

ANNEXE 2
PROGRAMME D'ASSURANCE QUALITÉ DES MATÉRIAUX NATURELS

**Projet de restauration d'un tronçon de
la rivière St-Louis à Beauharnois**
**Description technique de la
cellule d'enfouissement de sols contaminés N° 12**
Novembre 2003

TABLE DES MATIÈRES

1. GÉNÉRALITÉS	2
1.1 OBJET DE CE DOCUMENT	2
1.2 PORTÉE DU PROGRAMME D'ASSURANCE QUALITÉ	2
1.3 SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES.....	2
2. ESSAIS DE CONTRÔLE	3
2.1 LABORATOIRE D'ESSAI.....	3
2.1.1 <i>Choix</i>	3
2.1.2 <i>Condition</i>	3
2.1.3 <i>Documentation</i>	3
2.1.4 <i>Réalisation des essais</i>	3
2.2 NORMES UTILISÉES	3
2.3 ESSAI DE RÉFÉRENCE.....	4
2.4 MÉTHODE DE CHANTIER RECOMMANDÉE.....	4
2.5 MÉTHODE DE VÉRIFICATION AU CHANTIER.....	4
2.6 DONNÉES CONTRADICTOIRES	4
2.7 FRÉQUENCE D'ÉVALUATION DES MATÉRIAUX.....	4
2.8 FRÉQUENCE DE CONTRÔLE DE LA CONSTRUCTION	4
2.9 ESSAIS SUPPLÉMENTAIRES	4
3. CARACTÉRISATION DU BANC D'EMPRUNT DE L'ARGILE	5
3.1 CARACTÉRISATION PRÉLIMINAIRE.....	5
3.2 CARACTÉRISATION EXHAUSTIVE.....	5
4. BANCS D'ESSAIS	7
4.1 OBJECTIFS	7
4.2 MATÉRIAUX UTILISÉS	7
4.3 ACCEPTATION DES MATÉRIAUX	7
4.4 EMBLACEMENT	7
4.5 ÉQUIPEMENT UTILISÉ.....	7
4.6 SUIVI ET DOCUMENTATION	7

4.7	BUT ET APPLICATION	7
4.7.1	<i>Procédures de mise en place</i>	7
4.7.2	<i>Familiarisation</i>	8
4.7.3	<i>Respect des procédures établies</i>	8
4.7.4	<i>Étapes de réalisation du banc d'essais</i>	8
4.8	CONSTRUCTION.....	8
4.8.1	<i>Préparation du banc d'essais</i>	8
4.8.2	<i>Inspection</i>	8
4.8.3	<i>Dimensions</i>	9
4.8.4	<i>Spécifications de mise en place</i>	9
5.	ASSURANCE QUALITÉ DES BANCS D'ESSAIS	11
5.1	ESSAIS DE CONTRÔLE SUR LE MATÉRIAU	11
5.2	OBSERVATION DE LA PRÉPARATION DES FONDATIONS	11
5.3	SUIVI DU COMPACTAGE DES DEUX (2) PREMIÈRES LEVÉES.....	11
5.3.1	<i>Suivi du compactage des levées subséquentes</i>	11
5.3.2	<i>Suivi du compactage d'une couche imperméable</i>	12
5.4	PROTECTION DES ÉCHANTILLONS.....	12
5.5	ESSAIS DE LABORATOIRE	12
5.6	CONTINUITÉ DES CONDITIONS	12
5.7	FINITION DE SURFACE.....	12
5.7.1	<i>Essais de perméabilité en laboratoire</i>	12
5.7.2	<i>Résultats des essais</i>	13
5.8	DOCUMENTATION SUR LES NIVEAUX.....	13
5.9	DOCUMENTATION.....	13
6.	CONSTRUCTION (PROCÉDURES D'EXÉCUTION).....	14
6.1	ÉTAT DES MATÉRIAUX DE FONDATION	14
6.1.1	<i>Fondation (matériaux inacceptables)</i>	14
6.2	TENUE DU JOURNAL QUOTIDIEN	14
6.3	AUTORISATION	14
6.4	MISE EN PLACE.....	14
6.4.1	<i>Respect des procédures</i>	14
6.4.2	<i>Conditions défavorables</i>	14

6.4.3	<i>Compactage</i>	14
6.4.4	<i>Homogénéité</i>	15
6.4.5	<i>Ségrégation</i>	15
6.4.6	<i>Matériaux ségrégués</i>	15
6.4.7	<i>Conditions spéciales de remblayage</i>	15
6.5	COMPACTAGE.....	15
6.5.1	<i>Équipements</i>	15
6.5.2	<i>Obligation de compacter</i>	15
6.5.3	<i>Fréquence de vibration</i>	15
6.5.4	<i>Méthodes de compactage</i>	16
6.6	RÉPARATION DANS LA COUCHE IMPERMÉABLE.....	16
6.6.1	<i>Sources de perforation</i>	16
6.6.2	<i>Méthode</i>	16
7.	CONSTRUCTION (SUIVI ET ESSAIS)	17
7.1	SUIVI DES TRAVAUX.....	17
7.2	ÉVALUATION DE LA CONTINUITÉ PAR L'ENTREPRENEUR.....	17
7.2.1	<i>Méthode et profondeur</i>	17
7.2.2	<i>Remise en état du terrain</i>	17
7.3	ESSAIS AU CHANTIER ET EN LABORATOIRE	17
7.3.1	<i>Résultats inacceptables</i>	17
7.3.2	<i>Essais et méthodes de vérification</i>	18
7.4	FRÉQUENCE DES ESSAIS	18
7.4.1	<i>Essais d'avant construction (échantillons)</i>	18
7.4.2	<i>Essais de contrôle de construction</i>	18
7.5	LOCALISATION	19
7.6	DÉCOUVERTE DE DÉFICIENCES (MOYENS À PRENDRE)	19
7.7	RÉPARATION ET VÉRIFICATION	19
7.7.1	<i>Poursuite des travaux (conditions)</i>	20
7.8	TABLEAUX DE CONTRÔLE DES MATÉRIAUX NATURELS.....	20
7.9	EXIGENCE DU CONTRÔLE DE QUALITÉ	21
8.	SURVEILLANCE ET DOCUMENTATION	22
8.1	RAPPORTS D'ESSAIS.....	22
8.1.1	<i>Rapport des essais de laboratoire</i>	22

