

# 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**

Sol	Poids volumique saturé (kN/m <sup>3</sup> )	E <sub>s</sub> (kPa)	E <sub>ur</sub> (kPa)
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**

Paramètre	Valeur
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 boulangerie 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
- Tecsult 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

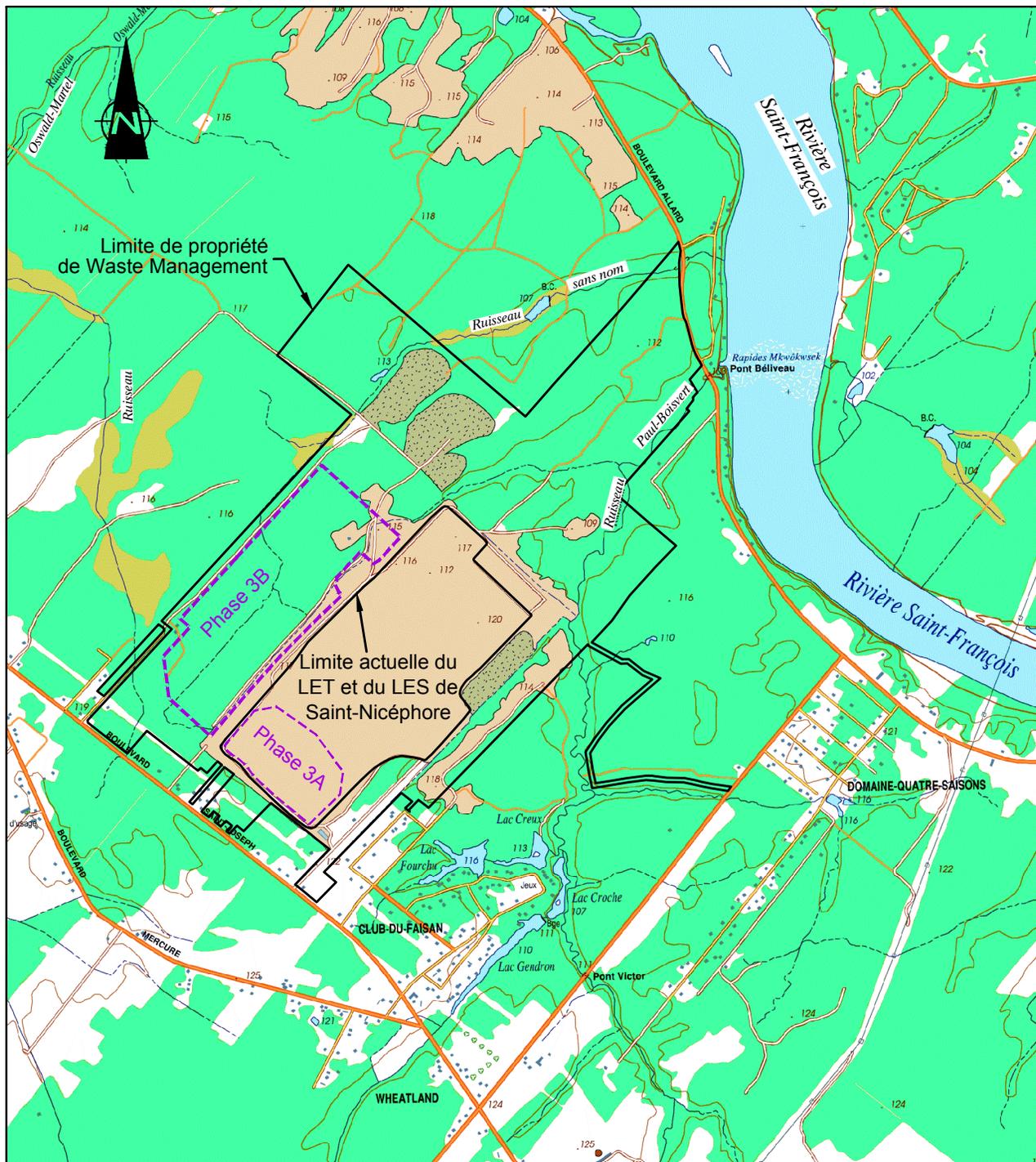
Notes :

