

# Agrandissement du lieu d'enfouissement technique de Saint-Nicéphore

## Étude d'impact sur l'environnement

Analyses de stabilité et calculs de tassement aux futurs secteurs  
d'exploitation du L.E.T. de Saint-Nicéphore

Décembre 2010





Décembre 2010

# ANALYSES DE STABILITÉ ET CALCULS DE TASSEMENT AUX FUTURS SECTEURS D'EXPLOITATION DU LET DE SAINT- NICÉPHORE, QUÉBEC

## RAPPORT GÉOTECHNIQUE

**Présenté à:**

Monsieur Ghislain Lacombe, ing.  
Waste Management  
25, rue Gagnon  
Saint-Nicéphore (Québec) J2A 3H3

RAPPORT



Des préoccupations  
**globales, des**  
solutions locales

**Numéro de projet: 09-1223-0048-1000**

**Distribution:**

5 exemplaires: Waste Management, Saint-Nicéphore, Qc

5 exemplaires: MDDEP, Québec, Qc

3 exemplaires: AECOM, Québec, Qc

2 exemplaires: Golder Associés Ltée, Montréal, Qc



# Index des rapports





## Table des matières

<b>1.0</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1	Mandat et objectif .....	1
1.2	Description du site .....	1
<b>2.0</b>	<b>TRAVAUX RÉALISÉS .....</b>	<b>1</b>
<b>3.0</b>	<b>STRATIGRAPHIE ET HYDROGÉOLOGIE .....</b>	<b>2</b>
3.1	Stratigraphie des sols .....	3
3.2	Hydrogéologie.....	4
<b>4.0</b>	<b>ANALYSES DE STABILITÉ .....</b>	<b>4</b>
4.1	Méthodologie .....	4
4.1.1	Géométrie .....	5
4.1.1.1	Phase 3A .....	5
4.1.1.2	Phase 3B .....	5
4.1.2	Facteurs de sécurité.....	5
4.1.3	Surface phréatique.....	6
4.2	Propriétés géotechniques .....	6
4.3	Résultats.....	7
4.3.1	Phase 3A .....	7
4.3.2	Phase 3B .....	8
<b>5.0</b>	<b>TASSEMENTS.....</b>	<b>8</b>
5.1	Méthodologie .....	8
5.1.1	Phase 3A .....	8
5.1.2	Phase 3B .....	9
5.2	Propriétés géotechniques des sols .....	9
5.3	Tassements estimés.....	11
5.3.1	Phase 3A .....	11
5.3.2	Phase 3B .....	12
<b>6.0</b>	<b>ÉLÉVATIONS MINIMALES DES FONDS D'EXCAVATION .....</b>	<b>12</b>
6.1	Phase 3A .....	13



6.2	Phase 3B .....	13
<b>7.0</b>	<b>DRAINAGE .....</b>	<b>13</b>
7.1	Phase 3A .....	13
7.2	Phase 3B .....	13
<b>8.0</b>	<b>CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>14</b>
<b>9.0</b>	<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>15</b>
<b>10.0</b>	<b>SIGNATURES.....</b>	<b>16</b>



**TABLEAUX**

Tableau 1 : Unités hydrostratigraphiques..... 4  
Tableau 2 : Propriétés géotechniques des matériaux utilisées dans les analyses de stabilité..... 7  
Tableau 3 : Facteurs de sécurité obtenus lors des analyses de stabilité de la Phase 3A..... 7  
Tableau 4 : Facteurs de sécurité obtenus lors des analyses de stabilité de la Phase 3B..... 8  
Tableau 5 : Modules d'élasticité et poids volumiques utilisés..... 10  
Tableau 6 : Paramètres de consolidation..... 10  
Tableau 7 : Épaisseurs des couches de sol utilisées pour les calculs de tassement de la Phase 3A..... 11  
Tableau 8 : Épaisseurs des couches de sol utilisées pour les calculs de tassement de la Phase 3B..... 11  
Tableau 9 : Tassements sous le drain n° 13..... 11

**TABLEAU (APRÈS LE TEXTE)**

Tableau 10 : Élévations minimales des fonds d'excavation - Phase 3A du LET de Saint-Nicéphore  
Tableau 11 : Élévations minimales des fonds d'excavation - Phase 3B du LET de Saint-Nicéphore

**FIGURES**

Figure 1 : Plan de localisation  
Figure 2 : Vue en plan et coupe stratigraphique du secteur Phase 3A  
Figure 3 : Vue en plan et coupes stratigraphiques du secteur Phase 3B  
Figure 4A : Piézométrie de la nappe libre de surface – juin 2008  
Figure 4B : Piézométrie de l'aquifère semi-captif – août 2008  
Figure 5 : Élévations minimales des fonds d'excavation – secteur Phase 3A  
Figure 6 : Élévations minimales des fonds d'excavation – secteur Phase 3B

**ANNEXES**

**ANNEXE A**

Journaux de sondages et résultats des analyses en laboratoire géotechnique

**ANNEXE B**

Essais de laboratoire sur les géomembranes et aléas sismiques

**ANNEXE C**

Résultats des analyses de stabilité

**ANNEXE D**

Résultats des calculs de tassement

**ANNEXE E**

Limites et conditions



## **1.0 INTRODUCTION**

### **1.1 Mandat et objectif**

Dans le cadre du projet de développement du lieu d'enfouissement technique (LET) de Saint-Nicéphore, Golder Associés Ltée (Golder) a été mandatée par Waste Management (WM) pour évaluer la stabilité des assises et des pentes proposées pour les cellules d'enfouissement des futurs secteurs d'exploitation des Phases 3A et 3B, ainsi que pour fournir des valeurs de tassements anticipés en différents points le long des conduites de collecte de lixiviats prévues au projet (figure 1).

Un rapport d'étude hydrogéologique du projet de développement du LET de Saint-Nicéphore produit par Tecslut (2005) a été utilisé pour élaborer le programme de travail. Ainsi, il s'est avéré nécessaire de recueillir certaines informations complémentaires sur le terrain avant d'effectuer les analyses de stabilité et les calculs de tassement. Des travaux de forage ont donc été effectués le 30 novembre et le 1<sup>er</sup> décembre 2009 afin d'obtenir ces données complémentaires. De plus, une conception préliminaire du LET a été fournie sur support CAD Civil 3D par Génivar le 10 novembre 2009. Suivant une modification du secteur de la Phase 3B ainsi que de certaines recommandations incluses dans le rapport préliminaire de février 2010 réalisé par Golder, Génivar a réévalué sa conception préliminaire et soumis une nouvelle géométrie du site le 30 septembre, puis a ajusté de nouveau la géométrie le 6 et le 19 octobre 2010.

Ce rapport présente les détails des travaux de terrain complémentaires, les résultats des analyses de stabilité des assises et des pentes, les calculs de tassement ainsi que des recommandations concernant les travaux d'excavation des futures cellules d'enfouissement.

### **1.2 Description du site**

Selon les informations fournies, il est prévu d'ériger les cellules d'enfouissement de la Phase 3B avec la même structure que celles de la Phase 3A qui correspond aux cellules 7 et 8 existantes (figure 2). Ainsi, l'étanchéité des cellules sera procurée par un système à double niveau de protection comprenant une natte bentonitique reposant sur l'assise de sable ou de silt argileux sous-jacente, un niveau de protection inférieur avec une géomembrane lisse de polyéthylène haute densité (PEHD) de 1,5 mm d'épaisseur, un géofilet constituant l'élément drainant pour le système de détection secondaire et un niveau de protection supérieur avec une deuxième géomembrane lisse de PEHD surmontée d'un géotextile de protection.

Selon les informations fournies par Génivar, il est prévu que l'élévation finale maximale des cellules d'enfouissement des futurs secteurs d'exploitation sera de 152,5 m en crête incluant le recouvrement final.

## **2.0 TRAVAUX RÉALISÉS**

Les travaux de sondages complémentaires ont été effectués le 30 novembre et le 1<sup>er</sup> décembre 2009 et visaient à obtenir des résistances au cisaillement et des paramètres de consolidation du dépôt de sols cohérents en place. Les travaux de sondage ont consisté en :

- un forage nommé F-09-09 réalisé à côté du forage antérieur PO-03-09 (Tecslut 2005), jusqu'à une profondeur de 14,32 m;



- deux profils scissométriques effectués dans les horizons de sols cohérents, soit un réalisé à côté du forage F-09-09, et un réalisé à côté du forage PO-03-03 (Tecsult 2005). Les travaux de forage ont été effectués au moyen d'une foreuse de type CME-55, montée sur un bombardier à chenilles, opérée par Succession Forages Georges Downing Ltée (Downing).

Le forage a été réalisé au moyen de tarières d'un diamètre de 200 mm. Les sols ont été échantillonnés à l'aide de cuillères fendues de 50 mm de diamètre extérieur ainsi qu'à l'aide de tubes à parois minces (tubes Shelby). Des essais de pénétration standard (SPT) ont été effectués selon les procédures de la norme ASTM D1586-99. Tous les échantillons prélevés ont été examinés puis scellés et acheminés à notre laboratoire géotechnique situé à Mississauga aux fins d'essais. Un total de trois essais de consolidation et de six déterminations des limites d'Atterberg a été réalisé sur des échantillons prélevés dans le forage F-09-09.

Deux profils de résistance au cisaillement non drainée ont été effectués à côté des forages antérieurs (Tecsult 2005) PO-03-03 et PO-03-09 au moyen d'un scissomètre de chantier de marque Nilcon.

Les essais de résistance au cisaillement non drainée consistent à insérer une palette en forme de croix dans le sol et à appliquer un moment de torsion dans le but de causer une rupture au cisaillement due à la rotation de la palette. En connaissant le moment de force, la résistance au cisaillement naturelle *in situ* non drainée ( $S_u$ ) peut être déterminée. Certains essais ont aussi été effectués pour déterminer la résistance au cisaillement remaniée, ce qui permet de déterminer la sensibilité d'un sol argileux.

Tous les travaux de sondage ont été effectués sous la supervision d'un représentant de terrain de Golder.

L'emplacement des sondages est indiqué à la figure 3. Les journaux de sondages sont joints à l'annexe A du rapport et incluent les résultats des essais de résistance au cisaillement ainsi que les résultats des essais en laboratoire. Une feuille explicative des abréviations et des terminologies utilisées dans les journaux de sondages est jointe à la première page de l'annexe A. Les résultats des analyses effectuées en laboratoire sont aussi joints à l'annexe A, après les rapports de sondages.

### **3.0 STRATIGRAPHIE ET HYDROGÉOLOGIE**

La stratigraphie au site a été interprétée à partir de journaux de sondages présentés dans le rapport de Tecsult (2005), ainsi qu'à l'aide des sondages complémentaires effectués par Golder les 30 novembre et 1<sup>er</sup> décembre 2009. La liste complète des sondages utilisés est présentée ci-dessous :

- Les piézocônes PZC-03-01, PZC-03-02, PZC-03-03, PZC-03-04, PZC-03-05 provenant de l'étude de Tecsult (2005);
- Les forages PO-03-01C, PO-03-02C, PO-03-03C, PO-03-04C, PO-03-05C, PO-03-07C, PO-03-08C, PZ-02-1, PZ-02-2-T, PZ-02-3 (D), PZ-02-4 (D), PZ-02-5 (D), W-02-3, W-02-5, W-02-6, W-02-7, PZ-98-05C, PZ-98-06C, PZ-92-01C, PZ-92-02C, PZ-92-03C et PZ-92-05C (D) compilés dans l'étude de Tecsult (2005);
- Le forage F-09-09 réalisé par Golder en décembre 2009 incluant les essais de consolidation et les déterminations des limites d'Atterberg réalisés sur les échantillons prélevés dans ce forage;
- Les profils scissométriques F-09-09 et F-09-03 réalisés par Golder en décembre 2009.



Les données piézométriques proviennent de l'historique des relevés effectués au site au cours de la période de 2005 à 2009.

Les rapports de sondages incluant les piézocônes réalisés par Cogemat (2004) extraits de l'étude de Tecslut (2005) sont présentés à l'annexe A du rapport.

### **3.1 Stratigraphie des sols**

Selon les informations citées précédemment, la stratigraphie générale des dépôts meubles interceptés au site est la suivante :

- **Sable fin lâche à compact** : en surface, on retrouve généralement un sable fin, à proportion variable de silt, gris foncé, rouge foncé ou brun, lâche à compact, d'une épaisseur moyenne de 5,2 m allant jusqu'à 10,5 m.
- **Sable fin dense à très dense** : le sable fin se densifie en profondeur. Sa composition granulométrique est généralement la même que le sable fin lâche. Il est généralement gris foncé, mais est parfois identifié comme rouge foncé ou olive. On retrouve occasionnellement des lits contenant des coquillages. Ses épaisseurs moyenne et maximale sont respectivement de 2,1 m et 7,2 m.
- **Silt** : l'unité de sable fin dense devient graduellement, par interlits (parfois contenant des coquillages), une unité de silt, lâche à compacte, de faible plasticité (ML). L'unité nommée « silt » contient principalement du silt avec des proportions variables de sable fin et un peu d'argile. Elle est de couleur gris foncé à gris foncé rougeâtre. Ses épaisseurs moyenne et maximale sont respectivement de 4,4 m et 12,6 m. Les limites de liquidité effectuées sur les échantillons CF-4, CF-6 et CF-8 prélevés dans cet horizon à l'endroit du forage F-09-09 varient de 19,2 % à 21,3 % et les limites de plasticité varient de 15,8 % à 16,7 %.
- **Silt argileux à argile silteuse** : une unité au comportement plus plastique (CL-ML à CL), ferme à très raide, est parfois identifiée sous l'unité de silt. Ses épaisseurs moyenne et maximale sont respectivement de 2,9 m et 9,2 m. Les résistances au cisaillement mesurées lors de la réalisation des sondages SC-09-03 et F-09-09 dans cet horizon varient de 42 kPa à plus de 200 kPa. À l'endroit du forage F-09-09, les limites de liquidité varient de 18,8 % à 26,2 % et les limites de plasticité varient de 14,9 % à 17,0 %. Des trois essais de consolidation effectués sur des échantillons prélevés dans le forage F-09-09, un seul a permis de déterminer des coefficients de recompression et de compression de l'argile, soit la courbe obtenue par l'essai effectué sur l'échantillon TM-14. Sur cet échantillon plus plastique que les autres (CL), l'indice des vides est de 0,75, le coefficient de recompression est de 0,02, le coefficient de compression vierge est de 0,3 et la contrainte de préconsolidation de l'argile est d'environ 250 kPa. Les deux courbes données par les essais de consolidation effectués sur les échantillons TM-10 et TM-12 n'ont pas permis d'obtenir ces paramètres puisque les échantillons ont été recueillis dans un horizon moins plastique (CL-ML).
- **Till** : Un till gris foncé à granulométrie étalée est généralement retrouvé au contact du roc. Ses épaisseurs moyenne et maximale sont respectivement de 3,4 m et 13,8 m.



## 3.2 Hydrogéologie

Quatre unités hydrostratigraphiques sont généralement rencontrées à l'endroit du site et sont identifiées comme suit :

**Tableau 1 : Unités hydrostratigraphiques**

Description	Type
Sable fin	Nappe libre de surface
Silt avec un peu d'argile à silt argileux	Aquitard
Till glaciaire (parfois remanié avec présence de chenaux de sable et gravier)	Aquifère semi-captif
Roc (ardoise calcaireuse)	Aquifère semi-captif

La conductivité hydraulique de l'unité de sable fin au niveau de la nappe libre de surface varie entre  $2,9 \times 10^{-3}$  cm/s à  $2,0 \times 10^{-5}$  cm/s avec une moyenne géométrique de  $3,6 \times 10^{-4}$  cm/s, alors que celle de l'aquitard se situe entre  $2,7 \times 10^{-5}$  cm/s et  $7,9 \times 10^{-7}$  cm/s avec une moyenne géométrique de  $5,8 \times 10^{-6}$  cm/s. En ce qui a trait à l'aquifère semi-captif, le till et le roc ont montré des valeurs de conductivité hydraulique variant de  $1,7 \times 10^{-3}$  cm/s à  $2,9 \times 10^{-6}$  cm/s avec une moyenne géométrique de  $1,9 \times 10^{-4}$  cm/s.

L'écoulement des eaux souterraines de la nappe libre de surface est partiellement contrôlé par les fossés périphériques du LES et du LET et par les ruisseaux Oswald-Martel et Paul-Boisvert. Une piézométrie type représentative est présentée à la figure 4A. L'écoulement général de la nappe libre de surface s'effectue en direction est dans la partie ouest de la Phase 3B projetée, soit approximativement parallèle à l'écran d'étanchéité (mur sol-bentonite) périphérique qui ceinture le site existant. Une section négligeable de l'aquifère s'écoule vers le ruisseau Oswald-Martel à la limite ouest de la Phase 3B projetée.

En ce qui concerne les eaux souterraines de l'aquifère semi-captif sous la Phase 3B projetée, l'écoulement de celles-ci est localement modifié par les activités de pompage en cours dans le secteur ouest pour l'exploitation des cellules d'enfouissement 5 à 8, et ce, d'une part afin de maintenir les fonds d'excavation en condition sèche et, d'autre part, de prévenir les conditions de boulangerie et/ou de soulèvement du fond des excavations. Une piézométrie type représentative est présentée à la figure 4B.

## 4.0 ANALYSES DE STABILITÉ

### 4.1 Méthodologie

Les analyses de stabilité ont été réalisées selon les méthodes conventionnelles d'équilibre limite afin d'évaluer la stabilité globale de l'empilement de matières résiduelles ainsi que la stabilité des pentes d'excavation des cellules d'enfouissement. Toutes les analyses de stabilité ont été effectuées à l'aide du logiciel SLOPE/W développé par la compagnie GEO-SLOPE International et en utilisant la méthode de Morgenstern-Price, qui satisfait à la fois l'équilibre des forces et des moments. Pour toutes les analyses, le facteur de sécurité de plusieurs surfaces de rupture potentielles a été calculé afin de déterminer le facteur de sécurité minimal. Le facteur de sécurité est défini comme étant le rapport des forces stabilisatrices par rapport aux forces motrices tendant à causer la rupture. Les analyses ont été faites en utilisant une approche bidimensionnelle, qui est une



simplification conservatrice de l'approche et qui représente une approximation représentative de la géométrie de la cellule et de l'empilement de matières résiduelles.

#### **4.1.1 Géométrie**

##### **4.1.1.1 Phase 3A**

Les analyses de stabilité ont été effectuées en respectant la géométrie des cellules d'enfouissement existantes 7 et 8 et en ajoutant un volume de matières résiduelles, incluant le recouvrement, atteignant une élévation maximale de 152,5 m. Tel que projeté par Génivar, les pentes de talus ont été modélisées avec une inclinaison de 3,3H : 1V (3,3 unités horizontales pour 1 unité verticale).

Les analyses de stabilité ont été effectuées selon la coupe C-C' présentée à la figure 2, soit à l'endroit de la jonction des cellules 7 et 8 et du LET existant. La coupe type inclut une stratigraphie interprétée à partir des sondages PZ-02-4, PZ-02-5 et PZ-92-02. Deux types de ruptures ont été vérifiés, soit les ruptures circulaires, passant à travers les sols de fondation, et les ruptures de glissement le long de l'interface de la géomembrane en PEHD.

##### **4.1.1.2 Phase 3B**

Pour effectuer les analyses de stabilité respectant la géométrie des cellules d'enfouissement, incluant le recouvrement final et tel que projeté par Génivar, deux axes types ont été modélisés. Le premier axe coupe le futur site longitudinalement (coupe A-A' de la figure 3) et l'autre axe, transversalement (coupe B-B' de la figure 3). Les pentes de talus ont été modélisées sur les flancs ouest, nord et sud avec une inclinaison de 3,3H : 1V (3,3 unités horizontales pour 1 unité verticale), alors que l'inclinaison du flanc est a été établie à 4,1H : 1V. Les analyses de stabilité ont été effectuées sur les deux flancs de chaque coupe. Deux types de ruptures ont été vérifiés, soit les ruptures circulaires, passant à travers les sols de fondation, et les ruptures de glissement le long de l'interface de la géomembrane en PEHD. De plus, la stabilité des talus des excavations projetées a été évaluée en tenant compte de l'influence du poids de la cellule 5 existante.

Les coupes typiques A-A' et B-B' utilisées pour les analyses de stabilité présentées à la figure 3 incluent une stratigraphie interprétée selon une projection linéaire en trois dimensions, depuis les informations tirées des sondages présentés à la section 3.0.

#### **4.1.2 Facteurs de sécurité**

Les analyses ont été effectuées en conditions statiques et pseudo-statiques. Le facteur de sécurité minimal recherché dépend des conditions analysées :

- conditions statiques : facteur de sécurité > 1,45;
- conditions pseudo-statiques : facteur de sécurité > 1,10;
- conditions statiques pour un talus d'excavation temporaire : facteur de sécurité > 1,30.

Pour les analyses en conditions pseudo-statiques, une période de récurrence de 1 dans 2 475 ans a été utilisée, ce qui correspond à une accélération horizontale du roc de 0,286 g au LET de Saint-Nicéphore (valeur de l'aléa sismique calculé selon le Code national du bâtiment – Canada 2005, référence placée annexe B). Dans cette méthode, il est proposé d'effectuer l'analyse pseudo-statique conventionnelle en utilisant un coefficient sismique



correspondant à 20 % de la valeur de l'accélération utilisée dans les analyses de stabilité (Bray et al., 1998), ce qui correspond à une valeur de 0,06 g.

### **4.1.3 Surface phréatique**

La piézométrie est tirée du rapport de Golder (2010) et est représentative de l'année 2008. Une carte piézométrique est présentée pour chacun des deux principaux aquifères, soit l'aquifère à nappe libre dans le sable fin de surface et l'aquifère semi-captif du till et roc sous l'aquitard formé par l'unité de silt argileux. Les surfaces piézométriques générées par ces deux aquifères sont intégrées dans le modèle de stabilité. Une troisième surface piézométrique a été appliquée pour représenter le lixiviat accumulé en fond de cellule. Tel que proposé par Golder (2007), une nappe se situant à l'intérieur de la cellule, sur une hauteur d'environ 5 m au-dessus du fond de la cellule, est appliquée aux matières résiduelles et à la géomembrane.

## **4.2 Propriétés géotechniques**

Les propriétés des dépôts meubles présents sur le site de la future cellule d'enfouissement ont été estimées à partir des sources d'information suivantes :

- Les piézocônes PZC-03-01, PZC-03-02, PZC-03-03, PZC-03-04, PZC-03-05 provenant de l'étude de Tecslut (2005).
- Les forages PO-03-01C, PO-03-02C, PO-03-03C, PO-03-04C, PO-03-05C, PO-03-07C, PO-03-08C, PZ-02-1, PZ-02-2-T, PZ-02-3 (D), PZ-02-4 (D), PZ-02-5 (D), W-02-3, W-02-5, W-02-6, W-02-7, PZ-98-05C, PZ-98-06C, PZ-92-01C, PZ-92-02C, PZ-92-03C et PZ-92-05C (D) provenant de l'étude de Tecslut (2005).
- Le forage F-09-09 réalisé par Golder en décembre 2009 incluant les essais de consolidation et les déterminations des limites d'Atterberg réalisés sur les échantillons prélevés dans ce forage.
- Les profils scissométriques F-09-09 et F-09-03 réalisés par Golder en décembre 2009.