8.1.2	<i>Rapport de banc d'essais</i>	22
8.1.3	<i>Rapport des essais de compactage</i>	23
8.2	RAPPORTS DES TRAVAUX	23
8.2.1	<i>Rapport quotidien</i>	23
8.2.2	<i>Journal de réunion ou de discussion</i>	23
8.2.3	<i>Journal des observations et des essais</i>	24
8.2.4	<i>Journal des difficultés et des solutions</i>	24
8.2.5	<i>Registre des modifications de conception et de spécifications</i>	24
8.2.6	<i>Rapport de progression des travaux</i>	25
8.2.7	<i>Journal des photographies</i>	25
8.2.8	<i>Datation des photographies</i>	25
8.2.9	<i>Angle des photographies d'ensemble</i>	25
8.3	RAPPORT FINAL.....	26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : Caractérisation préliminaire	5
Tableau 3.2 : Caractérisation exhaustive	6
Tableau 7.1 : Essais de contrôle des matériaux naturels en laboratoire	20
Tableau 7.2 : Essais de contrôle des matériaux naturels au chantier	20
Tableau 7.3 : Exigence du contrôle de qualité.....	21
Tableau 8.1 : Spécifications techniques des matériaux naturels.....	27

1. GÉNÉRALITÉS

1.1 OBJET DE CE DOCUMENT

L'objet du présent document est d'établir, lors de la mise en place de matériaux naturels, la marche à suivre assurant que le comportement anticipé de l'ouvrage soit obtenu. Ce programme donne le détail des contrôles de qualité qui doivent être effectués et les procédures afférentes du programme d'Assurance Qualité afin d'obtenir des résultats représentatifs de la qualité des travaux.

1.2 PORTÉE DU PROGRAMME D'ASSURANCE QUALITÉ

Les travaux régis par ce programme comprennent, sans s'y limiter, la surveillance des activités suivantes :

- la mise en place des remblais d'argile;
- la mise en place de divers matériaux granulaires composant la couche drainante

1.3 SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

Les exigences concernant les matériaux naturels utilisés pour la mise en place des couches d'argile, drainante et de tout-venant sont contenues dans le présent document et dans le tableau des spécifications techniques à la fin du présent document.

2. ESSAIS DE CONTRÔLE

2.1 LABORATOIRE D'ESSAI

2.1.1 *Choix*

Un laboratoire d'analyse et d'essais sera approuvé par le Maître d'œuvre avant le début des travaux.

2.1.2 *Condition*

Le laboratoire d'essais doit être indépendant de l'Entrepreneur et de ses sous-traitants et il doit pouvoir le démontrer à la satisfaction du Maître d'œuvre avant le début des travaux.

2.1.3 *Documentation*

À la fin des travaux, le laboratoire d'essais devra soumettre au Maître d'œuvre un rapport qui devra au moins contenir les éléments suivants :

- description des matériaux testés,
- propriétés évaluées,
- méthodes d'essais employées,
- résultats obtenus,
- commentaires pertinents, et
- signature du Responsable.

2.1.4 *Réalisation des essais*

Durant toute la période de construction, le Maître d'œuvre peut faire exécuter par le laboratoire des essais sur les matériaux naturels et les remblais.

Les échantillons prélevés pour les essais au chantier ou au laboratoire peuvent provenir à la fois des sites d'entreposage ou du site de construction.

Les frais des essais au chantier et en laboratoire sont à la charge du Maître de l'ouvrage. Advenant le cas où les résultats des essais ne sont pas conformes aux spécifications du présent devis, les correctifs prévus doivent être appliqués et la reprise des essais est alors aux frais de l'Entrepreneur.

2.2 NORMES UTILISÉES

Tous les essais effectués pour évaluer ou établir la conformité des matériaux mis en place ou à être mis en place doivent respecter les normes et procédures du Bureau de Normalisation du Québec. Les normes les plus récentes doivent être appliquées.

2.3 ESSAI DE RÉFÉRENCE

Pour les besoins des travaux concernés par le présent document, l'essai Proctor modifié sert de référence dans le cas de la relation teneur en eau/densité, à moins qu'il en soit spécifié autrement.

2.4 MÉTHODE DE CHANTIER RECOMMANDÉE

Dans tous les cas, le nucléodensimètre est recommandé pour déterminer la relation teneur en eau/densité.

2.5 MÉTHODE DE VÉRIFICATION AU CHANTIER

En cas de doute, le cône de sable peut servir à titre de vérification ou pour corroborer in situ le calibrage des appareils.

2.6 DONNÉES CONTRADICTOIRES

En cas de conflit, l'intervention du Maître d'œuvre est nécessaire. La décision de ce dernier est sans appel.

2.7 FRÉQUENCE D'ÉVALUATION DES MATÉRIAUX

Les fréquences d'essais pour la conformité des matériaux doivent être conformes aux fréquences minimales présentées dans le présent document.

2.8 FRÉQUENCE DE CONTRÔLE DE LA CONSTRUCTION

La fréquence d'essai pour le contrôle de la qualité de construction doit être conforme aux fréquences minimales présentées dans ce présent document.