- \* : 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



Légende:

--- Projet de développement du LET

Source:

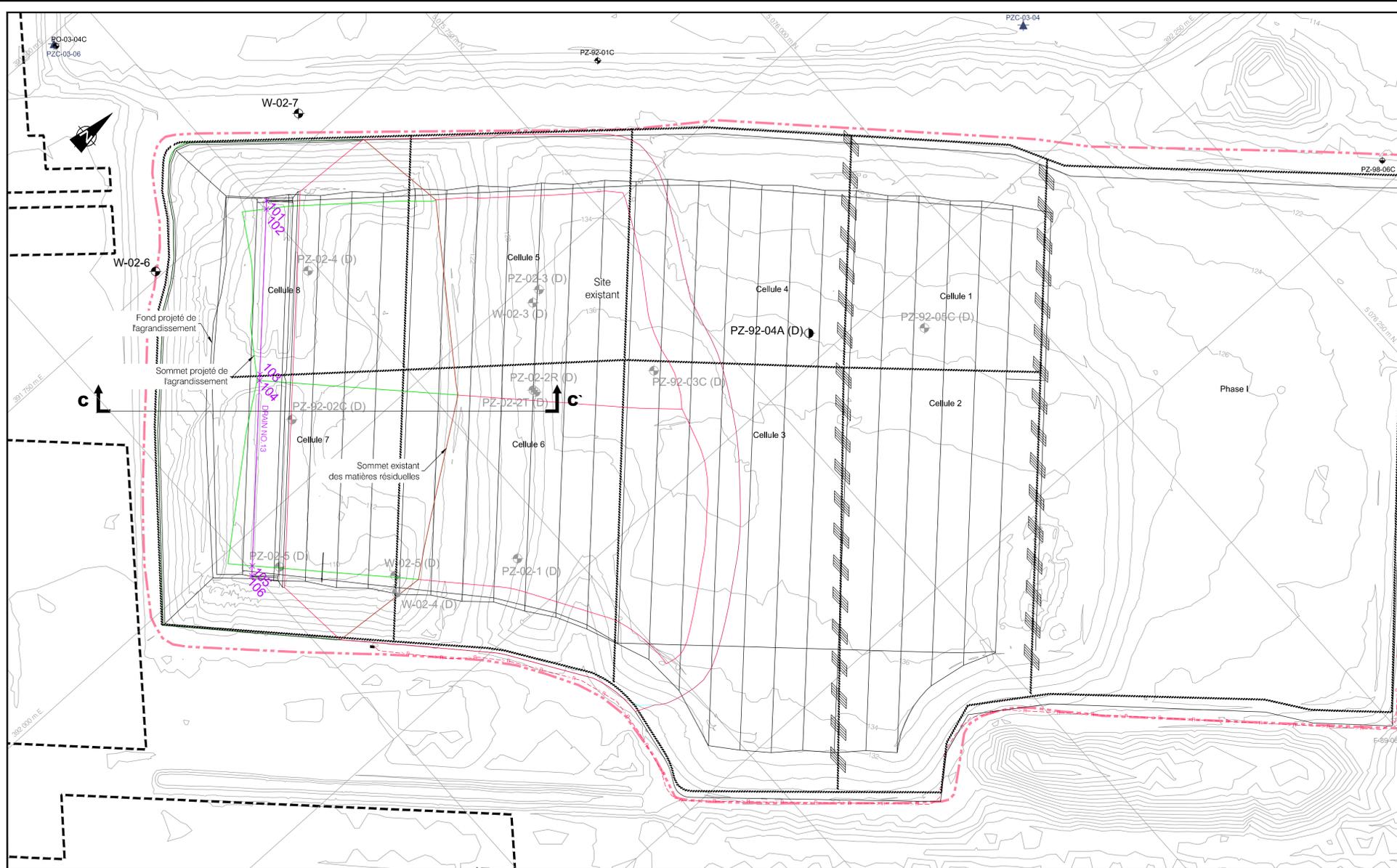
Ministère des Ressources naturelles  
Carte # 31H 16-0101, 1988



