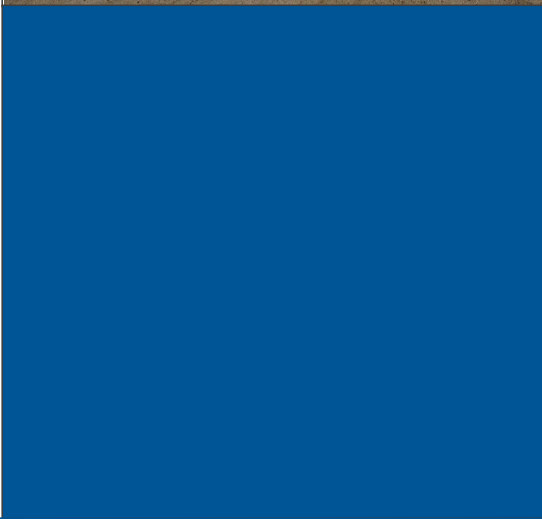
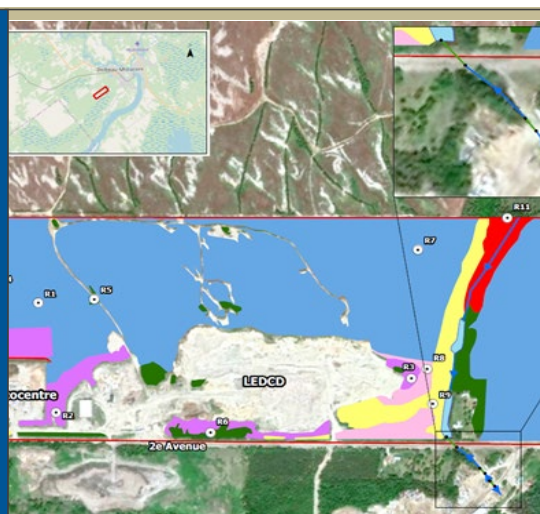




# Étude d'impact sur l'environnement du projet de LET de Dolbeau-Mistassini

Étude de stabilité  
Émis pour MELCC



Projet : 00796TTA

Révision : 00

2021-12-09



# Étude de stabilité

Projet : 00796TTA  
Rév. 00  
2021-12-09


## PRÉSENTÉ À

**Excavation Dolbeau inc.**  
981, 2<sup>e</sup> Avenue  
Dolbeau-Mistassini (Québec) G8L 1V3

## PRÉSENTÉ PAR

**Tetra Tech QI inc.**  
1205, rue Ampère, bureau 310  
Boucherville (Québec) J4B 7M6

Préparé par :



Pierre Boulanger  
Ingénieur, M.Sc.A.  
N° OIQ : 107876



---

### SUIVI DES RÉVISIONS

RÉVISION	DATE	DESCRIPTION	PRÉPARÉ PAR
00	9 DÉCEMBRE 2021	ÉMIS POUR MELCC	PB/AH



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1.0 INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>2.0 DONNÉES DE BASE</b> .....	<b>2</b>
2.1 Caractéristiques des matériaux.....	2
2.2 Paramètres sismiques - Sismicité du site .....	3
2.2.1 Catégorie d'emplacement.....	3
2.2.2 Aléa sismique .....	3
2.2.3 Magnitude .....	4
2.2.4 Analyse pseudo-statique .....	4
2.2.5 Potentiel de liquéfaction des sols .....	4
<b>3.0 ANALYSES</b> .....	<b>4</b>
3.1 Coupes types .....	5
3.2 Paramètres géotechniques .....	5
3.3 Niveau de la nappe d'eau souterraine .....	5
3.4 Méthodologie et conditions de chargement .....	6
3.4.1 Stabilité statique et pseudo-statique .....	6
3.4.2 Analyse des tassements.....	7
3.4.3 Analyse du potentiel de liquéfaction des sols.....	9
3.4.3.1 Méthode simplifiée d'Idriss et Boulanger (2008) .....	9
<b>4.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS</b> .....	<b>11</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Localisation du site.....	1
Figure 2-1 : Localisation des forages .....	2
Figure 3-1 : Localisation des coupes.....	5
Figure 3-2 : Tassements prévus – Coupe BB est .....	7
Figure 3-3 : Tassements prévus – Coupe BB ouest .....	8
Figure 3-4 : Tassements prévus – Coupe 0+850 .....	8

---

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau 2-1 : Propriétés des sols prélevés au site .....	3
Tableau 2-2 : Aléa sismique pour la catégorie d'emplacement « C » au site.....	3
Tableau 3-1 : Conditions de chargement pour l'analyse de stabilité géotechnique .....	6
Tableau 3-2 : Résumé des résultats de l'analyse de stabilité .....	6
Tableau 3-3 : Forage PO-01 – CRR, CSR et facteur de sécurité .....	9
Tableau 3-4 : Forage PO-02 – CRR, CSR et facteur de sécurité .....	10
Tableau 3-5 : Forage PO-03 – CRR, CSR et facteur de sécurité .....	10
Tableau 3-6 : Forage PO-04 – CRR, CSR et facteur de sécurité .....	10
Tableau 3-7 : Forage PO-05 – CRR, CSR et facteur de sécurité .....	10
Tableau 3-8 : Forage PO-06 – CRR, CSR et facteur de sécurité .....	10
Tableau 3-9 : Forage PO-07 – CRR, CSR et facteur de sécurité .....	11
Tableau 3-10 : Forage PO-08 – CRR, CSR et facteur de sécurité .....	11

---

## ANNEXES

---

Annexe A – Aléa sismique

Annexe B – Stabilité des pentes – Coupes types



## 1.0 INTRODUCTION

Tetra Tech QI inc. (Tetra Tech) a été mandaté par Excavation Dolbeau inc. (Excavation Dolbeau) pour réaliser l'étude de stabilité de son futur lieu d'enfouissement technique (LET) situé à Dolbeau. Cette étude géotechnique vise plus particulièrement à statuer sur sa conformité selon le *Manuel canadien d'ingénierie des fondations* [réf. 15].

La réalisation de l'étude géotechnique a été développée selon les étapes suivantes :

1. Réalisation d'une investigation géotechnique ;
2. Révision de l'investigation et détermination des propriétés des matériaux ;
3. L'analyse des tassements prévus à long terme pour l'aménagement final (1 section longitudinale) ;
4. L'analyse de stabilité selon la géométrie finale (6 sections) ;
5. L'analyse du potentiel de liquéfaction des sols ;
6. Recommandations.

Le lieu d'enfouissement est situé au 981, 2<sup>e</sup> Avenue, Dolbeau-Mistassini (Québec). Le terrain à l'étude a une superficie de 36 hectares dans une ancienne bleuetière. La **Figure 1-1** montre la localisation du site.



Figure 1-1 : Localisation du site

## 2.0 DONNÉES DE BASE

### 2.1 CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

Une étude de caractérisation des sols a été réalisée au printemps 2019 par Groupe Conseil SCT inc. [réf. 1]. Ces travaux visaient à déterminer, par l'entremise de 12 forages, la nature des sols et/ou le roc et les propriétés physiques des sols du futur LET. Le rapport géotechnique est présenté à l'**Annexe A**.

La position approximative des forages est montrée sur la **Figure 2-1**.



**Figure 2-1 : Localisation des forages**

Selon l'étude géotechnique du Groupe Conseil SCT, le dépôt au site est constitué principalement d'un sable avec trace à un peu de silt à un silt avec un peu à trace de sable et d'argile. On retrouve à certains endroits et à différentes profondeurs des couches constituées de silt argileux, silt sableux et un sable silteux à un peu de silt. La compacité va de lâche à dense. Selon la *classification unifiée de sols [USCS]*, les différentes couches du sol retrouvées dans le dépôt correspondent à un SM, SP et ML. Le socle rocheux n'a jamais été intercepté dans les 12 forages.

Les propriétés des couches (selon leur compacité) des sols, utilisées dans les analyses, sont présentées dans le Tableau suivant et proviennent de l'étude géotechnique réalisée par Groupe Conseil SCT et de la littérature [réf. 1], [réf. 2].

