable d'y implanter un LESC, ce terrain devra faire l'objet d'une étude plus détaillée.

En plus de valider les résultats de l'étude de reconnaissance préliminaire, cette étude aura comme objectif d'établir avec précision le contexte régionale du terrain, mais aussi les conditions locales.

Les informations recueillies s'avéreront essentielles lors de la conception et de l'aménagement des cellules ou autres installations du futur lieu, ainsi que la mise en place des mesures de contrôle et de surveillance.

2.2 Contexte régional

Cette partie de l'étude consistera à résumer, au niveau régional, les contextes hydrologique, géologique, géotechnique et hydrogéologique, présents.

2.3 Conditions locales du terrain

2.3.1 Contexte hydrologique

Le contexte hydrologique local devra être établi en identifiant et décrivant (caractéristiques, sens d'écoulement, etc.) les principaux aménagements de drainage ou milieux récepteurs (fossés, ruisseau, rivière, lac, etc.) présents sur le terrain. Il pourra s'avérer nécessaire d'établir également la qualité chimique de certains des aménagements ou milieux récepteurs localisés à proximité ou sur le terrain.

Les informations recueillies seront particulièrement utiles lors de la conception du système de captage des eaux de surface et de l'établissement des objectifs environnementaux de rejet.

2.3.2 Contexte géologique

L'établissement du contexte géologique local devra principalement permettre de classer les différentes unités géologiques (roc et dépôts meubles) présentes sur le terrain et d'en établir la stratigraphie en continu.

Une attention spéciale devra être apportée à la présence de structure de plus grandes perméabilités dans les sols cohérents (fracture, oxydation, litage, etc.). En présence de telles structures leur étendu devra être défini avec précision.

2.3.3 Contexte géotechnique

Le contexte géotechnique devra permettre d'une part de valider l'absence de zones à risques de mouvement de terrain.

D'autre part, à établir les caractéristiques géotechniques des dépôts meubles du terrain. Ces informations seront particulièrement utiles lors de la conception des cellules (stabilité, tassement, soulèvement, etc.) et autres installations du lieu.

Le tableau 1 résume, à titre indicatif, les principales propriétés des sols cohérents et pulvérulents qui sont importantes à déterminer.

Tableau 1 : Propriétés des sols pulvérulents et cohérents

| Propriétés | |
|------------------------------|-----------------------------|
| Sols Cohérents | Sols pulvérulents |
| Masse volumique en place | Masse volumique en place |
| Teneur en eau | Teneur en eau |
| Porosité effective | Porosité effective |
| Limites d'Atterberg | Angle de frottement interne |
| Indice de liquidité | |
| Indice de plasticité | |
| Résistance au cisaillement | |
| Pression de préconsolidation | |
| Sensibilité | |
| Cohésion | |
| Pression préconsolidation | |

2.3.4 Contexte hydrogéologique

En plus de permettre de valider l'absence d'une nappe libre d'eau souterraine ayant un potentiel aquifère élevé et la conductivité hydraulique des dépôts meubles du terrain, la détermination de ce contexte aura pour but d'établir avec précision les conditions hydrogéologiques locales dans lequel le lieu d'enfouissement sera établi.

Les informations recueillies seront aussi extrêmement importantes lors de la conception des cellules (soulèvement, installation géomembrane, etc.) et de l'élaboration du programme de suivi des eaux souterraines. Enfin, elles pourront être utiles afin d'évaluer la durée de vie du lieu et les mesures à considérer advenant l'apparition de problèmes de contamination des eaux souterraines.

Précisons que lors de l'établissement du contexte hydrogéologique toutes les nappes présentes sur le terrain, qu'elles soient libres ou captives devront être considérées. Pour l'évaluation du potentiel aquifère, en présence d'horizons de grande perméabilité, la réalisation d'essais de pompage pourra s'avérer nécessaire.

L'établissement du contexte hydrogéologique local devra s'effectuer en six étapes :

- I. Évaluation du potentiel aquifère de la nappe libre, si présente sur le terrain en accord avec l'article 8 du RESC;
- II. Détermination de la conductivité hydraulique de chacune des unités géologiques du terrain, celle des sols cohérents devant être établis en continue.
- III. Détermination des gradients hydrauliques horizontaux des eaux souterraines et leur régime d'écoulement (vitesse et sens) dans chacune des unités géologiques du terrain étudié, ainsi que le gradient vertical dans le dépôt argileux.
- IV. Détermination du niveau piézométrique stable des eaux souterraines du terrain et des variations saisonnières;
- V. Identification des différentes aires de recharge, de résurgence et de discontinuité des eaux souterraines du terrain;
- VI. Le contrôle de la qualité chimique des eaux souterraines du terrain (en fonction de l'annexe II du RESC tel que requis par l'article 25 du RESC).

2.3.5 Conditions atmosphériques

Le recueil de données provenant d'organismes reconnus ou à l'aide d'appareils installés sur le terrain devra permettre d'établir clairement les conditions atmosphériques présentes sur le terrain.

Ces données seront utiles afin de déterminer l'épaisseur de couche de protection du recouvrement (gel/dégel), la quantité de lixiviat pouvant être généré en fond de cellule et pour établir un programme de suivi ainsi que la qualité de l'air ambiant.

2.3.6 Qualité de l'air ambiant

L'échantillonnage et l'analyse de l'air ambiant aux limites du lieu sera nécessaire afin d'en établir la qualité avant l'aménagement du lieu (état zéro). En présence d'activités sur le terrain au moment de sa caractérisation, des mesures devront être prises à proximité de celles-ci afin de déterminer l'impact qu'elles ont sur la qualité de l'air ambiant.

Dans un lieu à caractère commercial, les échantillons devront être recueillis selon les méthodes TO-14A ou TO-17 du document Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air-second edition de la EPA et être analysés en fonction du spectre complet de substances de ces méthodes. Dans le contexte d'un lieu rencontrant les exigences de l'article 2 du RESC, les substances à analyser pourront provenir d'une méthode ayant un spectre plus limité et choisi en fonction de celles susceptibles d'être présentes dans les sols contaminés.

2.4 Méthodes de caractérisation des sols et de l'eau souterraine

Afin de prévenir la création de chemins d'écoulement préférentiel, les méthodes d'investigation destructives devront être utilisées uniquement à l'extérieur des zones d'enfouissement (cellules) ou ne pas atteindre le niveau final du fond et des parois après excavation. Une conception préliminaire de la configuration de la ou des cellules qui seront présentes dans le lieu est recommandé avant la réalisation de l'étude détaillée.

Afin d'évaluer la conductivité hydraulique (K) sur toute l'épaisseur des sols cohérents, deux alternatives seront envisageables :

- 1- La réalisation d'essais de perméabilité en cellule triaxiale. Ces essais devront être combinés à une investigation à l'aide de sondages au piézocône afin de déceler la présence de structure (ex. fissures) de plus grandes perméabilités.
- 2- La réalisation d'essais de perméabilité *in situ* combinés à des essais en cellule triaxiale. Advenant un écart entre les valeurs de K *in situ* et ceux en cellule triaxiale égal ou supérieur à un facteur de 5, même si les K *in situ* est inférieur ou égal à 1×10^{-6} cm/s, une investigation à l'aide de sondages au piézocône afin de déceler la présence de structure (ex. fissures) de plus grandes perméabilités sera requis.

Les sondages au piézocône devront être effectués en conformité avec le Guide pour la réalisation de sondages au piézocône qui est fourni en annexe.

De plus, en présence d'indices indiquant un socle rocheux accidentée, une caractérisation de la topographie du roc sous le dépôt d'argile devra être effectuée à l'aide d'une méthodes géophysique non destructive.

La localisation de tous les points de mesure et leur fréquence devront permettre d'obtenir la meilleure représentation possible du terrain. Les méthodes, essais et analyses nécessaires à la caractérisation du terrain devront être effectués en conformité avec les normes du Bureau de normalisation du Québec (BNQ) et des standards de L'American society for testing and materials (ASTM). Les coordonnées permettant de contacter ces organismes sont fournies à l'annexe I.

2.5 Méthodes d'échantillonnage et analyse

Les procédures d'échantillonnage des eaux de surface et souterraines doivent respectivement être effectuées en conformité avec l'édition courante du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, cahier 2, Échantillonnage des rejets liquides* et le *cahier 3, Échantillonnage des eaux souterraines*. Mentionnons à cet égard que, contrairement aux eaux souterraines, les échantillons d'eau de surface ne doivent pas être filtrés.

L'échantillonnage de l'air ambiant devra être effectué en conformité avec le document *Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air*-second edition de la EPA et lors des conditions les plus propices à la migration des gaz soit, sous le vent, lors de vents calmes (< 5 km/h), de température chaude ($>18^{\circ}$ C) et en présence de taux d'humidité faible ($<75\%$).

3 IMPLANTATION D'UNE CELLULE D'ENFOUISSEMENT

3.1 Géométrie d'une cellule

N/A

3.2 Aménagement du fond et des parois

3.2.1 Étanchéité

3.2.1.1 Exigences du RESC

N/A

3.2.1.2 Équivalences

N/A

3.2.2 Systèmes de récupération des lixiviats (SRL)

3.2.2.1 Exigences du RESC

Outre la pente minimale de 2 % et la hauteur maximale de lixiviat acceptable dans le SCL (30 cm), le RESC ne précise pas d'exigence en ce qui concerne la composition du SCL et du SDF (épaisseur, perméabilité, etc.). Par contre, en vertu de l'article 47 du RESC la récupération du lixiviat doit être effectuée tant que le propriétaire n'est pas en mesure de démontrer que le lieu d'enfouissement n'est plus susceptible de constituer une source de contamination. Dans cette optique, le principal but à atteindre lors de la conception du SCL et du SDF sera l'obtention d'un drainage efficace ayant une durée de vie effective la plus longue possible.

3.2.2.2 Configuration des SRL

Il existe différentes façons de construire un système de récupération des lixiviats (SRL). Parmi les configurations les plus reconnues dans le domaine de l'enfouissement, notons les drains français et le lit de drainage, chacun incluant des drains de récupérations perforés localisés aux différents points bas de la cellule.