Le poids volumique ( $\gamma$ ) et l'angle de frottement interne ( $\phi$ ) des matières résiduelles ont déjà été utilisées pour les études de stabilité réalisées sur le site (Golder, 2007) et proviennent d'articles publiés par Kavazanjian (2002) et Augello et al. (1995).

Le poids volumique et l'angle de frottement interne des géomembranes en polyéthylène à haute densité (PEHD) ont également déjà été utilisées pour les études de stabilité réalisées sur le site (Golder, 2007) et proviennent d'essais de cisaillement effectués en laboratoire sur deux interfaces critiques, soit entre une membrane lisse en PEHD et un géofilet (les résultats des essais sont présentés à l'annexe B).

Les poids volumiques ainsi que les angles de frottement interne des sols pulvérulents en place ont été estimés à partir de valeurs empiriques données pour des indices de pénétration standard (Bowles, p. 163).

Un poids volumique typique ainsi qu'un angle de frottement interne typique ont été utilisés pour les matériaux de remblai constituant les bermes stabilisatrices.

L'utilisation des résistances au cisaillement non drainées a été privilégiée dans les analyses de stabilité. Ces résistances ont été estimées de façon conservatrice en tenant compte des mesures *in situ* de la résistance au cisaillement non drainée prises sur le site et en fonction des informations données sur les journaux de sondage.



Le socle rocheux a été entré comme étant un matériau impénétrable, ce qui est l'approche utilisée de façon générale pour ce type d'analyse.

Un total de huit unités stratigraphiques a été utilisé dans les analyses de stabilité. Le tableau 2 présente les propriétés retenues pour ces unités stratigraphiques.

**Tableau 2 : Propriétés géotechniques des matériaux utilisées dans les analyses de stabilité**

Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statique) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt avec un peu d'argile	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 à 100
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable	impénétrable		
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

## 4.3 Résultats

### 4.3.1 Phase 3A

Deux types de rupture ont été analysés pour différentes géométries, soit les ruptures circulaires et les ruptures de glissement le long de la géomembrane de PEHD. Les résultats détaillés des analyses de stabilité sont présentés à l'annexe C du rapport (figures C-1 à C-6). Les facteurs de sécurité obtenus pour les ruptures profondes et les glissements au contact de la membrane de PEHD sont présentés au tableau 3.

**Tableau 3 : Facteurs de sécurité obtenus lors des analyses de stabilité de la Phase 3A**

Type d'analyses		Facteur de sécurité			
		Rupture circulaire		Rupture au contact du PEHD	
		Écaillage de surface	Profonde	Écaillage de surface	Profonde
Coupe C-C' flanc sud-ouest	Statique	Figure C-1 1,93	Figure C-2 2,26	n/a	Figure C-5 1,72
	Pseudo-statique	Figure C-3 1,58	Figure C-4 1,85	n/a	Figure C-6 1,32

Les huit analyses présentées au tableau 3 rencontrent le facteur de sécurité minimal exigé. Dans tous les cas, les écailllements de surface simulés dans le matériel de recouvrement final rencontrent également le facteur de sécurité minimal.



### 4.3.2 Phase 3B

Deux types de rupture ont été analysés pour les différentes géométries, soit les ruptures circulaires et les ruptures de glissement le long de la membrane de PEHD. Les résultats détaillés des analyses de stabilité sont présentés aux figures C-7 à C-24 de l'annexe C du rapport. Les facteurs de sécurité obtenus pour les ruptures profondes et les glissements au contact de la membrane de PEHD sont présentés au tableau 4.

**Tableau 4 : Facteurs de sécurité obtenus lors des analyses de stabilité de la Phase 3B**

Type d'analyses		Facteur de sécurité			
		Rupture circulaire		Rupture au contact du PEHD	
Coupe A-A' flanc est	Statique	Figure C-7	2,13	Figure C-9	1,45
	Pseudo-statique	Figure C-8	1,67	Figure C-10	1,13
Coupe A-A' flanc ouest	Statique	Figure C-11	2,07	Figure C-13	1,49
	Pseudo-statique	Figure C-12	1,74	Figure C-14	1,27
Coupe B-B' flanc nord	Statique	Figure C-15	2,14	Figure C-17	1,42
	Pseudo-statique	Figure C-16	1,79	Figure C-18	1,20
Coupe B-B' flanc sud	Statique	Figure C-19	2,27	Figure C-21	1,94
	Pseudo-statique	Figure C-20	2,02	Figure C-22	1,64
Coupe B-B' flanc nord excavation	Statique	Figure C-23	1,56	n/a	
Coupe B-B' flanc sud excavation	Statique	Figure C-24	1,39	n/a	

Les 18 analyses présentées au tableau 4 rencontrent le facteur de sécurité minimal requis. Pour l'analyse de la coupe B-B' flanc nord en condition statique et rupture au contact du PEHD, la valeur est légèrement inférieure au 1,45 suggéré, mais la différence n'a pas été considérée significative pour entreprendre des mesures de mitigation.

## 5.0 TASSEMENTS

### 5.1 Méthodologie

Les calculs de tassement ont été effectués à l'aide du logiciel Settle3D développé par la compagnie RocScience.

#### 5.1.1 Phase 3A

La géométrie de la Phase 3A projetée a été fournie par Génivar. Une simplification de cette géométrie a été utilisée pour calculer les tassements. Les propriétés du modèle sont les suivantes :

- La surface du sol naturel a été considérée uniforme et correspond à l'élévation 122,5 m.
- Un niveau d'eau moyen de 106 m d'élévation (Golder, 2007) au niveau de l'aquifère semi-captif a été utilisé dans le modèle. La piézométrie dans ce secteur est présentée à la figure 4B.



- Une excavation d'environ 16 m, suivie d'un remplissage de type « remblai » en forme trapézoïdale, ont été modélisés en respectant le plus possible la géométrie présentée à la figure 2.
- Une seule stratigraphie a été considérée basée sur les forages PZ-02-4, PZ-02-5 et PZ-92-02, tous situés dans les limites des cellules 7 et 8.
- Le dépôt de silt avec un peu d'argile (ML) a été considéré comme étant un sol pulvérulent.
- Le tassement immédiat des sols cohérents – silt argileux (CL-ML) à argile silteuse (CL) – a été négligé.
- Les tassements ont été calculés aux 6 points fournis par Génivar, soit le long de la ligne de drain n° 13.

### **5.1.2 Phase 3B**

La géométrie de la Phase 3B projetée a été fournie par Génivar. Une simplification de cette géométrie a été utilisée pour calculer les tassements. Les propriétés du modèle sont les suivantes :

- La surface du sol a été considérée uniforme et correspond à l'élévation 117,5 m.
- Un niveau d'eau de 108,5 m d'élévation a été utilisé dans le modèle et correspond à une élévation moyenne du niveau d'eau. Cette valeur est jugée conservatrice car les calculs de tassement sont réalisés en contraintes effectives.
- Une excavation d'environ 8 m, suivie d'une succession de remplissages de type « remblai » de formes trapézoïdales, ont été modélisées en respectant le plus possible la géométrie présentée à la figure 3.
- Quatre différentes stratigraphies ont été considérées, soit celles rencontrées à l'endroit des forages PZC-03-01, PZC-03-02, PZC-03-03 et F-09-09 (combiné avec PO-03-09C) afin de déterminer la variabilité des tassements selon les épaisseurs des couches.
- Le dépôt de silt avec traces à un peu d'argile (ML) a été considéré comme étant un sol pulvérulent.
- Le tassement immédiat des sols cohérents – silt argileux (CL-ML) à argile silteuse (CL) – a été négligé.
- Les tassements ont été calculés aux 112 points fournis par Génivar.

## **5.2 Propriétés géotechniques des sols**

Les propriétés géotechniques des sols ont été déterminées à l'aide des informations suivantes :

- Les piézocônes PZC-03-01, PZC-03-02 et PZC-03-03 provenant de l'étude de Tecslut.
- Le forage PO-03-09C provenant de l'étude de Tecslut.
- Le forage F-09-09 réalisé par Golder en décembre 2009 incluant les essais de consolidation et les déterminations des limites d'Atterberg réalisées sur les échantillons prélevés dans ce forage.
- Les forages PZ-02-4, PZ-02-5 et PZ-92-02C.

Les modules d'élasticité des sols pulvérulents ont été estimés à partir des résistances en pointe et des essais de pénétration standard selon différentes équations fournies par Bowles (p. 316).



Le tableau 5 présente les modules d'élasticité utilisés pour les calculs de tassement.

**Tableau 5 : Modules d'élasticité et poids volumiques utilisés**

<b>Sol</b>	<b>Poids volumique saturé (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>E<sub>s</sub> (kPa)</b>	<b>E<sub>ur</sub> (kPa)</b>
Sable lâche	18,0	10 000	10 000
Sable compact	19,0	30 000	30 000
Sable dense	21,0	50 000	50 000
Silt avec un peu d'argile	18,5	10 000	10 000
Silt argileux à argile silteuse	18,5	Tassement immédiat négligé	Tassement immédiat négligé
Till	21,0	70 000	70 000

Les paramètres de consolidation ont été mesurés sur le graphique des indices des vides en fonction de la pression de l'essai de consolidation effectué sur l'échantillon F-09-09 TS-14, prélevé à une profondeur de 12,7 m. Il est à noter que les courbes de consolidation obtenues à l'aide des échantillons TS-10 et TS-12 indiquent clairement que l'échantillon a été prélevé dans un horizon peu plastique. Aussi, tel que mentionné à la section 1.0, le dépôt de sols cohérents rencontré sur le site présente des interlits de silt.

Le tableau 6 présente les paramètres de consolidation utilisés pour les calculs de tassement.

**Tableau 6 : Paramètres de consolidation**

<b>Paramètre</b>	<b>Valeur</b>
C <sub>r</sub>	0,02
C <sub>c</sub>	0,30
e <sub>0</sub>	0,75
σ' <sub>p</sub>	250 kPa

Où C<sub>r</sub> est le module de recompression de l'argile, C<sub>c</sub> est le module de compression vierge, e<sub>0</sub> est l'indice des vides et σ'<sub>p</sub> est la contrainte de préconsolidation de l'argile.

Les épaisseurs de sol utilisées pour les calculs de tassement pour les Phases 3A et 3B sont présentées au tableau 7 et au tableau 8. Tel que mentionné précédemment, quatre différentes stratigraphies ont été utilisées pour calculer les tassements de la Phase 3B. Il est à noter que la stratigraphie donnée par le forage F-09-09 combiné avec PO-03-09C est celle où le maximum d'information est disponible et que le PZC-03-05 a été analysé, mais il n'a pas été inclus dans le modèle puisqu'il ne présentait pas une situation critique.



**Tableau 7 : Épaisseurs des couches de sol utilisées pour les calculs de tassement de la Phase 3A**

Type de sol	Épaisseur
Sable compact	4,0 m
Sable dense	5,0 m
Silt avec un peu d'argile	5,5 m
Silt argileux à argile silteuse	7,0 m
Till	0,5 m
<i>Total des dépôts meubles</i>	<i>22,0 m</i>

**Tableau 8 : Épaisseurs des couches de sol utilisées pour les calculs de tassement de la Phase 3B**

Type de sol	F-09-09 (combiné avec PO-03-09C)	PZC-03-01	PZC-03-02	PZC-03-03
Sable lâche <sup>(*)</sup>	3,5 m	3,5 m	3,0 m	6,5 m
Sable compact	2,0 m	---	3,2 m	---
Sable dense	3,9 m	7,2 m	4,0 m	4,0 m
Silt avec un peu d'argile	2,9 m	---	0,8 m	1,0 m
Silt argileux à argile silteuse	4,0 m	6,4 m	5,5 m	3,9 m
Till	3,6 m	3,6 m	3,6 m	3,6 m
<i>Total des dépôts meubles</i>	<i>19,9 m</i>	<i>20,7 m</i>	<i>20,1 m</i>	<i>19,0 m</i>

<sup>(\*)</sup> Lorsque l'élévation du terrain naturel est inférieure à 117,5 m, le vide a été comblé dans le modèle par un sable lâche.

## 5.3 Tassements estimés

### 5.3.1 Phase 3A

Les tassements totaux ont été calculés aux points 101 à 106, soit selon l'alignement du drain n° 13, tel que demandé par Génivar. Les résultats des tassements aux points 101 à 106 sont présentés au tableau 9 ci-dessous et graphiquement au figures D-2 à D-4 de l'annexe D.

**Tableau 9 : Tassements sous le drain n° 13**

Points	101	102	103	104	105	106
Coordonnées X	391765.1	391771.2	391889.7	391894.1	392026.9	392034.3
Coordonnées Y	5075507.0	5075501.1	5075386.5	507382.3	5075253.9	5075246.8
Tassements (mm)	154	163	240	240	161	150

<sup>(\*)</sup> Les points 101, 102, 105 et 106 ont été ajustés manuellement pour pallier aux effets de bord rencontrés dans le modèle utilisé pour le calcul de tassement. Des effets de bord surviennent dans le modèle lorsque le tassement est calculé sur un point situé à la limite du fond d'excavation et/ou de la charge appliquée. La valeur est donc ajustée manuellement en recherchant une valeur de tassement correspondant à un point situé dans l'environnement immédiat et non affecté par l'effet de bord.



Tel qu'attendu, les tassements calculés sont plus importants sous la crête des matières résiduelles qu'aux extrémités de la ligne de drain. Sous la crête, les tassements seront de l'ordre de 240 mm, alors qu'aux extrémités de la ligne de drain ceux-ci varieront de 150 mm à 163 mm.

Il est à noter qu'il est possible que des tassements se produisent à l'extérieur des limites des cellules d'enfouissement.

### **5.3.2 Phase 3B**

Les tassements totaux ont été calculés pour 112 points fournis par Génivar, et ce, pour les 4 stratigraphies présentées au tableau 8. Ensuite, une moyenne des tassements a été effectuée. Les valeurs moyennes des tassements totaux calculées sont présentées au tableau D-1 de l'annexe D. Une variabilité de  $\pm 20\%$  a été calculée entre les valeurs minimales et maximales des tassements selon la stratigraphie.

Tel qu'attendu, les tassements calculés sont plus importants sous la crête des matières résiduelles qu'aux abords de l'excavation. Sous la crête, les tassements seront de l'ordre de 425 mm. Compte tenu de la géométrie proposée, les tassements seront plus significatifs le long de la limite sud-est (de l'ordre de 140 mm à 250 mm) que le long de l'axe nord-est de l'excavation (de l'ordre de 85 à 105 mm).

La figure D-1 insérée à l'annexe D présente les valeurs moyennes de tassements aux 112 points demandés.

Il est à noter qu'il est possible que des tassements se produisent à l'extérieur des limites de la cellule d'enfouissement.

## **6.0 ÉLÉVATIONS MINIMALES DES FONDS D'EXCAVATION**

En plus des analyses de stabilité de pente effectuées pour s'assurer de la stabilité de la fosse lors des travaux d'excavation, des calculs ont été faits afin de prévenir un potentiel soulèvement de fond et des conditions de boulanges dues aux pressions hydrostatiques générées sous l'aquitard.

Les élévations minimales des fonds d'excavation des cellules projetées ont été établies selon les niveaux piézométriques maximaux relevés au cours de la période de 2005 à 2009, ceux-ci étant sous l'influence d'un pompage effectué au niveau du secteur des cellules 5 à 8. Les analyses ont été exécutées selon les méthodes prescrites par Cedergren (1989) en considérant un poids volumique pour le silt avec un peu d'argile ou silt argileux de  $18,5 \text{ kN/m}^3$ , et en calculant le facteur de sécurité contre le soulèvement en effectuant le rapport de la contrainte totale calculée à la base de la couche formant l'aquitard et selon le fond d'excavation considéré, sur la valeur de la pression hydrostatique générée à ce même point. Un facteur de sécurité minimal de 1,3 a été considéré dans le calcul des élévations minimales estimées des fonds d'excavation du projet de développement du LET. Ce facteur de sécurité permet de tenir compte, si requis dans la Phase 3B seulement, d'une possible surexcavation allant jusqu'à 2 m selon certains secteurs pour la mise en place de fossés de drainage temporaire des eaux superficielles.



## **6.1 Phase 3A**

Les élévations minimales estimées des fonds d'excavation varient de 105,20 m à 104,70 m à l'extrémité nord-ouest de la ligne de drain n° 13, alors qu'elle s'établit à 105,10 m à l'extrémité sud-est. Les élévations minimales estimées des fonds d'excavation sont présentées au tableau 10 ainsi qu'à la figure 5.

Le concept d'aménagement des cellules d'enfouissement soumis par Génivar pour les analyses de stabilité de pente et des calculs de tassement respectent les élévations minimales requises pour les fonds d'excavation.

## **6.2 Phase 3B**

Les élévations minimales estimées des fonds d'excavation varient d'un point bas calculé à l'élévation 105,30 m (W-02-7) dans le coin sud de la Phase 3B jusqu'à des points hauts d'élévations variant entre 110,10 m et 110,60 m (PZC-03-05, PO-03-02C et PO-03-05C) dans le quadrant nord-est de la Phase 3B. Les élévations minimales estimées des fonds d'excavation sont présentées au tableau 11 ainsi qu'à la figure 6.

Le concept d'aménagement des cellules d'enfouissement soumis par Génivar pour les analyses de stabilité de pente et des calculs de tassement respectent les élévations minimales requises pour les fonds d'excavation.

## **7.0 DRAINAGE**

### **7.1 Phase 3A**

Compte tenu de l'exploitation en cours des cellules d'enfouissement 7 et 8, les installations de pompage nécessaires sont déjà en place et répondent adéquatement aux besoins de l'exploitation. Par le fait même, celles-ci répondront également à la demande lors de la construction du secteur de la ligne de drain n° 13.

### **7.2 Phase 3B**

Au cours des travaux de construction, la mise en place d'un écran périphérique d'étanchéité de type sol-bentonite évitera tout travail important de pompage ou de drainage d'excavation au cours de la construction des assises des cellules d'enfouissement. Dès que l'écran périphérique d'étanchéité fermera le périmètre d'exploitation des futures cellules du LET, les venues d'eau souterraine provenant de la nappe libre de surface seront négligeables en comparaison de l'évacuation des eaux de précipitation et de ruissellement. En ce qui concerne les venues d'eau souterraine qui proviendront des suintements de l'assise de silt argileux ou de sable fin silteux, environ  $10 \text{ l/j/m}^2$  à moins de  $1 \text{ l/j/m}^2$  de surface devront être évacuées, et ce, en assumant une conductivité hydraulique variant de  $2,7 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$  à  $7,9 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$  et un gradient vertical ascendant moyen de 0,4. Ces eaux devront être évacuées par pompage via une tranchée de drainage superficielle localisée du côté des points bas des lignes de drain.

L'évacuation de ces venues d'eau souterraine n'aura aucune influence sur les niveaux de la nappe libre de surface, car celle-ci sera isolée par l'écran périphérique d'étanchéité. L'influence sur les niveaux d'eau de la nappe aquifère semi-captive sera plutôt stable, celle-ci étant sous l'influence du pompage de la tranchée drainante sous le secteur des cellules 5 à 8 du LET adjacent.



Dans le cadre d'un concept d'aménagement qui comprendra l'installation d'un système d'imperméabilisation à double niveau de protection, il sera préférable de profiter des conditions d'étiage lors de la mise en place des géomembranes.

## **8.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

Dans le cadre du projet de développement du LET de Saint-Nicéphore, Golder a été mandatée par Waste Management pour évaluer la stabilité des assises et des pentes proposées pour les cellules d'enfouissement des Phases 3A et 3B ainsi que pour fournir les valeurs d'élévations minimales des fonds d'excavation et de tassements anticipés.

Les diverses analyses et les divers calculs effectués concernant la Phase 3A ont conduit aux constats suivants :

- Tous les cas d'analyse de stabilité ont présenté des valeurs supérieures au facteur de sécurité minimal.
- Les tassements calculés seront plus importants sous la crête des matières résiduelles qu'aux abords de l'excavation. Sous la crête, les tassements seront de l'ordre de 240 mm, alors qu'aux extrémités de la ligne de drain ceux-ci varieront de 150 mm à 163 mm. Il est à noter qu'il est possible que des tassements se produisent à l'extérieur des limites des cellules d'enfouissement.
- Les élévations minimales estimées des fonds d'excavation varient de 105,20 m à 104,70 m à l'extrémité nord-ouest de la ligne de drain n° 13, alors qu'elle s'établit à 105,10 m à l'extrémité sud-est. Le concept d'aménagement des cellules d'enfouissement soumis par Génivar pour les analyses de stabilité de pente et des calculs de tassement respectent les élévations minimales requises pour les fonds d'excavation.
- En ce qui concerne la gestion des eaux en prévision des travaux d'aménagement, compte tenu de l'exploitation en cours des cellules d'enfouissement 7 et 8, les installations de pompage nécessaires sont déjà en place et répondent adéquatement aux besoins de l'exploitation. Par le fait même, celles-ci répondront également à la demande lors de la construction du secteur de la ligne de drain n° 13.

Les diverses analyses et les divers calculs effectués concernant la Phase 3B ont conduit aux constats suivants :

- 17 cas d'analyse de stabilité ont présenté des valeurs supérieures au facteur de sécurité minimal. Pour un cas correspondant à l'analyse du flanc nord de la coupe B-B' en condition statique et rupture au contact du PEHD, la valeur est légèrement inférieure au 1,45 suggéré, mais la différence n'a pas été considérée significative pour entreprendre des mesures de mitigation.
- Les tassements calculés seront plus importants sous la crête des matières résiduelles qu'aux abords de l'excavation. Sous la crête, les tassements seront de l'ordre de 425 mm. Compte tenu de la géométrie proposée, les tassements seront plus significatifs le long de la limite sud-est (de l'ordre de 140 mm à 250 mm) que le long de l'axe nord-est de l'excavation (de l'ordre de 85 mm à 105 mm). Il est à noter qu'il est possible que des tassements se produisent à l'extérieur des limites des cellules d'enfouissement.
- Les élévations minimales estimées des fonds d'excavation varient d'un point bas calculé à l'élévation 105,30 m (W-02-7) dans le coin sud de la Phase 3B jusqu'à des points hauts d'élévations variant entre 110,10 m et 110,60 m (PZC-03-05, PO-03-02C et PO-03-05C) dans le quadrant nord-est de la Phase 3B.



Le concept d'aménagement des cellules d'enfouissement soumis par Génivar pour les analyses de stabilité de pente et des calculs de tassement respectent les élévations minimales requises pour les fonds d'excavation.