Tableau 2-1 : Propriétés des sols prélevés au site

Sol	Poids volumique	Cohésion effective	Angle de frottement effectif	Classification unifiée de sols
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\Phi$ (°)	(USCS)
Sable silteux ou un peu de silt et traces de gravier, compact	18,1	0	33°	SM
Sable avec traces de silt et/ou gravier, lâche	17,7	0	33°	SP
Sable avec traces de silt et/ou gravier, compact	18,6	0	35°	SP
Silt sableux, dense	17,2	0	32°	ML
Silt sableux, compact	16,7	0	30°	ML
Matières résiduelles	11,5	5	25°	

Les propriétés des matières résiduelles ont été évaluées selon les valeurs typiques retrouvées dans la littérature scientifique [réf. 3]. Compte tenu de la grande variabilité des propriétés mécaniques sous différentes conditions de surcharge, teneur en eau et de la composition des matières résiduelles, des propriétés mécaniques dites conservatives ont été utilisées dans les analyses. Les valeurs utilisées pour définir les propriétés des matières résiduelles se retrouvent dans le **Tableau 2-1**.

## 2.2 PARAMÈTRES SISMQUES - SISMICITÉ DU SITE

### 2.2.1 Catégorie d'emplacement

Selon les logs de forage réalisés par Groupe Conseil SCT, le futur site repose sur un dépôt meuble. Pour ce type de sol, le *Code national du bâtiment du Canada (CNBC), édition 2015* [réf. 4], détermine les catégories d'emplacement en fonction de la vitesse moyenne des ondes de cisaillement ( $V_s$ ) ou de la résistance moyenne à la pénétration standard,  $N_{60}$ . Étant donné que les profils des  $N_{60}$  sont connus, la catégorie d'emplacement du dépôt sous la cellule considérée est « E » : sol meuble ( $15 < N_{60} \leq 50$ ).

### 2.2.2 Aléa sismique

L'aléa sismique nécessaire aux calculs de stabilité fournie par la *Commission géologique du Canada (CGC)* [réf. 5] a été utilisé pour définir le coefficient d'accélération horizontale (**Annexe B**). L'aléa sismique donne des valeurs moyennes d'accélération spectrale pour différentes périodes ainsi que des valeurs moyennes d'accélération maximale du sol (AMS). Ces valeurs spectrales sont déterminées pour la catégorie d'emplacement de sol de classe « C » en fonction des coordonnées géographiques du site.

Le **Tableau 2-2** montre les données sismiques pour la catégorie de référence « C » dans le secteur de Dolbeau-Mistassini.

Tableau 2-2 : Aléa sismique pour la catégorie d'emplacement « C » au site

Récurrence	Valeurs moyennes d'aléa sismique										
	$S_a$ (0,05)	$S_a$ (0,1)	$S_a$ (0,2)	$S_a$ (0,3)	$S_a$ (0,5)	$S_a$ (1,0)	$S_a$ (2,0)	$S_a$ (5,0)	$S_a$ (10,0)	PGV (m/s)	AMS (g)
500 ans	0,146	0,184	0,160	0,125	0,090	0,046	0,022	0,005	0,002	0,100	0,070
1 000 ans	0,267	0,322	0,272	0,207	0,146	0,073	0,034	0,009	0,003	0,173	0,117
2 500 ans	0,517	0,598	0,497	0,374	0,262	0,127	0,059	0,016	0,006	0,315	0,215

### 2.2.3 Magnitude

La magnitude du séisme est calculée à l'aide des données de désagrégation obtenues par la CGC pour une récurrence d'évènement sismique de 1:1000 ans. Ces données ont été calculées à l'aide de la 5<sup>e</sup> génération du modèle de l'aléa sismique du Canada et elles ont été adoptées par NBCC2015 [réf. 5]. Le modèle (entièrement probabiliste) exprime la magnitude des séismes en termes de magnitude de moment ( $M_w$ ). La magnitude de moment est celle utilisée dans le cas de l'analyse du potentiel de liquéfaction.

La période naturelle du site à partir des logs des forages varie entre **0,52 s et 0,93 s**. Dans le cas présent, la période naturelle de **0,75 s** a été utilisée pour déterminer la magnitude de conception. Celle-ci a été estimée à **6,45** et elle est présentée au **Tableau 2-5**.

### 2.2.4 Analyse pseudo-statique

La stabilité contre le glissement d'un ouvrage en terre en réponse à une sollicitation dynamique est évaluée à l'aide d'une analyse pseudo-statique pour un évènement d'une récurrence 1 : 2 500 ans. L'effet du séisme est exprimé par une force horizontale équivalente. La magnitude de cette force est considérée comme une fraction du poids de l'ouvrage et est définie comme le coefficient sismique. Le coefficient sismique horizontal ( $K_H$ ) est égal à 50 % de l'Accélération Maximale de Surface (AMS) ressentie par l'ouvrage et doit être ajusté selon le type de fondation en fonction du potentiel d'amplification ou d'atténuation du dépôt.

Dû au fait que la cellule d'enfouissement est appuyée sur un sol consistant (catégorie d'emplacement E) et que la valeur de l'AMS est en fonction d'un sol très dense (catégorie d'emplacement C), le coefficient d'accélération  $F_a$  donné par le CNBC 2015 est utilisé pour trouver les accélérations maximales au sol (AMS) pour un sol de catégorie d'emplacement D. Le coefficient sismique horizontal est utilisé pour la vérification de la stabilité pseudo-statique de l'ouvrage dans la direction horizontale [réf. 6]. Dans ce cas, ce coefficient correspond à 50 % de l'accélération maximale au sol (AMS) multipliée par le coefficient d'accélération  $F_a$ .

$$K_{H,AMS} = 50\% \times AMS \times F_a = 0,5 \times 0,315g \times 1,09 = 0,172g$$

### 2.2.5 Potentiel de liquéfaction des sols

L'analyse du potentiel de liquéfaction des sols (voir section 3.4.4), selon la méthode simplifiée de l'EERI (2008) [réf. 7], fait interagir l'AMS modifié pour tenir compte du fait que la cellule est appuyée sur un sol meuble. L'accélération utilisée est de **0,189 g** ( $F_a \times AMS$ ) qui correspond à une accélération d'une récurrence 1 : 1 000 ans. La magnitude de conception est de **6,45** pour une période naturelle estimée à **0,70 s**.

## 3.0 ANALYSES

Cette section présente les analyses de stabilité, de tassements et de potentiel de liquéfaction. Les dessins de conception ont permis de sélectionner les sections de la cellule les plus critiques à analyser, en fonction de la géométrie et des conditions des sols en place. Les informations stratigraphiques, piézométriques et les résultats d'essais de laboratoire réalisés par le laboratoire Groupe Conseil SCT au printemps 2019 ont été utilisés pour les fins de l'analyse. Les modules SLOPE/W et SIGMA/W de la suite GeoStudio 2021 ont été utilisés pour les analyses. Les résultats de l'analyse de stabilité sont présentés en termes des facteurs de sécurité et des cercles de rupture. Les analyses de tassement sont présentées sous forme de tassement absolu. Finalement, le potentiel de liquéfaction de sols a été estimé à l'aide des critères en vigueur pour l'évaluation de la susceptibilité à la liquéfaction des sols granulaires.

### 3.1 COUPES TYPES

La géométrie du LET projeté a été définie à partir des dessins de conception suivants : 00796TTA-ENV-C001, C003 et C004. Ces dessins ont été émis en mai 2021 avec une révision D. La **Figure 3-1** montre l'endroit des coupes qui ont été analysées. L'**Annexe C** présente les coupes types utilisées pour la modélisation numérique qui se base sur la stratigraphie rencontrée dans les 12 forages.