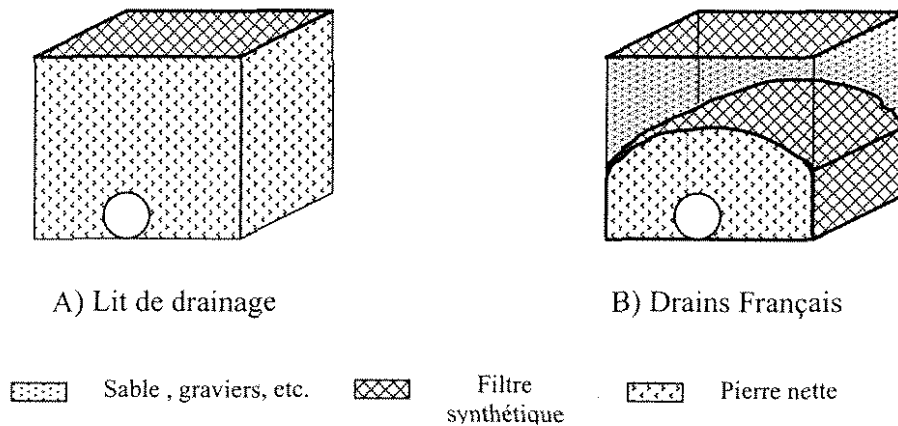
Le principe du lit de drainage (figure 4a) consiste à mettre en place une épaisseur unique d'un même matériau granulaire (sable, graviers, pierre nette, etc.). Celui du drain français (figure 4b) requiert la mise en place d'un matériau granulaire de plus grande ouverture (ex. pierre nette), autour des drains de récupération d'un lit de drainage de plus faible ouverture (ex. sable, graviers). Les drains français (entourés d'un filtre synthétique) constituent ainsi des zones vers lesquelles se concentrera l'écoulement et où le colmatage sera très faible.

Bien que le recours au lit de drainage constitué de pierre nette soit fortement recommandé, à titre d'exigence minimale, l'aménagement du SCL et du SDF d'une cellule d'enfouissement de sols contaminés devra inclure la présence d'un géosynthétique de drainage (sauf les géotextiles) à la base d'un matériaux granulaire drainant (ex. sable, graviers) ainsi que des drains français constitués de pierre nette incluant un drains en PEHD perforés non enrobés.

Indépendamment de l'option retenue, un filtre synthétique (géotextile) devra séparer les sols contaminés et le SCL. Ce filtre sera également requis autour des drains français, ainsi qu'entre le géosynthétique de drainage et les matériaux granulaires du SCL et du SDF.

Malgré les précédentes exigences sur les parois (seulement) le SCL et le SDF pourront être composés uniquement d'un géosynthétique de drainage.

Figure 4 : Configurations d'un lit de drainage et des drains français



3.2.2.3 Filtre synthétique

Pour la sélection d'un filtre synthétique, il est recommandé d'utiliser une méthode théorique (ex. critère de filtre) laissée au choix du concepteur (ex. Rowe 1993, Koerner et al. 1994, Luettich et al. 1992). Peu importe la méthode utilisée, celle-ci devra être complétée par la réalisation d'un essai de compatibilité en filtration (ASTM D5101) démontrant la stabilité du filtre.

Bien que la recherche d'un ratio des gradients (gradient ratio) le plus faible possible soit préférable lors de la réalisation de l'essai, la démonstration de stabilité pourra être principalement basée sur la variation du ratio dans le temps et l'usage qui est prévue. En ce sens, la présence d'un ratio stable dans le temps pourra s'avérer suffisant pour démontrer la stabilité du filtre.

L'essai de compatibilité en filtration devra être réalisés avant le début des travaux de construction d'une cellule, avec les matériaux qui seront réellement utilisés lors de la construction. Un rapport complet devra être fourni au MENV pour approbation avant le début des travaux de construction de la cellule.

À l'étape de conception, une sélection préliminaire à l'aide de la méthode théorique uniquement devra être réalisée.

Dans un LESC à caractère commercial, l'essai sur le filtre séparant les sols contaminés du SCL ne sera pas requis. Par contre, l'exploitation du lieu devra être effectuée de façon à ce qu'aucuns sols contaminés contenant plus de 10% de particules fines (80 μm) ne soient déposés sur le filtre

3.2.2.4 Capacité de drainage

Un calcul devra être effectué à l'aide d'une méthode reconnue (ex. Giroud et Houlinan 1995, Giroud et al. 2000.) afin de démontrer que la hauteur atteinte par le lixiviat dans le SCL en fond de cellule sera au maximum de 30 cm.

La même démonstration devra être effectuée afin de démontrer que la hauteur du lixiviat dans le SDF n'atteindra en aucun temps le niveau de protection supérieur (géomembrane PEHD), assurant ainsi l'absence d'un lien hydraulique entre le SDF et le SCL. Pour le calcul, un taux d'infiltration du lixiviat de 1000 L/ha/j à travers le niveau de protection supérieur devra être utilisé.

3.2.3 Intégrité des composantes

La figure 5 schématise, à titre indicatif, les principaux risques de perte d'intégrité des composantes qui sont retrouvés dans une cellule d'enfouissement. Lors de la conception d'une cellule d'un LESC, les risques de perte d'intégrité reliés aux possibilités de tassements, de soulèvement, d'instabilité ainsi qu'au poids des sols enfouis devront être évalués.

3.2.3.1 Tassements

Les tassements dus au poids de la masse de sols enfouis et les tassements internes de la masse induisent des sollicitations en tension importante aux matériaux présents sur le fond et sur les parois d'une cellule d'enfouissement.

Par conséquent, une analyse des tassements devra être réalisée afin de permettre de démontrer que les pentes de drainage seront maintenues sur le fond et que l'intégrité de tous les matériaux présents seront conservées autant sur le fond que sur les parois.

En fond de cellule, les pentes de drainage et la sollicitation en tension dans les matériaux synthétique devront être calculés en considérant un contexte présentant au point haut d'une certaine section, le tassement maximal évalué et au point bas de cette même section le tassement minimal évalué.

Sur les parois, la sollicitation en tension dans les matériaux synthétique devra être basé sur les déplacements engendrés par les tassements en fond de cellule et les tassements à l'intérieur de la masse de sols enfouie.

En ce qui concerne les pentes de drainages en fond de cellule, l'objectif sera l'obtention, suite aux tassements considérés, d'une pente de 2% au minimum. Concrètement, cela pourra engendrer l'obligation de fixer des pentes supérieures à 2% lors de l'excavation de la cellule.

En ce qui concerne les sollicitations en tension dans les matériaux synthétique (sur les parois et en fond de cellule), pour les géomembranes, il devra être démontré (voir Giroud et al. 1990) que le pourcentage d'élongation engendré sera inférieure à la limite élastique divisée par un facteur de sécurité de 2.

3.2.3.2 Soulèvements

La possibilité d'un soulèvement du dépôt argileux en raison de la pression appliquée par les eaux souterraines devra être évaluée. Le cas échéant, cette possibilité pourra impliquer l'obligation de laisser une épaisseur de dépôt argileux plus importante que celle exigée par le RESC sur le fond de la cellule.

3.2.3.3 Stabilité

3.2.3.3.1 Pentes d'excavation

La stabilité des parois après excavation devra être évaluée. Dans ce but, une modélisation devra être effectuée à l'aide d'outils appropriés (ex. Slope W, Geoslope, Winstabl, etc.) afin de démontrer que la configuration des pentes de la cellule offre une stabilité au décrochement qui est sécuritaire.

3.2.3.3.2 Système d'imperméabilisation

La stabilité de toute la séquence de matériaux (synthétiques et granulaires) présente sur le fond et les parois de la cellule devra également être évaluée. Dans ce but, une modélisation devra être effectuée à l'aide d'outils appropriés (ex. Slope W, Geoslope, Winstabl, etc.) afin de démontrer que la configuration de la cellule offre une stabilité au glissement qui est sécuritaire.

Tous les scénarios de glissement envisageable devront être considérés tant sur le fond que sur les parois. À titre d'exigence minimale, la modélisation devra au moins simuler les scénarios de glissements suivants :

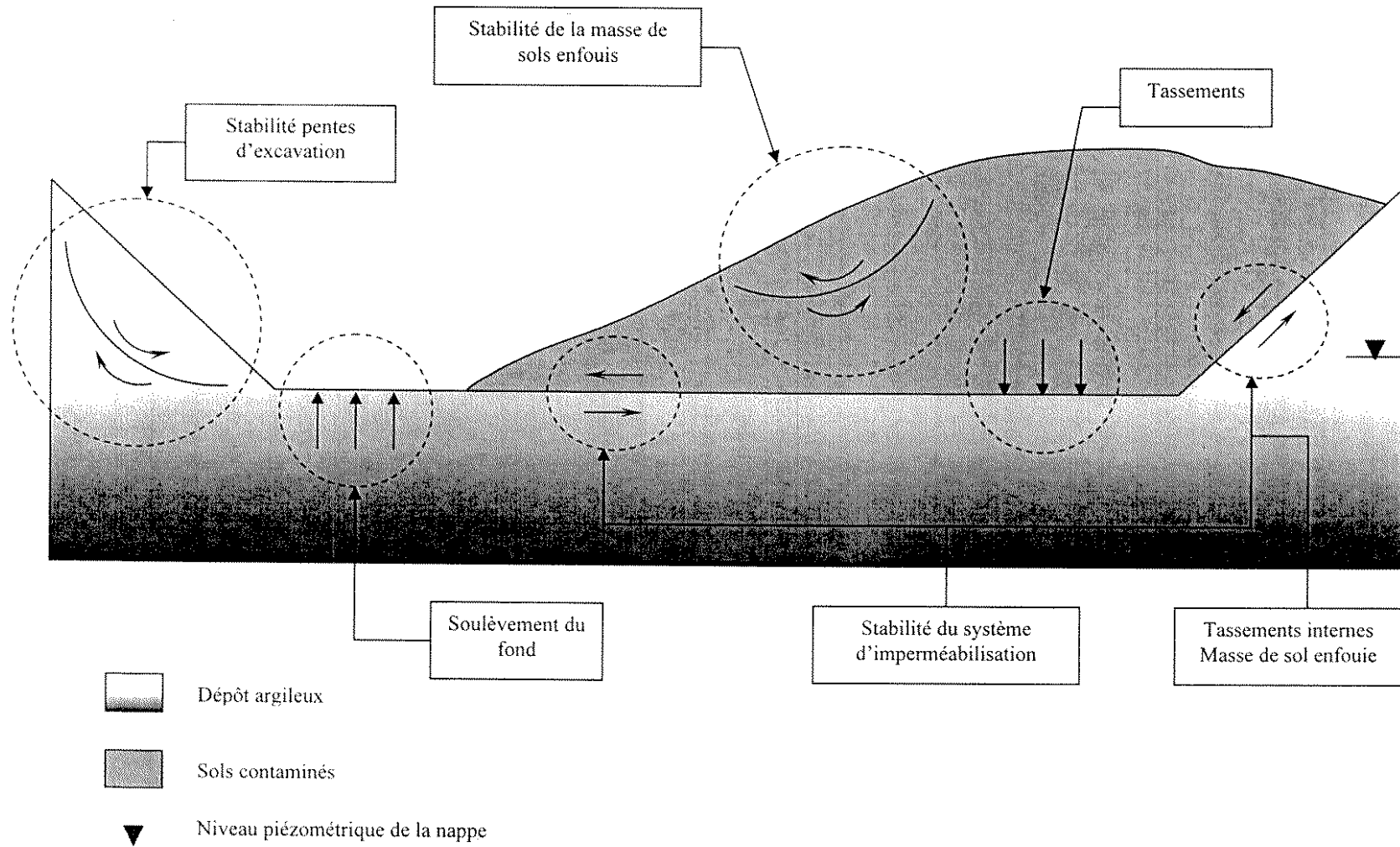
- Système d'imperméabilisation sur les parois suite à l'installation.
- Système d'imperméabilisation sur les parois avec sollicitation de la machinerie qui circule (ex. rampe de déchargement).
- Système d'imperméabilisation sur le fond et les parois en présence de sols enfouis (retenir le contexte le plus critique dans la séquence d'enfouissement lors de l'exploitation). Dans le cas où la séquence d'enfouissement soit effectuée de façon à assurer la stabilité de la cellule. Celle-ci devra être décrite avec détails.