Date:	2010-11-25	Échelle:	1 : 25 000
Dessiné par:	R. Gravel	Projeté par:	P. Gince
Vérifié par:	M. Lemieux	Approuvé par:	J. Côté
No. de dessin	0912230048-2000-11	No. de projet:	09-1223-0048-2000



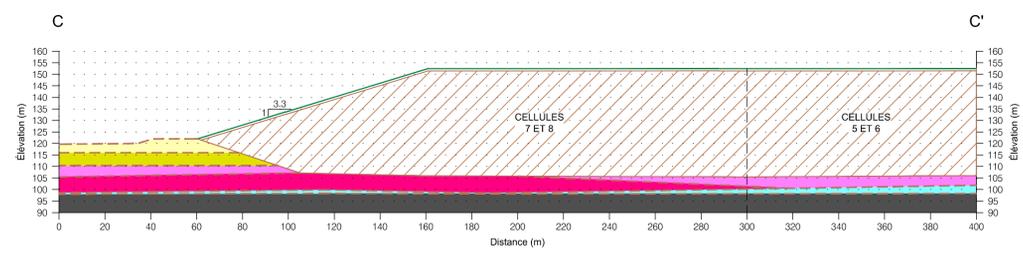
ANALYSES DE STABILITÉ ET CALCULS DE  
TASSEMENT AUX FUTURS SECTEURS  
D'EXPLOITATION DU LET DE  
SAINT-NICÉPHORE, QUÉBEC



VUE EN PLAN  
Échelle 1 : 2 500

- LÉGENDE:**
- Puits d'observation aménagé dans le till
  - Puits d'observation aménagé dans le till
  - Écran d'étanchéité en bentonite
  - Limite de propriété de Waste Management
  - Point de mesure des tassements
  - Coupe type pour analyse de stabilité

**SOURCE:**  
Plan # Base.dwg du projet LET Saint-Nicéphore  
Q120398 Etude d'impact d'agrandissement - Phase 3B  
3B Points pour vérifications du tassement fourni par Genivar le 10 novembre 2009