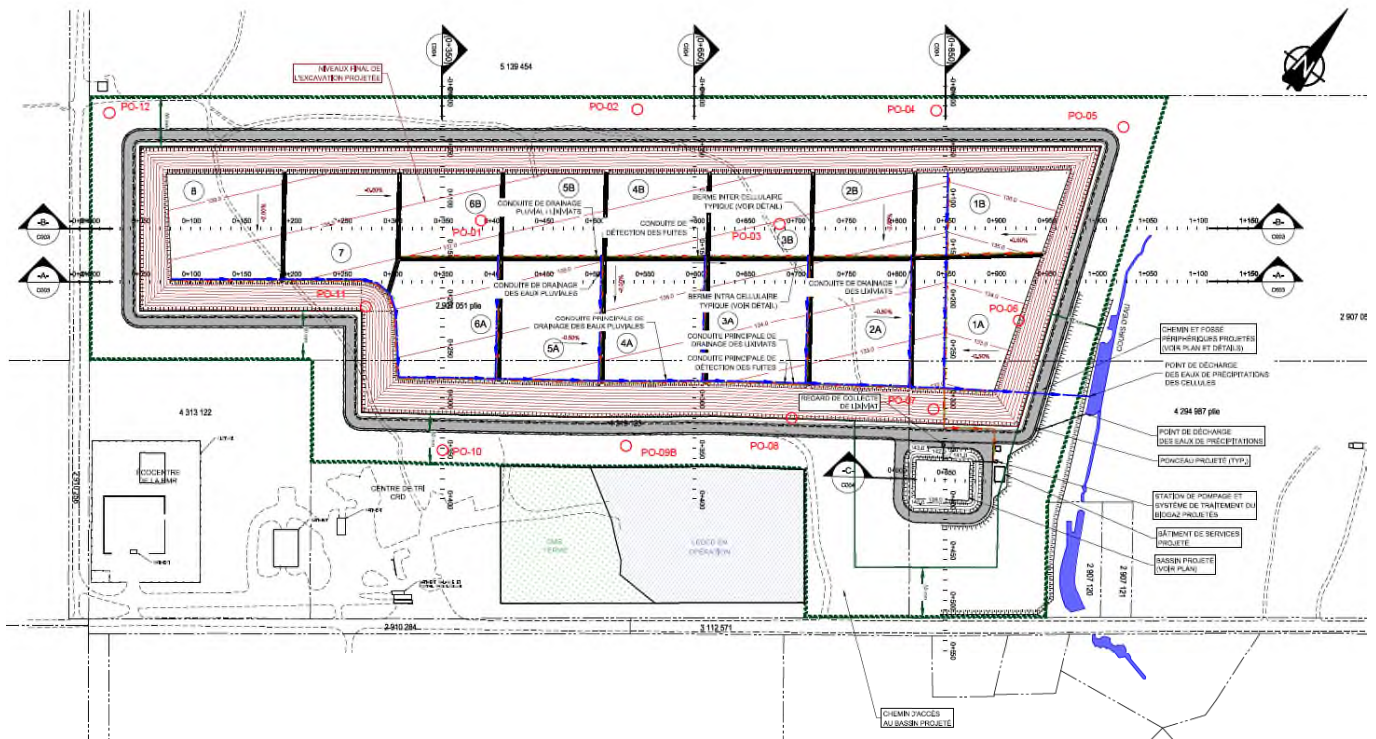


Figure 3-1 : Localisation des coupes

### 3.2 PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES

Les propriétés des matériaux utilisés pour les analyses (voir **Tableau 2-1**) proviennent de l'étude géotechnique et de la littérature. La stratigraphie des sections étudiées est montrée sur les coupes types utilisées pour l'analyse de la stabilité (**Annexe C**).

### 3.3 NIVEAU DE LA NAPPE D'EAU SOUTERRAINE

Selon les relevés effectués par Groupe Conseil SCT, le niveau de l'eau souterraine se situait, en avril 2019, à des élévations géodésiques variant entre 129,6 m et 134,64 m sur l'ensemble du secteur visé par le projet. Dans le cadre de la présente étude, la nappe est située en dessous du fond de la cellule.

### 3.4 MÉTHODOLOGIE ET CONDITIONS DE CHARGEMENT

L'analyse de la stabilité du LET a été réalisée à l'aide du logiciel Geo-Studio® 2021. Les modules suivants ont été utilisés :

- SIGMA / W : permet d'analyser des contraintes et des déformations des dépôts, ouvrages en terre, excavation, etc. Ses différentes lois (élastique et élastoplastique) permettent d'analyser à la fois des problèmes simples et complexes pour différents types de sols rencontrés ;
- SLOPE /W : permet d'évaluer la stabilité contre le glissement des pentes amont et aval suivant l'équilibre aux limites. La méthode Morgenstern-Price, en contraintes effectives, est utilisée puisqu'elle satisfait à la fois l'équilibre des forces et des moments pour des cercles de rupture circulaire. Les cercles de rupture sont limités à plus d'un mètre de profond pour éviter l'analyse des ruptures superficielles et sont ensuite optimisés pour identifier le glissement le plus défavorable.

Toutes les conditions de chargement sont résumées en détail au **Tableau 3-1** ainsi que les pentes affectées aux calculs.

**Tableau 3-1 : Conditions de chargement pour l'analyse de stabilité géotechnique**

Cas étudiés	Régime hydraulique	Méthode	Type de rupture	Chargement	F.S. Admissible
Aménagement final	Permanent	Morgenstern-Price	Circulaire	Statique Pseudo-statique	$\geq 1,5$ $\geq 1,0$
Potentiel de liquéfaction	Permanent	Idriss et Boulanger (2008) et Bray et coll. (2004)	Liquéfaction	Pseudo-statique	$\geq 1,0$

#### 3.4.1 Stabilité statique et pseudo-statique

Les résultats des analyses de stabilité statique et pseudo-statique sont présentés en détail au **Tableau 3-2** pour les pentes amont et aval pour tous les cas étudiés. Tous les cas modélisés numériquement et les figures montrant les cercles de rupture sont disponibles en **Annexe C** sous forme graphique.

**Tableau 3-2 : Résumé des résultats de l'analyse de stabilité**

Cas étudiés	Chargement	F.S. Admissible	Figures de l'Annexe C	FS critique
Coupe AA – côté est	Statique	1,5	Figure 1	<b>2,17</b>
Coupe AA – côté ouest	Statique	1,5	Figure 2	<b>2,35</b>
Coupe AA – côté est	Pseudo-statique	1,0	Figure 3	<b>1,40</b>
Coupe AA – côté ouest	Pseudo-statique	1,0	Figure 4	<b>1,49</b>
Coupe BB – côté est	Statique	1,5	Figure 5	<b>2,27</b>
Coupe BB – côté ouest	Statique	1,5	Figure 6	<b>2,22</b>
Coupe BB – côté est	Pseudo-statique	1,0	Figure 7	<b>1,39</b>
Coupe BB – côté ouest	Pseudo-statique	1,0	Figure 8	<b>1,37</b>
Coupe 0+350 – côté nord	Statique	1,5	Figure 9	<b>2,28</b>
Coupe 0+350 – côté sud	Statique	1,5	Figure 10	<b>2,18</b>
Coupe 0+350 – côté nord	Pseudo-statique	1,0	Figure 11	<b>1,43</b>
Coupe 0+350 – côté sud	Pseudo-statique	1,0	Figure 12	<b>1,38</b>
Coupe 0+650 – côté nord	Statique	1,5	Figure 13	<b>2,29</b>
Coupe 0+650 – côté sud	Statique	1,5	Figure 14	<b>2,20</b>
Coupe 0+650 – côté nord	Pseudo-statique	1,0	Figure 15	<b>1,34</b>
Coupe 0+650 – côté sud	Pseudo-statique	1,0	Figure 16	<b>1,32</b>
Coupe 0+850 – côté nord	Statique	1,5	Figure 17	<b>2,36</b>
Coupe 0+850 – côté sud	Statique	1,5	Figure 18	<b>2,13</b>
Coupe 0+850 – côté nord	Pseudo-statique	1,0	Figure 19	<b>1,39</b>
Coupe 0+850 – côté sud	Pseudo-statique	1,0	Figure 20	<b>1,38</b>




Les résultats des analyses de stabilité montrent que les facteurs de sécurité critiques respectent les facteurs de sécurité admissibles. Il est important de mentionner ici que les remblais et les chemins d'accès qui agissent comme confortement soient densifiés et soient construits avec un sable et gravier avec un peu de fins (<10 % de passant 80 microns) dont la densité au Proctor modifié atteint 90 %.

### 3.4.2 Analyse des tassements

Les analyses de tassement ont pour objectif d'optimiser les configurations de la berme et des matières résiduelles et de confirmer le profil du fond des cellules d'enfouissement pour assurer de respecter les pentes minimales demandées pour le réseau de collecte des lixiviats.