Cette modélisation devra être effectuée avant la construction d'une cellule et sur la base des résultats obtenus lors de la réalisation d'essais de cisaillement direct (ASTM D5321) avec les matériaux réellement utilisés lors de la construction. Un rapport complet devra être fourni au MDDEP pour approbation avant le début des travaux de construction de la cellule.

La modélisation devra être effectuée à l'aide de l'angle de frottement déterminé pour la force de cisaillement résiduelle des essais de cisaillement direct. Un essai de cisaillement direct devra être réalisé sur chacune des interfaces présentes sur le fond et les parois.

À l'étape de conception, une modélisation préliminaire basée sur des résultats tirés de la littérature ou de projets antérieurs devra être réalisée.

Figure 5 : Risques de perte d'intégrité reliés à une cellule d'enfouissement



3.2.3.3.3 Masse de sols enfouis

La stabilité de la masse de sols enfouis devra aussi être évaluée. Là encore une modélisation devra être effectuée à l'aide d'outils appropriés (ex. Slope W, Geoslope, Winstabl, etc.), afin de démontrer que la géométrie de la séquence d'enfouissement offre une stabilité au décrochement sécuritaire.

3.2.3.4 Poinçonnement des géomembranes

La conservation de l'intégrité des géomembranes devra être évalué à l'égard d'un poinçonnement causer par la circulation des véhicules lourd et d'une microfissuration à long terme (stress cracking) due au poids des sols contaminés enfouis.

Pour cette évaluation, il est recommandé d'utiliser d'abord une méthode théorique laissée au choix du concepteur (ex. Najero et al. 1996).

Peu importe la méthode utilisée, celle-ci devra être complétée par la réalisation d'un essai de résistance au poinçonnement à long terme (ASTM D5514 modifié à 100 heures et 2,5 fois la contrainte effective).

L'essai requis devra être réalisé avec chacun des matériaux en contact avec les géomembranes, y compris les géosynthétiques de drainage et les drains français (voir section 3.2.2.2). En absence de particules supérieures à 5 mm dans matériau granulaire, ce dernier n'aura pas à être inclut à l'essai. Un schéma du montage de l'essai devra être fourni.

L'absence de déformation permanente 24h après la réalisation de l'essai signifiera que la protection des géomembranes est suffisante. La présence de la moindre déformation permanente signifiera au contraire que la protection est insuffisante.

Un essai sera également nécessaire avec le dépôt argileux du fond et des parois de la cellule. Abstraction faite de l'exception prévue à la section 3.2.4.2, advenant des résultats négatifs et uniquement dans ce cas, la mise en place d'un géotextile entre la géomembrane inférieure et le dépôt argileux sera permis. Aucune autre solution ayant pour effet de séparer la géomembrane et le dépôt argileux ne sera cependant envisageable et en aucun cas ce géotextile devra être considéré comme un moyen d'extraire le lixiviat. Enfin, la sélection du géotextile à utilisée devra rechercher une épaisseur la plus faible possible ainsi qu'une ouverture et une compressibilité la plus grande possible.

L'essai devra être réalisé avant le début des travaux de construction d'une cellule, avec les matériaux qui seront réellement utilisés lors de la construction. Un rapport complet devra être fourni au MENV pour approbation avant le début des travaux de construction de la cellule.

À l'étape de conception, une évaluation préliminaire à l'aide de la méthode théorique uniquement devra être réalisée.

3.2.3.5 Intégrité structurale des drains

Une analyse démontrant que l'intégrité structurale des drains utilisés sera conservée compte tenu de la charge transmise par les sols contaminés enfouis, devra être effectuée.

3.2.4 Préparation du niveau final d'excavation

3.2.4.1 Général

N/A

3.2.4.2 Présence d'eau souterraine

N/A

3.2.4.3 Remaniement du dépôt argileux

N/A

3.3 Aménagement du recouvrement

3.3.1 Exigences du RESC

En vertu de l'article 38 du RESC, les pentes du recouvrement d'un LESC doivent être de 2% au minimum et 30% au maximum. D'autre part, il doit contenir de la base au sommet les composantes suivantes :

- Une couche imperméable ;
- Une couche drainante;
- Un recouvrement de protection;
- Une couche de terre végétale.

3.3.2 Couche imperméable

Le RESC permet l'utilisation de deux types de couche imperméable, offrant ainsi deux options de recouvrement possibles (figure 6).

3.3.2.1 Option 1

La couche imperméable de l'option 1 doit être constituée par la superposition d'une géomembrane PEHD et d'une couche de sol argileux d'une épaisseur minimale de 60 cm ayant une conductivité hydraulique égale ou inférieure à 1×10^{-7} cm/sec.

Dans ce contexte, une couche composée d'un mélange granulaire incluant de la bentonite sera considérée comme un sol argileux. La géomembrane devra être installée directement sur le sol argileux. L'inverse, soit l'installation du sol argileux sur la géomembrane, ne sera toutefois pas permis.

3.3.2.2 Option 2

La couche imperméable de l'option 2 doit être constituée par la superposition de deux géomembranes PEHD, séparées par une couche de protection appropriée.

3.3.2.3 Équivalences

Malgré l'exigence spécifiant que les géomembranes soient de type PEHD, le RESC en permet toutefois le remplacement par une membrane synthétique équivalente. Pour ce faire, il devra être démontré qu'en comparaison, les caractéristiques de la géomembrane proposée sont équivalentes à celles d'une PEHD.

Cette comparaison devra être basée sur les critères de performance qui sont recherchés lors de leur utilisation dans le recouvrement, soit sans s'y limiter :

- La durée de vie utile;
- Les limites de résistance physique (rupture, élastique, poinçonnement, etc.);
- L'imperméabilité;
- La résistance aux conditions climatiques (température, rayon UV, etc);

La figure 6 présente à titre indicatif un exemple de recouvrement équivalent.

3.3.3 Couche de drainage

Le RESC précise les caractéristiques d'épaisseur (60 cm minimum) et de conductivité hydraulique (égal ou supérieur à 1×10^{-3} cm/sec) des matériaux devant constituer la couche de drainage. Il offre toutefois la possibilité d'utiliser des matériaux équivalents, comme les géosynthétiques de drainage (sauf les géotextiles).

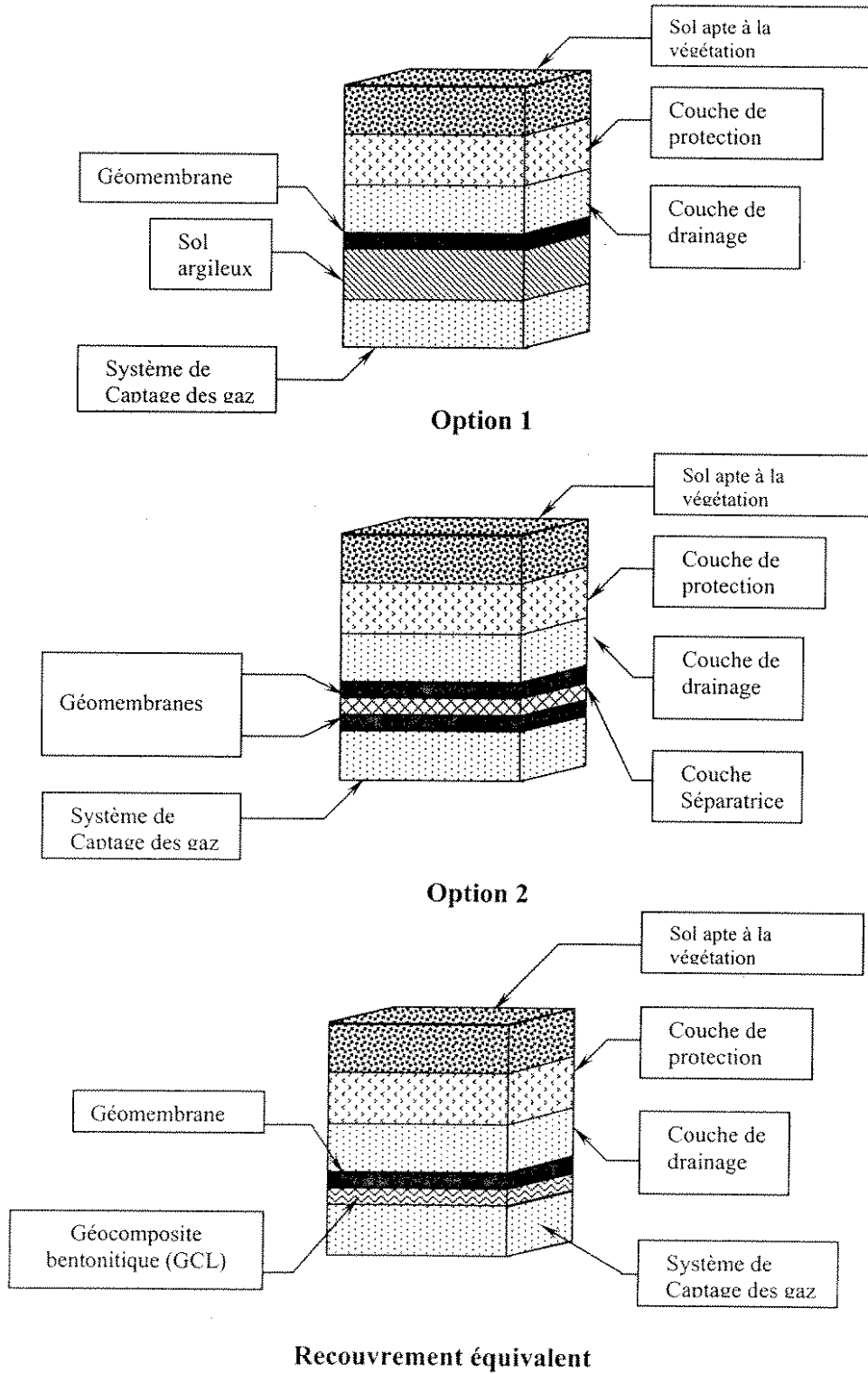
Par conséquent, les caractéristiques de la couche de drainage du recouvrement pourront être différentes de celles exigées par le RESC. Pour ce faire une modélisation du contexte d'écoulement (ex. logiciel HELP) devra démontrer que la hauteur d'eau présente dans la couche de drainage proposée sera égale ou inférieure à celle qui serait présente avec la couche de drainage exigée par le RESC.