- En considérant que l'écran périphérique d'étanchéité fermera le périmètre d'exploitation des futures cellules du LET, les venues d'eau souterraine provenant de la nappe libre de surface seront négligeables en comparaison de l'évacuation des eaux de précipitation et de ruissellement. En ce qui concerne les venues d'eau souterraine qui proviendront des fonds d'excavation, environ  $10 \text{ l/j/m}^2$  à moins de  $1 \text{ l/j/m}^2$  de surface devront être évacuées par pompage via une tranchée de drainage superficielle localisée du côté des points bas des lignes de drain. Il sera préférable de profiter des conditions d'étiage lors de la mise en place des géomembranes.

Il est à noter que le présent rapport est assujéti aux limites et conditions figurant à l'annexe E.

## 9.0 RÉFÉRENCES

- Augello, A.J., Matasovic, N., Bray, J.D., Kavazanjian, E. et Seed, R.B., 1995. *Evaluation of Solid Waste Landfill Performance During the Northridge Earthquake*, Earthquake Design and Performance of Solid Waste Landfills, ASCE Geo. Spec. Pub. #54: 17-50.
- Bray, J.D., Augello, A.J., Merry, S.M., 1998. *Simplified seismic design procedures for geosynthetic-lined, solid waste landfills*, Geosynthetics International, 5(1-2): 203-235.
- Bowles, J.E., *Foundation Analysis and Design*, fifth edition, McGraw Hill Companies, 1996
- Code national du bâtiment - Canada* 2005. Institut de recherche en construction Conseil national de recherche du Canada, 2005, no. catalogue CNBC-C-2005F, 1235 pages.
- Golder Associés Ltée, 2007. *Étude géotechnique – Analyse de stabilité et de tassement pour le rehaussement proposé des cellules 5 et 6 au lieu d'enfouissement sanitaire de Saint-Nicéphore, Québec*, Réf# 07-1223-0006-3000, octobre 2007.
- Kavazanjian Jr., E.K., 2001. *Mechanical properties of municipal solid waste*, 8th International Waste Management and Landfill Symposium Proceedings, Santa Margherita di Pula, Cagliari, 1-5 Oct. 2001.
- Lunne, T., Robertson, P.K. and Powell, J.J.M., *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*, E & FN Spon, 2002
- Tecslut Inc., 2005. *Étude hydrogéologique du projet d'agrandissement du lieu d'enfouissement technique de Saint-Nicéphore – Rapport final*, no. 05-12210, janvier 2005.



## 10.0 SIGNATURES

### GOLDER ASSOCIÉS LTÉE

Patrick Gince, ing.  
Ingénieur de projet

Michel Lemieux, ing., M.Sc.  
Géotechnicien senior  
Associé

Jimmy Côté, ing., M.Sc.  
Hydrogéologue senior  
Associé

PG/JC/ML/ch

Golder, Golder Associés et le concept GA sur son logo sont des marques de commerce de Golder Associates Corporation.

n:\actif\2009\1223\09-1223-0048 wm - agrandissement let st-nicéphore\préparation livrable\travail secretariat\final - 1000 décembre 2010 géotechnique\002 rff 09-1223-0048-1000.docx

**TABLEAU 10**  
**ÉLÉVATIONS MINIMALES DES FONDS D'EXCAVATION - PHASE 3A DU LET DE SAINT-NICÉPHORE**

No Forage/Puits	Élév. terrain naturel	Silt argileux			Él. max*. niveau piézo. 2005 à 2009 (m)	Él. fond min d'excavation (m)	Épaisseur sable sous fond excav. (m)	Épaisseur silt sous fond excav. (m)	Facteur de sécurité contre soulèvement	Profondeur max d'excavation (m)
		Élév. sommet (m)	Élév. base (m)	Épaisseur (m)						
PZ-02-04	NA	107,53	100,52	7,01	106,50	104,70	0,00	4,18	1,318	NA
PZ-92-02C	NA	111,11	98,48	12,63	107,50	104,70	0,00	6,22	1,300	NA
PZ-02-05	NA	107,02	99,55	7,47	107,50	105,10	0,00	5,55	1,317	NA
INT-1	NA	--	99,82	--	107,50	105,20	0,00	5,38	1,321	NA
INT-2	NA	--	99,82	--	108,00	105,50	0,00	5,68	1,309	NA
INT-3	NA	--	98,40	--	108,00	105,10	0,00	6,70	1,316	NA
INT-4	NA	--	98,48	--	108,00	105,10	0,00	6,62	1,311	NA

Notes :

\* : Niveau piézométrique maximal estimé dans l'aquifère semi-captif sur la période de 2005 à 2009 depuis le pompage débuté dans la tranchée drainante en 2006

NA : Non applicable parce que secteur excavé

**TABLEAU 11**  
**ÉLÉVATIONS MINIMALES DES FONDS D'EXCAVATION - PHASE 3B DU LET DE SAINT-NICÉPHORE**

No Forage/Puits	Élév. terrain naturel	Silt argileux			Él. max*. niveau piézo. 2005 à 2009 (m)	Él. fond min** d'excavation (m)	Épaisseur sable sous fond excav. (m)	Épaisseur silt sous fond excav. (m)	Facteur de sécurité contre soulèvement	Profondeur max d'excavation (m)
		Élév. sommet (m)	Élév. base (m)	Épaisseur (m)						
PO-03-01C	116,48	106,42	101,70	4,72	111,80	109,50	3,08	4,72	1,456	6,98
PO-03-04C	122,43	107,49	100,17	7,32	112,25	109,10	0,00	8,93	1,394	NA
W-02-7	122,58	108,00	98,98	9,02	106,45	105,30	0,00	6,32	1,596	NA
PZ-92-01C	117,34	110,42	103,29	7,13	109,20	108,70	0,00	5,41	1,726	NA
PO-03-09C	114,96	109,32	101,70	7,62	111,60	109,40	0,00	7,70	1,467	5,56
PO-03-02C	115,90	106,51	101,12	5,39	113,50	110,20	3,69	5,39	1,383	5,70
PZ-98-06C	116,59	105,92	98,00	7,92	112,65	108,40	2,48	7,92	1,339	NA
PO-03-05C	114,17	107,83	101,46	6,37	113,95	110,60	2,77	6,37	1,380	3,57
PO-03-03C	113,72	105,44	97,39	8,05	112,65	108,10	2,66	8,05	1,324	NA
PZC-03-01	117,55	106,75	100,35	6,40	111,00	108,50	0,00	8,15	1,443	9,05
PZC-03-02	117,29	105,29	100,89	4,40	109,00	107,60	2,31	4,40	1,560	9,69
PZC-03-03	115,54	106,34	102,24	4,10	111,50	109,50	3,16	4,10	1,479	6,04
PZC-03-04	115,44	106,14	102,81	3,33	112,00	109,50	3,36	3,33	1,373	5,94
PZC-03-05	114,90	105,40	102,10	3,30	113,00	110,10	4,70	3,30	1,384	4,80

Notes :

- \* : Niveau piézométrique maximal estimé dans l'aquifère semi-captif sur la période de 2005 à 2009 et depuis le pompage débuté dans la tranchée drainante en 2006
- Élévation minimale de fond d'excavation considérant une surexcavation allant jusqu'à 2 m pour le fossé de drainage temporaire des eaux superficielles
- \*\* :

NA : Non applicable parce que remblai sus-jacent au terrain naturel

PO-03-06C : Point de calcul non considéré parce que situé à l'extérieur du secteur Phase 3B et la couche de silt est inférieure à 3 m d'épaisseur

PO-03-07C et PO-03-08C : Point de calcul non considérés parce que situé à l'extérieur du secteur Phase 3B



# **ANNEXE B**

## **Essais de laboratoire sur les géomembranes et aléas sismiques**

JUNE 2003

SUMMARY OF DIRECT SHEAR TEST RESULTS
INTERSAN ST. NICEPHORE LANDFILL CANADA

021-7040

SAMPLE	Reference	1	2							
DESIGNATION	Value	GM vs GN	GM vs GCL	-	-	-	-	-	-	-
<b>DIRECT SHEAR</b>										
<b>Friction Angle (°)</b>										
Peak	-	9	18	-	-	-	-	-	-	-
Residual @ 3 in	-	9	12	-	-	-	-	-	-	-
<b>Adhesion (psf)</b>										
Peak	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-
Residual @ 3 in	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-
<b>ASTM D5321/D6243</b>										

NOTE: The test results relate only to the samples and laboratory conditions tested. GAI neither accepts responsibility for nor makes claim as to the final use and purpose of the material.

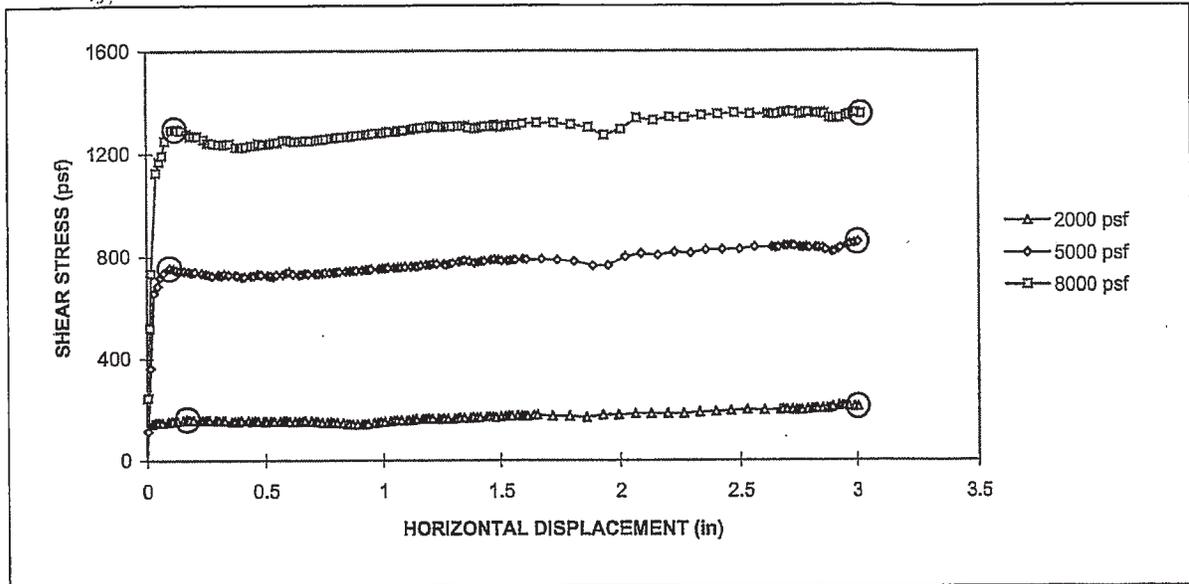
**DIRECT SHEAR TEST RESULTS**

**A-3**

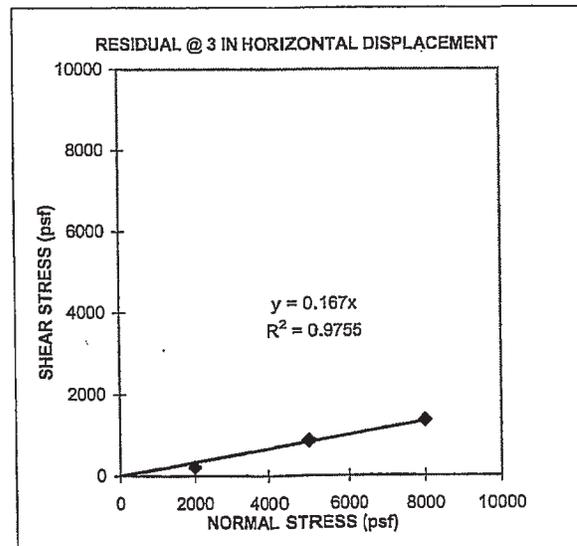
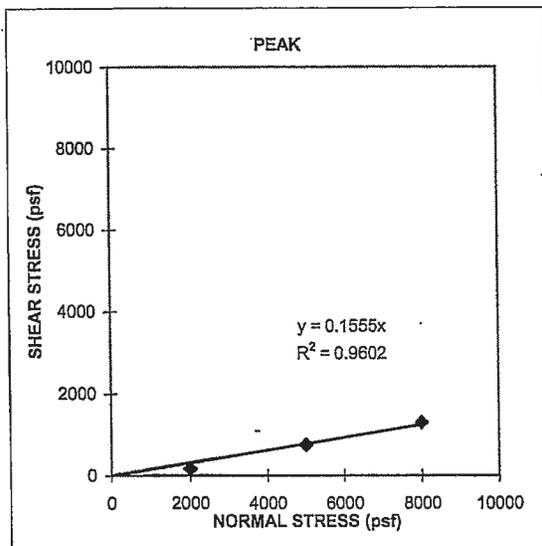
ASTM D5321

PROJECT NAME: INTERSAN/ST. NICEPHORE LF/CN  
 SAMPLE NUMBER: 1 (GN vs GM)

INTERFACE TESTED: SKAPS TRANSNET 220 GEONET vs SOLMAX 460 SMOOTH HDPE GEOMEMBRANE (Roll # 35878-1)  
 TEST CONDITIONS: INTERFACE WETTED, CONSOLIDATED 15 min AT NORMAL LOAD  
 SHEAR RATE: 0.2 in/min  
 SUBSTRATE: TEXTURED RIGID PLATES



Normal Stress (psf)	Shear Stress		Peak		Residual	
	Peak <sup>1</sup> (psf)	Residual (psf)	Friction Angle	Adhesion <sup>2</sup> (psf)	Friction Angle	Adhesion <sup>2</sup> (psf)
2000	161	210	9	0	9	0
5000	755	855				
8000	1295	1354				



**Observations After Test**

2000 psf: Shearing occurred at the interface  
 5000 psf: Shearing occurred at the interface  
 8000 psf: Shearing occurred at the interface

(1) The peak shear stresses for 2000, 5000, and 8000 psf normal stresses were chosen at 0.169, 0.098, and 0.123 in horizontal displacements, respectively, which may not represent the maximum shear stress.  
 (2) The adhesion value is based on the "best-fit" line which may not show true adhesion.

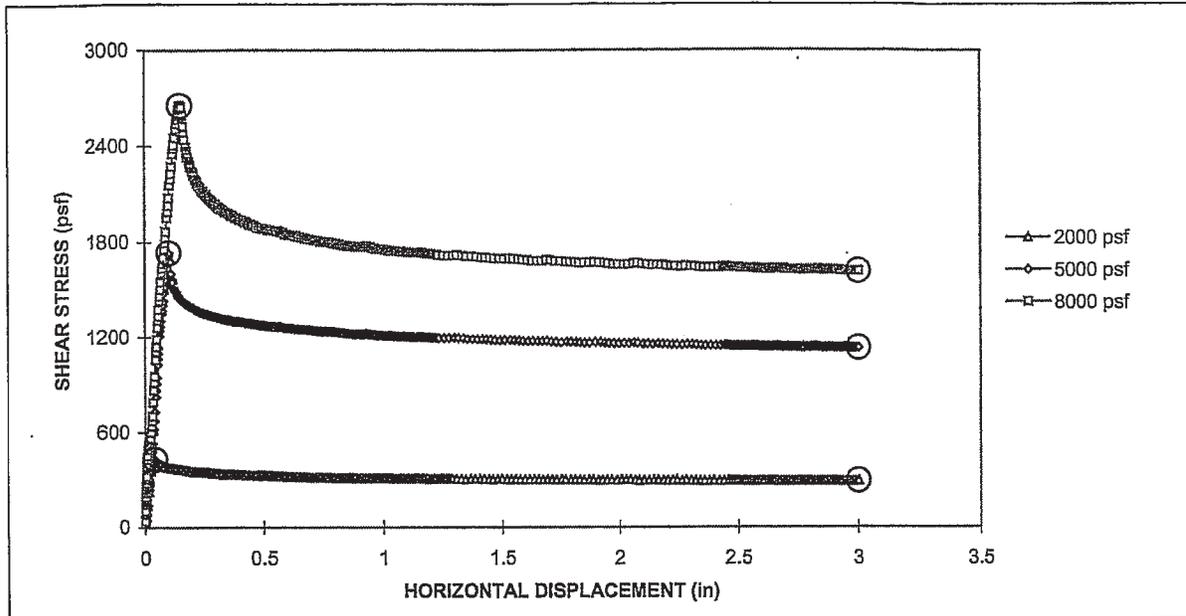
### DIRECT SHEAR TEST RESULTS

A-4

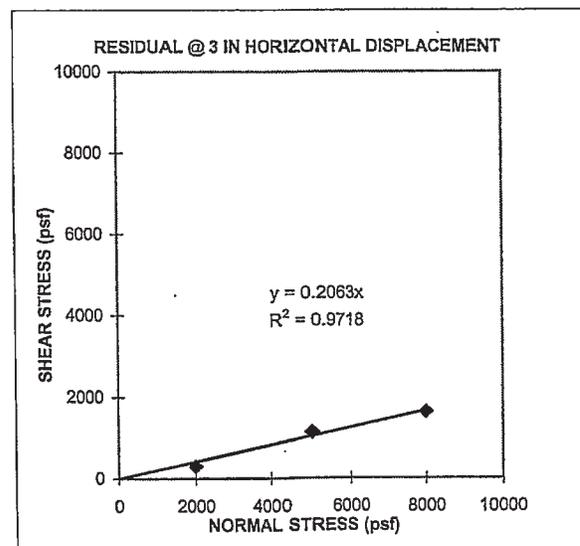
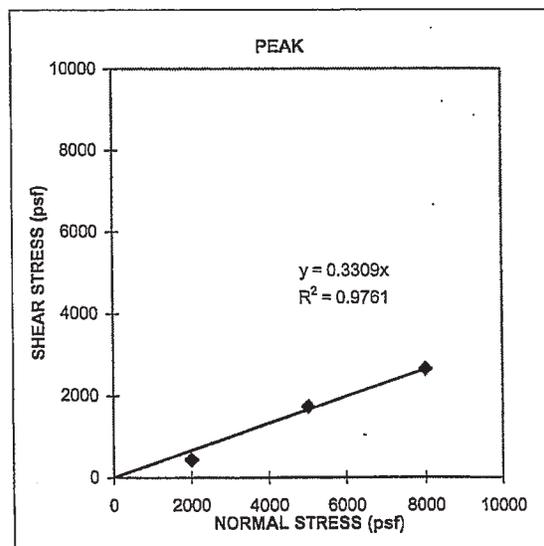
ASTM D6243

PROJECT NAME: INTERSAN/ST. NICEPHORE LF/CN  
 SAMPLE NUMBER: 2 (GCL vs GM)

INTERFACE TESTED: BENTOFIX NW GCL (Non-Woven Side) vs SOLMAX 460 SMOOTH HDPE GEOMEMBRANE (Roll # 35878-1)  
 TEST CONDITIONS: SATURATED AND CONSOLIDATED 24 hrs AT NORMAL LOAD  
 SHEAR RATE: 0.04 in/min  
 SUBSTRATE: TEXTURED RIGID PLATES



Normal Stress (psf)	Shear Stress		Peak		Residual		Final Moisture of GCL (%)
	Peak <sup>1</sup> (psf)	Residual (psf)	Friction Angle	Adhesion <sup>2</sup> (psf)	Friction Angle	Adhesion <sup>2</sup> (psf)	
2000	431	294	18	0	12	0	98.0
5000	1734	1132					56.8
8000	2655	1617					51.7



**Observations After Test**

2000 psf: Shearing occurred at the interface  
 5000 psf: Shearing occurred at the interface  
 8000 psf: Shearing occurred at the interface

(1) The peak shear stresses for 2000, 5000, and 8000 psf normal stresses were chosen at 0.042, 0.103, and 0.150 in horizontal displacements, respectively.

(2) The adhesion value is based on the "best-fit" line which may not show true adhesion.