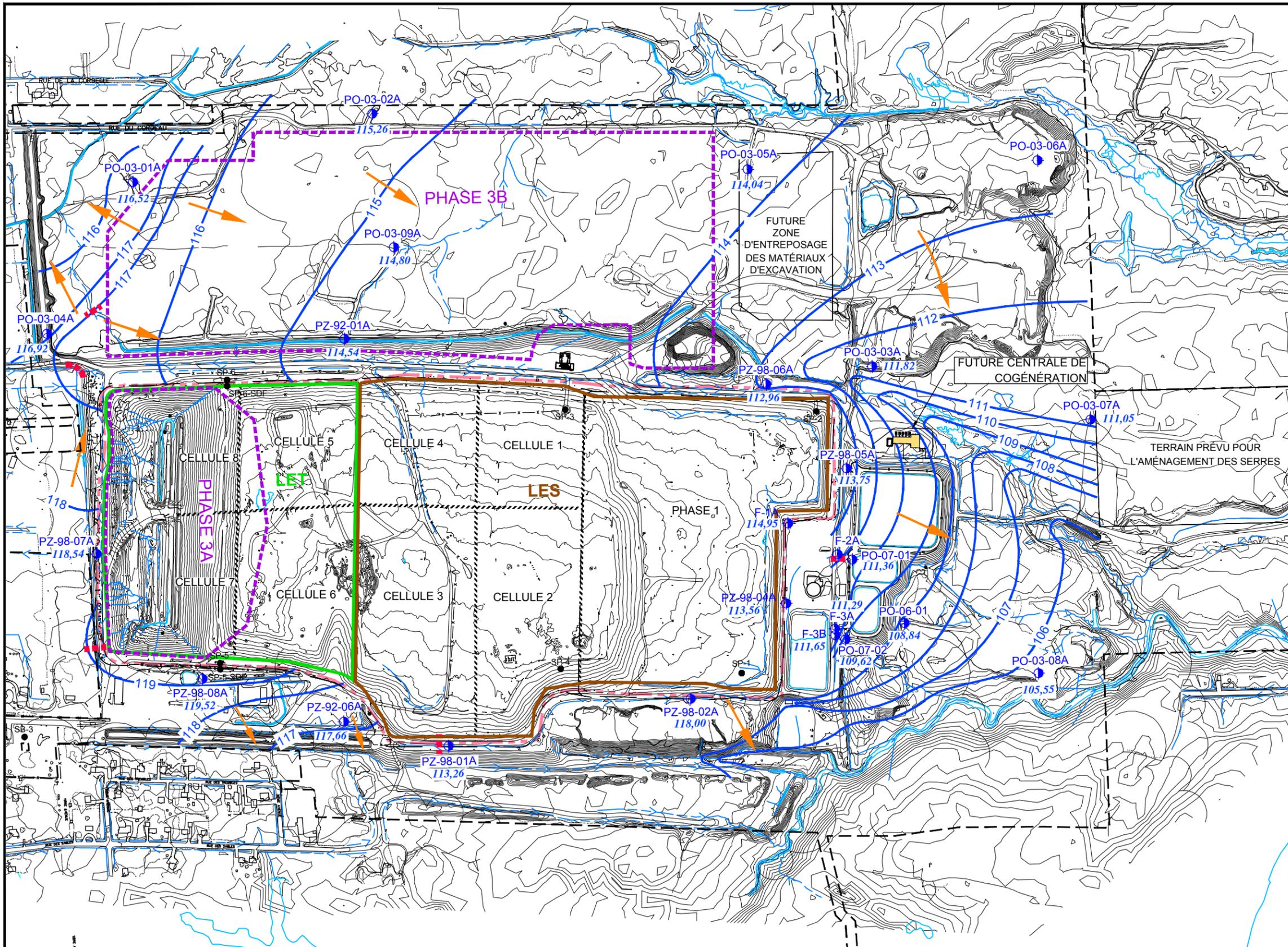
COUPE C-C'  
Échelle 1 : 1 500

- LÉGENDE:**
- Matières résiduelles
  - Sable lâche
  - Sable dense
  - Silt avec un peu d'argile
  - Argile silteuse
  - Till
  - Roc

La stratigraphie est une interprétation basée sur les sondages présentés dans le rapport de Tecsult (2005).

ANALYSES DE STABILITÉ ET CALCULS DE TASSEMENT AUX FUTURS SECTEURS D'EXPLOITATION DU LET DE SAINT-NICÉPHORE, QUÉBEC				
VUE EN PLAN ET COUPE STRATIGRAPHIQUE SECTEUR PHASE 3A				
	No. DE PROJET:	09-1223-0048	DATE:	2010-11-30
	No. DE FICHIER:	0912230048-2000-17	ÉCHELLE:	-
	DESSINÉ:	R. GRAVEL		
	PROJETÉ:	P. GINCE		
	VÉRIFIÉ:	M. LEMIEUX		
APPR:	J. CÔTÉ			2





- LÉGENDE:**
- Puits d'observation aménagé dans le sable de surface
  - Direction d'écoulement des eaux souterraines (juin 2008)
  - Isocontour de la charge hydraulique (m) (juin 2008)
  - Niveau de l'eau souterraine (m) (juin 2008)
  - Station de pompage
  - Fossé de drainage
  - Écran d'étanchéité en bentonite
  - Limite de propriété de Waste Management
  - Projet de développement du LET
  - Limite de partage des eaux de surface

- NOTE:**
- PO-07-XX (Golder, 2007)
  - PO-06-XX (Golder, 2006)
  - PO-04-XX (Golder, 2004)
  - PO-03-XX (Tecsult, 2003)
  - PP-03-XX (Tecsult, 2003)
  - PZC-03-XX (Tecsult, 2003)
  - W-02-XX (Golder, 2002)
  - PZ-02-XX (Golder, 2002)
  - PZ-98-XX (Shermont, 1998)
  - PZ-92-XX (Hydrogéologie Canada, 1992)
  - F-XX (Monteval, 1991)