Lorsque le matériau constituant la couche de protection sera différent de celui de la couche de drainage, l'utilisation d'un filtre synthétique sera requis entre ses deux couches.

Pour la sélection d'un filtre synthétique, il est recommandé d'utiliser une méthode théorique (ex. critère de filtre) laissée au choix du concepteur (ex. Rowe 1993, Koerner et al. 1994, Luettich et al. 1992). Peu importe la méthode utilisée, celle-ci devra être complétée par la réalisation d'un essai de compatibilité en filtration (ASTM D5101) démontrant la stabilité du filtre.

Bien que la recherche d'un ratio des gradients (gradient ratio) le plus faible possible soit préférable lors de la réalisation de l'essai, la démonstration de stabilité pourra être principalement basée sur la variation du ratio dans le temps et l'usage qui est prévue. En ce sens, la présence d'un ratio stable dans le temps pourra s'avérer suffisant pour démontrer la stabilité du filtre.

Figure 6 : Séquences types du recouvrement d'une cellule selon le RESC



L'essai de compatibilité en filtration devra être réalisés avant le début des travaux d'aménagement du recouvrement, avec les matériaux qui seront réellement utilisés lors de la construction. Un rapport complet devra être fourni au MENV pour approbation avant le début des travaux d'aménagement du recouvrement.

À l'étape de conception, une sélection préliminaire à l'aide de la méthode théorique uniquement devra être réalisée.

3.3.4 Couche de protection

Selon le RESC, la couche de protection doit permettre de protéger la couche imperméable contre les effets du gel et des bio-intrusions. Son épaisseur doit donc être fixée en fonction de la profondeur où l'on retrouve encore les effets du gel et des espèces utilisées pour re-végéter la surface du recouvrement. Cette couche devra permettre la protection entière de la couche imperméable. Dans l'atteinte de cet objectif, les épaisseurs de la couche de drainage et de la terre apte à la végétation seront comptabilisées.

Afin de démontrer que la protection contre le gel est suffisante, il est recommandé d'utiliser le logiciel de dimensionnement des chaussées souples du ministère des Transports du Québec. Le logiciel et le manuel de l'utilisateur sont disponibles gratuitement à l'adresse suivante :

<http://www1.mtq.gouv.qc.ca/fr/reseau/chaussees/logiciel.asp>

3.3.5 Couche de terre apte à la végétation

Le RESC exige la présence d'une épaisseur minimale de 15 cm d'un sol permettant de favoriser une végétation au moyen d'espèces ne pouvant endommager la couche imperméable. La couche de terre et les espèces utilisées devront permettre une végétation rapide afin de limiter l'érosion du recouvrement.

3.3.6 Intégrité du recouvrement

3.3.6.1 Stabilité

La stabilité de toute la séquence de matériaux (synthétiques et granulaires) présente dans le recouvrement devra également être évaluée. Dans ce but, une modélisation devra être effectuée à l'aide d'outils appropriés (ex. Slope W, Geoslope, Winstabl, etc.) afin de démontrer que la configuration du recouvrement offre une stabilité au glissement qui est sécuritaire.

Tous les scénarios de glissement envisageable devront être considérés tant sur le fond que sur les parois. À titre d'exigence minimale, la modélisation devra au moins simuler les scénarios de glissements suivants :

- Système d'imperméabilisation sur les parois suite à l'installation.
- Système d'imperméabilisation sur les parois avec sollicitation de la machinerie qui circule.

Cette modélisation devra être effectuée avant la construction du recouvrement et sur la base des résultats obtenus lors de la réalisation d'essais de cisaillement direct (ASTM D5321) avec les matériaux réellement utilisés lors de la construction. Un rapport complet devra être fourni au MDDEP pour approbation avant le début des travaux de construction du recouvrement.

La modélisation devra être effectuée à l'aide de l'angle de frottement déterminé pour la force de cisaillement résiduelle des essais de cisaillement direct. Un essai de cisaillement direct devra être réalisé sur chacune des interfaces présentes dans le recouvrement.

À l'étape de conception, une modélisation préliminaire basée sur des résultats tirés de la littérature ou de projets antérieurs devra être réalisée.

3.3.6.2 Tassement

Les tassements dus au poids de la masse de sols enfouis et les tassements internes de la masse, induisent des sollicitations en tension importante aux matériaux présents dans le recouvrement d'une cellule d'enfouissement.

Par conséquent, une analyse des tassements devra être réalisée afin de permettre de démontrer que les pentes de drainage et que l'intégrité de tous les matériaux présents seront conservées.

Les pentes de drainage et la sollicitation en tension dans les matériaux synthétique devront être calculés en considérant un contexte présentant au point haut d'une certaine section, le tassement maximal évalué et au point bas de cette même section le tassement minimal évalué.

En ce qui concerne les pentes de drainages, l'objectif sera l'obtention, suite aux tassements considérés, d'une pente de 2% au minimum. Concrètement, cela pourra engendrer l'obligation de fixer des pentes supérieures à 2% lors de la construction du recouvrement.

En ce qui concerne les sollicitations en tension dans les matériaux synthétique, pour les géomembranes, il devra être démontré que le pourcentage d'élongation engendré sera inférieure à la limite élastique divisée par un facteur de sécurité de 2.

3.3.6.3 Poinçonnement des géomembranes

La conservation de l'intégrité des géomembranes devra être évaluée à l'égard d'un poinçonnement causé par la circulation des véhicules lourds.

Pour cette évaluation, il est recommandé d'utiliser d'abord une méthode théorique laissée au choix du concepteur (ex. Najero et al. 1996).

Peu importe la méthode utilisée, celle-ci devra être complétée par la réalisation d'un essai de résistance au poinçonnement à long terme (ASTM D5514 modifié à 100 heures et 2,5 fois la contrainte effective).

L'essai requis devra être réalisé avec chacun des matériaux en contact avec la (les) géomembrane (s), y compris les géosynthétiques de drainage et la couche imperméable. En absence de particules supérieures à 5 mm dans matériau granulaire, ce dernier n'aura pas à être inclus à l'essai. Advenant des résultats négatifs reliés à la qualité des matériaux de la couche imperméable, cette dernière devra être remplacée. Un schéma du montage de l'essai devra être fourni.

L'absence de déformation permanente 24h après la réalisation de l'essai signifiera que la protection des géomembranes est suffisante. La présence de la moindre déformation permanente signifiera au contraire que la protection est insuffisante.

L'essai devra être réalisé avant le début des travaux de construction du recouvrement, avec les matériaux qui seront réellement utilisés lors de la construction. Un rapport complet devra être fourni au MDDEP pour approbation avant le début des travaux de construction du recouvrement.

À l'étape de conception, une évaluation préliminaire à l'aide de la méthode théorique uniquement devra être réalisée.

3.3.7 Utilisation de sols contaminés dans le recouvrement

Étant donné leur localisation (extérieur de la cellule), l'utilisation de sols contenant une ou plusieurs substances en concentration inférieure aux valeurs limitent fixées à l'annexe I du *Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains* sera permise dans la couche de drainage et la couche de protection d'un LESC.

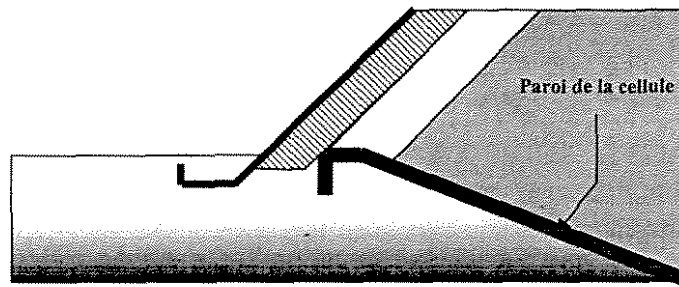
Étant donné leur localisation (intérieur de la cellule), l'utilisation de sols contaminés admissibles à l'enfouissement sera permise dans la couche imperméable et dans le système de captage des gaz.

3.4 Ancrages

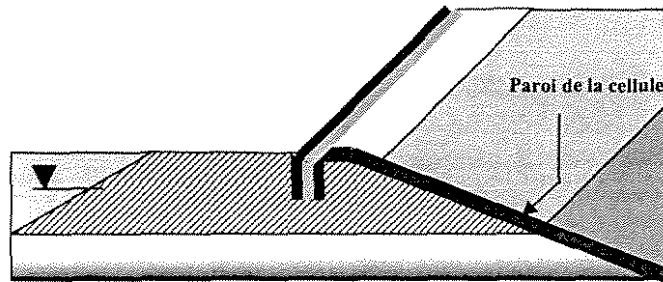
Les matériaux synthétiques installés sur les parois d'une cellule doivent être ancrés afin d'éviter un glissement vers le fond. Ceux installés dans le recouvrement doivent également être ancrés, afin d'assurer l'étanchéité complète de la cellule.

La figure 8 schématise, à titre indicatif, quelques exemples d'ancrages des géosynthétiques installés sur les parois, et aussi à l'intérieur du recouvrement, dans le contexte d'une configuration standard et en présence d'ouvrages d'imperméabilisation au pourtour d'une cellule d'enfouissement de sols contaminés. Pour toute cellule d'enfouissement de sols contaminés, la dimension des ancrages devra être déterminée à l'aide d'une méthode reconnue (ex. Sharma et Sangeeta 1994).