# Calcul de l'aléa sismique - Code National du Bâtiment 2005

INFORMATION: Canada de l'Est Français (613) 995-0600 Anglais (613) 995-5548 Télécopieur (613) 992-8836  
Canada de l'Ouest Anglais (250) 363-6500 Télécopieur (250) 363-6565

Demandeur: Serge-Etienne Parent, Golder

7 Décembre, 2009

Coordonnées du site: 45.8169 Nord 72.3711 Ouest

Bibliographie fichier utilisateur: LET - Saint-Nicéphore

## Mouvements du sol - Code National du Bâtiment :

### Probabilité de dépassement de 2% sur 50 ans (0.000404 par année)

Sa(0.2)	Sa(0.5)	Sa(1.0)	Sa(2.0)	AMS (g)
0.455	0.234	0.099	0.035	0.286

**Remarques.** Les valeurs spectrales et de maximum d'aléa sont déterminées pour un terrain ferme (classe de sol C du CNBC 2005 - vitesse moyenne de l'onde transversale de 360-750 m/s). Les valeurs médianes (50e percentile) de l'accélération maximale du sol (AMS) sont fournies en unités de g. Les valeurs d'accélération spectrale atténuée 5% (Sa(T), où T est la période en secondes) et de l'accélération maximale du sol (AMS) sont tabulées. Seuls deux chiffres significatifs doivent être utilisés. **Ces valeurs ont été interpolées à partir de points de grille espacés de 10km. Selon le gradient pour les points situés à proximité, les valeurs, pour cet endroit, calculées directement au moyen du programme pour l'aléa peuvent varier. Plus de 95 % des valeurs interpolées se situent à moins de 2 % des valeurs calculées.**

### Mouvements du sol pour d'autres probabilités :

Probabilité de dépassement par année	0.010	0.0021	0.001
Probabilité de dépassement dans 50 ans	40%	10%	5%
Sa(0.2)	0.084	0.207	0.298
Sa(0.5)	0.039	0.099	0.148
Sa(1.0)	0.015	0.042	0.063
Sa(2.0)	0.005	0.014	0.021
AMS	0.053	0.130	0.189

## Bibliographie

**Le code national du bâtiment du Canada 2005 no. 47666;** sections 4.1.8, 9.20.1.2, 9.23.10.2, 9.31.6.2, et 6.2.1.3

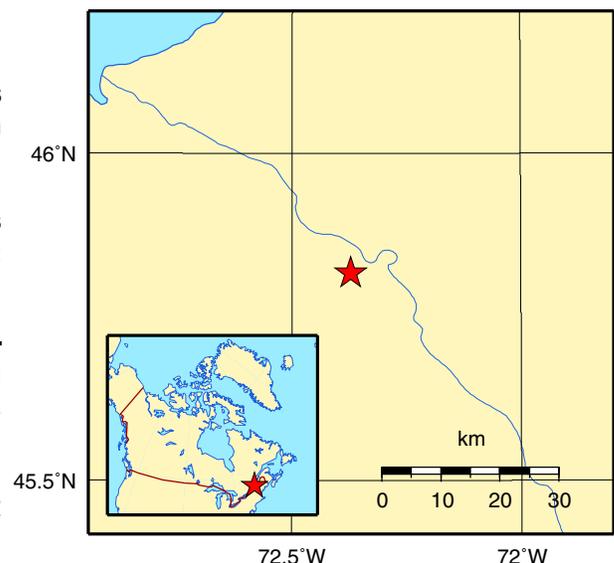
**Annexe C:** Information climatique pour la conception des bâtiments au Canada - la table dans l'Annexe C commence en page C-11 de la Division B, volume 2

**Manuel d'utilisateur - CNB 2005, Commentaires structuraux CNRC no. 48192F Commentaire J:** Conception pour des effets sismiques

**Commission Géologique du Canada Dossier public xxxx** Fourth generation seismic hazard maps of Canada: Grid values to be used with the 2005 National Building Code of Canada

Voir les sites webs [www.SeismesCanada.ca](http://www.SeismesCanada.ca) et [www.nationalcodes.ca](http://www.nationalcodes.ca) pour plus d'information

Also available in english

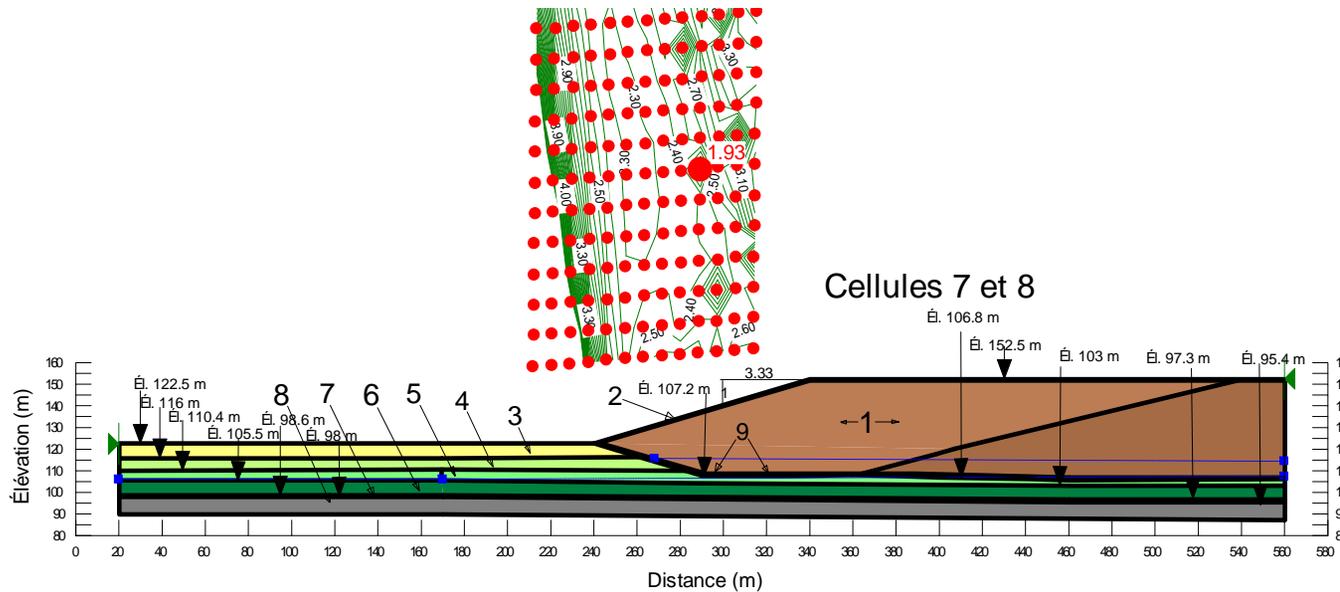




# **ANNEXE C**

## **Résultats des analyses de stabilité**

Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable	impénétrable		
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

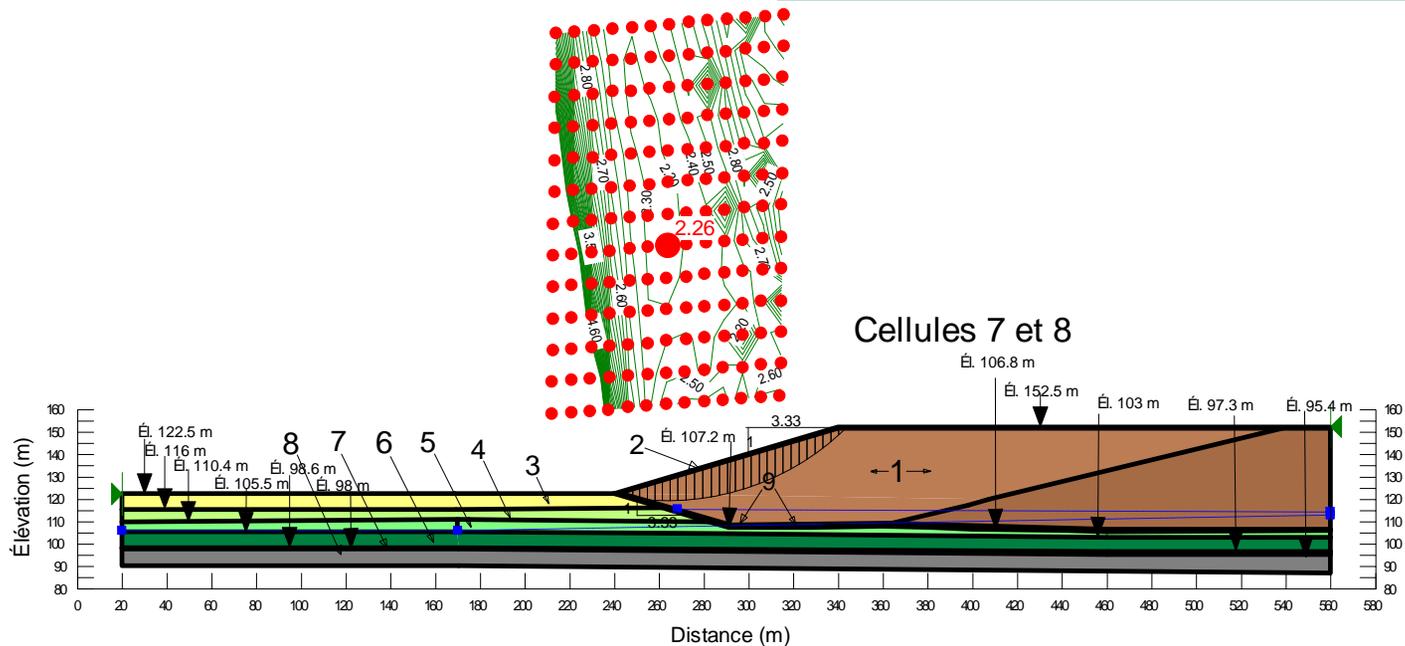


Coupe C-C' flanc sud-ouest, Écaillement en condition statique, rupture circulaire

Figure C-1

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3A DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable	impénétrable		
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

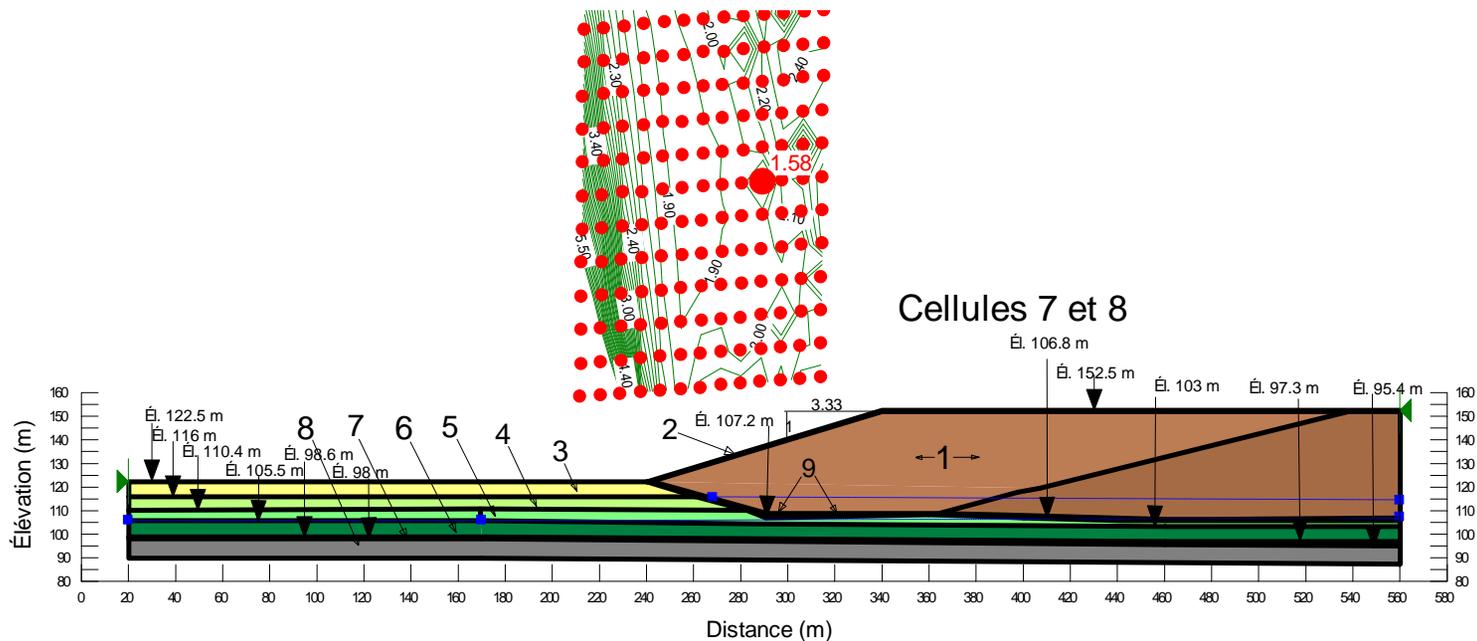


Coupe C-C' flanc sud-ouest, condition statique, rupture circulaire

Figure C-2

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3A DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable	impénétrable		
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

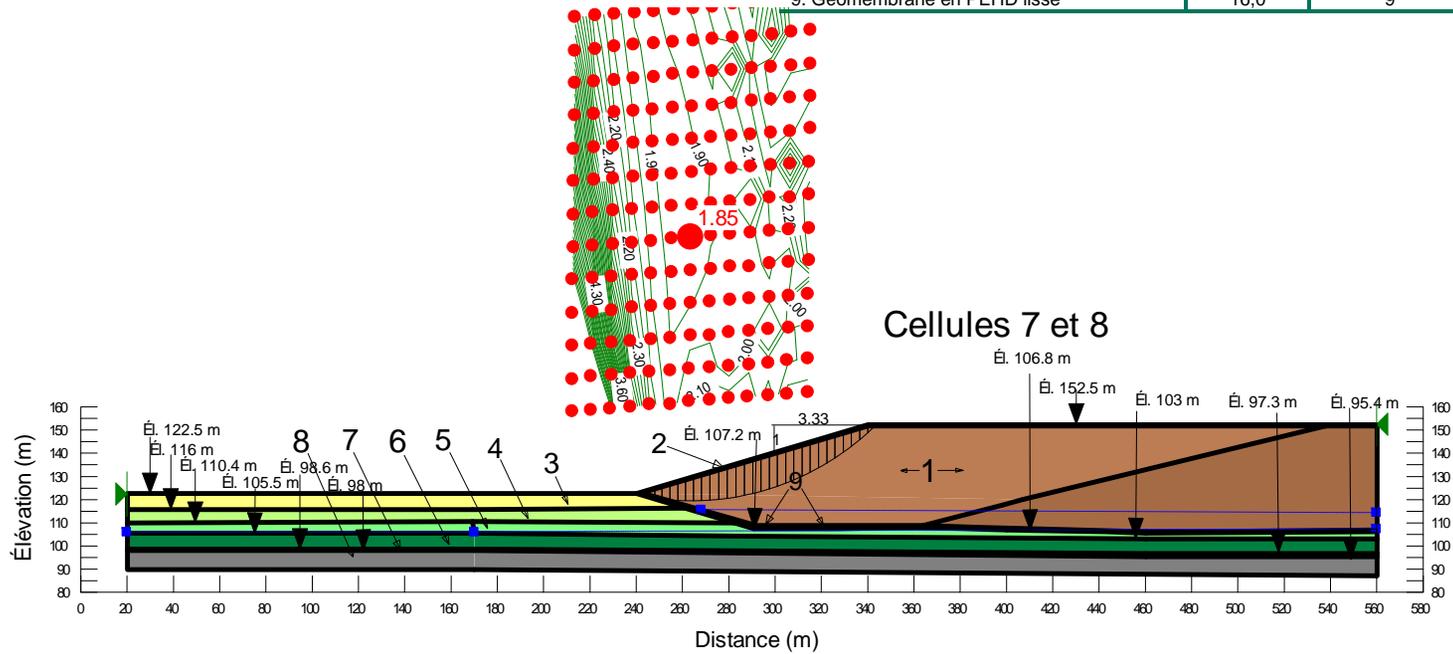


Coupe C-C' flanc sud-ouest, écaillage en condition pseudo-statique (0,06g), rupture circulaire

Figure C-3

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3A DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable		impénétrable	
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

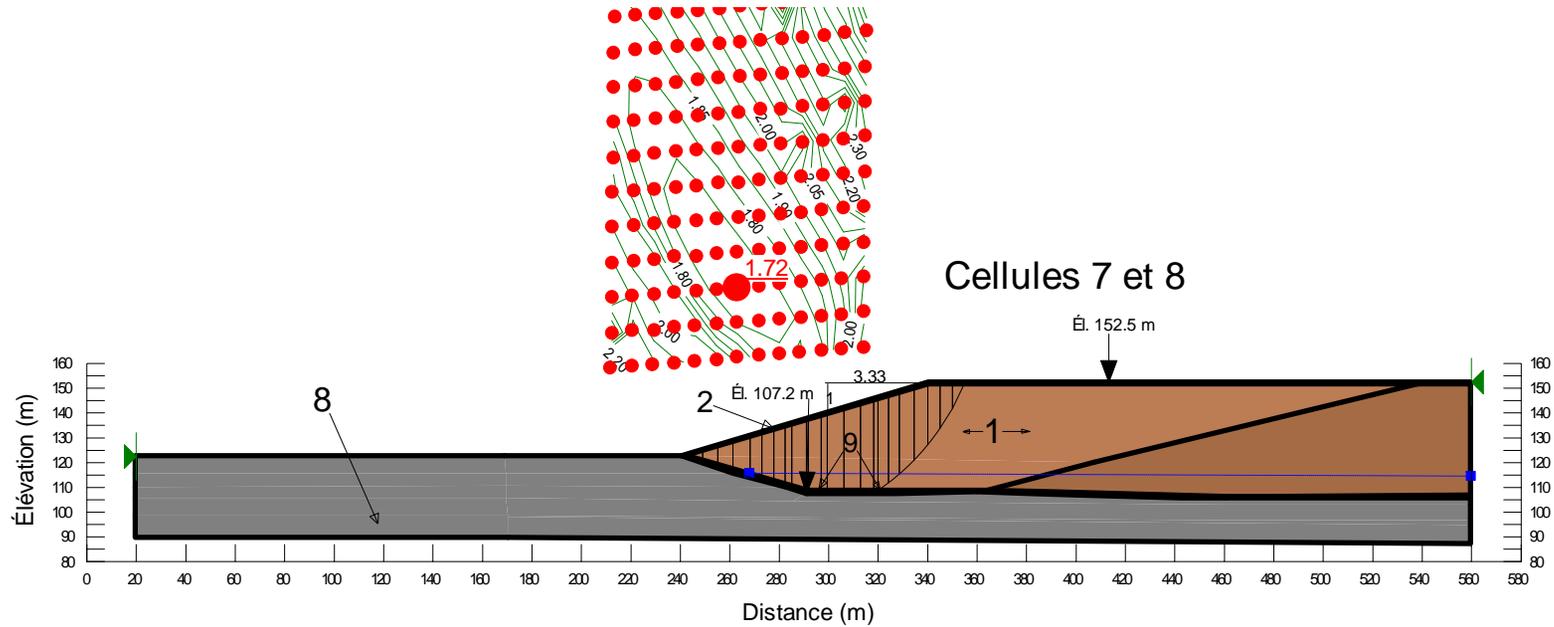


Coupe C-C' flanc sud-ouest, condition pseudo-statique (0,06g), rupture circulaire

Figure C-4

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3A DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable	impénétrable		
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

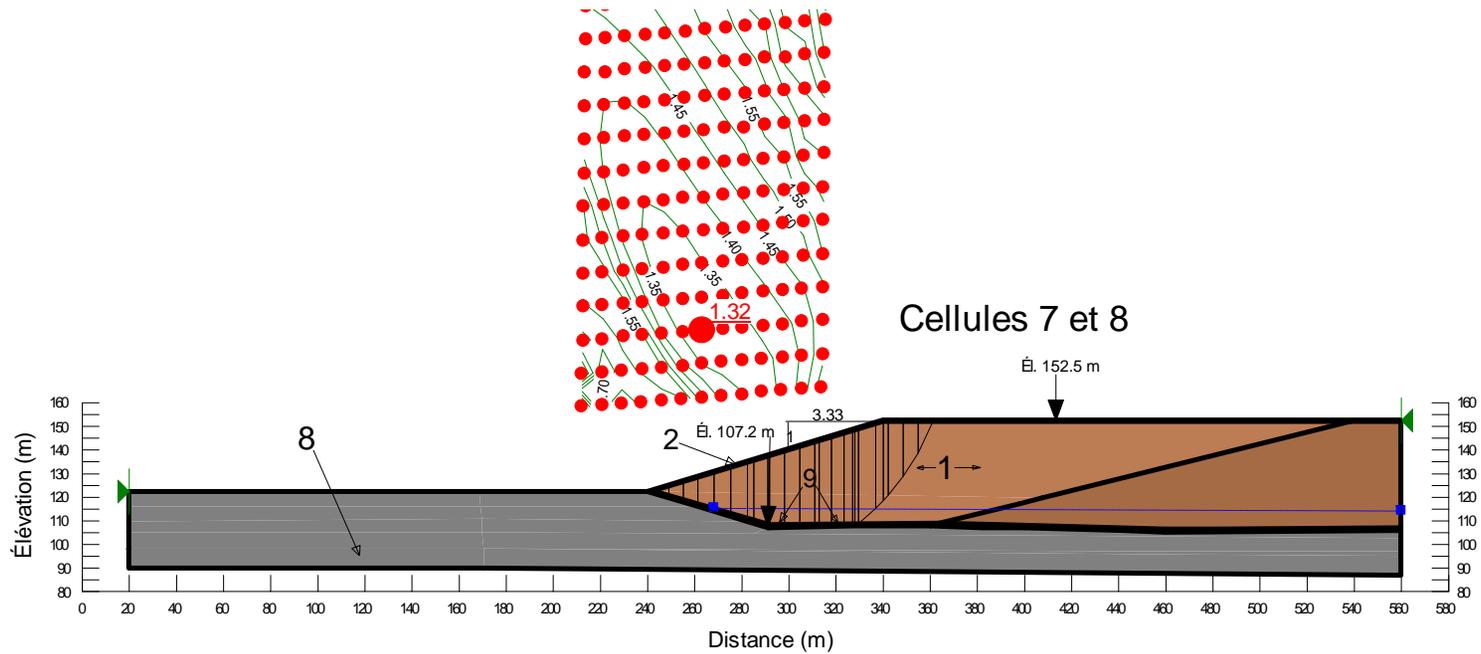


Coupe C-C' flanc sud-ouest, condition statique, rupture suivant la géomembrane PEHD

Figure C-5

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3A DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable	impénétrable		
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

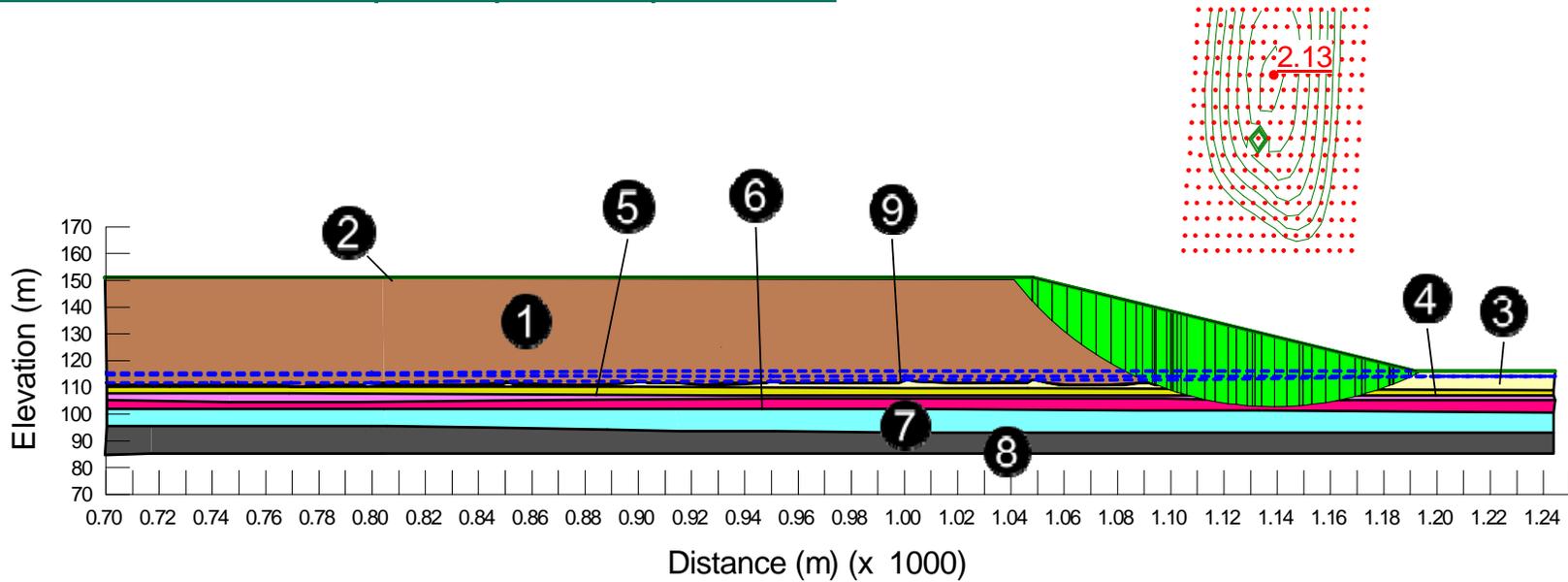


Coupe C-C' flanc sud-ouest, condition pseudo-statique, rupture suivant la géomembrane PEHD

Figure C-6

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3A DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable		impénétrable	
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