2.9 ESSAIS SUPPLÉMENTAIRES

Le Maître d'œuvre peut accroître la fréquence des essais en fonction de la variabilité des résultats obtenus sur le site.

3. CARACTÉRISATION DU BANC D'EMPRUNT DE L'ARGILE

La source d'approvisionnement en argile doit faire l'objet d'une caractérisation avant d'être qualifiée conforme et acceptable pour le projet. Cette caractérisation s'effectue généralement en deux étapes : une caractérisation préliminaire et une caractérisation exhaustive.

3.1 CARACTÉRISATION PRÉLIMINAIRE

La caractérisation préliminaire permet de sélectionner le banc d'emprunt de l'argile qui sera utilisée pour le projet. Les analyses de sols requises pour la caractérisation préliminaire du banc d'emprunt et leur fréquence respective sont indiquées dans le tableau inséré ci-dessous. Les résultats de ces essais doivent être conformes aux exigences précisées dans ce tableau.

Tableau 3.1 : Caractérisation préliminaire

Fréquence	Analyse	Norme	Exigences
3 (min)	Analyse granulométrique	BNQ 2501-025	$D_{90} \leq 40 \text{ mm}$ $\% \text{ fines}^1 \geq 50 \%$ $\% \text{ gravier} \leq 20 \%$ $\% \text{ argile}^2 \geq 20 \%$
2 (min)	Limite d'Atterberg	BNQ 2501-090 ou BNQ 2501-092	$I_p \geq 15 \%$

¹ Particule d'un diamètre inférieur à 80 µm

² Particule d'un diamètre inférieur à 2 µm

3.2 CARACTÉRISATION EXHAUSTIVE

La caractérisation exhaustive du banc d'emprunt de l'argile choisi permet d'établir avec une meilleure représentation les caractéristiques de l'argile en place. Elle permet également de définir les conditions optimales de compactage lors de la construction de la planche d'essais, soit une gamme de densité en place et de teneur en eau atteignant une conductivité hydraulique égale ou inférieure à $1 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$. À l'intérieur de cette gamme, la conductivité hydraulique du matériau compacté sera considérée acceptable selon les exigences. La caractérisation exhaustive doit permettre de contrôler tout le volume d'argile utilisé lors des travaux.

Le tableau suivant montre les analyses requises et leur fréquence respective ainsi que les exigences à respecter pour assurer la conformité de l'argile.

Tableau 3.2 : Caractérisation exhaustive

Analyse	Norme	Fréquence	Exigences
Analyse granulométrique	BNQ 2501-025	1 / 5 000 m ³	D ₉₀ ≤ 40 mm % fines ≥ 50 % % gravier ≤ 20 % % argile ≥ 20 %
Limite d'Atterberg	BNQ 2501-090 (092)	1 / 5 000 m ³	I _p ≥ 15 %
Teneur en eau terrain	BNQ 2501-170	1 / 2 000 m ³	
Proctor modifié	BNQ 2501-255 (M92)	Min (1)	5 pts minimum
Proctor standard	BNQ 2501-250	1 / 5 000 m ³	5 pts minimum
Proctor allégé	BNQ 2501-250	Min (1)	(voir Proctor standard sauf 15 coups/couche)
Essai de perméabilité en moule rigide		1 / 10 000 m ³	Aux valeurs déterminées trois optimums par les essais Proctor. À la teneur en eau terrain du matériau utilisé compacté par l'essai Proctor standard. À une teneur en eau intermédiaire pour l'essai Proctor standard côté humide. But : déterminer la zone de compactage acceptable

4. BANCS D'ESSAIS

4.1 OBJECTIFS

Un banc d'essais doit être construit sur le site afin d'obtenir une vérification des propriétés et du comportement des matériaux mis en place et ce, particulièrement en ce qui concerne les matériaux drainants, imperméables ou difficiles à compacter.

4.2 MATÉRIAUX UTILISÉS

Chaque banc d'essais doit être construit avec les matériaux provenant du même banc d'emprunt ou des piles d'entreposage spécifiquement destiné à la réalisation des couches concernées.

4.3 ACCEPTATION DES MATÉRIAUX

Les matériaux utilisés lors de la construction du banc d'essais doivent être approuvés par le Maître d'œuvre et il doit être établi qu'ils respectent les spécifications du devis. Les bancs d'essais doivent être réalisés pour vérifier les éléments suivants :

- manutention et mise en place des matériaux,
- équipements et procédures de compactage,
- nombre de passes requis pour rencontrer les spécifications, et
- procédures d'échantillonnage pour les essais de laboratoire.

4.4 EMBLACEMENT

Les bancs d'essais doivent être construits aux emplacements désignés par le Maître d'œuvre.

4.5 ÉQUIPEMENT UTILISÉ

Les bancs d'essais doivent être construits avec le même équipement et suivant les mêmes procédures utilisées lors de la construction des couches concernées sur le chantier.

4.6 SUIVI ET DOCUMENTATION

Toutes les activités liées à la réalisation des bancs d'essais doivent être suivies et documentées par le Maître d'œuvre.

4.7 BUT ET APPLICATION

4.7.1 Procédures de mise en place

Le but principal d'un banc d'essais est de permettre in situ l'établissement des procédures de mise en place et de compactage qui doivent être utilisées lors de la construction proprement dite et d'assurer ainsi la conformité des travaux de construction vis-à-vis du comportement anticipé lors de la conception de l'ouvrage.