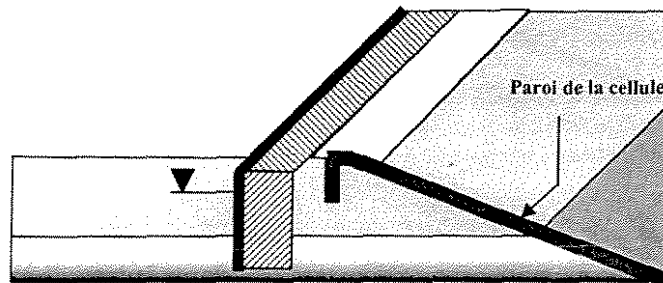
Figure 8 : Ancrage d'une cellule d'enfouissement de sols contaminés













a) Géométrie standard



b) En présence de digues



c) En présence d'une barrière verticale

| | | | | | |
|---|--|---|------------------------------|---|----------------------------|
|  | Sols perméables du terrain |  | Système d'imperméabilisation |  | Niveau de la nappe libre |
|  | Dépôt argileux |  | Sols contaminés |  | Sol argileux recouvrement |
|  | Sol argileux digue ou barrière verticale |  | Géomembrane du recouvrement |  | Système de captage des gaz |
| | | | |  | Géocomposite bentonitique |

4 AMÉNAGEMENTS COMPLÉMENTAIRES

4.1 Zone tampon

N/A

4.2 Système de captage des gaz

Le RESC n'offre aucune précision en ce qui concerne les composantes du système de captage des gaz. À titre d'exigence minimale, ce système devra être composé de matériaux granulaires ayant une conductivité hydraulique égale ou supérieure à 1×10^{-3} cm/s et une épaisseur de 15 cm.

Toutefois, le système pourra être conçu avec des matériaux différents, tel qu'un géosynthétique de drainage (sauf les géotextiles). Pour ce faire il devra être démontré que le système proposé possède un potentiel d'évacuation des gaz équivalent ou supérieur à celui qui serait présent avec le système mentionné précédemment

Le système devra recouvrir la surface entière d'une cellule et inclure des événements permettant d'échantillonner les gaz qui y sont présents. Le nombre d'événements nécessaire et leur localisation doivent être établis uniquement en fonction de la topographie du recouvrement. Dans cette optique, un événement doit être installé à chacun des points hauts (ponctuels) du recouvrement. Indépendamment de sa surface, une cellule ne contenant qu'un seul et unique point haut nécessitera donc la mise en place d'un seul événement.

Une topographie incluant la présence d'un point haut rectiligne (plutôt que ponctuel), à niveau d'élévation unique et pouvant s'étendre sur une certaine distance est donc à éviter.

4.3 Réseau de drainage des eaux de surface

En vertu de l'article 14 du RESC, un système de captage est requis dans un LESC afin d'empêcher que les eaux de surface ne pénètrent dans les cellules et qu'elles entrent en contact avec les sols contaminés.

En plus des fossés de drainage à mettre en place aux limites du lieu, lors de l'aménagement d'un LESC, des fossés de drainage devront donc être installés au pourtour de tout aménagement à risque, ce qui inclut sans s'y limiter :

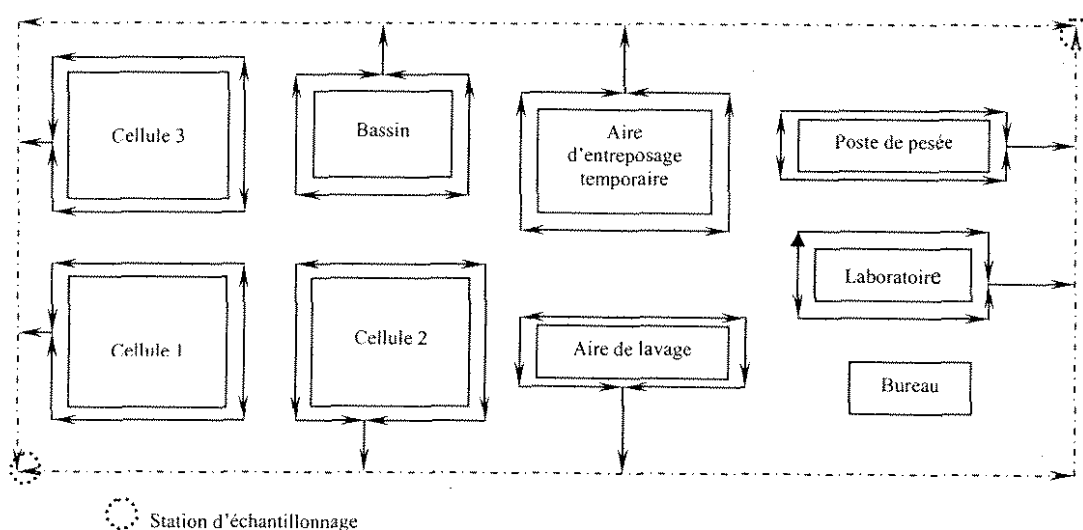
- Cellules;
- Poste de pesé;
- Aires de nettoyage et d'entreposage temporaire de sols contaminés;
- Zone d'accumulation et/ou unité de traitement des lixiviats;
- Laboratoire.

Le contrôle des eaux de surface devra s'effectuer au droit d'un (ou plusieurs) émissaires localisés aux limites du lieu. Aucune eau de surface ne pourra être rejeté du lieu par un émissaire non échantillonné. La figure 9 présente à titre indicatif un exemple de réseau de drainage des eaux de surface.

4.4 Réseau de puits d'observation des eaux souterraines

En vertu de l'article 26 du RESC, un réseau de puits d'observation doit être installé afin d'effectuer un suivi de la qualité des eaux souterraines du terrain. À moins que le réseau de drainage des eaux de surface permette le suivi de la nappe libre (fossés ancrés dans le dépôt argileux), le réseau de puits d'observation devra permettre le suivi de toutes les nappes présentes sur le terrain. Il pourra donc consister au suivi de plus d'une nappe (ex : nappe captive sous le dépôt argileux et nappe libre au-dessus du dépôt argileux).

Figure 9 : Réseau de drainage des eaux de surface



La configuration du réseau devra tenir compte du sens d'écoulement des eaux souterraines et de la surface couverte par les aménagements à risques mentionnés à la section 4.2 .

Le réseau de surveillance devra être constitué d'un minimum de trois puits d'observation, considérant une surface couverte par les aménagements à risques de 8 hectares. À chaque 8 hectares (ou partie de 8 hectares) de surface supplémentaire, un puits devra être ajouté au réseau. Pour l'application de cette règle, seule la zone localisée en aval des installations à risques sera considérée. La surface prise en compte pourra regrouper tous les aménagements à risques. Dépendamment entre autres du contexte hydrogéologique, la configuration pourra toutefois être constituée de plusieurs surfaces contenant des sous-groupes d'aménagement. Dans ce cas, un nombre de puits devra être déterminé pour chacune de ces surfaces. Des installations pourront également être considérées de façon unique.

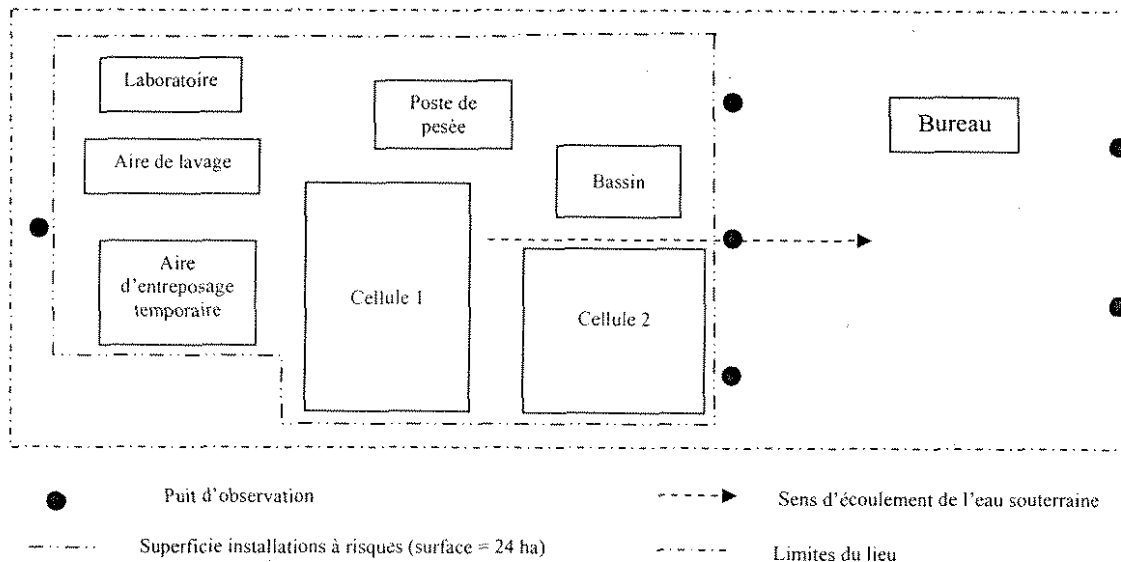
Au réseau déterminé, s'ajoutera un puits localisé en amont des installations à risques (ou du lieu). Afin de se conformer aux exigences de l'article 33 du RESC et en fonction du contexte hydrogéologique du terrain, une partie des puits devront obligatoirement être localisés à proximité des aménagements à risques et l'autre partie aux limites du terrain. La figure 10 présente à titre indicatif un exemple de réseau de puits d'observation des eaux souterraines.

4.5 Réseau de points de repères

Un réseau de points de repères, permettant d'effectuer un relevé topographique afin de suivre les tassements présents à l'intérieur de la cellule devra être implanté dans le recouvrement.

La fréquence des points de repères devra être représentative de la surface couverte par la cellule.

Figure 10 : Réseau de puits d'observation des eaux souterraines



4.5 Installations de gestion des lixiviats

4.5.1 Exigences du RESC

N/A

4.5.2 Système de captage

Dans le cadre du RESC, les composantes du système de captage des lixiviats incluront les systèmes de collecte de tous les aménagements à risques. Elles incluront également tous les équipements connexes (pompe, compteur d'eau, etc.) ainsi que les conduites permettant de remonter les lixiviats vers la surface ou de les acheminer vers une zone d'accumulation.

Lors de l'aménagement d'un LESC, les équipements connexes de récupération des lixiviats (pompes, compteur d'eau) du SCL et du SDF devront être automatisés. Les conduites permettant de remonter le lixiviat vers la surface pourront soit être installées sur les parois ou être verticales. Toutes les composantes du système de captage des lixiviats devront de plus être constitués de matériaux résistants au contact avec des substances chimiques.