Pour l'analyse du tassement, les sections nord-sud de la coupe 0+850 et est-ouest de la coupe B-B ont été utilisées. Les tassements totaux et différentiels, retrouvés dans ces deux axes, représentent les valeurs estimées les plus critiques sur le site GeoStudio, qui est un logiciel d'éléments finis 2D qui a été utilisé pour l'analyse du tassement. Ce logiciel simule de manière adéquate le comportement de compression d'un sol avec le modèle *Hardening/Softening Mohr-Coulomb*. Ce modèle suppose un comportement élastique des matériaux lors du déchargement et du rechargement pour les matériaux granulaires.

Les Figures 3-2 à 3-4 montrent les tassements probables post construction du site en considérant que le remplissage se réalise sur plusieurs années. Le différentiel de tassement le plus important est estimé à  $\pm 20$  cm vers le centre de la cellule sur les coupes BB est et ouest, ce qui représente une pente d'environ 0,07 %. Dans l'axe nord-sud (coupe 0+850), la pente est estimée aussi à environ  $\pm 0,07$  % vers le centre de la cellule avec un tassement différentiel maximal d'environ 10 cm. Les déplacements absolus minimal et maximal sont respectivement de  $\pm 10$  cm et  $\pm 30$  cm. Ces tassements doivent être pris en compte lors de la conception du système de collecte des lixiviats.

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Module élastique effectif (kPa)	Coef. de Poisson effectif	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
	déchet	11.5	5 000	0.35	5	25
	ML dense	17.2	30 000	0.3	0	32
	SM compact	18.1	12 000	0.3	0	35

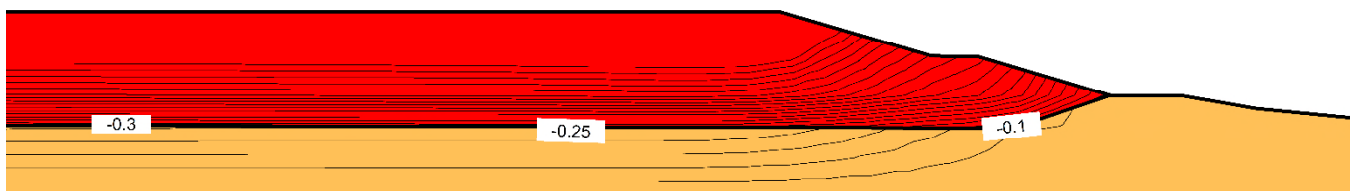


Figure 3-2 : Tassements prévus – Coupe BB est

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Module élastique effectif (kPa)	Coef. de Poisson effectif	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
<span style="color: red;">■</span>	déchet	11.5	5 000	0.35	5	25
<span style="color: olive;">■</span>	ML dense	17.2	30 000	0.3	0	32
<span style="color: orange;">■</span>	SM compact	18.1	12 000	0.3	0	35

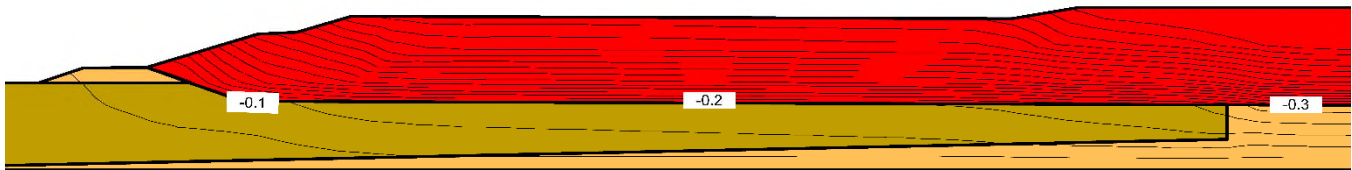


Figure 3-3 : Tassements prévus – Coupe BB ouest

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Module élastique effectif (kPa)	Coef. de Poisson effectif	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
<span style="color: red;">■</span>	déchets	11.5	5 000	0.35	5	25
<span style="color: magenta;">■</span>	ML compact	16.7	15 000	0.3	0	30
<span style="color: purple;">■</span>	ML dense	17.2	30 000	0.3	0	32
<span style="color: cyan;">■</span>	SM compact	18.1	12 000	0.3	0	33
<span style="color: yellow;">■</span>	SP compact	18.6	30 000	0.3	0	36
<span style="color: lightblue;">■</span>	SP lâche	17.7	15 000	0.3	0	33

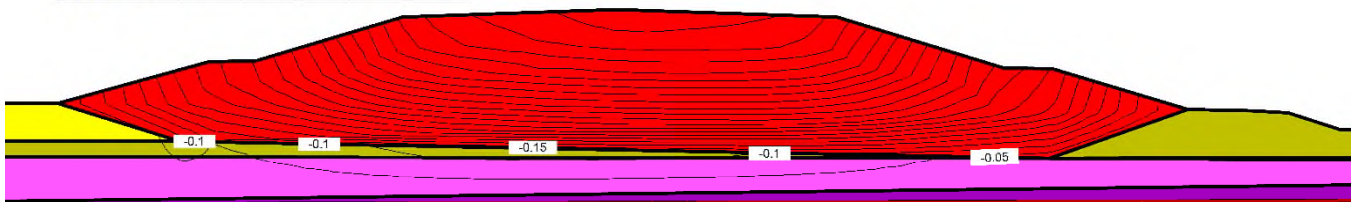


Figure 3-4 : Tassements prévus – Coupe 0+850



### 3.4.3 Analyse du potentiel de liquéfaction des sols

Les contraintes et déformations imposées à un sol pendant un chargement cyclique peuvent causer une perte totale ou partielle de la capacité portante des sols. En général, le potentiel de liquéfaction des sols dépend de la compacité du sol à son état initial, de la perméabilité et de la composition des sols. Les sols les plus vulnérables à la liquéfaction sont les sables et silts saturés très lâches à faiblement compactés et d'une granulométrie assez uniforme. Cependant, certains types de sols, dont les argiles sensibles, sont vulnérables à la liquéfaction. La sensibilité d'une argile est le rapport entre la résistance de l'argile intacte et remaniée.

Le potentiel de liquéfaction a été estimé pour les sols granulaires du dépôt sous les cellules. L'évaluation du potentiel de liquéfaction des sols est effectuée suivant la méthode développée par l'EERI (2008) [réf. 7]. Cette méthode utilise l'indice de pénétration standard (SPT) normalisé et corrigé  $[(N_1)_{60,cs}]$  pour déterminer si un sol ou une couche de sol a un potentiel de se liquéfier sous une sollicitation sismique. Pour qu'il y ait liquéfaction, certaines conditions doivent être rencontrées. Ces critères sont définis dans le manuel « Geotechnical Earthquake Engineering Handbook » de Robert W. Day (2001) [réf. 8] et quelques conditions sont résumées ici :

- Le sol doit être saturé d'eau, c'est-à-dire situé sous le niveau de la nappe phréatique ;
- La méthode s'applique pour des sols allant jusqu'à une profondeur maximale de 20 m. Au-delà de cette profondeur, une analyse spécifique doit être utilisée. Il est toutefois reconnu que la liquéfaction des sols est limitée à une profondeur maximale de 15 m.

À noter que le sol possédant un indice de pénétration standard (SPT) corrigé  $[(N_1)_{60,cs}]$  plus élevé que 32 est trop dense pour être liquéfiable.

#### 3.4.3.1 Méthode simplifiée d'Idriss et Boulanger (2008)

La méthode simplifiée proposée par Youd, T.L., Idriss, I.M. et Boulanger (2008) [réf. 7] a été utilisée pour l'estimation du potentiel de liquéfaction du dépôt sous les cellules.

Pour l'évaluation de la résistance à la liquéfaction des sols, il faut calculer deux variables :

- CSR (Cyclic Stress Ratio) : mesure de la charge cyclique appliquée au sol par le tremblement de terre et dépendant de l'accélération maximale du sol et de la contrainte verticale effective ;
- CRR<sub>7,5</sub> (Cycle Resistance Ratio) : capacité du sol à résister à la liquéfaction en considérant un séisme de magnitude 7,5. Le CRR<sub>7,5</sub> est estimé à partir de tests de pénétration standard (SPT).