4.7.2 Familiarisation

La réalisation des bancs d'essais permet à tous les intervenants (l'Entrepreneur, le Maître d'œuvre, etc.) de se familiariser avec le traitement et la compactibilité des matériaux de construction prévus par ce devis. Des corrélations peuvent ainsi être développées entre le nombre de passes et la densité en place obtenue, entre la densité en place et l'épaisseur de chaque levée pour une énergie de compactage donnée et entre la teneur en eau et les procédures de modification de celle-ci.

4.7.3 Respect des procédures établies

Les procédures établies durant chaque programme d'essai doivent être respectées durant la construction de l'unité (zone, élément ou couche) correspondante. Toutefois, l'application de ces procédures ne remplace en aucune façon les essais de contrôle durant la construction.

4.7.4 Étapes de réalisation du banc d'essais

- préparation de la fondation,
- construction du banc d'essais,
- suivi et essais de contrôle,
- échantillonnage et essais de laboratoire.

4.8 CONSTRUCTION

4.8.1 Préparation du banc d'essais

- Nettoyage

La zone concernée par le banc d'essais doit être nettoyée de tout déchet, sol mou, souche, bloc ou autre débris. La couche de terre organique doit être complètement excavée.

- Travail de la surface

La surface exposée doit être roulée afin d'éliminer toute irrégularité. Une pente d'environ 2 % doit être prévue afin d'éviter l'accumulation d'eau en surface. Si nécessaire, un système de pompage ou un drainage périphérique doit être prévu.

4.8.2 Inspection

La surface préparée doit être examinée par le Maître d'œuvre avant le début des travaux de construction du banc d'essais. Le Maître d'œuvre doit prendre note de la condition de la fondation et des détails afférents.

4.8.3 Dimensions

Le banc d'essais doit avoir au moins six (6) mètres de largeur sans compter les pentes latérales et doit avoir une longueur d'au moins trois (3) fois sa largeur, soit au moins dix-huit (18) mètres. Il doit être constitué d'au moins deux (2) levées de matériaux, chaque levée étant uniforme en épaisseur.

4.8.4 Spécifications de mise en place

Si désiré, la variation des spécifications selon la levée considérée peut permettre une détermination des relations existant entre les critères de compactage (densité, teneur en eau optimale, perméabilité) et les paramètres de compactage (caractéristiques des équipements de compactage, épaisseur des couches, nombre de passes des équipements, teneur en eau).

- Première levée

La mise en place, le compactage et les essais effectués sur les sols de la première levée doivent respecter les spécifications suivantes :

- 1) *Épaisseur* : l'Entrepreneur doit déterminer par essai et erreur l'épaisseur non compactée de sol qui permettra d'obtenir une épaisseur après compactage de 300 mm. Après quoi, il peut mettre en place la première levée;
- 2) *Teneur en eau des matériaux* : lorsque requis, la teneur en eau des matériaux doit être ajustée par l'Entrepreneur au niveau requis par le devis;
- 3) *Compactage* : la levée doit être compactée par deux (2) passes du compacteur;
- 4) Le Maître d'Oeuvre ou son représentant doit effectuer un essai de densité in situ et prélever un échantillon;
- 5) Tous les trous résultant de l'échantillonnage doivent être réparés;
- 6) La levée doit être compactée par deux (2) passes du même compacteur;
- 7) Les essais et l'échantillonnage de matériaux peuvent être repris à proximité de la première série;
- 8) La levée doit être recomptée à nouveau par deux (2) passes du même compacteur;
- 9) Les essais et l'échantillonnage doivent être repris à proximité des deux premières séries;
- 10) Cette procédure doit être poursuivie jusqu'à l'atteinte des spécifications du devis ou selon les recommandations du Maître d'œuvre.

- Levées subséquentes

- 1) *Épaisseur* : mise en place par l'Entrepreneur d'une couche de matériaux suffisante pour obtenir une levée compactée de 300 mm;
- 2) *Continuité des levées* : l'Entrepreneur doit s'assurer de la continuité entre chacune des levées, par scarification de surface;

- 3) Puits d'exploration : le Maître d'œuvre doit vérifier l'efficacité de la méthode au moyen de puits d'exploration si nécessaire;
 - 4) Reprise des travaux : compactage, essais, échantillonnage et réparations doivent être effectués jusqu'à ce que soient atteintes les exigences du devis.
- Préparation finale de la surface
 - 1) Surface finale : dans le cas d'une couche imperméable, la surface finale doit être roulée afin de sceller la surface;
 - 2) Protection du banc d'essais : une moitié du banc d'essais doit ensuite être protégée contre l'assèchement, immédiatement après la réparation;
 - 3) Suivi du Maître d'œuvre : un suivi documenté par le Maître d'œuvre doit être effectué sur la section non protégée afin de connaître l'évolution de cette couche avec le temps.

5. ASSURANCE QUALITÉ DES BANCS D'ESSAIS

5.1 ESSAIS DE CONTRÔLE SUR LE MATÉRIAU

Le Maître d'Oeuvre ou son représentant, peut faire effectuer des essais de contrôle sur le matériau à être utilisé pour chaque banc d'essais. Ces essais doivent inclure, sans s'y limiter:

- Proctor modifié,
- teneur en eau,
- granulométrie,
- sédimentométrie (matériaux à grains fins),
- limites d'Atterberg, et
- classification.

5.2 OBSERVATION DE LA PRÉPARATION DES FONDATIONS

Le Maître d'Oeuvre ou son représentant, doit observer et documenter la préparation des fondations du banc d'essais.