4.5.3 Zone d'accumulation

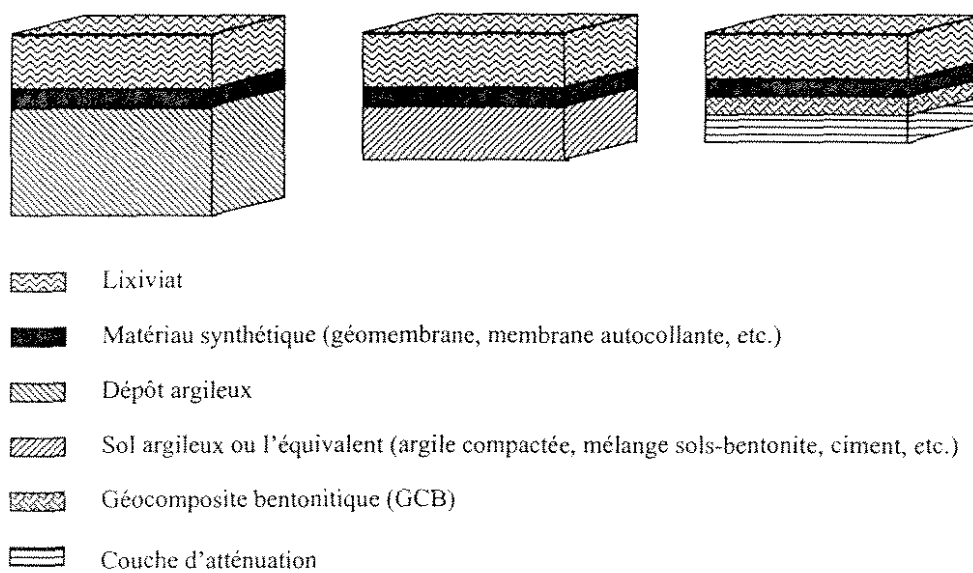
Selon les exigences du RESC, la zone d'accumulation de lixiviats d'un lieu d'enfouissement de sols contaminés peut être de deux types. Il peut s'agir soit d'un réservoir fermé ou d'une unité de traitement contenant des bassins à aire ouverte dans lequel le traitement est effectué en totalité ou en partie (ex. marais filtrant) ou dans lequel il n'y a aucun traitement.

Peu importe le type utilisé, l'aménagement du fond et des parois d'un bassin recevant le lixiviat à l'état brut ou après traitement devra respecter certaines exigences d'étanchéité.

À titre d'exigence minimale, le fond et les parois de la zone d'accumulation devront être constitués d'un niveau de protection composite, composé d'une géomembrane de type PEHD installée sur un sol argileux. Ce sol devra être d'une épaisseur minimale de 60 cm et posséder une conductivité hydraulique égale ou inférieure à 1×10^{-7} cm/s. Tout niveau de protection composite offrant une protection au moins équivalente à celui mentionné précédemment pourra toutefois être accepté.

Le cas échéant, l'équivalence devra être démontrée à l'aide d'une méthode reconnue (ex. Manassero et al. 2000, Katsumi et al. 2001) et en fonction du contexte hydraulique présent dans la zone d'accumulation. La figure 11 présente à titre indicatif quelques exemples de niveaux de protection potentiellement équivalents.

Figure 11 : Fond et parois de la zone d'accumulation des lixiviats



4.6 Autres installations

N/A

5 CONTRÔLE ET ASSURANCE QUALITÉ (CQ/AQ)

5.1 Général

Lors de l'aménagement d'un LESC, un programme de contrôle et d'assurance qualité pour tous les matériaux utilisés ainsi que leur mise en place devra être élaboré. Ce programme devra préciser les caractéristiques de tous les matériaux utilisés. Le contrôle et l'assurance qualité seront respectivement effectués par le responsable des travaux de construction et une entité indépendante de ce dernier ainsi que du propriétaire du lieu.

5.2 Contrôle de la qualité

5.2.1 Matériaux drainants

Les matériaux drainants, sont ceux requis dans les systèmes de récupération du lixiviat (section 3.2.2.), dans la couche drainante et le système de captage des gaz du recouvrement (sections 3.3.3 et 4.1). Ces matériaux peuvent être également utilisés dans d'autres ouvrages, comme par exemple une tranchée drainante.

Peu importe l'ouvrage pour lesquels ils sont requis, les matériaux drainants devront faire l'objet d'un contrôle à la source et après leur mise en place. Ce contrôle devra permettre de valider la constance des caractéristiques du matériel utilisé. Matériel qui aura fait l'objet d'une caractérisation préliminaire par le responsable des travaux et d'une acceptation préalable de l'entité indépendante. Le tableau 2 présente les exigences minimales à inclure au programme d'assurance qualité en ce qui concerne les matériaux drainants.

Tableau 2 : Exigences minimales de contrôle des matériaux drainants

| Point d'échantillonnage | Caractéristique mesurée | Fréquence |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Source d'approvisionnement | Granulométrie | 1 / 2000 m ³ |
| | Conductivité hydraulique | 1 / 2000 m ³ |
| Après mise en place | Granulométrie | 1 / ha * |
| | Conductivité hydraulique | 1 / 3 ha * |

* Pour les usages qui ne sont pas sous forme de couche 1 / 1500 m³

5.2.2 Mise en place de sols argileux

5.2.2.1 Général

La mise en place de sols argileux est requise advenant un remaniement du dépôt argileux (section 3.2.4.3) et dans l'option I de la couche imperméable du recouvrement (section 3.3.2.1). Elle peut également être requise lors de la construction d'une zone d'accumulation des lixiviats (section 4.5) ou pour tout autre aménagement nécessitant un certain niveau d'imperméabilisation.

Pour ces types d'applications, la mise en place d'un sol argileux devra obligatoirement être effectuée en utilisant la méthode de compaction au-delà de la ligne optimale de compactage (LOC), méthode pour laquelle il existe de nombreux ouvrages de références (ex. Benson et al. 1999, Cabot et al. 1993). Tenant compte de cette dernière obligation, la conductivité hydraulique obtenu lors de la mise en place de sols argileux devra en tout temps être égale ou inférieure à 1×10^{-7} cm/s. Chaque couche de sol argileux devra obligatoirement avoir une épaisseur maximale après compaction de 15 centimètres.

Les éléments de base du contrôle qualité devant obligatoirement être inclus au programme de contrôle qualité lors de la mise en place de sols argileux, inclut sans s'y limiter :

- Une caractérisation préliminaire de la source d'approvisionnement;
- Une caractérisation exhaustive de la source d'approvisionnement;
- Un programme de contrôle de mise en place;
- Des mesures de corrections et de protection

5.2.2.2 Caractérisations préliminaire et exhaustive

La caractérisation préliminaire vise principalement à faciliter la sélection d'une source d'approvisionnement dont les caractéristiques physiques des matériaux permettront l'atteinte des objectifs recherchés par la mise en place de sols argileux, dont l'obtention d'une conductivité égale ou inférieure à 1×10^{-7} cm/s.

En ce qui concerne la caractérisation exhaustive, elle vise d'une part à valider la constance dans les caractéristiques des matériaux de la source et d'autre part à établir, par l'entremise de la méthode compaction au-delà de la LOC, une gamme de densité sèche et de teneur en eau à l'intérieur de laquelle les objectifs recherchés seront atteints.

5.2.2.3 Programme de contrôle de mise en place

Le programme de contrôle de mise en place permettra tant qu'à lui de déterminer les caractéristiques du sol argileux après mise en place et de vérifier s'ils se localisent à l'intérieur de la gamme établie, dans une proportion qui assure encore là l'atteinte des objectifs recherchés. Cette proportion étant établie dans les critères d'acceptabilité de la mise en place. Le tableau 3 indique les paramètres à vérifier ainsi que les fréquences minimales de vérification, alors que le tableau 4 présente les critères minimums d'acceptabilité qui devront obligatoirement être respectés.

Le programme d'assurance qualité devra prévoir, avant toute mise en place de matériaux et pour chaque nouvelle source de sol argileux, la réalisation d'une planche d'essai. Le lieu de démonstration devra refléter les conditions réelles du terrain où la construction aura lieu. La méthode de compactage et les équipements qui seront utilisés devront également être similaires à ceux qui seront utilisés lors des travaux de construction.

Tableau 3 : Contrôle de la mise en place de sols argileux

| Paramètre | Fréquence (minimum) |
|--|------------------------|
| Pourcentage de fines | 1/800 m ³ |
| Indice de plasticité | 1/800 m ³ |
| Densité en place | 13/hectare/levée |
| Teneur en eau du matériau | 13/hectare/levée |
| Essai de référence Proctor standard | 1/4 000 m ³ |
| Nombre de passe du compacteur | Continue |
| Épaisseur totale (1m) | Continue |
| Grosseur des mottes d'argile (Clod size) | Continue |

Tableau 4 : Critères d'acceptation de la mise en place de sols argileux

| Paramètres | Critères |
|---|---|
| Teneur en eau du matériau compacté | <p>Moins de 3 % des résultats non conformes concentrés dans une même levée compactée ou un même secteur.</p> <p>Aucune teneur en eau mesurée ne doit être plus de 2 % de la limite inférieure et plus de 3 % de la limite supérieure de la gamme établie.</p> <p>80 % des résultats obtenus devront se situer à l'intérieur de la gamme établie</p> |
| Densité sèche du matériau compacté | <p>Moins de 3 % des résultats non conformes concentrés dans une même levée compactée ou un même secteur.</p> <p>Aucune mesure de la densité sèche ne devra être plus de 80 kg/m³ inférieurs à la valeur minimale établie de la gamme.</p> <p>80 % des résultats obtenus devront se situer à l'intérieur de la gamme établie</p> |
| Nombre de passes de compacteur pour une levée | Moins de 5 % des mesures non conformes concentrées dans une même levée ou un même secteur. |

Lors de la réalisation de la planche d'essai, un contrôle des caractéristiques des couches et des paramètres de compactage devront être enregistrée pour fins de construction.

Lorsque la planche d'essai sera complétée, on procédera à la vérification de la conductivité hydraulique. Au moins trois (3) essais de perméabilité en cellule triaxiale réalisés en laboratoire sur des échantillons prélevés sur la planche d'essai seront requis pour démontrer l'atteinte des objectifs recherchés.

Les résultats de perméabilité en laboratoire devront être corroborés par des essais de conductivité hydraulique *in situ* (3 essais minimum). Ces essais seront effectués à l'aide d'une méthode reconnue (ex. infiltromètre à double paroi scellée ASTM D5093, méthode à double étape d'infiltration ASTM D6391-99).

5.2.2.4 Mesures de protection et de correction

Le programme d'assurance qualité devra prévoir pour chaque levée compactée lors d'une journée, des mesures de protection contre le gel, l'assèchement et l'érosion. Une attention particulière devra être apportée au lien entre les levées.