Si  $CSR > CRR_{7,5}$ , la liquéfaction est susceptible de se produire.

Les Tableaux 3-3 à 3-10 montrent les valeurs du CRR, CSR et le facteur de sécurité pour les sols rencontrés dans huit des douze forages PO-01 à PO-08. Il est à noter que les calculs ont été effectués sans considérer la surcharge créée par le poids des matières résiduelles lorsque l'aménagement des cellules est complété.

Tableau 3-3 : Forage PO-01 – CRR, CSR et facteur de sécurité

Couche de sol	Élévation (m)	Profondeur (m)	$\sigma'_{vo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	CRR <sub>7,5</sub>	CRR-MSF	$K_\sigma$	CRR-MSF- $K_\sigma$	CSR	FS=(CRR-MSF/CSR). $K_\sigma$
SM lâche	137,67	6,50	117,00	0,1003	0,1493	0,95	0,1424	0,1169	1,22
SM compact	134,68	9,49	172,32	0,2084	0,3102	0,85	0,2635	0,1121	2,35
SM compact	130,15	14,02	219,23	0,1657	0,2467	0,79	0,1949	0,1136	1,72
ML compact	127,71	16,46	239,22	0,2067	0,3077	0,77	0,2368	0,1096	2,16
SP compact	121,62	22,55	292,14	0,1021	0,1519	0,72	0,1101	0,0991	1,11
SM compact	117,96	26,21	323,95	0,1049	0,1561	0,70	0,1097	0,0963	1,14

Tableau 3-4 : Forage PO-02 – CRR, CSR et facteur de sécurité

Couche de sol	Élévation (m)	Profondeur (m)	$\sigma'_{vo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	CRR <sub>7.5</sub>	CRR-MSF	K <sub><math>\sigma</math></sub>	CRR-MSF-K <sub><math>\sigma</math></sub>	CSR	FS=(CRR-MSF/CSR).K <sub><math>\sigma</math></sub>
SM compact	142,36	6,24	115,44	0,1402	0,2062	0,96	0,1975	0,1171	1,69
SP compact	138,60	10,00	185,00	0,1075	0,1581	0,83	0,1315	0,1109	1,19
SP compact	134,60	14,00	259,00	0,0848	0,1248	0,75	0,0938	0,0974	0,96 <sup>1</sup>
SP compact	133,10	15,50	283,41	0,1261	0,1855	0,73	0,1357	0,0923	1,47
SP compact	127,10	21,50	335,55	0,1051	0,1546	0,70	0,1075	0,0856	1,26
SP compact	120,85	27,75	392,99	0,0967	0,1423	0,66	0,0944	0,0833	1,13

Tableau 3-5 : Forage PO-03 – CRR, CSR et facteur de sécurité

Couche de sol	Élévation (m)	Profondeur (m)	$\sigma'_{vo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	CRR <sub>7.5</sub>	CRR-MSF	K <sub><math>\sigma</math></sub>	CRR-MSF-K <sub><math>\sigma</math></sub>	CSR	FS=(CRR-MSF/CSR).K <sub><math>\sigma</math></sub>
SP lâche	141,09	3,50	61,25	0,1042	0,1532	1,16	0,1775	0,1196	1,48
SP compact	133,93	10,66	193,71	0,1256	0,1847	0,82	0,1515	0,1092	1,39
SP compact	130,59	14,00	243,24	0,0879	0,1292	0,77	0,0990	0,1023	0,97 <sup>1</sup>
SM compact	127,59	17,00	269,31	0,1299	0,1910	0,74	0,1419	0,0985	1,44
SM compact	123,59	21,00	304,07	0,1147	0,1687	0,72	0,1208	0,0928	1,30
SP compact	119,29	25,30	341,43	0,1087	0,1599	0,69	0,1106	0,0898	1,23
SP compact	117,59	27,00	356,21	0,1173	0,1725	0,68	0,1178	0,0892	1,32
SM dense	114,12	30,47	388,10	0,1461	0,2148	0,67	0,1430	0,0885	1,62

Tableau 3-6 : Forage PO-04 – CRR, CSR et facteur de sécurité

Couche de sol	Élévation (m)	Profondeur (m)	$\sigma'_{vo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	CRR <sub>7.5</sub>	CRR-MSF	K <sub><math>\sigma</math></sub>	CRR-MSF-K <sub><math>\sigma</math></sub>	CSR	FS=(CRR-MSF/CSR).K <sub><math>\sigma</math></sub>
SP lâche	136,52	8,50	148,75	0,0641	0,0942	0,89	0,0837	0,1141	0,73 <sup>1</sup>
SP lâche	132,52	12,50	218,75	0,0869	0,1278	0,79	0,1010	0,1032	0,98 <sup>1</sup>
SM compact	125,02	20,00	294,62	0,1123	0,1651	0,72	0,1194	0,0919	1,30
SM compact	120,33	24,69	335,37	0,1186	0,1744	0,70	0,1213	0,0885	1,37
ML lâche	115,76	29,26	363,66	0,0957	0,1407	0,68	0,0955	0,0883	1,08

Tableau 3-7 : Forage PO-05 – CRR, CSR et facteur de sécurité

Couche de sol	Élévation (m)	Profondeur (m)	$\sigma'_{vo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	CRR <sub>7.5</sub>	CRR-MSF	K <sub><math>\sigma</math></sub>	CRR-MSF-K <sub><math>\sigma</math></sub>	CSR	FS=(CRR-MSF/CSR).K <sub><math>\sigma</math></sub>
SP très lâche	140,35	4,57	77,69	0,0621	0,0913	1,08	0,0984	0,1187	0,83 <sup>1</sup>
SM compact	134,92	10,00	175,43	0,0894	0,1315	0,84	0,1111	0,1109	1,00
SM compact	129,99	14,93	263,50	0,1003	0,1475	0,75	0,1103	0,0946	1,17
SM compact	123,92	21,00	316,24	0,1133	0,1667	0,71	0,1180	0,0878	1,34
SM compact	117,48	27,44	374,14	0,1254	0,1844	0,67	0,1241	0,0850	1,46

Tableau 3-8 : Forage PO-06 – CRR, CSR et facteur de sécurité

Couche de sol	Élévation (m)	Profondeur (m)	$\sigma'_{vo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	CRR <sub>7.5</sub>	CRR-MSF	K <sub><math>\sigma</math></sub>	CRR-MSF-K <sub><math>\sigma</math></sub>	CSR	FS=(CRR-MSF/CSR).K <sub><math>\sigma</math></sub>
SM compact	136,77	7,00	126,00	0,1063	0,1563	0,93	0,1458	0,1163	1,25
SM dense	133,77	10,00	183,00	0,2438	0,3586	0,83	0,2992	0,1109	2,70
SM compact	127,77	16,00	266,73	0,1023	0,1505	0,75	0,1121	0,0983	1,14
SM compact	121,77	22,00	320,67	0,1282	0,1886	0,70	0,1329	0,0903	1,47
SM compact	115,71	28,06	375,15	0,1110	0,1633	0,67	0,1098	0,0875	1,25

Tableau 3-9 : Forage PO-07 – CRR, CSR et facteur de sécurité

Couche de sol	Élévation (m)	Profondeur (m)	$\sigma'_{vo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	CRR <sub>7.5</sub>	CRR-MSF	K <sub><math>\sigma</math></sub>	CRR-MSF-K <sub><math>\sigma</math></sub>	CSR	FS=(CRR-MSF/CSR).K <sub><math>\sigma</math></sub>
SP compact	133,95	9,50	176,70	0,0997	0,1466	0,84	0,1236	0,1121	1,10
SP dense	132,48	10,97	204,78	0,2595	0,3817	0,81	0,3079	0,1083	2,84
SM compact	127,91	15,54	269,21	0,1086	0,1597	0,74	0,1187	0,0983	1,21
ML compact	125,47	17,98	285,96	0,0711	0,1045	0,73	0,0763	0,0948	0,80
ML dense	122,12	21,33	310,61	0,2114	0,3109	0,71	0,2213	0,0909	2,44
SM compact	118,82	24,63	340,28	0,0851	0,1252	0,69	0,0867	0,0886	0,98

Tableau 3-10 : Forage PO-08 – CRR, CSR et facteur de sécurité

Couche de sol	Élévation (m)	Profondeur (m)	$\sigma'_{vo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	CRR <sub>7.5</sub>	CRR-MSF	K <sub><math>\sigma</math></sub>	CRR-MSF-K <sub><math>\sigma</math></sub>	CSR	FS=(CRR-MSF/CSR).K <sub><math>\sigma</math></sub>
SM compact	125,35	9,45	122,49	0,1324	0,1947	0,94	0,1832	0,1567	1,17
SM compact	119,30	15,50	172,64	0,1676	0,2465	0,85	0,2093	0,1482	1,41
ML compact	116,52	18,28	191,79	0,1808	0,2659	0,82	0,2188	0,1378	1,59

<sup>1</sup>Ces couches sont au-dessus de la future nappe phréatique à l'élévation 130,10 m.