5.3 SUIVI DU COMPACTAGE DES DEUX (2) PREMIÈRES LEVÉES

Pour les deux (2) premières levées, le Maître d'Oeuvre ou son représentant, doit effectuer les tâches suivantes :

- 1) Évaluer l'épaisseur de la levée avant compactage;
- 2) Compter et prendre note du nombre de passes du compacteur;
- 3) Après chaque deux (2) passes, faire compléter par le laboratoire au moins huit (8) essais de teneur en eau et de densité in situ;
- 4) Évaluer le degré de compacité obtenu et prélever quatre (4) échantillons additionnels pour les mesures de teneur en eau au laboratoire;
- 5) Vérifier la réparation des trous avant la mise en place de la nouvelle levée;
- 6) Procéder à la réalisation des essais de façon à obtenir une relation entre le nombre de passes et la densité en place du matériau.

5.3.1 *Suivi du compactage des levées subséquentes*

Pour les levées subséquentes, le Maître d'Oeuvre doit accomplir les tâches suivantes:

- 1) Vérifier l'épaisseur des levées;
- 2) Compter et prendre note du nombre de passes nécessaire pour atteindre les exigences des spécifications techniques;
- 3) Faire compléter par le laboratoire au moins huit (8) essais de densité en place par levée.

5.3.2 Suivi du compactage d'une couche imperméable

Quand des essais de laboratoire sont prévus, le Maître d'œuvre doit prélever au moins trois (3) échantillons au moyen de tubes à paroi mince (type Shelby) ou de toute autre méthode jugée appropriée. La valeur de la conductivité hydraulique moyenne obtenue de l'argile, de l'ensemble des résultats de laboratoire, devra atteindre 1×10^{-6} cm/sec pour être acceptable.

De plus, la vérification de la conductivité sur le terrain (in-situ) devra également être effectuée par une méthode comme celle de l'infiltromètre à doubles parois scellées (ASTM D5093) ou celle appelée à double étape d'infiltration (ASTM D6391-99).

Trois (3) essais au minimum doivent être prévus.

5.4 PROTECTION DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons doivent être protégés contre tout choc ou changement de teneur en eau ou de température.

5.5 ESSAIS DE LABORATOIRE

Les échantillons doivent être soumis aux essais suivants :

- perméabilité,
- poids volumique,
- granulométrie,
- limites d'Atterberg (matériaux à grains fins),
- teneur en eau,
- classification.

5.6 CONTINUITÉ DES CONDITIONS

Le Maître d'œuvre doit s'assurer de la continuité des conditions entre les levées. Pour ce faire, il peut, si nécessaire, établir des puits d'observation afin d'examiner le profil de l'interface.

5.7 FINITION DE SURFACE

Le Maître d'œuvre doit observer et documenter la finition de la surface du banc d'essais.

5.7.1 Essais de perméabilité en laboratoire

La perméabilité du banc d'essais doit être établie et basée sur les résultats de trois (3) essais de perméabilité effectués en laboratoire sur les échantillons prélevés sur le banc d'essais.

5.7.2 Résultats des essais

Les résultats d'essais utilisés pour vérifier la conformité des travaux de construction vis-à-vis des spécifications sont :

- essais de compactage (densité, teneur en eau).

5.8 DOCUMENTATION SUR LES NIVEAUX

Les niveaux des surfaces suivantes doivent être relevés (documentés) afin de vérifier l'épaisseur réelle des levées construites :

- surface de la fondation du banc d'essais,
- surface finale de chacune des levées, et
- surface finale du banc d'essais.

5.9 DOCUMENTATION

Le Maître d'œuvre doit observer et documenter toutes les activités reliées à la réalisation du banc d'essai. La documentation doit inclure, sans s'y limiter :

- les rapports quotidiens d'activités,
- les communications orales ou écrites avec l'Entrepreneur,
- la relation teneur en eau/densité sèche du sol en cause,
- les caractéristiques de l'équipement de compactage,
- l'épaisseur avant et après le compactage,
- la relation densité/nombre de passes pour chacune des levées,
- le nombre de passes nécessaire pour atteindre les spécifications (densité, perméabilité),
- les procédures de jonction des levées et les résultats obtenus,
- les résultats de tous les essais effectués,
- la vérification de toutes les réparations,
- les résultats des essais en laboratoire,
- les dessins de localisation des essais et des échantillonnages,
- la section en travers du banc d'essai montrant les épaisseurs de chacune des levées, et
- la description détaillée des procédures de construction retenues.

6. CONSTRUCTION (PROCÉDURES D'EXÉCUTION)

Les procédures de contrôle de la qualité de construction doivent être appliquées sur toutes les couches de matériaux mises en place lors de la construction.

6.1 ÉTAT DES MATÉRIAUX DE FONDATION

Dans les cas où des unités de matériaux meubles (couches de sol) sont mises en contact avec la fondation de l'ouvrage (sols exposés), le Maître d'œuvre doit examiner la surface et s'assurer que son état respecte l'esprit du présent devis.

6.1.1 Fondation (matériaux inacceptables)

Les déchets, blocs, zones malléables, remaniées, saturées ou inacceptables doivent être excavés. L'Entrepreneur doit nettoyer ces surfaces à la satisfaction du Maître d'œuvre.

6.2 TENUE DU JOURNAL QUOTIDIEN

Les conditions prévalantes doivent être clairement identifiées par le Maître d'œuvre au journal quotidien des activités.

6.3 AUTORISATION

L'Entrepreneur doit obtenir l'autorisation de procéder avant le début de la mise en place de la couche de remblai.

6.4 MISE EN PLACE

L'Entrepreneur doit placer le matériau de remblai en couches continues et uniformes en épaisseur.

6.4.1 Respect des procédures

Les procédures établies lors de la réalisation du banc d'essai doivent être respectées lors de la mise en place.

6.4.2 Conditions défavorables

Aucun remblai ne doit être placé lorsqu'un travail convenable ne peut être effectué en conformité avec les exigences de ce devis à cause de précipitations, de temps froid, du mauvais état des matériaux mis en place ou de toute autre indication du Maître d'œuvre.