**SOURCE:**  
 CARTE DE BASE DE GÉNIVAR  
 (NOVEMBRE 2010)



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

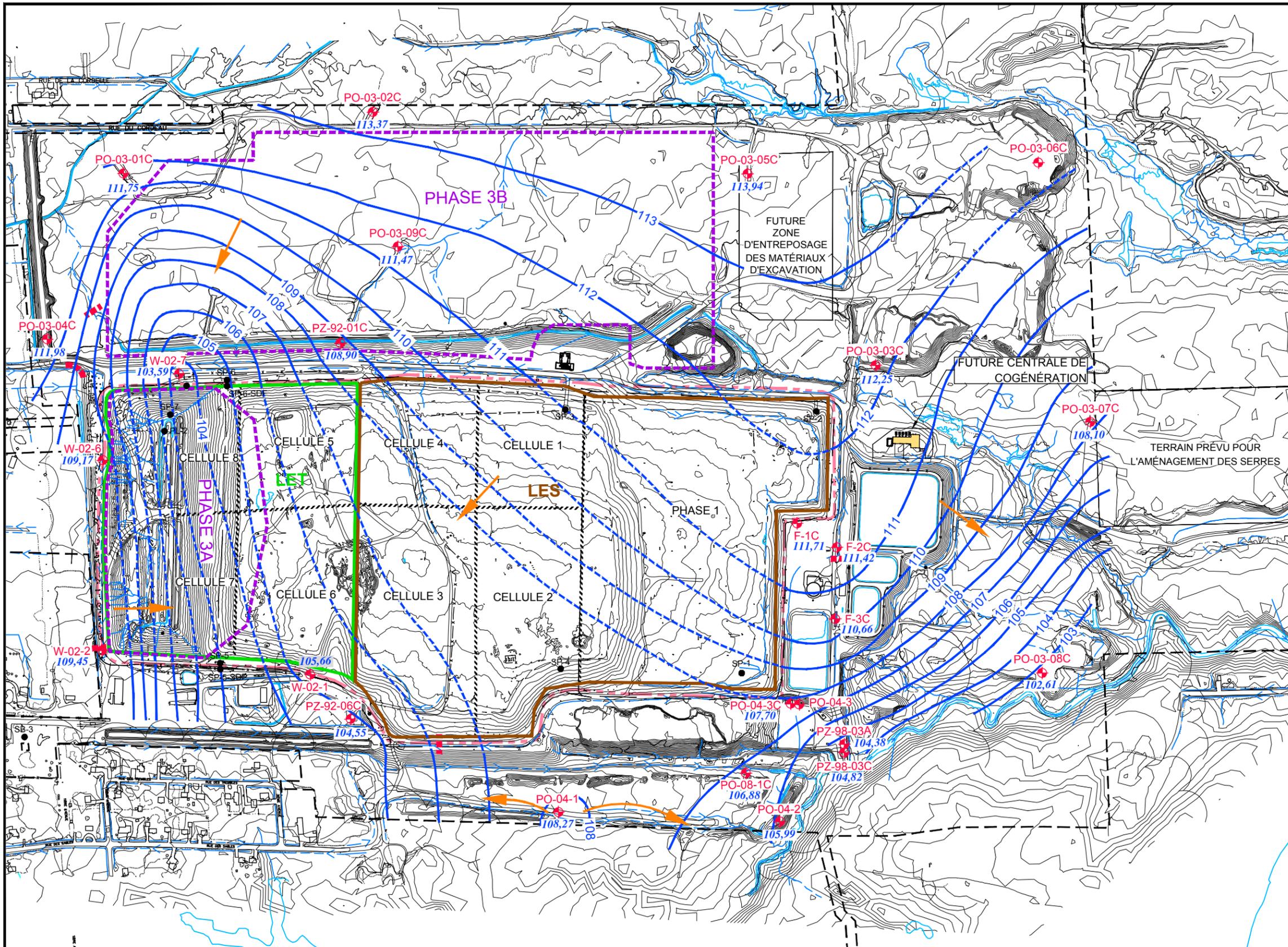
Date:	2010-11-25	Échelle:	1 : 7 500
Dessiné par:	S. Betesky	Projeté par:	M.-J. Gauthier
Vérifié par:	J. Côté	Approuvé par:	J. Côté
No. de dessin:	0912230048-2000-14	No. de projet:	09-1223-0048-2000