La dernière colonne des Tableaux 3-3 à 3-10 représente le facteur de sécurité (FS). Lorsque celui-ci est inférieur à la valeur de 1,0, un potentiel de liquéfaction est présent. À l'exception de deux couches ML et SM compact aux élévations 125,47 et 118,82 (valeurs en rouge) dans le forage PO-07, toutes les couches étudiées sous la future nappe (élev. 130,10 m) ne sont pas susceptibles à la liquéfaction pour un événement sismique d'une récurrence 1 000 ans ou inférieure. Pour les deux couches retrouvées dans le forage PO-07 qui sont sous la nappe phréatique et qui présentent un FS inférieur à 1,0, le potentiel de liquéfaction est considéré faible parce que les facteurs de sécurité sont près de l'unité (FS = 0,80 et 0,98) et qu'ultimement, la surcharge sous la couche la plus profonde va générer une contrainte verticale effective au-delà de 300 kPa.

## 4.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les pentes de l'aménagement final du site sont considérées stables sous conditions statique et pseudo-statique(séisme). Il est important que les remblais et les chemins d'accès soient construits avec un sable et gravier avec un peu de fins (<10 % de passant 80 microns) dont la densité au Proctor modifié atteint 90 %.

Le tassement est considéré faible étant donné qu'une certaine consolidation a déjà été réalisée par le poids des sols naturels excavés pour la construction de la cellule. Des tassements prévus maximal et différentiel de 30 cm et de 20 cm respectivement sont calculés.

En ce qui concerne le potentiel de liquéfaction, deux couches dans le forage PO-07 à différentes élévations (125,47 et 118,82) ont été identifiées à risque pour un événement sismique d'une récurrence 1 000 ans. Le risque est mitigé, car le dépôt au-dessus de la zone potentielle retrouvée dans le forage PO-07 devrait éliminer ce risque pour la couche la plus profonde avec une contrainte effective de plus 300 kPa.

---

## RÉFÉRENCES

---

- Réf. 1 *Groupe Conseil SCT inc., Rapport de sondages – Futur site d'enfouissement, #Ref. E22-19-01R1, septembre 2019.*
- Réf. 2 *Hunt, R. E., 2005, Geotechnical Engineering Investigation Handbook. CRC Press, Taylor and Francis Group, Second Edition.*
- Réf. 3 *Chapter 2, Shear Strength of Municipal Solid Waste, Jonathan D. Bray, Dimitrios Zekkos, and Scott M. Merry, International Symposium on Waste Mechanics, 2008*
- Réf. 4 *Conseil national de recherches du Canada (CNRC), édition 2015, Code National du Bâtiment (CNB), Gouvernement du Canada.*
- Réf. 5 *Commission Géologique du Canada (CGC), www.seismescanada.mcan.gc.ca.*
- Réf. 6 *Hydro-Québec, 2003, Guide pour l'évaluation de la sécurité sismique des barrages, Rapport du Sous-Groupe Séismicité, 256 p.*
- Réf. 7 *Idriss I.M. & Boulanger, R.W., Earthquake Engineering Research Institute (EERI), Soil Liquefaction during Earthquake, 2008, 264 p.*
- Réf. 8 *Day, R. W., 2002, Geotechnical Earthquake Engineering Handbook, McGraw Hill, 614 p.*
- Réf. 9 *Loi, règlement et modification du règlement sur la Sécurité des Barrages – S-3.1.01 – À jour au 1<sup>er</sup> novembre 2014*
- Réf. 10 *Association Canadienne des Barrages (ACB), 2007, Dam safety guidelines and Technical bulletin.*
- Réf. 11 *Bray, J.D. et coll., 2004, Liquefaction susceptibility of fine-grained soils, In proceedings of the 11th, International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering and 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Berkeley, CA.*
- Réf. 12 *Société Canadienne de Géotechnique (SCG), 2013, Manuel Canadien d'Ingénierie des Fondations (MCIF), 4e édition, Richmond Canada, 476 p.*
- Réf. 13 *Youd T. L. & Idriss I. M. édts, (1997), NCEER Workshop: Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York, Buffalo.*
- Réf. 14 *Holtz, R. D., Kovacs, W., 1991, Introduction à la géotechnique, École polytechnique de Montréal.*
- Réf. 15 *Société Canadienne de Géotechnique (SCG), 2013, Manuel Canadien d'Ingénierie des Fondations (MCIF), 4e édition, Richmond Canada, 476 p.*
- Réf. 16 *Koerner G.R. & Narejo, D., Geotechnical Research Institute, Report #30, Direct Shear Database of Geosynthetic-to-Geosynthetic and Geosynthetic to Soil Interfaces, 2005.*

---

## ANNEXE A – ALÉA SISMIQUE



# Calcul de l'aléa sismique - Code National du Bâtiment 2015

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

Site: 48.856N 72.265W

Bibliographie fichier utilisateur: LET Dolbeau

2021-03-25 17:17 UT

Demandeur: Pierre Boulanger, Tetra Tech

Probabilité de dépassement par année	0.000404	0.001	0.0021	0.01
Probabilité de dépassement dans 50 ans	2 %	5 %	10 %	40 %
Sa (0.05)	0.517	0.267	0.146	0.035
Sa (0.1)	0.598	0.322	0.184	0.051
Sa (0.2)	0.497	0.272	0.160	0.049
Sa (0.3)	0.374	0.207	0.125	0.041
Sa (0.5)	0.262	0.146	0.090	0.031
Sa (1.0)	0.127	0.073	0.046	0.016
Sa (2.0)	0.059	0.034	0.022	0.007
Sa (5.0)	0.016	0.009	0.005	0.001
Sa (10.0)	0.006	0.003	0.002	0.001
PGA (g)	0.315	0.173	0.100	0.028
PGV (m/s)	0.215	0.117	0.070	0.021

Remarques. Spectral (Sa (T), où T est la période en secondes) et l'accélération maximale du sol (PGA) sont données en unités de g (9.81 m/s<sup>2</sup>). La vitesse maximale du sol est donnée en m/s. Les valeurs sont pour la "terre ferme" (CNBC2015 Site Classe C, la vitesse moyenne des ondes de cisaillement de 450 m/s). Les valeurs du CNBC2015 et de CSAS6-14 sont spécifiés en caractères gras. Trois périodes supplémentaires sont fournis - leur utilisation est documenté dans les commentaires CNBC2015. Seuls 2 chiffres significatifs doivent être utilisés. **Ces valeurs ont été interpolées à partir d'une grille de points de 10 km de distance. Selon le gradient des points à proximité, les valeurs peuvent varier. Plus de 95 pour cent des valeurs interpolées sont à 2 pour cent des valeurs calculées.**

## Bibliographie

Le code national du bâtiment du Canada 2015 NRCC no. 56190F; Annexe C: Information climatique pour la conception des bâtiments au Canada - table dans l'Annexe C

Commentaires sur le calcul des structures (Guide de l'utilisateur - CNB 2015 : partie 4 de la division B)

Commentaire J: Conception pour des effets sismiques

Commission Géologique du Canada Dossier public 7893 Cinquième génération du modèle des risques sismiques au Canada: Valeurs de grille pour être utilisés avec le Code national du bâtiment du Canada 2015