6.4.3 Compactage

Chaque couche de remblai doit être compactée avant la mise en place d'une couche sus-jacente.

6.4.4 Homogénéité

Les matériaux de remblai doivent être placés de telle façon que chaque zone soit homogène, libre de stratifications horizontales, lentilles, poches, ornières ou couches de matériaux de texture et de granulométrie ne satisfaisant pas aux exigences requises pour les matériaux de cette zone. Tout matériau non conforme doit être enlevé puis remplacé par un matériau satisfaisant aux exigences du présent devis.

6.4.5 Ségrégation

L'emmagasinage, le chargement, le transport, le déversement, l'épandage et le compactage de tous les matériaux doivent être effectués de manière à ce qu'il n'y ait pas de ségrégation.

6.4.6 Matériaux ségrégués

Tout matériau présentant une ségrégation doit être retiré et transporté à l'aire de rebuts.

6.4.7 Conditions spéciales de remblayage

Dans les cas de remblayage à proximité d'éléments structuraux, conduites, tuyaux ou autres, l'Entrepreneur doit remblayer simultanément de part et d'autres de ces éléments de façon à ce que les poussées exercées par le sol sur ces éléments puissent s'équilibrer.

6.5 COMPACTAGE

Le matériau de remblai doit être compacté en couches continues et uniformes. Les procédures établies lors de la réalisation du banc d'essais doivent être respectées lors du compactage.

6.5.1 Équipements

Chaque couche doit être compactée au moyen d'équipements acceptés par le Maître d'œuvre, de façon à obtenir une densité en place conforme à celle indiquée sur les plans. La réalisation du banc d'essais permettra un choix approprié des équipements acceptables en fonction des exigences des spécifications techniques.

6.5.2 Obligation de compacter

La circulation du matériel roulant ne peut ni ne doit être un substitut au compactage des matériaux mis en place.

6.5.3 Fréquence de vibration

Dans le cas de matériaux granulaires, la fréquence de vibration des rouleaux vibrants doit être ajustée de manière à obtenir une densité en place conforme à celle exigée, tout en tenant compte de la teneur en eau des matériaux en cause.

6.5.4 Méthodes de compactage

- 1) *Compte d'une passe* : un passage du rouleau sur la surface entière à compacter constitue une passe;
- 2) *Sens de roulage* : le roulage doit être effectué longitudinalement sur de grandes surfaces et les virages doivent être exécutés soigneusement pour obtenir un compactage uniforme;
- 3) *Chevauchement des passes* : les passes successives doivent se chevaucher d'au moins un quart de la largeur effective de l'engin de compactage.

6.6 RÉPARATION DANS LA COUCHE IMPERMÉABLE

Des réparations dans la couche imperméable sont requises dans les cas de perforation, fissure, ségrégation, lessivage ou discontinuité.

6.6.1 Sources de perforation

Les principales sources de perforation de la couche imperméable sont les suivantes :

- remplacement des essais au nucléodensimètre,
- lieu de prélèvement d'échantillon, et
- puits d'observation.

6.6.2 Méthode

- 1) *Perforation de faible diamètre* : un mélange de sol-bentonite doit être préparé et compacté en place de façon manuelle;
- 2) *Perforation de grand diamètre* : dans un cas de perforation de plus grand diamètre (puits d'observation, tranchée d'inspection), le matériau de remplissage doit être le même que celui utilisé pour la construction de la couche. Il doit être compacté à la même densité que le matériau adjacent, tout en s'assurant de l'interpénétration des couches.

7. CONSTRUCTION (SUIVI ET ESSAIS)

Les modes d'évaluation sont les suivants :

- suivi des travaux (feuille de pointage),
- inspection de la continuité entre les couches,
- essais de laboratoire et de chantier.

Tous les essais de chantier et de laboratoire doivent être effectués à partir d'échantillons prélevés durant la construction.

7.1 SUIVI DES TRAVAUX

Le suivi des travaux de construction comprend les tâches suivantes :

- essais pour déterminer la teneur en eau et les propriétés physiques des matériaux,
- évaluation et contrôle de l'épaisseur des levées avant et après compactage,
- observation et évaluation des effets du compactage et de la circulation des équipements sur les levées (ornières, pénétration, saturation, etc.), et
- enregistrement et contrôle du nombre de passes effectué lors du compactage.

7.2 ÉVALUATION DE LA CONTINUITÉ PAR L'ENTREPRENEUR

L'évaluation de la continuité entre les couches peut être effectuée au moyen de puits d'observation creusés à même la dernière levée.

7.2.1 *Méthode et profondeur*

La méthode et la profondeur de creusage doivent être approuvées par le Maître d'œuvre.

7.2.2 *Remise en état du terrain*

Tous les puits doivent être remplis et les matériaux compactés en conformité avec les spécifications du présent devis. La méthode de compactage doit être approuvée par le Maître d'œuvre.

7.3 ESSAIS AU CHANTIER ET EN LABORATOIRE

Les procédures d'essais au chantier et en laboratoire, de même que les fréquences doivent respecter les critères des tableaux de contrôle des matériaux naturels insérés à la fin de cette section.

7.3.1 *Résultats inacceptables*

Aux endroits où les essais révèlent des résultats inacceptables, une zone représentative doit faire l'objet de correctifs appropriés : recompactage, scarification, séchage et recompactage, ou humidification et recompactage, etc.

7.3.2 Essais et méthodes de vérification

Le Maître d'Oeuvre doit établir les essais et les méthodes de vérification appropriés pour permettre la poursuite des travaux.

7.4 FRÉQUENCE DES ESSAIS

Tous les essais de contrôle de la qualité doivent être effectués en accord avec les spécifications des tableaux de contrôle des matériaux naturels ou tel que requis par le Maître d'œuvre.