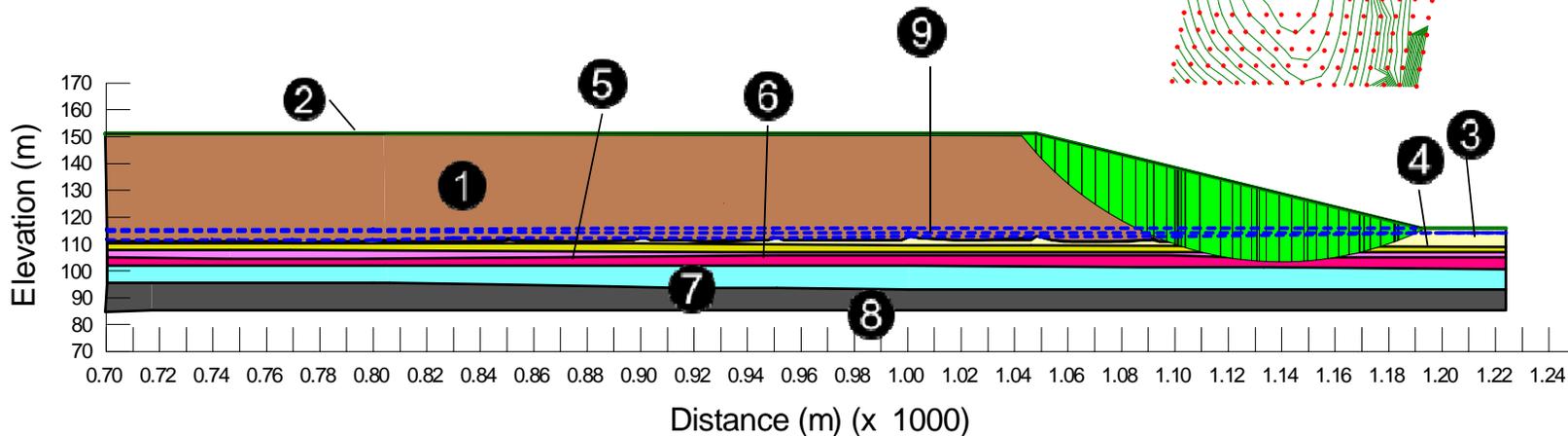


Coupe A-A' flanc Est, condition statique, rupture circulaire

Figure C-7

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3B DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable		impénétrable	
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

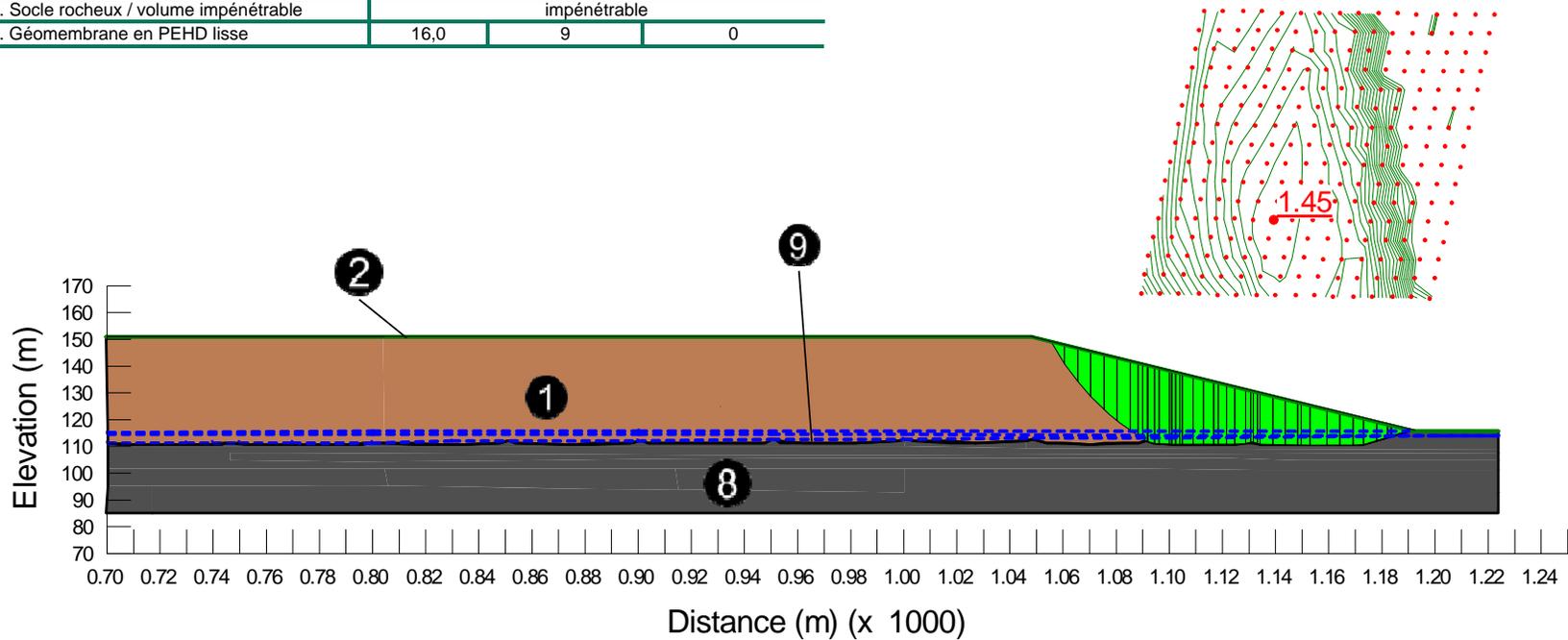


Coupe A-A' flanc Est, condition pseudo-statique (0,06g), rupture circulaire

Figure C-8

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3B DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable		impénétrable	
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

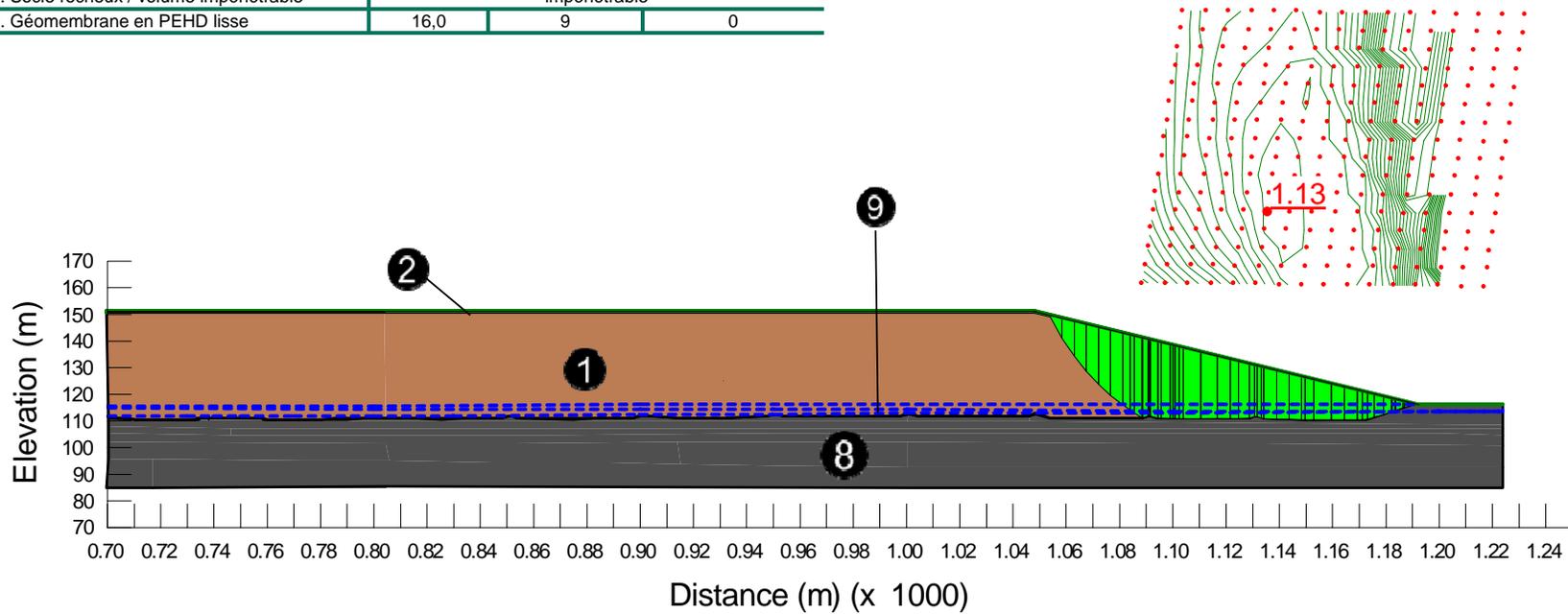


Coupe A-A' flanc Est, condition statique,  
rupture le long de la géomembrane

Figure C-9

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3B DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

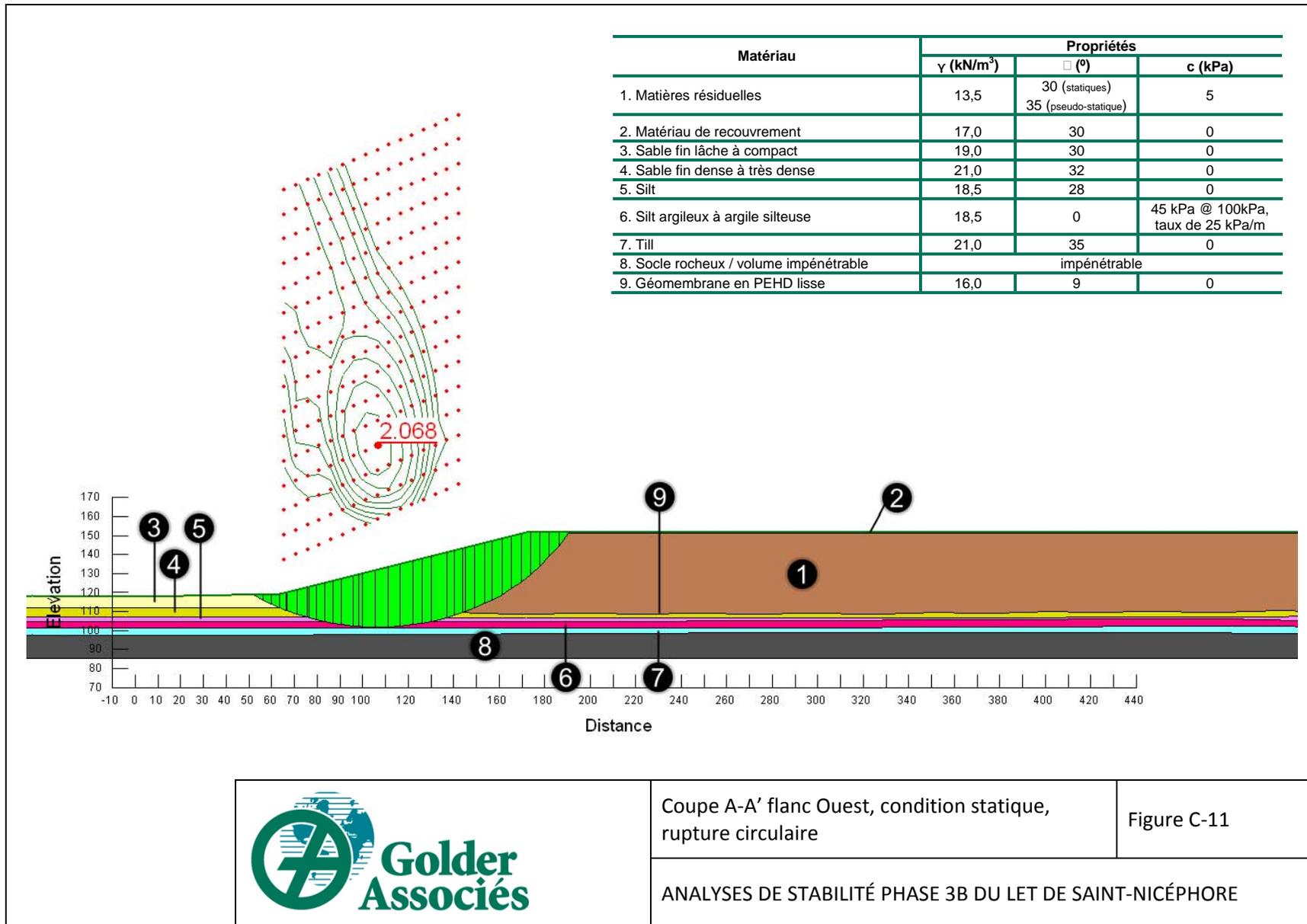
Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable	impénétrable		
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

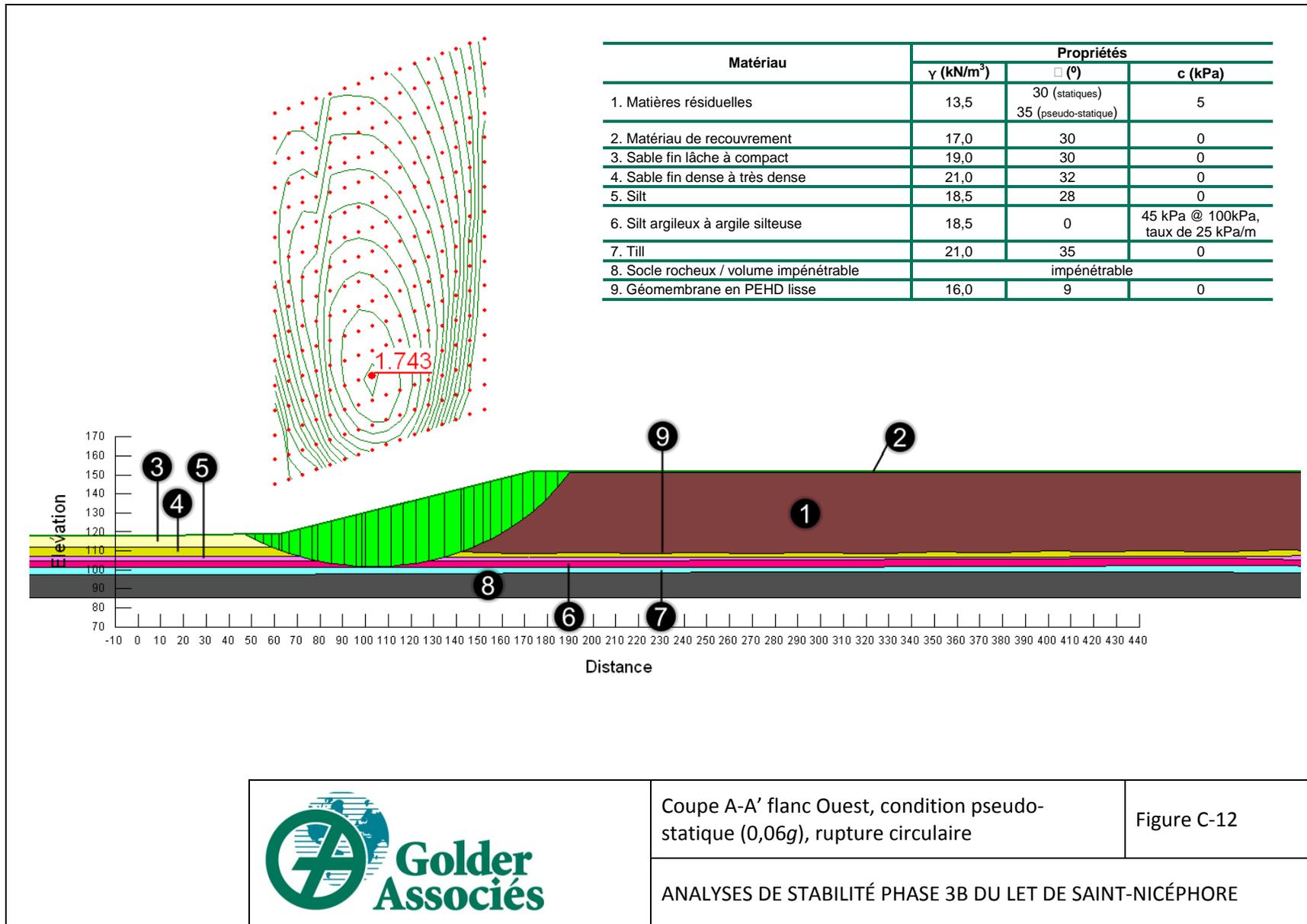


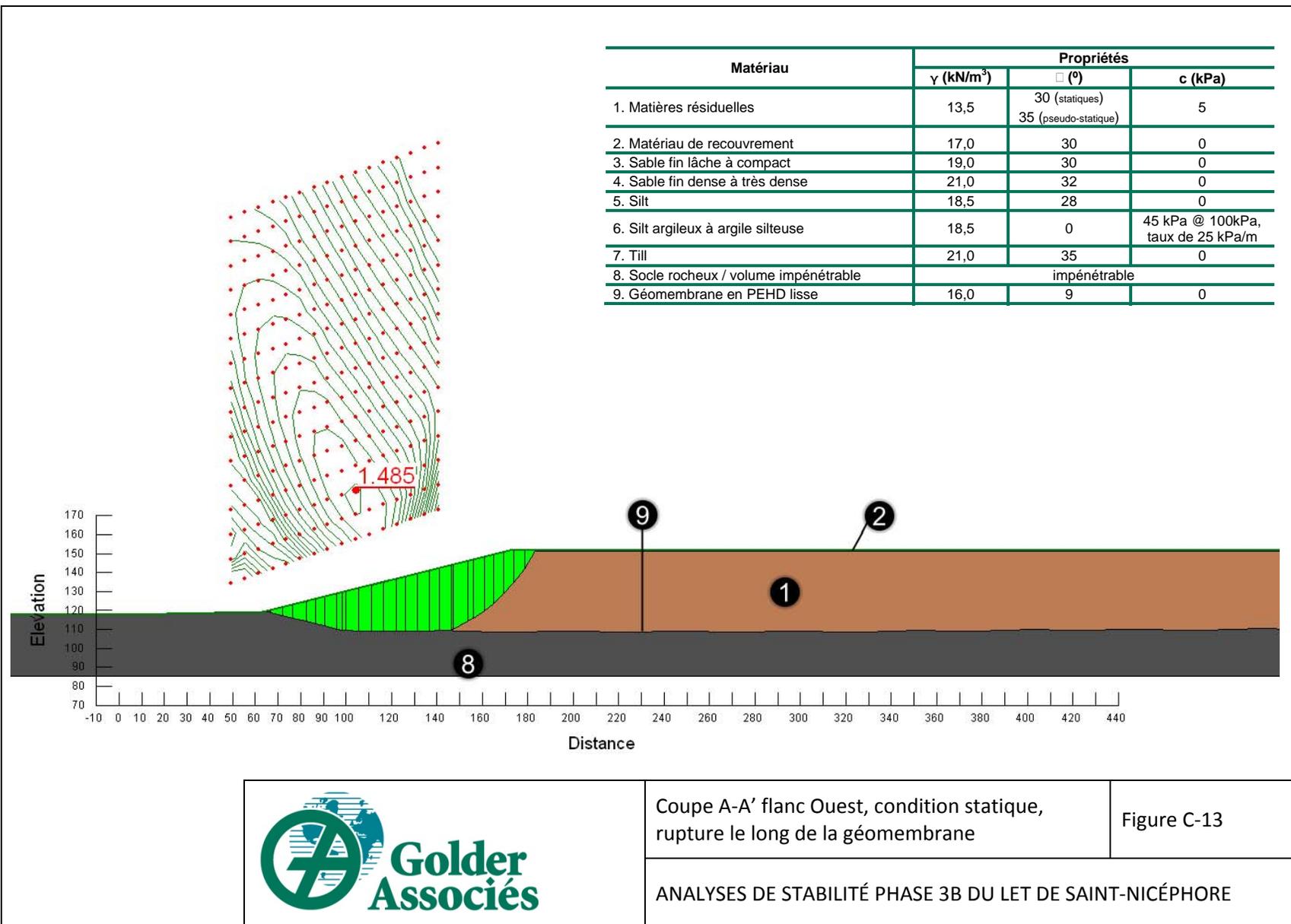
Coupe A-A' flanc Est, condition pseudo-statique (0,06g), rupture le long de la géomembrane

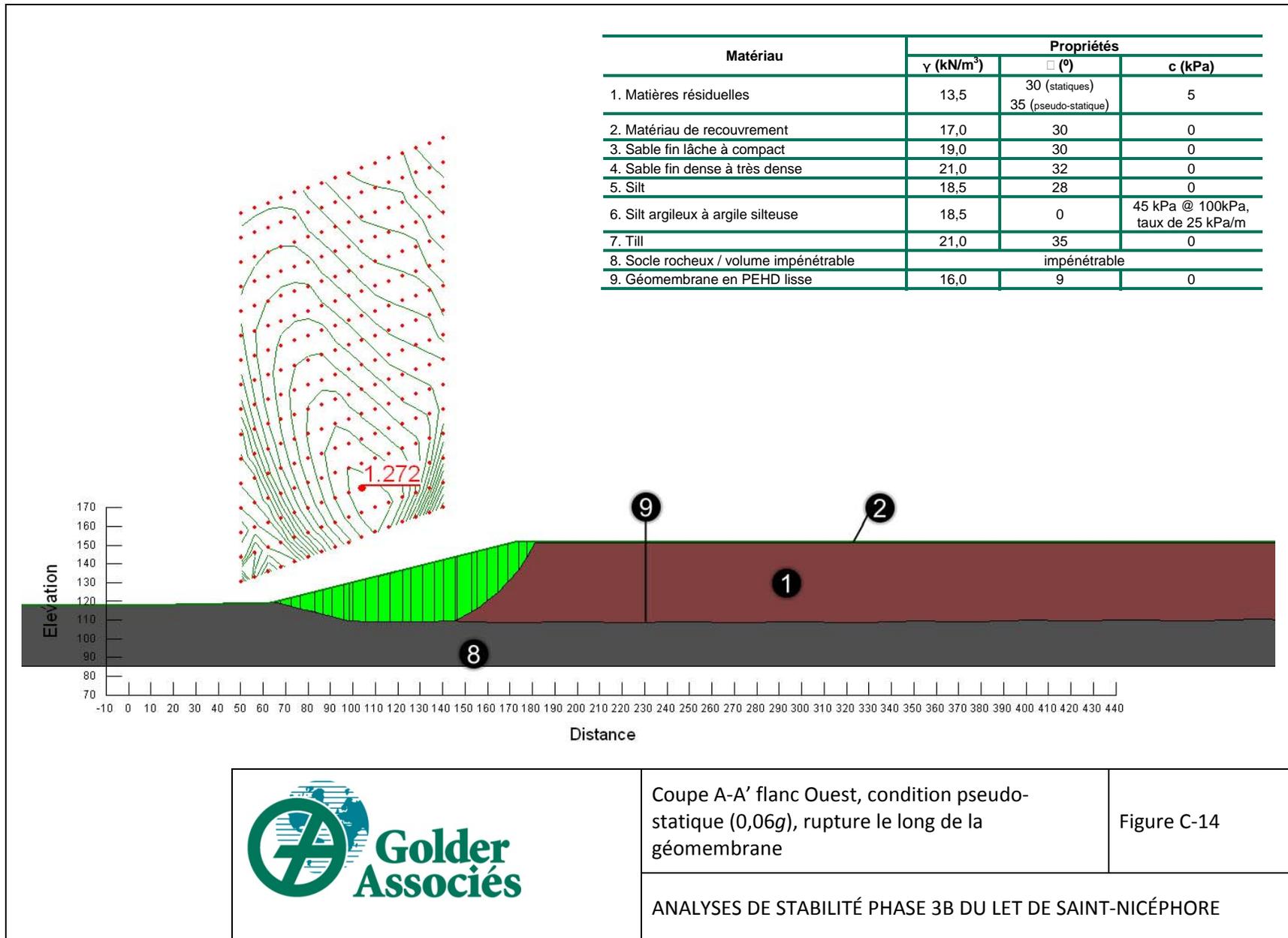
Figure C-10

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3B DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