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



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

Canada





---

## **ANNEXE B – STABILITÉ DES PENTES – COUPES TYPES**



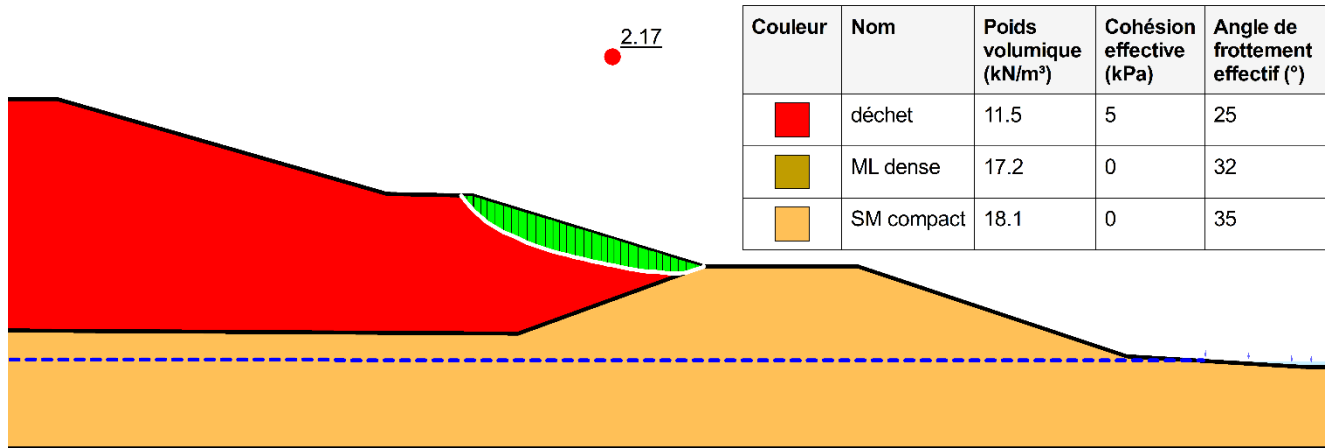


Figure 1

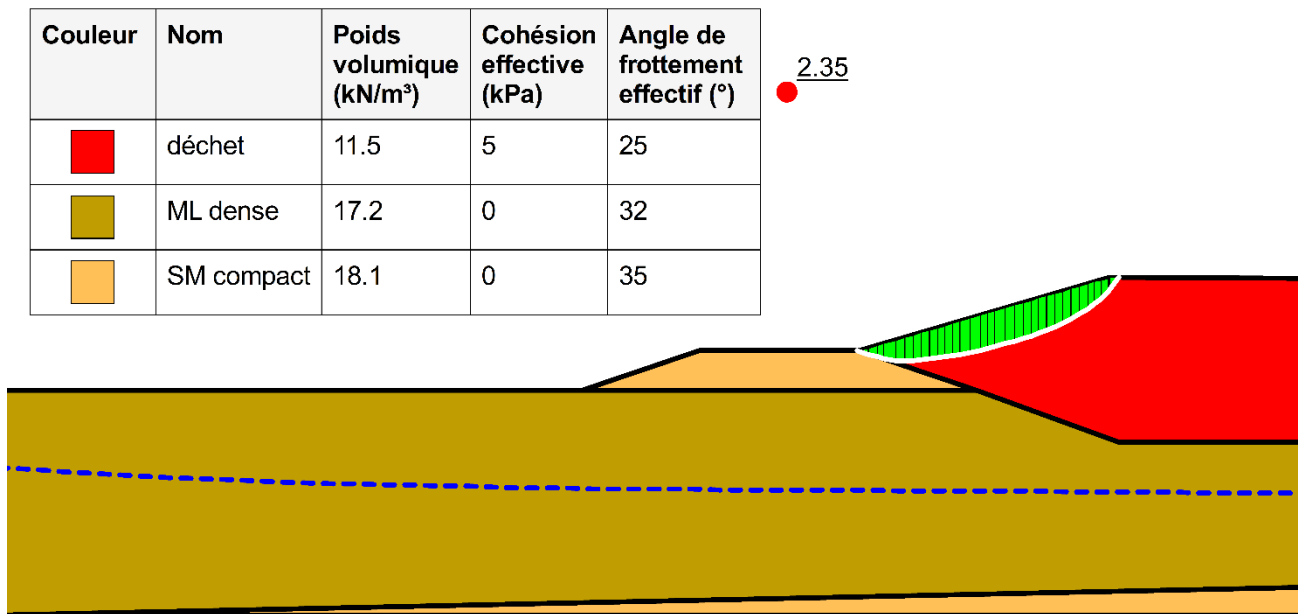


Figure 2

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
■	déchet	11.5	5	25
■	ML dense	17.2	0	32
■	SM compact	18.1	0	35

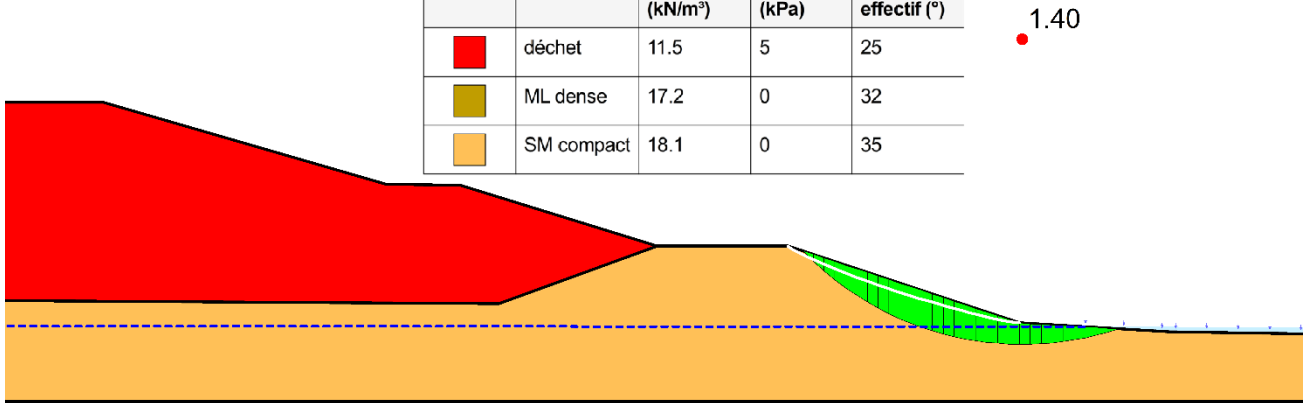


Figure 3

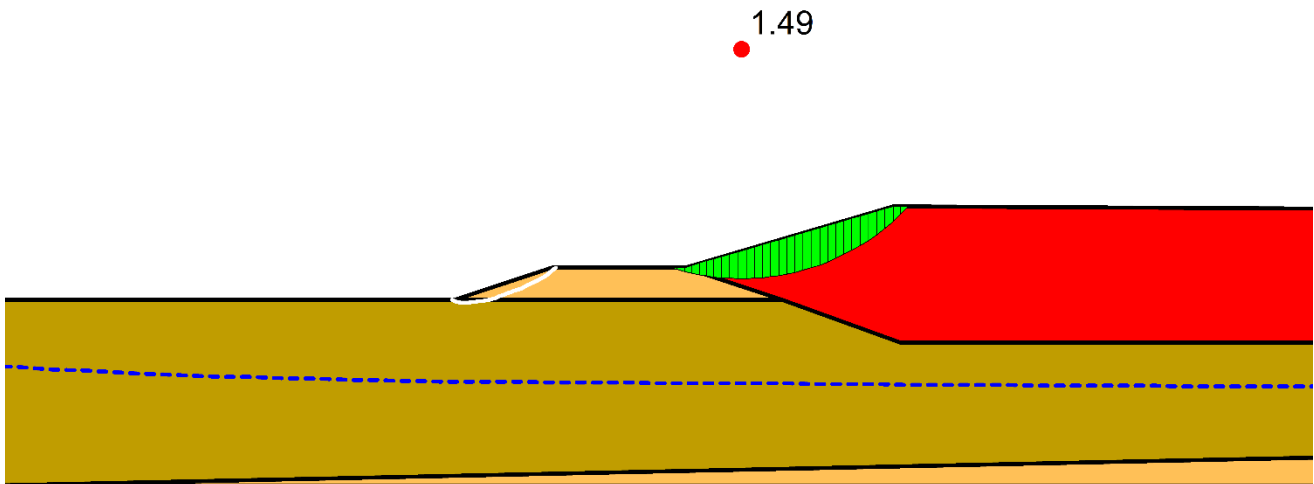


Figure 4

2.27

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
■	déchet	11.5	5	25
■	ML dense	17.2	0	32
■	SM compact	18.1	0	35