7.4.1 Essais d'avant construction (échantillons)

- 1) Les essais d'avant construction doivent être effectués sur des échantillons représentatifs provenant des bancs d'emprunt destinés à la réalisation de chacune des couches;
- 2) Ces essais sont considérés comme des essais de conformité.

7.4.2 Essais de contrôle de construction

- Échantillons

Les essais de contrôle de la qualité de construction doivent être effectués sur des échantillons obtenus et prélevés durant les travaux.

- Fréquence

Les fréquences d'essais sont indiquées aux tableaux de contrôle des matériaux naturels à la fin de cette section.

- Fréquence particulière

Une fréquence particulière d'essai doit être utilisée à la discrétion du Maître d'œuvre lorsque des observations visuelles indiquent la présence de causes potentielles de problèmes.

- Essais additionnels

Des essais additionnels doivent être prévus dans les cas suivants, sans s'y limiter :

- Si requis par le Maître d'œuvre suite à des observations visuelles indiquant la présence de problèmes potentiels,
- Glissement du compacteur,
- Variation de l'épaisseur de la levée,
- Teneur en eau suspecte ou variable,
- Nombre incorrect de passes,
- Équipements de compactage sales ou en mauvais état,
- Matériaux différents de ceux spécifiés, et
- Degré de compacité douteux.

- Augmentation de la fréquence

Durant la construction, la fréquence des essais peut être augmentée dans les cas suivants

- Conditions atmosphériques adverses,
- Bris de l'équipement,
- Début et fin des levées,
- Variation visible de la qualité des matériaux,
- Espace de travail restreint,
- Changement d'opérateur,
- Changement d'équipement, et
- Si requis par le Maître d'Oeuvre.

7.5 LOCALISATION

La localisation des prélèvements doit être effectuée sous la supervision du Maître d'œuvre.

Les essais de routine concernant la vérification de la densité en place des matériaux doivent être localisés de façon aléatoire.

7.6 DÉCOUVERTE DE DÉFICIENCES (MOYENS À PRENDRE)

Suite à la découverte d'un défaut ou d'une malfaçon, le Maître d'œuvre doit établir l'étendue de la zone affectée. Si le défaut provient de résultats d'essais inacceptables, la zone affectée peut être délimitée par des essais additionnels, par une revue des résultats et rapports précédents ou par d'autres moyens satisfaisant le Maître d'œuvre. Si le défaut est relié à des conditions atmosphériques adverses, les travaux doivent être suspendus et la zone affectée établie par le Maître d'œuvre.

7.7 RÉPARATION ET VÉRIFICATION

L'Entrepreneur doit apporter les correctifs prescrits à la satisfaction du Maître d'œuvre. Si les spécifications du devis ne peuvent être respectées ou si des conditions atmosphériques particulières sont susceptibles d'affecter les travaux de façon grave, l'Entrepreneur doit déterminer une solution satisfaisante.

7.7.1 Poursuite des travaux (conditions)

Dans tous les cas, une correction acceptable doit être complétée avant la poursuite de tout travail de mise en place en périphérie de la zone affectée. La poursuite des travaux est conditionnelle à la réalisation d'essais de contrôle offrant des résultats conformes aux spécifications du présent devis et dûment acceptés par le Maître d'œuvre.

7.8 TABLEAUX DE CONTRÔLE DES MATÉRIAUX NATURELS

Tableau 7.1 : Essais de contrôle des matériaux naturels en laboratoire

Fréquence	Essai	Norme
1 / 800 m ³	Analyse granulométrique (% de fines, % d'argile)	BNQ 2501-025
1 / 800 m ³	*Limites d'Atterberg (indice de plasticité)	BNQ 2501-090 (092)
1 / 4 000 m ³	*Proctor standard	BNQ 2501-250
1 / 1 000 m ³	Proctor modifié (pour sable et tout-venant)	ASTM D1557
1 / 1 000 m ³	*Sédimentométrie	ASTM D0422

* Essai sur l'argile seulement

Tableau 7.2 : Essais de contrôle des matériaux naturels au chantier

Fréquence	Essai	Norme
1 / 100 m ³	Nucléodensimètre (densité et teneur en eau)	ASTM D2922
Continue	Nombre de passe du compacteur	-
Continue	Épaisseur totale	-
Continue	*Grosseur des mottes d'argile (Clog size)	-

* Essai sur l'argile seulement

7.9 EXIGENCE DU CONTRÔLE DE QUALITÉ

La conformité de la couche d'argile construite sera déterminée en fonction des exigences préalablement établie et celle du tableau suivant :

Tableau 7.3 : Exigence du contrôle de qualité

Paramètre	Exigences
Teneur en eau du matériau compacté	<p>Moins de 3 % des résultats non conformes concentré dans une même levée compactée ou un même secteur.</p> <p>Aucune teneur en eau mesurée ne doit être plus de 3 % de la limite inférieure et plus de 3 % de la limite supérieure de la gamme établie.</p>
Densité sèche du matériau compacté	<p>Moins de 3 % des résultats non conformes concentré dans une même levée compactée ou un même secteur.</p> <p>Aucune mesure de densité sèche devra être plus de 80 Kg/m³ inférieure à la valeur minimale établie de la gamme.</p>
Nombre de passe de compacteur pour une levée	Moins de 3 % des résultats non conformes concentré dans une même levée compactée ou un même secteur.