Le programme devra également prévoir la réparation de toutes perforations causées par les essais de contrôle. Les secteurs ou levées déterminés non conformes devront faire l'objet de mesures de corrections ou d'une réévaluation par l'entrepreneur.

5.2.3 Géosynthétiques

5.2.3.1 Général

La construction d'un LESC inclut principalement l'utilisation de trois types de géosynthétique soit, les géotextiles, les géomailles et enfin les géomembranes. Ces matériaux sont utilisés à des fins de drainage, de séparation, de filtration, de protection et d'étanchéité.

Le programme de contrôle de la qualité des géosynthétiques devra être divisé en deux parties distinctes soit :

- L'acceptation des géosynthétiques utilisés;
- Le contrôle lors de l'installation.

5.2.3.2 Acceptation

Le programme de contrôle de la qualité devra prévoir avant l'installation de tout géosynthétique, la vérification du certificat de contrôle qualité du fabricant et l'envoi d'échantillon en laboratoire afin de valider ce certificat. Le tableau 5 indique les caractéristiques des géosynthétiques visés par la réalisation d'essais en laboratoire pour fin d'acceptation. Dans le cas particulier des géomembranes, ces caractéristiques devront être validées à chaque 10 000 m² de géomembrane installée.

Tableau 5 : Caractéristiques des géosynthétiques visés par les essais d'acceptation

| Caractéristiques à vérifier | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|---|
| <i>Géomembrane</i> | <i>Géotextile</i> | <i>Géomaille</i> |
| Épaisseur | Épaisseur | Épaisseur |
| Densité | Masse par unité de surface | Densité |
| Contenu en noir de carbone | Résistance en tension | Force de compression à la limite d'élasticité |
| Dispersion du noir de carbone | Résistance au poinçonnement | Contenu en noir de carbone |
| Propriétés en tension | Permittivité | Transmissivité |
| Temps d'induction d'oxydation (OIT) | Ouverture en filtration | |

5.2.3.3 Installation

Le programme de contrôle de la qualité devra inclure et détailler la façon dont la conformité des géosynthétiques sera vérifiée à chacune des étapes de leur installation, soit sans s'y limiter :

- Transport et manutention;
- Entreposage;
- Assemblage et échéancier;
- Techniques d'installation (soudures, coutures, chevauchement, etc.);
- Restrictions particulières d'installation;
- Qualification du personnel;
- Acceptation de l'assise;
- Calibration des appareils utilisés;
- Contrôle de la qualité des matériaux (avant et après mise en place);
- Procédure en cas de non-conformité;
- Mesures de correction des défauts;

5.2.3.4 Cas particulier des géomembranes

5.2.3.4.1 Soudures

Étant donné leur implication dans la sécurité du lieu, les géomembranes devront faire l'objet d'une attention particulière lors de l'élaboration du programme de contrôle de la qualité. À cet égard les soudures sont d'une importance majeure et devront faire l'objet d'une documentation particulière (numéro, longueur, localisation, date).

La soudure des géomembranes devra obligatoirement être effectuée par fusion, sauf dans des situations particulières (soudures en T ou réparation) auxquels cas la soudure pourra être effectuée par extrusion.

Le programme de contrôle de la qualité devra prévoir la vérification en continu de la qualité des soudures par fusion à l'aide d'un essai non destructif de pressurisation (ASTM D5820). Pour les soudures par extrusion la boîte à vide pourra être utilisée (ASTM D5641).

Le programme devra également prévoir la réalisation d'essais destructifs de pelage et de cisaillement en chantiers (tensiomètre portatif) afin de calibrer les appareils de soudure. Cinq essais destructifs seront nécessaires pour chaque calibration. Pour chaque essai, un échantillon sera envoyé en laboratoire afin de valider la qualité des soudures encore là à l'aide d'un essai destructif de pelage et cisaillement (ASTM D6392).

Des essais destructifs effectués à l'aide du tensiomètre portatif devront en plus être effectués systématiquement sur les soudures à une fréquence de 1/100 m de soudure.

5.2.3.4.2 Défectuosités

Le programme de contrôle qualité devra obligatoirement prévoir la vérification de la qualité des géomembranes immédiatement après leur installation et suite à la pose des matériaux drainants, à l'aide d'une méthode électrique de détection des défectuosités. Le choix de la méthode s'effectuera à l'aide du guide ASTM D6747.

5.3 Assurance de la qualité

5.3.1 Général

Le programme d'assurance qualité vise à confirmer, sans toutefois s'y limiter, l'acceptabilité des caractéristiques ainsi que la qualité des matériaux avant et après leur mise en place. Afin d'atteindre cet objectif, le programme devra prévoir la vérification des résultats obtenus lors de la réalisation du programme de contrôle de la qualité, la réalisation d'essais en parallèle à ceux du programme de contrôle qualité établis à des fréquences fixes mais aussi au hasard, ainsi que la reproduction de certains problèmes au hasard.

5.3.2 Cas particuliers des soudures des géomembranes

Pour les soudures, le programme d'assurance qualité devra permettre la réalisation d'essais destructifs en laboratoire (ASTM D6392) à chaque 1000 m de soudure et la réalisation au hasard de quelques perforations afin de vérifier la performance de l'essai de pressurisation.

6 CONTRÔLE ET SUIVI DU LIEU

6.1 Période d'exploitation

6.1.1 Sols contaminés

6.1.1.1 Général

N/A

6.1.1.2 Admissibilité des sols

N/A

6.1.1.3 Réception des sols

N/A

6.1.1.4 Registre d'exploitation

N/A

6.1.2 Eaux

6.1.2.1 Général

N/A

6.1.2.2 Eaux de lixiviation

Dans le SDF, ces équipements devront être réglé afin de s'assurer de l'absence, en tout temps, d'un lien hydraulique entre la SCL et le SDF (absence de contact entre le lixiviat dans le SDF et la géomembrane du SCL)

6.1.2.3 Eaux de surface et de rejet

N/A

6.1.2.4 Eaux souterraines

N/A

6.1.3 Gaz et air ambiant

N/A

6.1.4 Recouvrement

Tel qu'exigé par l'article 39 du RESC, l'exploitant se doit, durant l'exploitation de son lieu, d'assurer le maintien de l'intégrité du recouvrement en comblant les trous, fissures et dépressions afin d'éviter que de l'eau s'accumule sur le recouvrement.

6.1.5 Vérification des installations

6.1.5.1 Général

L'article 35 du RESC exige la vérification, 1 fois par année, de l'efficacité et de l'étanchéité des systèmes de captage du lixiviat ainsi que du système de traitement du lixiviat présent dans un LESC. Afin d'en assurer le fonctionnement, l'article 18 exige le contrôle, l'entretien et le nettoyage de tous les systèmes de captage, en plus des puits d'observation de l'eau souterraine.

Dans le cadre du RESC, par système de captage on sous-entendra tous les ouvrages permettant la récupération des gaz, des eaux de surface et du lixiviat, autant ceux ouverts (ex. fossés, bassins, plancher zone d'entreposage et de lavage, etc.) que fermés (conduites, tuyauterie, ponceaux, matériaux drainants, etc.) Les vérifications requises en fonction des articles 18 et 35 inclurons tous les équipements faisant partie des systèmes (pompe, compteur d'eau, etc.)

Le tableau 8 indique pour les systèmes de captage et de traitement ainsi que les puits d'observation, les fréquences applicables aux fins d'application des articles 18 et 35.

Tableau 8 : Fréquences de vérification des installations

| Type de système | Fréquence | | |
|---------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------|
| | Test d'efficacité et d'étanchéité | Inspection visuelle | Entretien et nettoyage |
| Ouvert | N/A | 1/an | Aux besoins |
| Fermé hors sols | 1/an | 1/an | Aux besoins |
| Fermé enfouis | 1/an | N/A | Aux besoins |
| Puits d'observation | N/A | 1/an | Aux besoins |

N/A = non applicable

Les tests d'efficacité et d'étanchéité seront requis uniquement pour les conduites fermées transportant le lixiviat. Ils peuvent être effectués par différentes méthodes, qui sont dépendantes entre autres du diamètre. Il peut donc s'agir de tests de pression (plus petit diamètre) ou de l'introduction d'une caméra (plus grand diamètre) qui permet de localiser les zones importantes de fuite (bris de conduite, joint de conduite débouté, etc.).

Pour le cas particuliers des gaz, la vérification s'effectuera par la validation de l'absence de zone de gonflement dans le recouvrement (zone où le gaz n'est pas évacué) à l'aide d'un relevé topographique. La vérification de l'étanchéité pourra également s'effectuer par une validation de l'absence de fuites (détecteur de méthane ou de COV) lorsque des bris surviennent dans le recouvrement.

6.1.5.2 Système de traitement

N/A

6.1.5.3 Aménagements particuliers

Afin d'en valider l'étanchéité, des aménagements particuliers pourront être réalisés au niveau de certaines installations (ex. puits d'observation ou système de détection de fuites sous un bassin ou une plateforme d'entreposage). Le cas échéant, la vérification de l'étanchéité pourra s'effectuer sur la base de résultats d'analyses obtenus lors d'un échantillonnage annuel dans ces aménagements.

6.1.5.4 Cellules

À l'intérieure de la cellule, la vérification de l'efficacité et de l'étanchéité du système de collecte primaire (celui localisé sur le niveau supérieur de protection) devra être effectuée. Cette dernière vérification consistera à évaluer le taux d'infiltration du lixiviat à travers la géomembrane supérieure.

Pour ce faire, il faudra déterminer la quantité de lixiviat présente dans le système de détection de fuites et déterminer l'intervalle de temps ayant permis son accumulation (intervalle de temps entre deux pompages). La valeur obtenue (ex : litres/jours) sera alors répartie sur la surface de captage (surface du fond de la cellule) pour obtenir la valeur finale du taux d'infiltration (ex: litres/jr/hectare).

Exemple :

Date du dernier pompage : 1 août
 Date du présent pompage : 11 août
 Intervalle de temps entre les deux pompages : 10 jours (jrs)
 Quantité de lixiviat pompée au 11 août : 2500 litres (L)
 Superficie du fond de la cellule : 2,5 hectares (ha)

Taux d'infiltration = $2500 \text{ L} / 10 \text{ jrs} / 2,5 \text{ ha} = 100 \text{ L/jrs/ha}$

6.2 Période post-fermeture

N/A

6.3 Laboratoires accrédités

N/A

7 INFORMATIONS À FOURNIR AU MENV

7.1 Général

Que ce soit par l'entremise d'une demande assujettie aux articles 22 et 31 de la LQE ou dans le cadre de l'implantation ainsi que la modification des aménagements d'un lieu d'enfouissement déjà autorisé, les informations qui suivent devront être fournies au MENV.