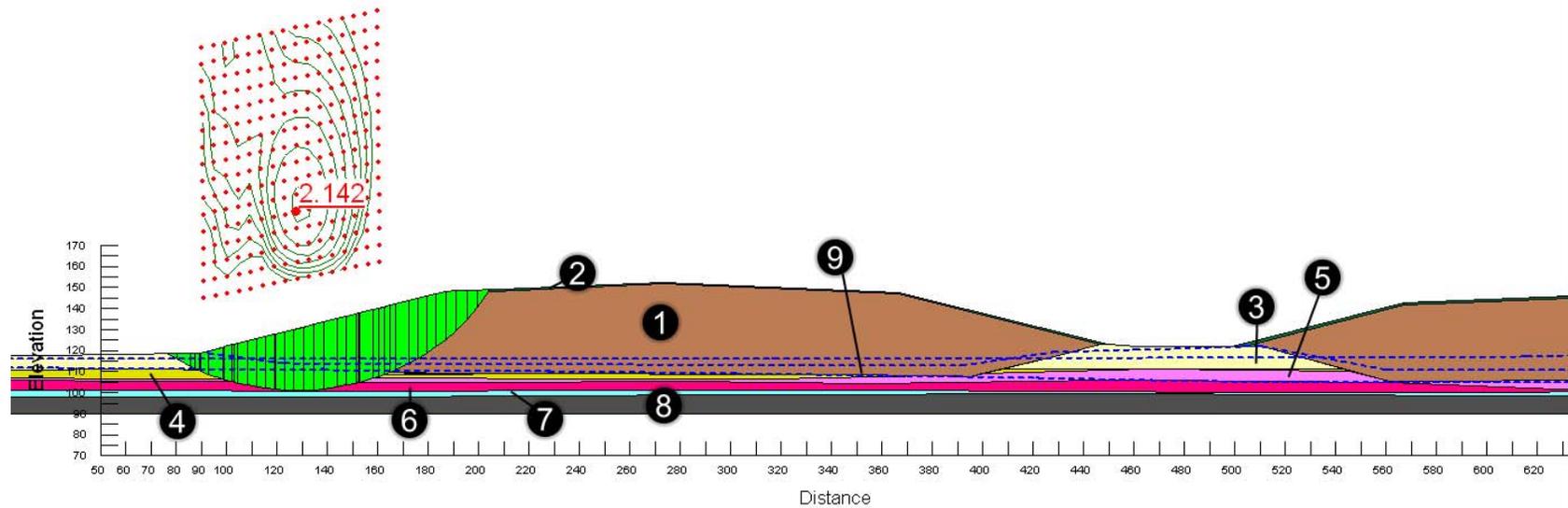








Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable		impénétrable	
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

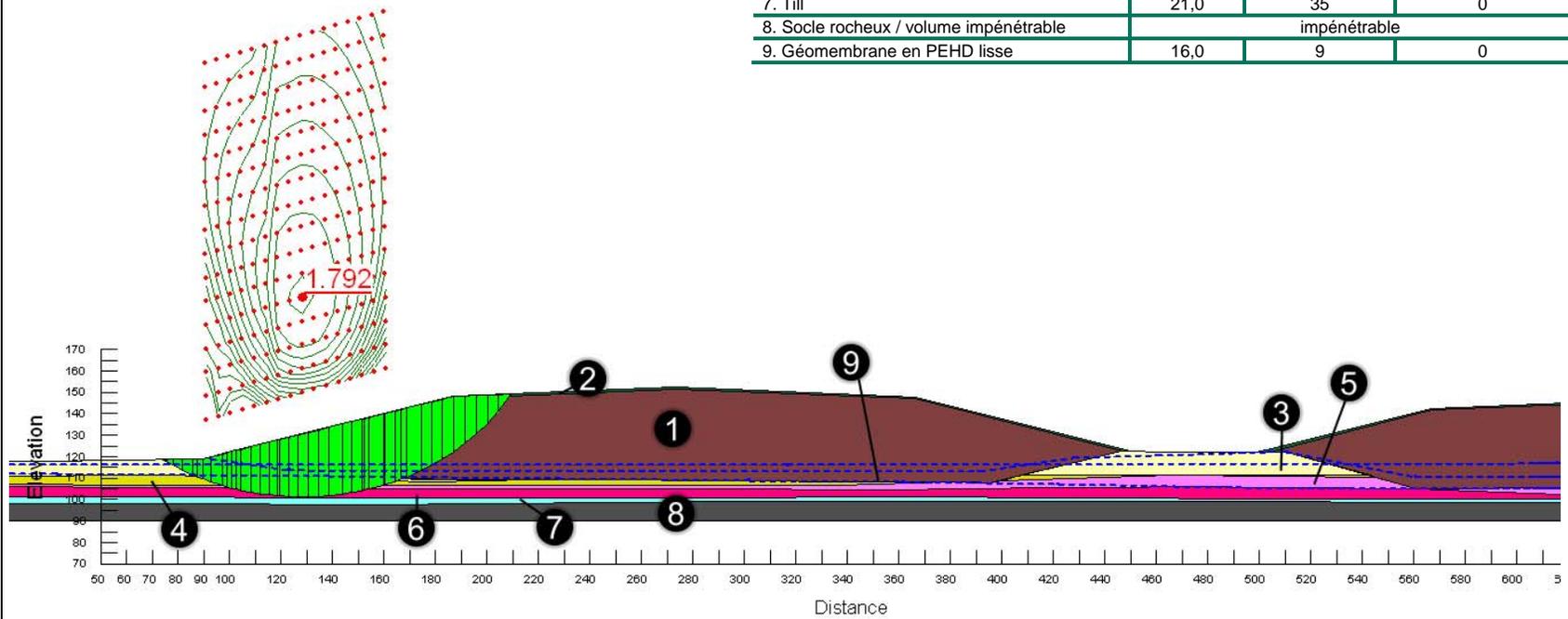


Coupe B-B' flanc Nord, condition statique, rupture circulaire

Figure C-15

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3B DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

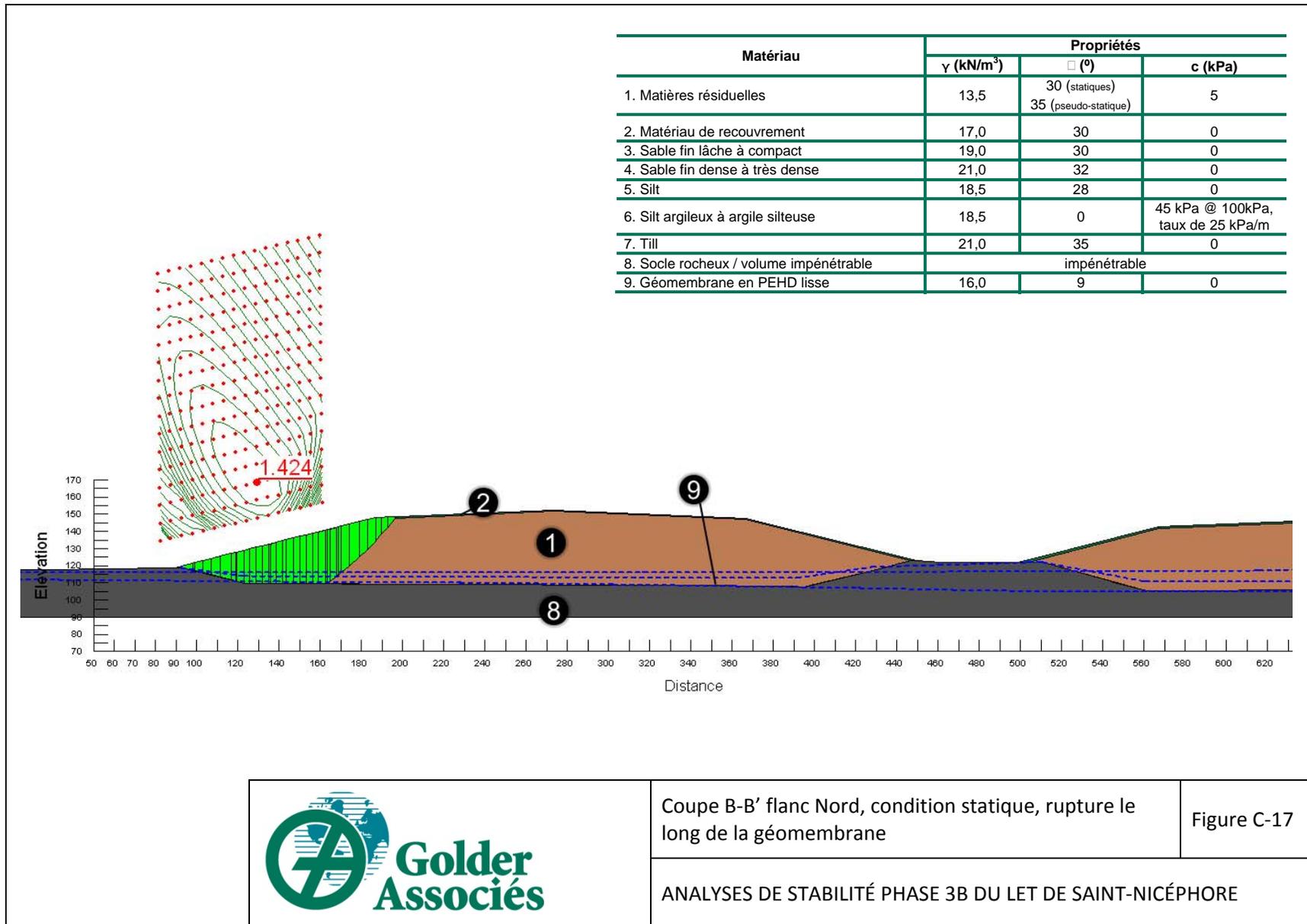
Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable		impénétrable	
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0



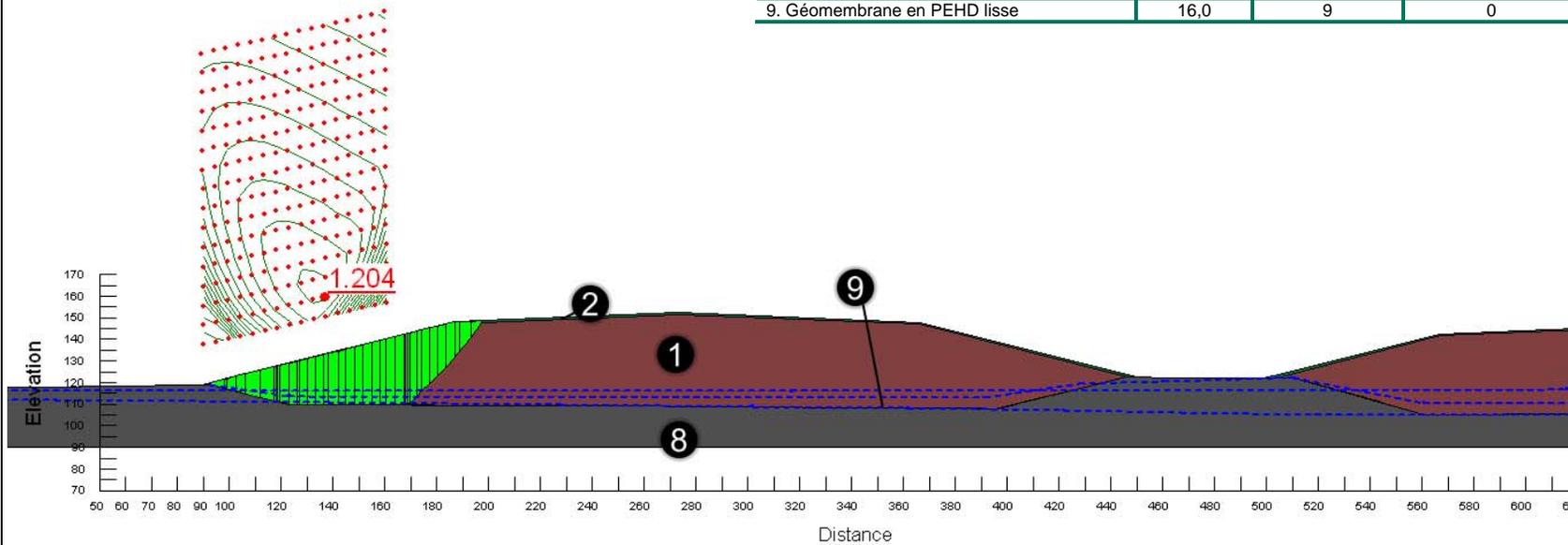
Coupe B-B' flanc Nord, condition pseudo-statique (0,06g), rupture circulaire

Figure C-16

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3B DU LET DE SAINT-NICÉPHORE



Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable	impénétrable		
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

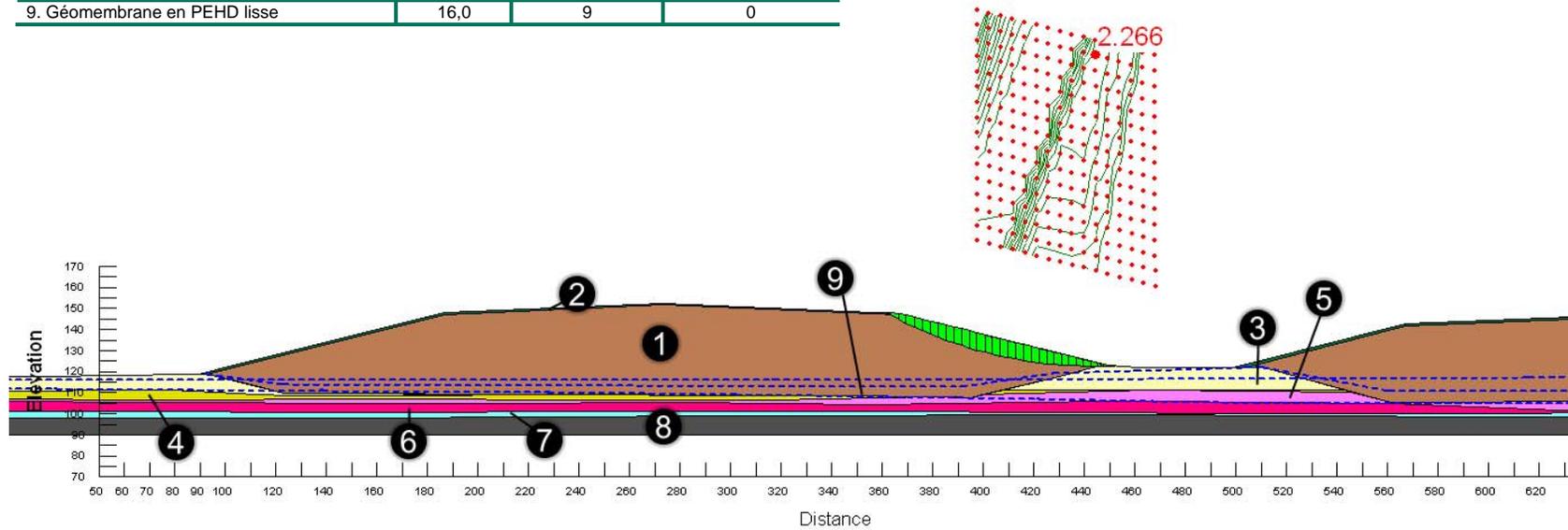


Coupe B-B' flanc Nord, pseudo- condition statique, rupture le long de la géomembrane

Figure C-18

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3B DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable	impénétrable		
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

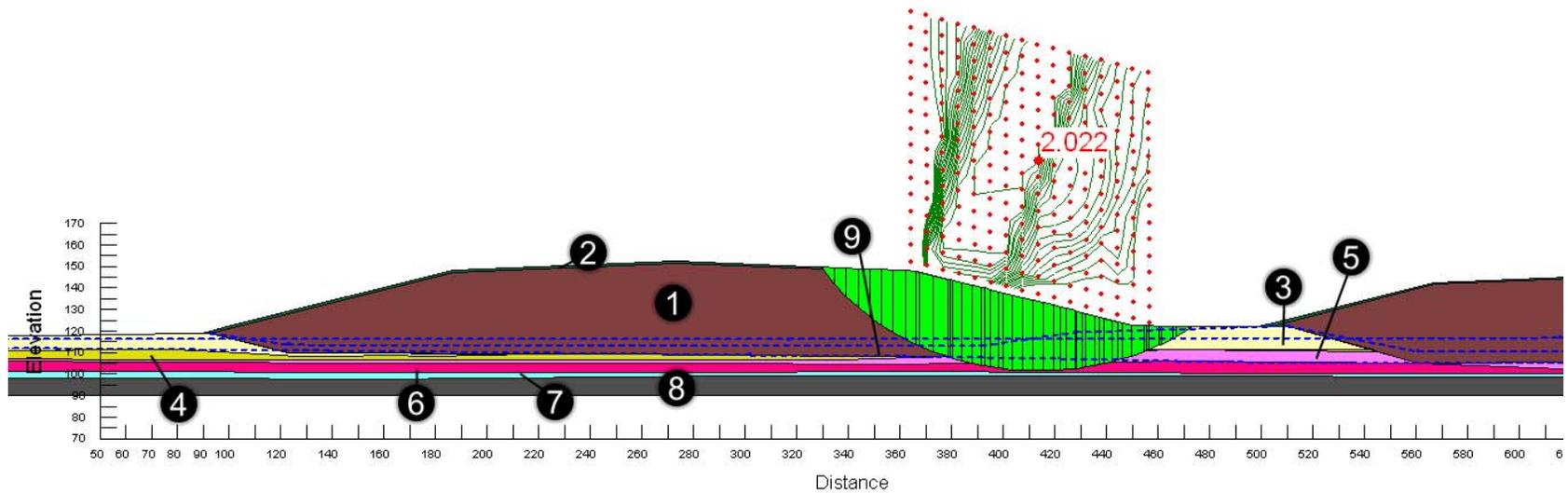


Coupe B-B' flanc Sud, condition statique, rupture circulaire

Figure C-19

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3B DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable	impénétrable		
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

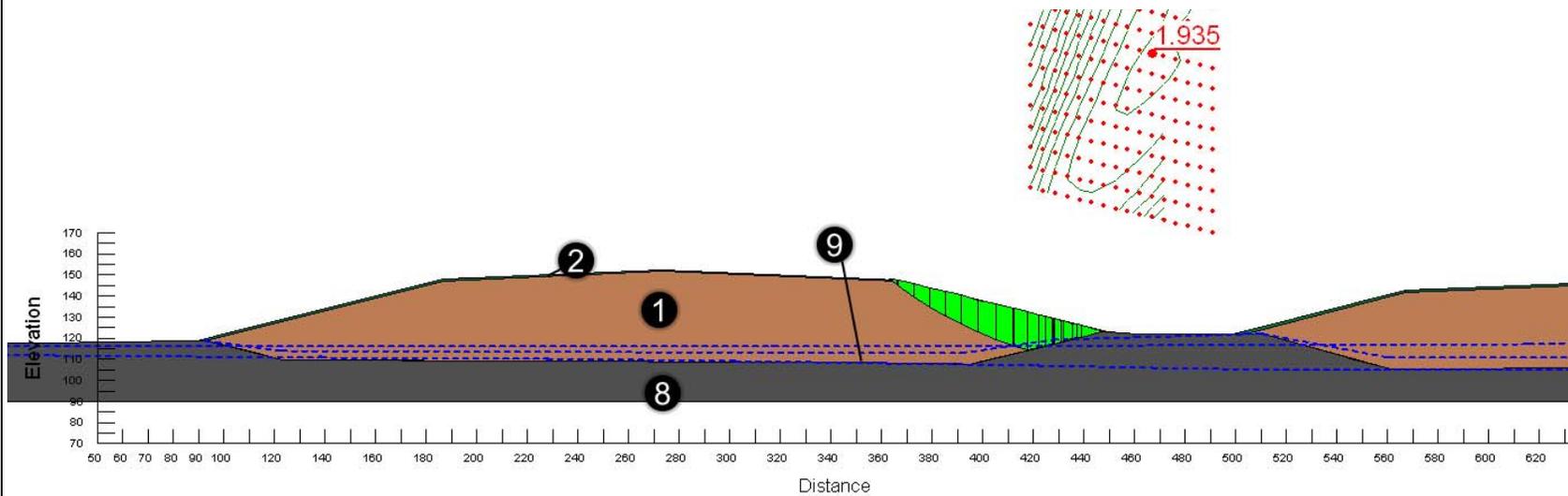


Coupe B-B' flanc Sud, condition pseudo-statique (0,06g), rupture circulaire

Figure C-20

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3B DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable		impénétrable	
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

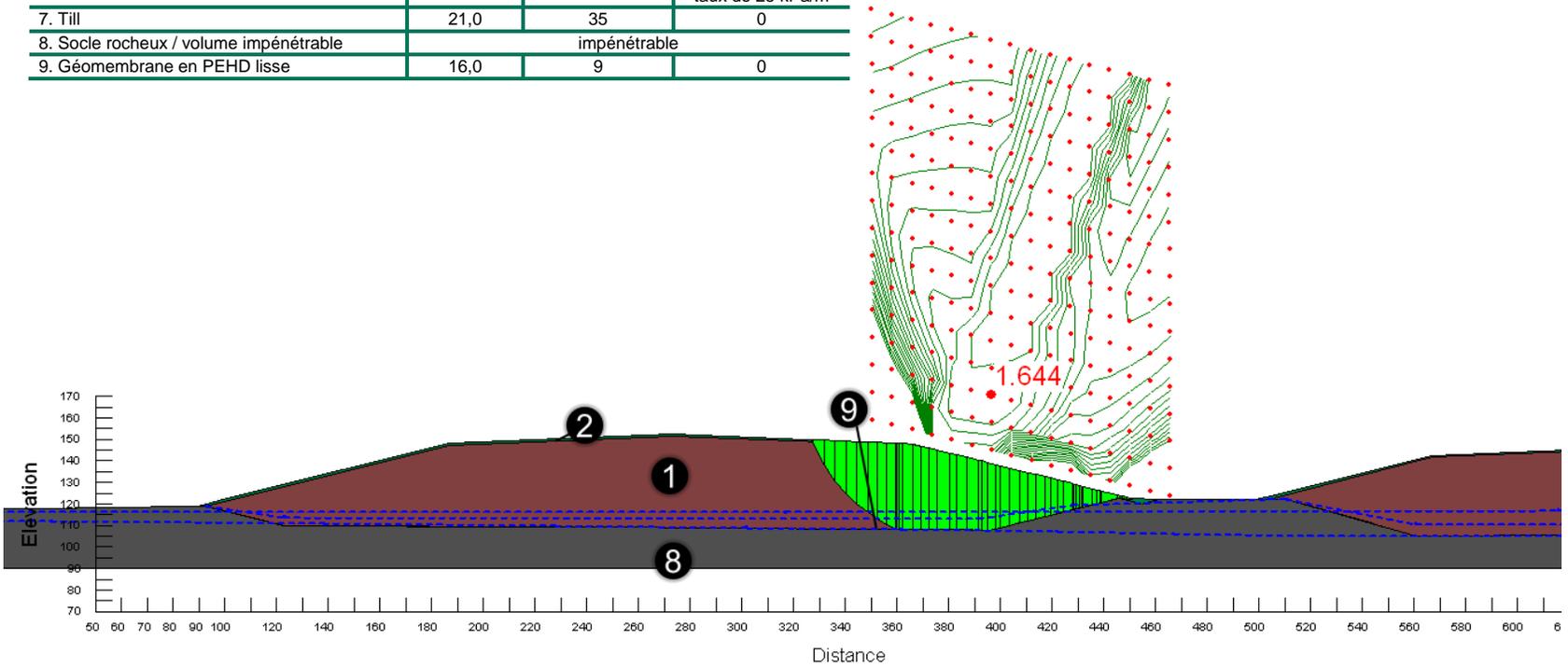


Coupe B-B' flanc Sud, condition statique, rupture le long de la géomembrane

Figure C-21

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3B DU LET DE SAINT-NICÉPHORE