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

PIEZOMÉTRIE DE LA NAPPE LIBRE DE SURFACE  
 JUIN 2008

FIGURE  
**4A**



- LÉGENDE:**
- Puits d'observation aménagé dans le till/roc
  - Direction d'écoulement des eaux souterraines (août 2008)
  - Isocontour de la charge hydraulique (m) (août 2008)
  - Niveau de l'eau souterraine (m) (août 2008)
  - Station de pompage
  - Fossé de drainage
  - Écran d'étanchéité en bentonite
  - Limite de propriété de Waste Management
  - Projet de développement du LET
  - Limite de partage des eaux de surface

- NOTE:**
- PO-08-XX (Golder, 2008)
  - PO-04-XX (Golder, 2004)
  - PO-03-XX (Tecsult, 2003)
  - PP-03-XX (Tecsult, 2003)
  - PZC-03-XX (Tecsult, 2003)
  - W-02-XX (Golder, 2002)
  - PZ-02-XX (Golder, 2002)
  - PZ-98-XX (Shermont, 1998)
  - PZ-92-XX (Hydrogéologie Canada, 1992)
  - F-XX (Monteval, 1991)

**SOURCE:**  
 CARTE DE BASE DE GÉNIVAR  
 (NOVEMBRE 2010)



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

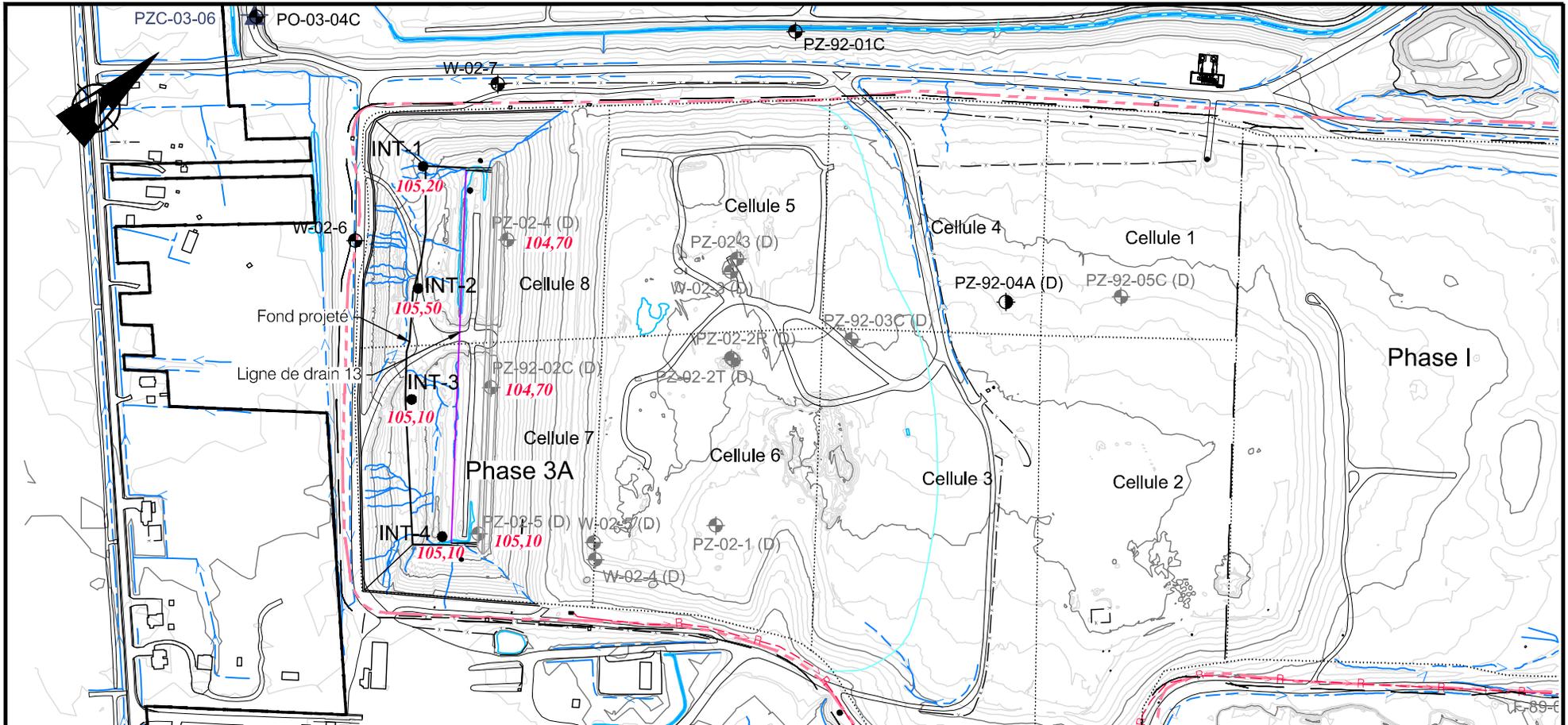
Date:	2010-11-24	Échelle:	1 : 7 500
Dessiné par:	S. Betnesky	Projeté par:	M.-J. Gauthier
Vérifié par:	J. Côté	Approuvé par:	J. Côté
No. de dessin:	0912230048-2000-14	No. de projet:	09-1223-0048-2000