8. SURVEILLANCE ET DOCUMENTATION

8.1 RAPPORTS D'ESSAIS

8.1.1 Rapport des essais de laboratoire

Ce rapport doit contenir les éléments suivants :

- date et heure,
- matériau,
- numéro du banc d'essais,
- numéro d'échantillon,
- localisation de l'échantillon
- teneur en eau (w%),
- limites d'Atterberg (wp et wl),
- essai Proctor modifié ou standard (kN/m³),
- résistance au cisaillement (Cu),
- classification ASTM D-587,
- sédimentométrie/granulométrie,
- signature de l'inspecteur,
- notes.

8.1.2 Rapport de banc d'essais

Ce rapport doit contenir les éléments suivants :

- date et heure,
- température et conditions climatiques,
- matériau,
- numéro du banc d'essais,
- état de la fondation,
- longueur et largeur,
- pente minimale,
- numéro de levée,
- épaisseur de la levée avant compactage,
- numéro d'équipement,
- nombre de passes,
- numéro d'essai de compactage,
- densité en place,
- teneur en eau en place,
- épaisseur de la levée après compactage,
- numéro d'essai de perméabilité,

- numéro d'essai de granulométrie/sédimentométrie,
- numéro d'essai de limites d'Atterberg,
- numéro d'essai de classification,
- signature de l'inspecteur,
- notes.

8.1.3 Rapport des essais de compactage

Ce dernier doit contenir les éléments suivants :

- date et heure,
- matériau,
- numéro d'échantillon de laboratoire,
- optimum (Proctor modifié ou standard),
- numéro du banc d'essais,
- maximum (Proctor modifié ou standard),
- numéro d'essai,
- numéro de levée,
- épaisseur de la levée,
- nombre de passes,
- numéro d'équipement,
- température,
- localisation de l'essai (coordonnées x, y et z),
- densité en place (kN/m³),
- niveau de compacité (%),
- teneur en eau sur place (%),
- signature de l'inspecteur,
- notes.

8.2 RAPPORTS DES TRAVAUX

8.2.1 Rapport quotidien

Les procédures normales de documentation des travaux de mise en place comprennent la préparation d'un journal quotidien contenant les éléments suivants :

- journal de réunion ou de discussion,
- journal des observations et des essais,
- journal des difficultés et des solutions,
- journal des photographies.

8.2.2 Journal de réunion ou de discussion

Ce rapport doit contenir les éléments suivants :

- date et identification du projet,
- noms des parties concernées,
- sujets pertinents,
- activités suivies et horaires,
- difficultés et suggestions,
- commentaires du Maître d'Oeuvre.

8.2.3 Journal des observations et des essais

Ce rapport doit contenir les éléments suivants :

- date et identification du projet,
- numéro de référence,
- conditions atmosphériques,
- plan démontrant les zones travaillées,
- équipements et personnel mobilisés,
- résumé des résultats d'essais,
- calibrage des équipements et activités connexes,
- décisions pertinentes,
- commentaires du Maître d'Oeuvre.

8.2.4 Journal des difficultés et des solutions

Ce rapport doit contenir les éléments suivants :

- date et identification du projet,
- description des situations,
- localisation et étendue des situations,
- moment de la reconnaissance du problème,
- documentation de la solution retenue,
- résultat final,
- mesures préventives mises sur pied,
- commentaires du Maître d'Oeuvre.

8.2.5 Registre des modifications de conception et de spécifications

Dans les cas où des modifications seront ou devront être apportées à la conception ou aux spécifications, un document écrit doit être émis. Ce document doit contenir les éléments suivants :

- date de l'émission,
- identification du projet,
- identification des travaux concernés,
- circonstances et conditions,
- localisation et étendue de la zone concernée,
- autres détails pertinents,
- signature du Maître d'œuvre,
- signature du concepteur de l'ouvrage.

Ce document doit être inclus au rapport final du Maître d'œuvre.

8.2.6 Rapport de progression des travaux

Ce rapport doit contenir les éléments suivants :

- date et identification du projet,
- numéro de référence,
- numéros de référence des documents cités,
- résumé des travaux effectués,
- résumé des résultats d'essai, malfaçons et corrections,
- signature du Maître d'Oeuvre.

8.2.7 Journal des photographies

Ce journal doit contenir au moins les éléments suivants :

- date et référence aux rapports quotidiens,
- photos du site dans son ensemble,
- détails pertinents inscrits aux rapports quotidiens.

8.2.8 Datation des photographies

Les photographies doivent être prises à l'aide d'un appareil doté d'un dispositif de datation automatique des images.

8.2.9 Angle des photographies d'ensemble

Les photographies du site dans son ensemble doivent être prises d'un endroit précis, de la même façon et à intervalles réguliers afin de démontrer la progression des travaux.

8.3 RAPPORT FINAL

Ce rapport doit contenir les éléments suivants :

- résumé des activités de construction,
- journal des observations et des essais,
- plan de localisation des essais,
- rapport final du laboratoire,
- modifications apportées à la conception,
- modifications apportées aux spécifications,
- certification de conformité signée par le Maître d'Oeuvre.

Tableau 8.1 : Spécifications techniques des matériaux naturels

MATÉRIAU (mm)	TAMIS						
	Sable Classe A	Argile	Granulaire 10-20 mm	Granulaire 0-20 mm	Pierre 50-100 mm	Pierre nette 20 mm	Tout-venant
300 mm							
150 mm					100		100
112 mm					90-100		
80 mm							95-100
56 mm					0-15		
40 mm							
28 mm			100	100		100	
20 mm			90-100	90-100		85-100	
16 mm				69-93			
14 mm							
12.5 mm							
10 mm	100		25-60			0-20	
5 mm	50-100		0-10	35 -60		0-5	
2.5 mm			0-5				80-100
1.25 mm		100		10-38			
760µm							
630µm							
315µm	50 max.			9-17			
160µm	10 max.						
80µm	0-5	80-100		2-8			50-80
20µm							
10µm							
2µm		> 50					> 15