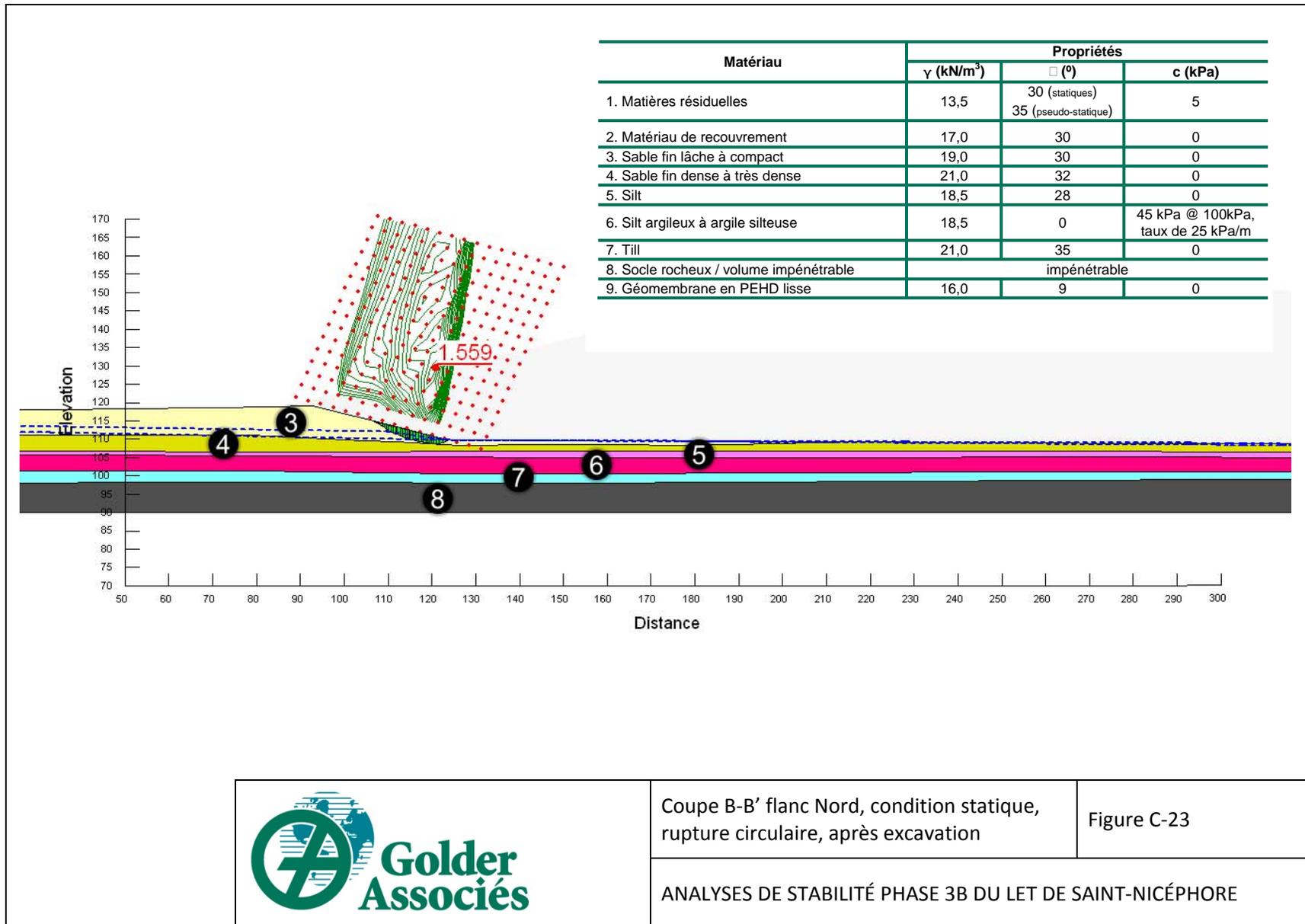
Matériau	Propriétés		
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
1. Matières résiduelles	13,5	30 (statiques) 35 (pseudo-statique)	5
2. Matériau de recouvrement	17,0	30	0
3. Sable fin lâche à compact	19,0	30	0
4. Sable fin dense à très dense	21,0	32	0
5. Silt	18,5	28	0
6. Silt argileux à argile silteuse	18,5	0	45 kPa @ 100kPa, taux de 25 kPa/m
7. Till	21,0	35	0
8. Socle rocheux / volume impénétrable		impénétrable	
9. Géomembrane en PEHD lisse	16,0	9	0

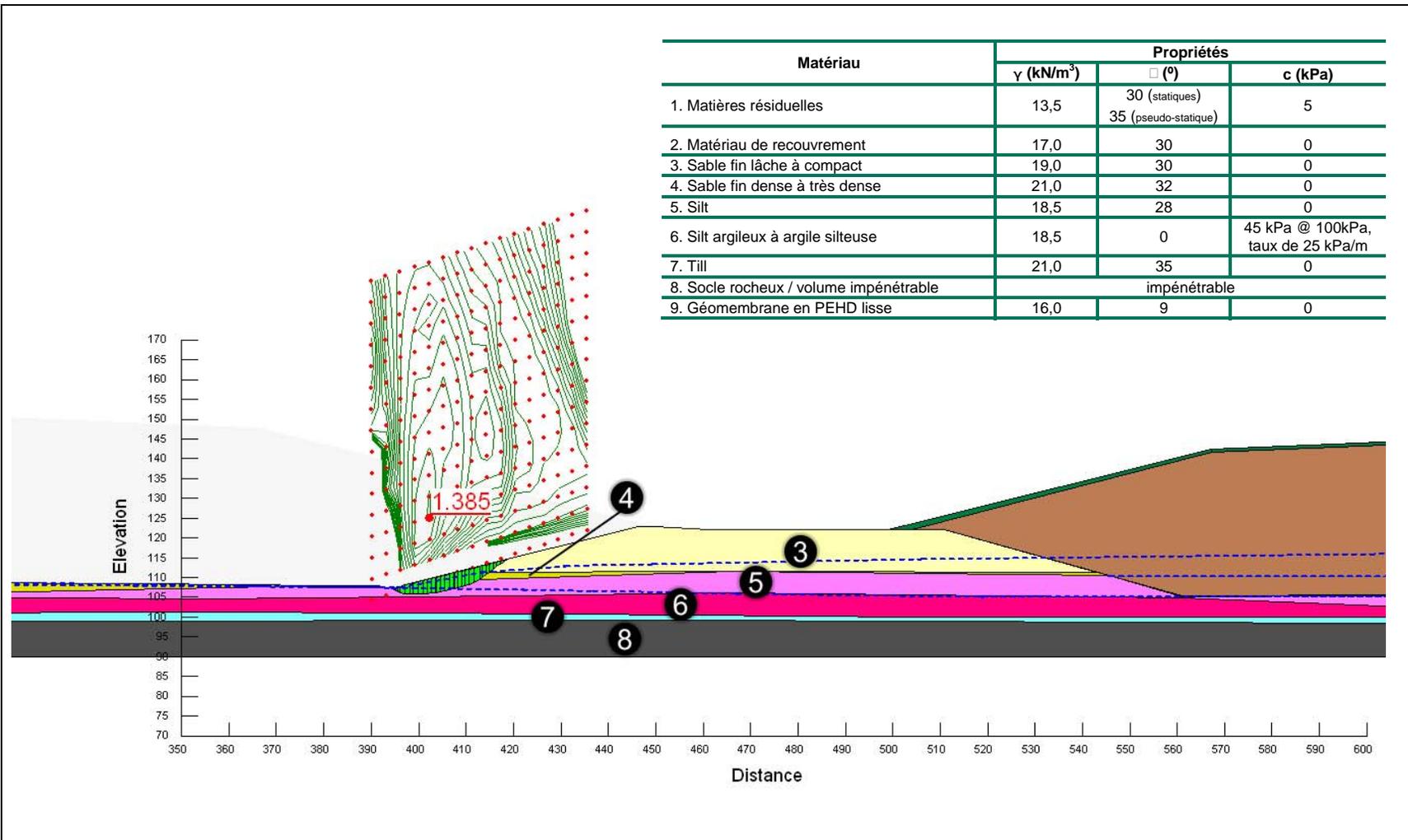


Coupe B-B' flanc Sud, condition pseudo-statique (0,06g), rupture le long de la géomembrane

Figure C-22

ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3B DU LET DE SAINT-NICÉPHORE



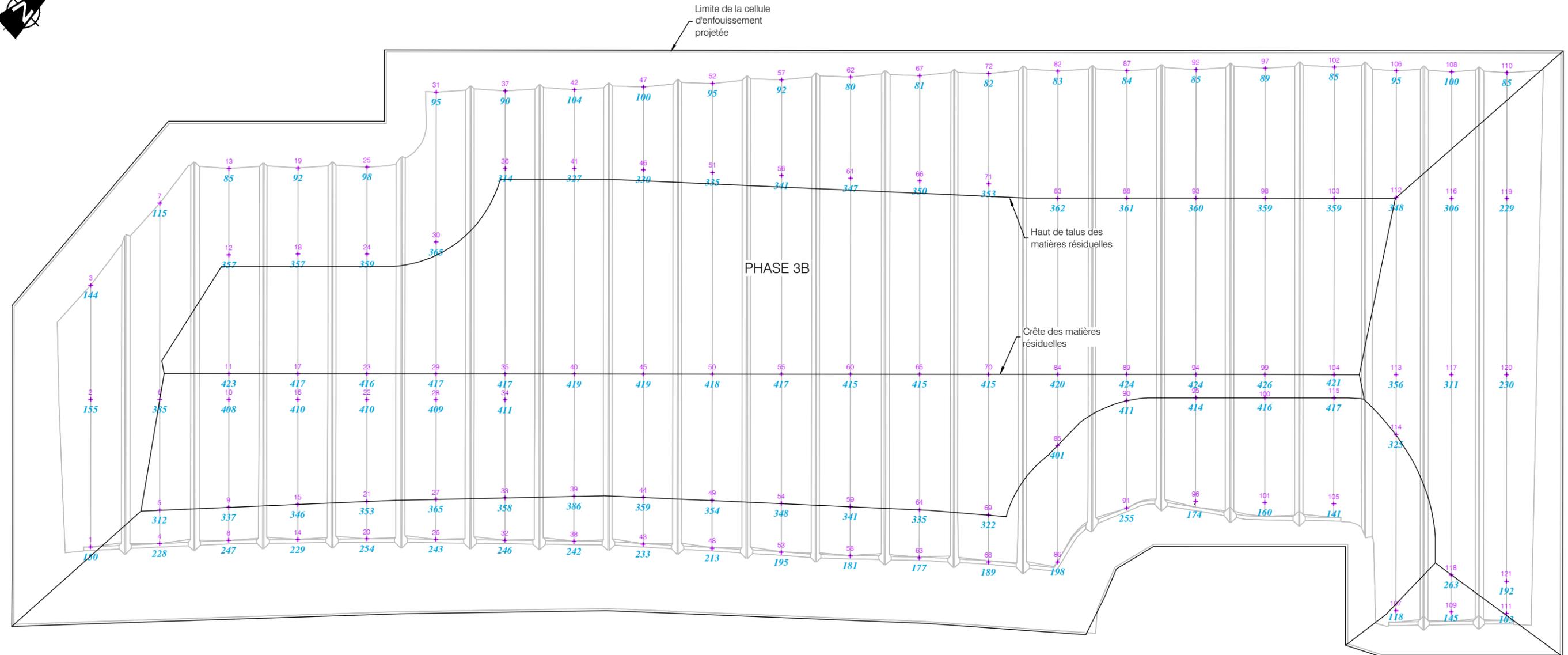


	Coupe B-B' flanc Sud, condition statique, rupture circulaire, après excavation	Figure C-24
	ANALYSES DE STABILITÉ PHASE 3B DU LET DE SAINT-NICÉPHORE	



# **ANNEXE D**

## **Résultats des calculs de tassement**



**LÉGENDE:**

- + Point de mesure
- 222 Valeur de tassement (mm)

**SOURCE:**

Plan # Base.dwg du projet LET Saint-Nicéphore Q120398  
 Étude d'impact agrandissement - Phase 3B Points pour  
 vérifications du tassement fourni par Genivar le 30  
 septembre, 6 octobre et 19 octobre 2010



**Golder Associés**  
 9200, boul. de l'Acadie, bureau 10  
 Montréal (Québec) H4N 2T2  
 Tél.: (514) 383-0990 Fax: (514) 383-5332

Date:	2010-11-26	Échelle:	1 : 3 000
Dessiné par:	R. Gravel	Projeté par:	P. Gince
Vérifié par:	M. Lemieux	Approuvé par:	J. Côté
No. de dessin:	0912230048-06	No. de projet:	09-1223-0048



ANALYSES DE STABILITÉ ET CALCULS DE TASSEMENT AUX FUTURS  
 SECTEURS D'EXPLOITATION DU LET DE SAINT-NICÉPHORE, QUÉBEC

TASSEMENTS CALCULÉS - PHASE 3B

FIGURE **D-1**



**Client:** Waste Management St-Nicéphore  
**Projet:** Phase 3B du LET de St-Nicéphore  
**# de Projet:** 09-1223-0048 / 1000  
**Réalisé par:** Patrick Gince  
**Véifié par:** Marielle Limoges Shaiget

Tableau D-1

RÉSULTATS DES CALCULS DE TASSEMENT SUITE À LA MISE EN PLACE DES MATIÈRES RÉSIDUELLES

POINT	COORDONNÉES DU POINT		Stratigraphie du Forage F-09-09	Stratigraphie du Forage PZC-03-01	Stratigraphie du Forage PZC-03-02	Stratigraphie du Forage PZC-03-03	Moyenne Tassement (mm)	Valeur Min Tassement (mm)	Valeur Max Tassement (mm)	% Écart inf. à la moyenne	% Écart sup. à la moyenne
	EASTING	NORTHING	Tassement (mm)	Tassement (mm)	Tassement (mm)	Tassement (mm)					
1*	391605,0	5075591,5	--	--	--	--	150	--	--	--	--
2	391526,5	5075663,5	152	179	163	125	155	125	179	-20	16
3	391465,8	5075719,2	142	168	151	115	144	115	168	-20	16
4	391637,0	5075630,0	222	266	240	183	228	183	266	-20	17
5	391619,2	5075646,4	307	356	329	255	312	255	356	-18	14
6	391560,3	5075700,3	382	437	406	316	385	316	437	-18	13
7*	391455,9	5075796,1	--	--	--	--	115	--	--	--	--
8	391669,0	5075668,5	241	286	260	199	247	199	286	-19	16
9	391651,4	5075684,7	332	384	355	276	337	276	384	-18	14
10	391594,1	5075737,2	406	462	430	335	408	335	462	-18	13
11	391580,4	5075749,8	421	478	445	347	423	347	478	-18	13
12	391517,2	5075807,8	353	406	376	293	357	293	406	-18	14
13	391471,3	5075849,9	85	100	87	66	85	66	100	-22	18
14	391702,3	5075705,8	224	266	242	185	229	185	266	-19	16
15	391683,6	5075723,0	342	394	365	283	346	283	394	-18	14
16	391627,9	5075774,0	408	465	432	336	410	336	465	-18	13
17	391614,2	5075786,6	416	472	439	343	417	343	472	-18	13
18	391550,5	5075845,0	353	406	376	292	357	292	406	-18	14
19	391504,8	5075887,0	92	109	95	71	92	71	109	-22	18
20	391735,7	5075743,0	249	295	269	206	254	206	295	-19	16
21	391715,8	5075761,3	349	401	372	289	353	289	401	-18	14
22	391661,7	5075810,9	408	464	432	336	410	336	464	-18	13
23	391648,0	5075823,5	414	471	438	341	416	341	471	-18	13
24	391584,3	5075881,9	355	408	378	294	359	294	408	-18	14
25	391538,1	5075924,3	97	116	102	76	98	76	116	-22	18
26	391769,8	5075779,6	237	281	256	196	243	196	281	-19	16
27	391748,5	5075799,1	361	415	385	299	365	299	415	-18	14
28	391695,5	5075847,7	407	463	431	336	409	336	463	-18	13
29	391681,8	5075860,3	415	472	439	342	417	342	472	-18	13
30	391611,6	5075924,7	362	416	385	299	365	299	416	-18	14
31*	391532,0	5075997,8	--	--	--	--	95	--	--	--	--
32	391804,1	5075815,9	241	283	260	200	246	200	283	-19	15
33	391781,5	5075836,7	354	407	377	293	358	293	407	-18	14
34	391729,3	5075884,6	409	465	433	337	411	337	465	-18	13
35	391715,6	5075897,2	415	472	439	342	417	342	472	-18	13
36	391606,2	5075997,5	309	358	331	257	314	257	358	-18	14
37	391565,1	5076035,2	90	107	94	70	90	70	107	-22	19
38	391838,5	5075852,3	237	278	255	197	242	197	278	-19	15
39	391814,5	5075874,3	382	438	406	316	386	316	438	-18	14
40	391749,4	5075934,0	417	474	441	344	419	344	474	-18	13
41	391640,0	5076034,3	323	373	345	268	327	268	373	-18	14
42	391598,2	5076072,7	103	123	109	82	104	82	123	-22	18
43	391873,7	5075887,8	228	269	246	189	233	189	269	-19	15
44	391848,7	5075910,8	355	409	379	294	359	294	409	-18	14
45	391783,2	5075970,9	417	474	441	344	419	344	474	-18	13
46	391674,6	5076070,5	326	377	349	270	330	270	377	-18	14
47*	391630,5	5076110,9	--	--	--	--	100	--	--	--	--
48	391909,6	5075922,7	208	245	224	173	213	173	245	-19	15
49	391884,1	5075946,1	350	403	373	290	354	290	403	-18	14
50	391817,0	5076007,7	417	473	440	343	418	343	473	-18	13
51	391709,8	5076106,0	331	382	354	275	335	275	382	-18	14
52*	391662,4	5076149,5	--	--	--	--	95	--	--	--	--
53	391945,6	5075957,6	191	225	206	158	195	158	225	-19	16
54	391919,6	5075981,5	344	396	367	285	348	285	396	-18	14
55	391850,8	5076044,6	415	472	439	342	417	342	472	-18	13
56	391745,1	5076141,5	337	389	360	280	341	280	389	-18	14
57	391694,3	5076188,1	92	109	95	71	92	71	109	-22	18
58	391981,3	5075992,7	178	211	191	146	181	146	211	-20	16
59	391955,0	5076016,8	337	389	360	280	341	280	389	-18	14
60	391884,6	5076081,4	413	470	437	341	415	341	470	-18	13
61	391780,3	5076177,0	343	395	366	284	347	284	395	-18	14
62	391726,4	5076226,5	80	95	82	61	80	61	95	-23	19
63	392016,0	5076028,7	174	207	187	142	177	142	207	-20	17
64	391990,4	5076052,2	330	382	353	274	335	274	382	-18	14
65	391918,4	5076118,2	413	469	436	340	415	340	469	-18	13
66	391815,6	5076212,5	346	399	369	287	350	287	399	-18	14
67*	391759,6	5076263,9	--	--	--	--	81	--	--	--	--
68	392052,1	5076063,4	184	221	199	151	189	151	221	-20	17
69	392027,0	5076086,5	318	368	340	264	322	264	368	-18	14
70	391952,2	5076155,1	413	470	437	341	415	341	470	-18	13
71	391850,9	5076248,0	349	402	372	289	353	289	402	-18	14
72*	391792,3	5076301,8	--	--	--	--	82	--	--	--	--
82*	391824,7	5076339,9	--	--	--	--	83	--	--	--	--
83	391892,4	5076277,8	358	411	381	296	362	296	411	-18	14
84	391986,0	5076191,9	418	475	442	345	420	345	475	-18	13
85	392023,7	5076157,3	398	454	422	329	401	329	454	-18	13
86	392085,8	5076100,4	193	232	209	159	198	159	232	-20	17
87*	391858,3	5076376,9	--	--	--	--	84	--	--	--	--
88	391926,1	5076314,7	357	411	380	296	361	296	411	-18	14
89	392019,8	5076228,8	423	479	446	348	424	348	479	-18	13
90	392033,7	5076216,0	409	465	433	337	411	337	465	-18	13
91	392090,9	5076163,6	250	296	270	207	255	207	296	-19	16
92*	391891,5	5076414,3	--	--	--	--	85	--	--	--	--
93	391959,9	5076351,6	356	409	379	295	360	295	409	-18	14
94	392053,6	5076265,6	423	479	446	348	424	348	479	-18	13



**Client:** Waste Management St-Nicéphore  
**Projet:** Phase 3B du LET de St-Nicéphore  
**# de Projet:** 09-1223-0048 / 1000  
**Réalisé par:** Patrick Gince  
**Vérifié par:** Marielle Limoges Shaiget