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

PIEZOMÉTRIE DE L'AQUIFÈRE SEMI-CAPTIF  
 AOÛT 2008

FIGURE  
**4B**



**LÉGENDE:**

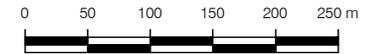
-  Puits d'observation aménagé dans le till/roc
-  PZ-02-4 (D) Puits démantelé
-  Sondage au piézocône
-  Fossé de drainage
-  Limite de propriété de Waste Management
-  Écran d'étanchéité en bentonite

**NOTE:**

- PO-08-XX (Golder, 2008)
- PO-04-XX (Golder, 2004)
- PO-03-XX (Tecsult, 2003)
- PZ-03-XX (Tecsult, 2003)
- W-02-XX (Golder, 2002)
- PZ-02-XX (Golder, 2002)
- PZ-98-XX (Shermont, 1998)
- PZ-92-XX (Hydrogéologie Canada, 1992)

**SOURCE:**

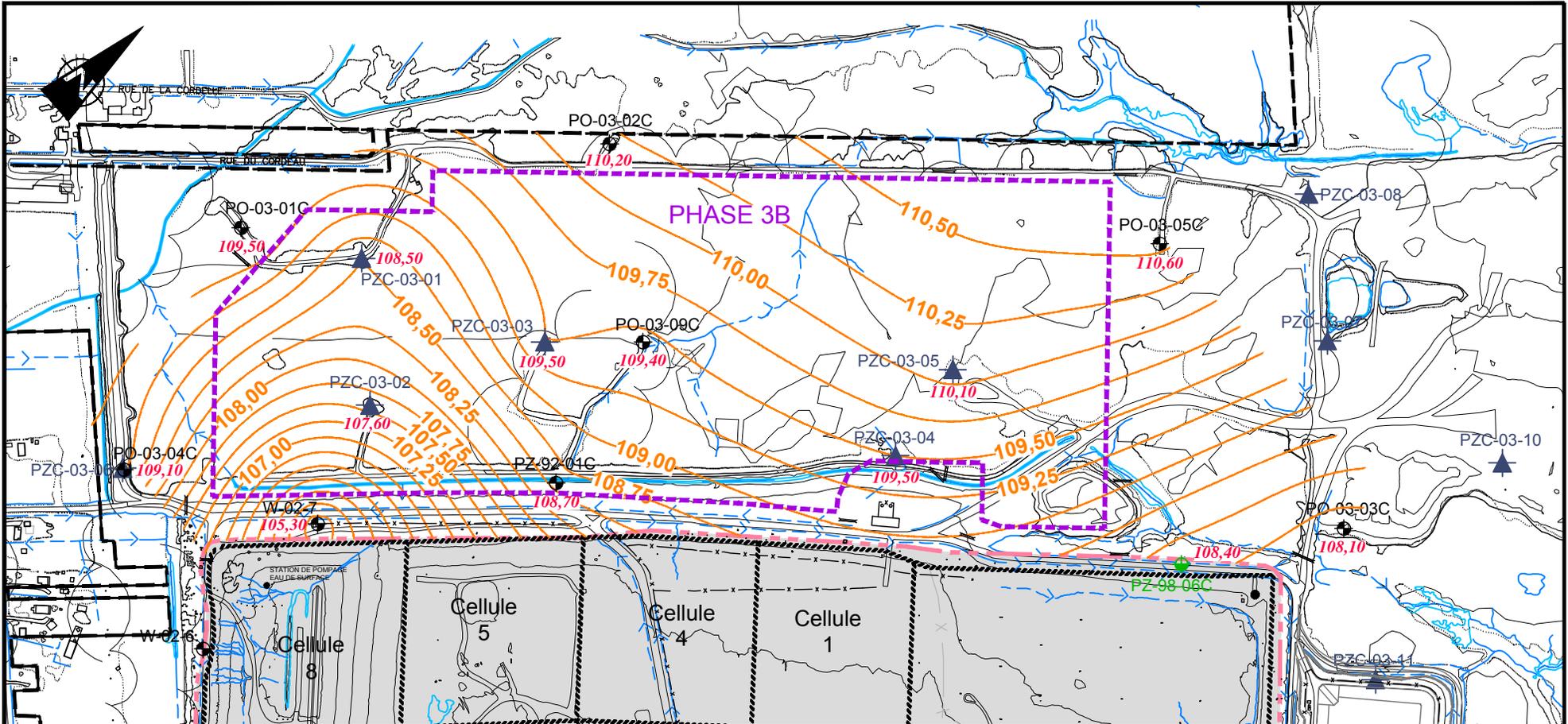
Plan de base fourni par Genivar (Novembre 2010)



Date:	2010-11-25	Échelle:	1 : 6 000
Dessiné par:	R. Gravel	Projeté par:	P. Gince
Vérifié par:	J. Côté	Approuvé par:	J. Côté
No. de dessin:	0912230048-2000-15	No. de projet:	09-1223-0048-1000



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