Avant le début des travaux, ces informations devront avoir obligatoirement été approuvées par le MENV.

7.2 Contexte régional et conditions locales du terrain

Un rapport permettant de démontrer l'atteinte des objectifs reliés à la sélection du terrain et à l'étude détaillée qui sont exigées dans les sections 1 et 2 devra être fourni.

Pour la sélection du terrain (section 1 du guide), une preuve de consultations auprès des organismes municipaux relativement aux étapes I et II devra être fournie.

Tous les documents (photos, rapports, études, cartes, lettres, etc.), méthodes, essais, normes, résultats, données, calculs, ayant servis aux études de reconnaissance préliminaire et détaillée devront être inclus au rapport.

De même, tous les points de mesure *in situ*, la stratigraphie et le contexte hydrogéologique du terrain devront y être représentés en coupe et en plan.

7.3 Conception

Un rapport faisant état de chacun des aspects qui ont été considérés lors de la conception d'une cellule ou de toute installation complémentaire devra être également fourni.

Tous les documents (rapports, études, publications, communications, etc.), principes, essais, normes, résultats, données, calculs, ayant servi à la conception devront être inclus au rapport. La source de toutes ces informations et l'identification de toutes méthodes de calcul devra également être fournie.

7.4 Plans et devis de construction

Tous les aménagements et travaux qui sont prévus à l'intérieur du lieu devront être représentés à l'aide de plans et être décrits avec précision dans un devis de construction.

7.5 Programme de contrôle et d'assurance qualité

L'objet, la fréquence, les exigences de contrôle et d'assurance qualité ainsi que l'identification des méthodes, des essais de tous les matériaux utilisés pour l'aménagement d'un lieu devront être inclus dans un programme d'assurance qualité.

7.6 Programme de contrôle et de suivi du lieu

La localisation des points de contrôle et de suivi, l'objet, la fréquence, les exigences, les méthodes ou essais utilisés lors du contrôle et du suivi du lieu devront tous être inclus dans un programme de contrôle et suivi du lieu.

7.7 Engagements niveaux de bruits

N/A

RÉFÉRENCES

- ¹ American Society for Testing Material. D5093-02, *Standard Test Method for Field Measurement of Infiltration Rate Using a Double-Ring Infiltrometer with a Sealed-Inner Ring*.
- ² American Society for Testing Material. D5101-01, *Standard Test Method for Measuring the Soil-Geotextile System Clogging Potential by the Gradient Ratio*.
- ³ American Society for Testing Material. D5321-02, *Standard Test Method for Determining the Coefficient of Soil and Geosynthetic or Geosynthetic and Geosynthetic Friction by the Direct Shear Method*.
- ⁴ American Society for Testing Material. D5641-94(2001)e1, *Standard Practice for Geomembrane Seam Evaluation by Vacuum Chamber*.
- ⁵ American Society for Testing Material. D5820-95(2001)e1, *Standard Practice for Pressurized Air Channel Evaluation of Dual Seamed Geomembranes*.
- ⁶ American Society for Testing Material. D6391-99(2004), *Standard Test Method for Field Measurement of Hydraulic Conductivity Limits of Porous Materials Using Two Stages of Infiltration from a Borehole*.
- ⁷ American Society for Testing Material. D6392-99, *Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods*.
- ⁸ American Society for Testing Material. D6747-02e1, *Standard Guide for Selection of Techniques for Electrical Detection of Potential Leak Paths in Geomembrane*.
- ⁹ Benson, C. H., D. E. Daniel et G. P. Boutwell. 1999. *Field performance of compacted clay liners*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 125(5) : pp. 390-403.
- ¹⁰ Blond, E., Vermeersch, O. et Mlynarek, J. 2004. *Selection of protective cushions for geomembrane puncture protection*. Proceeding Forum géosynthétiques 2004. Québec, Canada.
- ¹¹ Cabot, L. et Lebihan, J. P. 1993. *Quelques propriétés d'une argile sur la "ligne optimale de compactage"*. Revue Canadienne de géotechnique, 30(6) : pp. 1033-1040.
- ¹² Environmental Protection Agency. *Hydrologic Evaluation of landfill performance (HELP) model, EPA/600/84/168a/168b*.
- ¹² Environmental Protection Agency. *Compendium of the methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air-second edition, EPA/625/R-96/010b*.
- ¹³ Eigenbrod, K. D. 2003. *Self-healing in fractured fine-grained soil*. Revue Canadienne de géotechnique, 40(2) : pp. 435-449.

- ¹³ Geocomp Corporation. *Geoslope, Slope stability analysis software*
- ¹⁴ Geo-slope International Ltd. *Slope W, Slope stability analysis software*
- ¹⁵ Giroud, J. P., Houlinan, M. F., 1995. *Design of leachate collection layer*, Proceeding Sardinia 95, Fifth international landfill symposium, Cagliari, Italy, pp 613-614.
- ¹⁶ Giroud, J. P., Zornberg, J. G. et Zhao, A. 2000. *Hydraulic design of geosynthetic and granular liquid collection layers*. Geosynthetics international, Special issue on liquid collection systems, vol. 7, nos. 4-6 pp. 285-380.
- ¹⁷ Giroud, J. P., Bonaparte R., Beech, J. F. et Gross, A. 1990. *Design of soil layer-geosynthetic systems overlying voids*. Geotextiles and Geomembranes, vol. 9, nos. 1, pp. 11-50.
- ¹⁷ Katsumi, T., Benson, C.H., Foose, G.J., Kamon, M. 2001 Performance-based design of landfill liners, *Engineering geology* (60) : 139-148.
- ¹⁸ Koerner, G. R., Koerner, R. M., Martin, J. P., 1994. *Design of landfill leachate-collection filters*. Journal of geotechnical engineering, vol. 120, no. 10, pp. 1792-1803
- ¹⁹ Luettich, S. M., Giroud, J. P., Bachus, R. C. 1992. *Geotextile filter design guide*. Geotextiles and geomembranes, vol. 11, pp. 355-370.
- ²⁰ Manassero, M., Benson, C., Bouazza, A. 2000. *Solid waste containment systems*. Proceedings International Conference on Geotechnical & Geological Engineering, Melbourne 1: 520-642.
- ²¹ Ministère de l'Environnement du Québec, *Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains*, Février 2003.
- ²² Ministère de l'Environnement du Québec, *Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés*, juillet 2001.
- ²³ Ministère de l'Environnement du Québec, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*, Cahiers 1 à 8, 1995-2001.
- ²⁴ Ministère de l'Environnement du Québec, *Guide de caractérisation des terrains*, 2003.
- ²⁵ Najero, D. B., Koerner, R.M., Wilson-Farmy, R.F. 1996. *Puncture protection of geomembranes Part II : Experimental*. Geosynthetics International 3(5) pp. 629-653.
- ²⁶ Rowe, R. K. 1993. *Some challenging applications of geotextiles in filtration and drainage*. Geotextiles in filtration and drainage, Thomas telford, London, pp. 1-12.
- ²⁷ Sharma, H. D., et Sangeeta, L. P. 1994. *Chap 8, Liner systems for landfill and surface impoundments*, Waste containment systems, Waste stabilization, and landfills design evaluation. John Wiley and Sons, pp. 406-415.

²⁸ University of Wisconsin-Madison. WinStabl. *Slope stability analysis software.*

BIBLIOGRAPHIE

Environmental Protection Agency. 1993. *Technical guidance document : Quality assurance and quality control for waste containment facilities*. EPA/600/R-93/182.

Environmental Protection Agency. 1992. *Technical guidance document : Construction quality management for remedial action and remedial design waste containment systems*. EPA/540/R-92/073.

Environmental Protection Agency. 2002. *Assessment and recommendations for improving the performance of waste containment systems*. EPA/600/R-02/099.

FG 2002

FG 2003. *Design and regulations of geosynthetics in landfill engineering*. Proceeding forum on geosynthetics 2003. Toronto, Canada.

FG 2004. *Géosynthétique en ingénierie vers de nouvelles pratiques*. Proceeding Forum géosynthétiques 2004. Québec, Canada.

Koerner, R. M. 1998. *Designing with geosynthetics* 4 th edition. Prentice-Hall, 761 p.

Nice 2002. *Geosynthetics state of the art recent developments*. Proceeding of the seventh international conference on geosynthetics. Nice, France. Éditeurs, Ph. Delmas et J. P. Gourc.

Nice 2002. *Seventh international conference on geosynthetics training course*. Nice, France. Éditeurs, Ph. Delmas et J. P. Gourc.

Rollin, A. L., Pierson, P., Lambert, S. 2002. *Géomembranes guide de choix*. Presses internationales polytechnique 312 p.

Rowe, R. K. 2001. *Review of the state of the art of landfill site design*. Ontario Ministry of the Environment, Waste branch policy, 534p.

Sardinia 2001. *Volumes I à V*. Proceeding of the eighth international waste management and landfill symposium. Cagliari, Italie. Éditeurs, T. H. Christensen, R. Cossu, R. Stegmann.

Sharma, H. D., et Sangeeta, L. P. 1994. *Waste containment systems, Waste stabilization, and landfills design evaluation*. John Wiley and Sons, 588 p.

Sixth International conference on geosynthetics. 1998. *Conference proceedings*, Atlanta, États-Unis. Éditeur, Industrial Fabrics Association International.

ANNEXE I

**COORDONNÉES DES ORGANISMES D'ACCREDITATION DE NORMALISATION
ET DE STANDARDISATION**

BUREAU DE NORMALISATION DU QUÉBEC (BNQ)

Sainte-Foy

Montréal

Parc technologique du Québec métropolitain
333, rue Franquet
Sainte-Foy (Québec) G1P 4C7

8475, avenue Christophe-Colomb
Montréal (Québec) H2M 2N9

Normalisation et Certification
Téléphone (Québec et environs)
Téléphone (ailleurs au Québec)
Télécopieur :
www.criq.qc.ca/bnq

(418) 652-2238
1 800 386-5114
(418) 652-2292

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS

100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken,
Pennsylvania, USA

Téléphone: (610) 832-9500
Fax: (610) 832-9555
www.astm.org

CONSEIL CANADIEN DES NORMES

Conseil canadien des normes
270, rue Albert, bureau 200
Ottawa (Ontario) K1P 6N7

Téléphone : (613) 238-3222
Télécopieur : (613) 569-7808

www.scc.ca

AMERICAN ASSOCIATION FOR LABORATORY ACCREDITATION

The American Association for Laboratory Accreditation
5301 Buckeystown Pike
Suite 350
Frederick, MD 21704

Téléphone: 301 644 3248
Fax: 301 662 2974