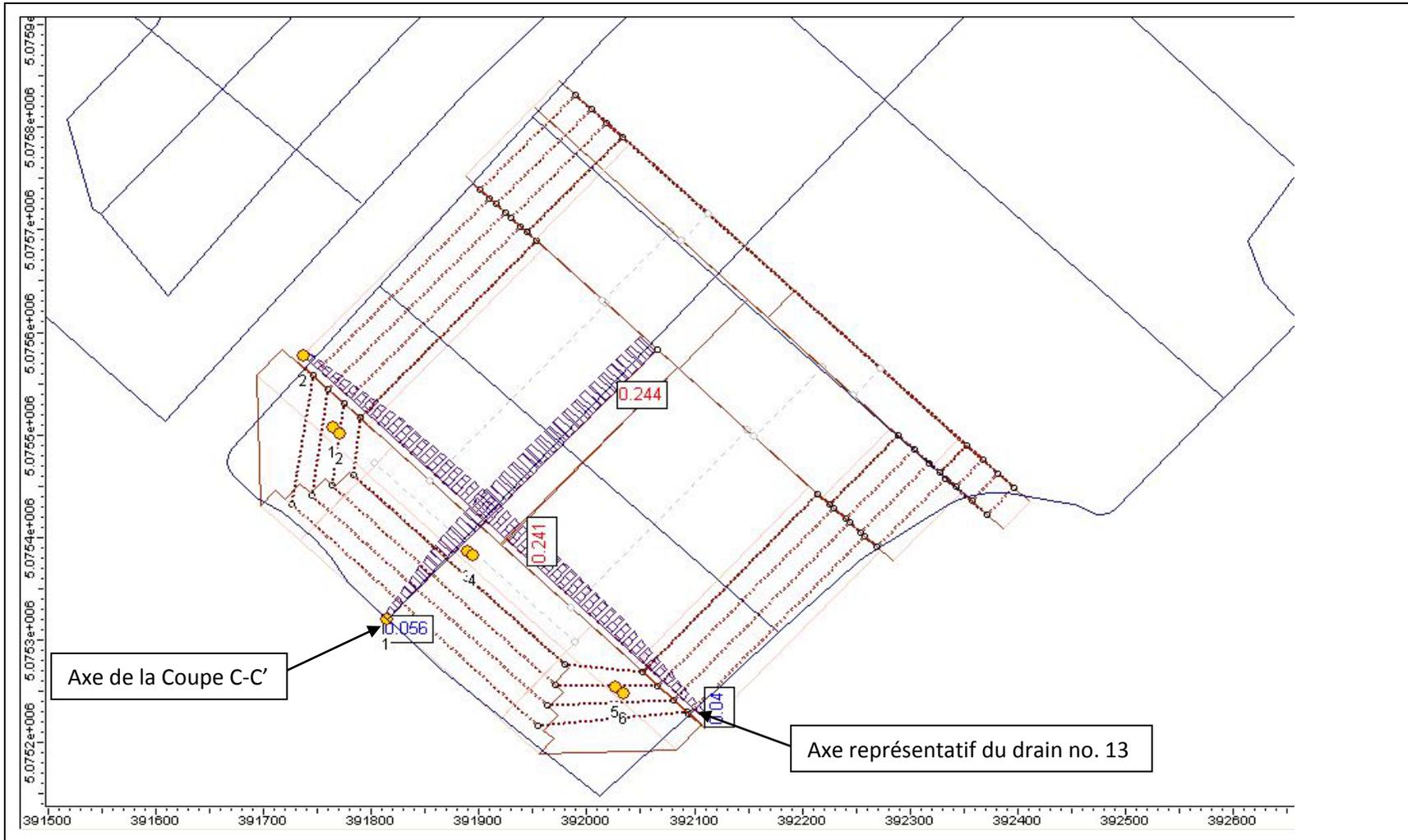
**Tableau D-1**

RÉSULTATS DES CALCULS DE TASSEMENT SUITE À LA MISE EN PLACE DES MATIÈRES RÉSIDUELLES

POINT	COORDONNÉES DU POINT		Stratigraphie du Forage F-09-09	Stratigraphie du Forage PZC-03-01	Stratigraphie du Forage PZC-03-02	Stratigraphie du Forage PZC-03-03	<b>Moyenne Tassement (mm)</b>	Valeur Min Tassement (mm)	Valeur Max Tassement (mm)	% Écart inf. à la moyenne	% Écart sup. à la moyenne
	EASTING	NORTHING	Tassement (mm)	Tassement (mm)	Tassement (mm)	Tassement (mm)					
95	392065,9	5076254,3	412	468	436	340	<b>414</b>	340	468	-18	13
96	392121,0	5076203,7	170	202	183	140	<b>174</b>	140	202	-19	16
97*	391924,5	5076451,9	--	--	--	--	<b>89</b>	--	--	--	--
98	391993,7	5076388,4	355	408	378	294	<b>359</b>	294	408	-18	14
99	392087,4	5076302,5	425	481	448	350	<b>426</b>	350	481	-18	13
100	392099,7	5076291,1	414	470	438	341	<b>416</b>	341	470	-18	13
101*	392155,5	5076239,9	--	--	--	--	<b>160</b>	--	--	--	--
102*	391957,7	5076489,3	--	--	--	--	<b>85</b>	--	--	--	--
103	392027,5	5076425,3	355	408	378	294	<b>359</b>	294	408	-18	14
104	392121,2	5076339,3	419	475	442	345	<b>421</b>	345	475	-18	13
105	392190,0	5076276,2	139	163	149	114	<b>141</b>	114	163	-19	16
106	391990,0	5076520,7	95	113	98	73	<b>95</b>	73	113	-23	19
107	392277,1	5076257,3	117	137	124	95	<b>118</b>	95	137	-20	16
108*	392017,6	5076549,7	--	--	--	--	<b>100</b>	--	--	--	--
109*	392304,9	5076286,1	--	--	--	--	<b>145</b>	--	--	--	--
110*	392045,1	5076578,7	--	--	--	--	<b>85</b>	--	--	--	--
111	392332,7	5076314,9	103	121	108	82	<b>103</b>	82	121	-21	17
112	392057,4	5076458,9	344	396	367	285	<b>348</b>	285	396	-18	14
113	392151,6	5076372,5	352	406	376	292	<b>356</b>	292	406	-18	14
114	392183,4	5076343,3	320	372	343	266	<b>325</b>	266	372	-18	14
115	392133,5	5076328,0	416	472	439	343	<b>417</b>	343	472	-18	13
116	392085,0	5076487,9	301	350	323	250	<b>306</b>	250	350	-18	14
117	392178,6	5076402,0	306	356	329	254	<b>311</b>	254	356	-18	14
118	392285,1	5076304,3	258	302	278	215	<b>263</b>	215	302	-18	15
119	392112,0	5076517,4	225	263	242	187	<b>229</b>	187	263	-18	15
120	392205,7	5076431,4	225	264	243	188	<b>230</b>	188	264	-18	15
121	392315,5	5076330,7	188	221	203	156	<b>192</b>	156	221	-19	15

Moyenne des écarts (%): -19 15

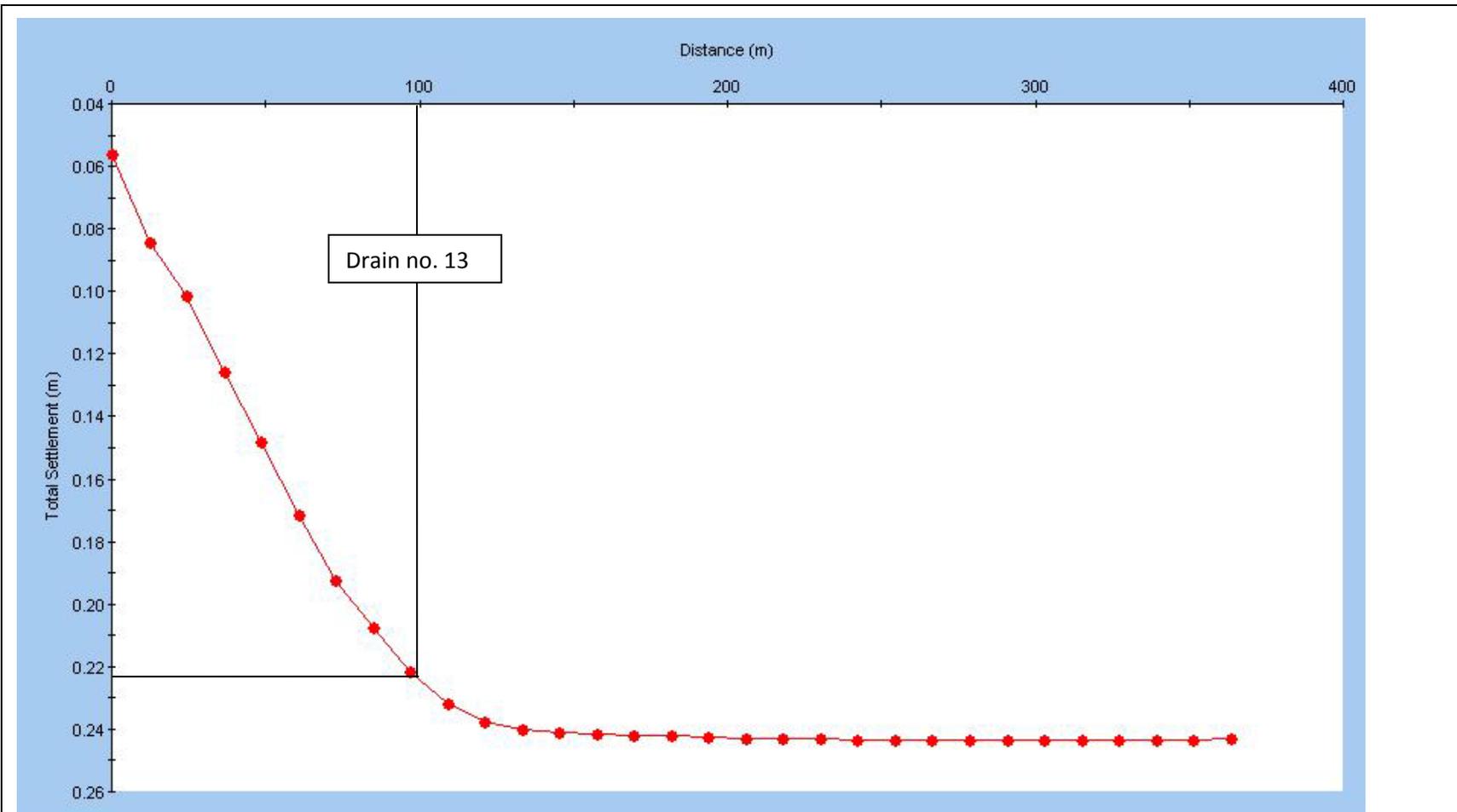
\* Des effets de bord surviennent dans le modèle lorsque le tassement est calculé sur un point situé à la limite du fond d'excavation et/ou de la charge appliquée. La valeur est donc ajustée manuellement en recherchant une valeur de tassement correspondant à un point situé dans l'environnement immédiat et non affecté par l'effet de bord.



VUE EN PLAN DU MODÈLE

Figure D-2

CALCULS DE TASSEMENT PHASE 3A DU LET DE SAINT-NICÉPHORE



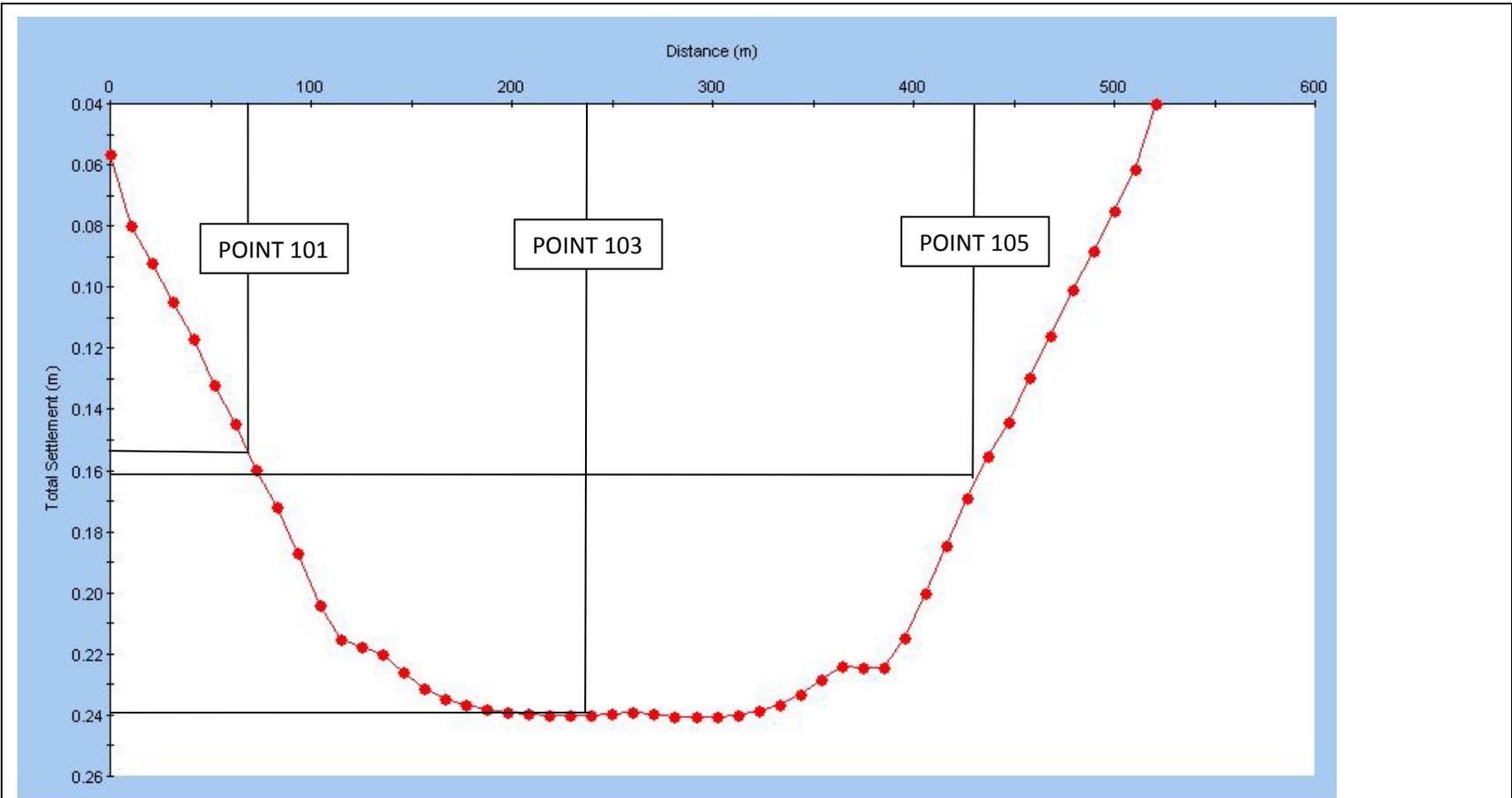
Query Line 1 (Stage 1)  
Total Settlement at Depth = 16.5 m



TASSEMENTS SUIVANT LA COUPE C-C'

Figure D-3

CALCULS DE TASSEMENT PHASE 3A DU LET DE SAINT-NICÉPHORE



Query Line 2 (Stage 1)  
Total Settlement at Depth = 16.5 m



TASSEMENTS SUIVANT LE DRAIN NO. 13

Figure D-4

CALCULS DE TASSEMENT PHASE 3A DU LET DE SAINT-NICÉPHORE



# **ANNEXE E**

## **Limites et conditions**

### UTILISATION DU RAPPORT ET DE SON CONTENU

Ce rapport a été préparé pour l'usage exclusif du Client ou de ses agents. Les données factuelles, les interprétations, les commentaires ainsi que les recommandations qu'il contient sont spécifiques au projet tel que décrit dans ce rapport et ne s'appliquent à aucun autre projet ou autre site. Ce rapport doit être lu dans son ensemble, puisque des sections pourraient être faussement interprétées lorsque prises individuellement ou hors contexte. Par ailleurs, le texte de la version finale de ce rapport prévaut sur tout autre texte, opinion ou version préliminaire émis par Golder. Si la conception, l'emplacement ou l'élévation du projet doivent être modifiés et/ou si le projet n'est pas amorcé à l'intérieur d'une période de 18 mois suivant la remise de ce rapport, Golder devrait être consultée pour confirmer que ses recommandations sont encore valides.

Les commentaires, interprétations et recommandations présentés dans ce rapport sont basés sur une évaluation limitée des conditions souterraines tel que décrit ailleurs dans ce texte et sont formulés dans le seul et unique but d'orienter la conception du projet. À moins d'avis contraire, les interprétations, commentaires et les recommandations présentés dans ce rapport ont été formulés à la lumière de nos connaissances concernant les conditions du site, l'utilisation courante et/ou prévue du site, les règlements, normes et critères en vigueur de même que les règles et pratiques professionnelles reconnues et acceptées au moment de l'étude, tenant compte dans tous les cas de l'emplacement du site. Les références aux lois et règlements contenues dans ce rapport sont fournies à titre indicatif, sur une base technique. Comme les lois et règlements sont sujets à interprétation, Golder recommande au Client de consulter ses conseillers juridiques afin d'obtenir les avis appropriés.

Comme certains détails du projet envisagé peuvent ne pas être connus de Golder au moment de la remise de ce rapport, il est recommandé que Golder soit consultée lors de l'élaboration des plans et devis reliés aux considérations géotechniques afin de s'assurer qu'ils demeurent conformes à l'intention et aux recommandations de ce rapport.

Il est aussi recommandé que les services de Golder soient retenus durant la phase de construction afin de confirmer que les conditions souterraines sur l'ensemble du site ne diffèrent pas de façon significative de celles évoquées dans ce rapport et que les activités de construction n'ont aucun impact négatif sur les considérations géotechniques liées à la conception. À cet égard, il importe de souligner que le contrôle des eaux superficielles et/ou souterraines est fréquemment requis comme mesure temporaire ou permanente lors de la construction. Une mauvaise conception du drainage et/ou de l'assèchement peut avoir des conséquences néfastes. De même, les conditions souterraines peuvent être substantiellement modifiées par les activités de construction (circulation de machinerie, excavation, enfoncement de pieux, dynamitage, etc.) ayant cours sur le site ou sur les terrains adjacents ainsi que par l'exposition des sols aux intempéries (gel, sécheresse, pluie, etc.).

Golder ne pourra être tenue responsable de conditions souterraines imprévisibles ni de leurs impacts sur les coûts de construction et l'échéancier de réalisation des travaux. Golder ne pourra être tenue responsable de dommages résultant de conditions qui lui seraient inconnues, de l'inexactitude de données provenant d'autres sources que Golder et de changements ultérieurs aux conditions du site. Golder n'acceptera aucune responsabilité pour les effets de mesures de drainage et/ou d'assèchement à moins d'avoir été spécifiquement consultée et impliquée dans la conception et le suivi du système de drainage et/ou d'assèchement. Golder ne pourra être tenue responsable de dommages résultant de toutes modifications futures aux règlements, normes ou critères applicables de même que de toute utilisation faite du présent rapport par un tiers et/ou à des fins autres que celles pour lesquelles il a été rédigé, de perte de valeur réelle ou perçue du site ni de l'échec d'une quelconque transaction en raison des informations factuelles contenues dans ce rapport.

Le Client de même que tout entrepreneur réalisant des travaux qui s'inspirent de ou qui sont susceptibles d'avoir une incidence sur les considérations géotechniques évoquées dans ce rapport doivent informer

Golder ainsi que l'ingénieur concepteur de tout événement, activité, information, découverte passé, présent ou future susceptible de modifier les conditions souterraines décrites dans ce rapport et leur offrir la possibilité de réviser leurs recommandations ainsi que les plans de construction. Cette obligation couvre aussi le cas où les conditions rencontrées sur le site différeraient de façon significative de celles anticipées dans ce rapport, soit en raison de la variabilité naturelle des conditions souterraines ou en raison d'activités de construction. Il est entendu que la reconnaissance d'un changement des conditions du sol et du roc nécessite qu'un examen soit effectué sur le site par un professionnel qualifié et expérimenté dans la pratique de la géotechnique.

#### ÉVALUATION DES CONDITIONS SOUTERRAINES

Les travaux d'investigation souterraine effectués par Golder et décrits dans ce rapport furent réalisés conformément aux règles et pratiques professionnelles reconnues et acceptées au moment de leur réalisation. À moins d'avis contraire, les résultats de travaux antérieurs ou simultanés, provenant d'autres sources que Golder, cités et/ou utilisés dans ce rapport furent considérés comme ayant été obtenus en respectant les règles et pratiques professionnelles reconnues et acceptées et comme étant valides.

Les horizons de sols et de roc étant souvent de composition et de géométrie très variables, les descriptions de sondage ne permettent donc que d'estimer approximativement leurs caractéristiques et profils réels. Les contacts entre les différents horizons de sols et/ou de roc sont souvent graduels et, conséquemment, leurs emplacements sur les descriptions de sondage relèvent d'une certaine interprétation. De même, la classification et l'identification des sols et du roc implique une certaine part de jugement. Les descriptions de sol et de roc apparaissant dans ce rapport s'appuient sur des méthodes de classification et d'identification communément acceptées et rejoignent les exigences normales de la pratique professionnelle usuelle de la géotechnique. Par ailleurs, il importe de souligner que la précision des données recueillies et leur interprétation sont tributaires de différents facteurs dont la méthode de sondage, l'espacement entre les sondages, la profondeur d'investigation, la méthode d'échantillonnage, la fréquence d'échantillonnage de même que l'uniformité des conditions souterraines. Certains de ces facteurs, comme la méthode de sondage, l'espacement entre les sondages, la profondeur d'investigation, la méthode d'échantillonnage et la fréquence d'échantillonnage peuvent eux-mêmes être tributaires de contraintes physiques, budgétaires ou d'échéancier convenues avec le Client.

Dans tous les cas, on doit considérer que les résultats obtenus et présentés dans ce rapport ne s'appliquent qu'aux endroits où ont été réalisés les sondages, qu'aux profondeurs d'échantillonnage indiquées et qu'au moment de l'étude. Les conditions souterraines interprétées, tant physiques que quantitatives ou qualitatives, peuvent varier sensiblement entre et au-delà des sondages réalisés et des profondeurs d'échantillonnage indiquées.

Les mesures et caractéristiques de l'eau souterraine présentées dans ce rapport ne sont valables que pour les endroits et les dates spécifiées. Ces conditions peuvent en effet varier selon les saisons, les années ou en raison d'activités ou d'événements sur le site à l'étude ou sur des terrains adjacents.

Chez Golder Associés, nous mettons tout en oeuvre pour constituer le regroupement d'experts-conseils spécialisés en sciences de la terre et en environnement le plus respecté mondialement. Propriété de ses employés depuis sa création en 1960, notre entreprise se distingue par le caractère unique de sa culture fondée sur la fierté d'être actionnaire et générant un climat de stabilité à long terme. Nos professionnels prennent le temps de comprendre les besoins des clients et les contraintes spécifiques rattachées à leurs activités. Nous continuons à étendre notre expertise technique alors que nos effectifs continuent à croître de façon constante, effectifs qui sont aujourd'hui répartis à travers nos nombreux bureaux localisés en Afrique, en Asie, en Océanie, en Europe, en Amérique du Nord et en Amérique du Sud.

Afrique	+ 27 11 254 4800
Amérique du Nord	+ 1 800 275 3281
Amérique du Sud	+ 55 21 3095 9500
Asie	+ 852 2562 3658
Europe	+ 356 21 42 30 20
Océanie	+ 61 3 8862 3500

[solutions@golder.com](mailto:solutions@golder.com)  
[www.golder.com](http://www.golder.com)

**Golder Associés Ltée**  
**9200, boul. de l'Acadie, bureau 10**  
**Montréal (Québec) H4N 2T2**  
**Canada**  
**T: +1 (514) 383 0990**