**LÉGENDE:**

- Puits d'observation aménagé dans le till/roc
- Sondage au piézocône
- Fossé de drainage
- Limite de propriété de Waste Management
- Écran d'étanchéité en bentonite

- 109,00 Isocontour du fond d'excavation minimum (m)
- 105,30 Élévation minimum du fond excavation (m)

**NOTE:**

- PO-08-XX (Golder, 2008)
- PO-04-XX (Golder, 2004)
- PO-03-XX (Tecsult, 2003)
- PZC-03-XX (Tecsult, 2003)
- W-02-XX (Golder, 2002)
- PZ-02-XX (Golder, 2002)
- PZ-98-XX (Shermont, 1998)
- PZ-92-XX (Hydrogéologie Canada, 1992)

**SOURCE:**

CARTE DE BASE DE GÉNIVAR (NOVEMBRE 2010)



Date:	2010-11-25	Échelle:	1 : 7 500
Dessiné par:	R. Gravel	Projeté par:	P. Gince
Vérifié par:	J. Côté	Approuvé par:	J. Côté
No. de dessin:	0912230048-2000-16	No. de projet:	09-1223-0048-1000

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

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

ÉLÉVATIONS MINIMALES DES FONDS D'EXCAVATION  
 SECTEUR PHASE 3B

FIGURE  
**6**