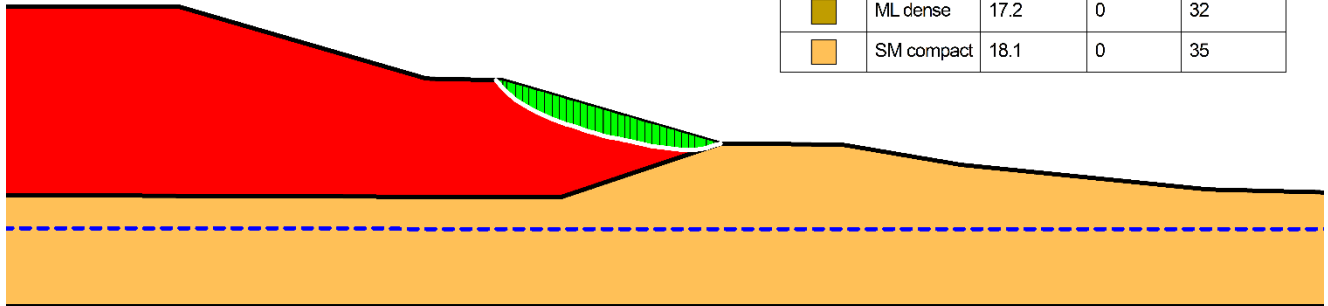


Figure 5

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
■	déchet	11.5	5	25
■	ML dense	17.2	0	32
■	SM compact	18.1	0	35

2.22

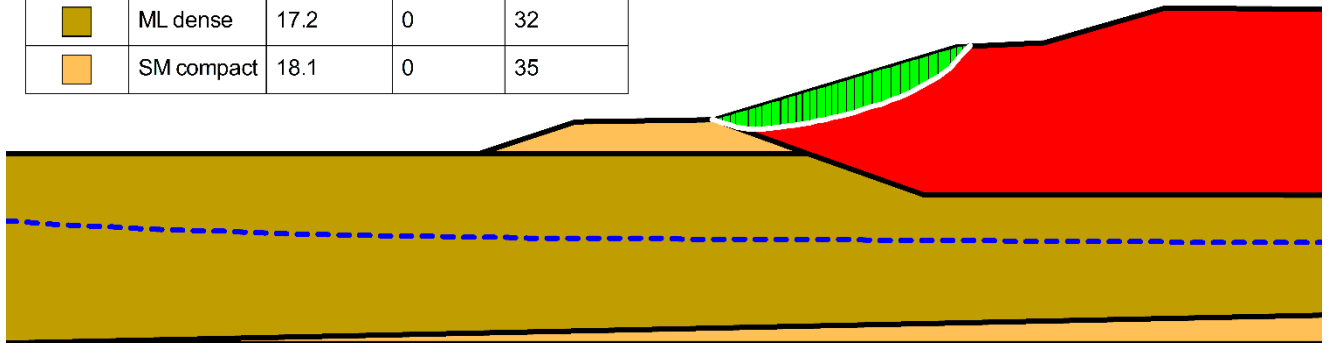


Figure 6

1.39

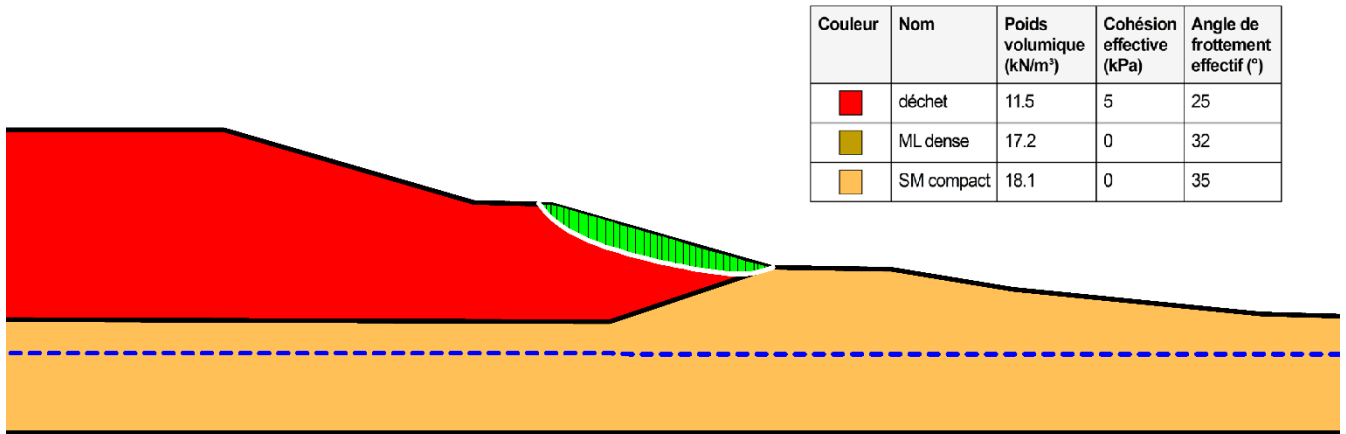


Figure 7

1.37

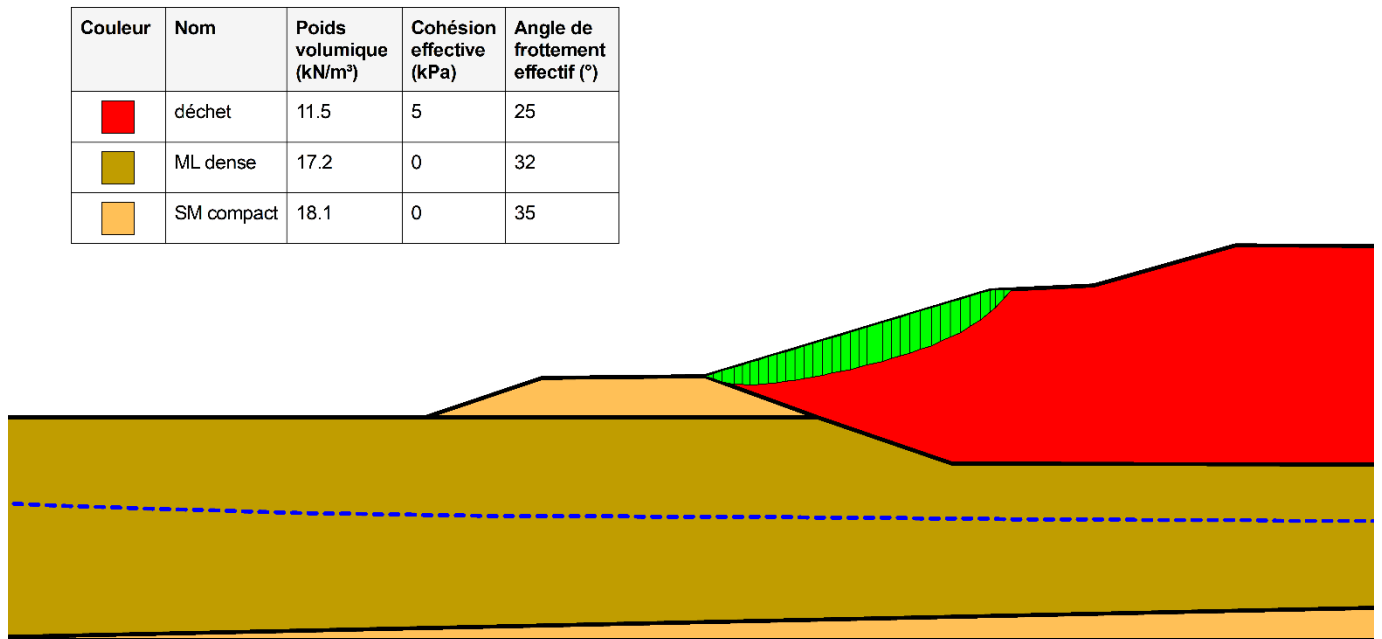


Figure 8

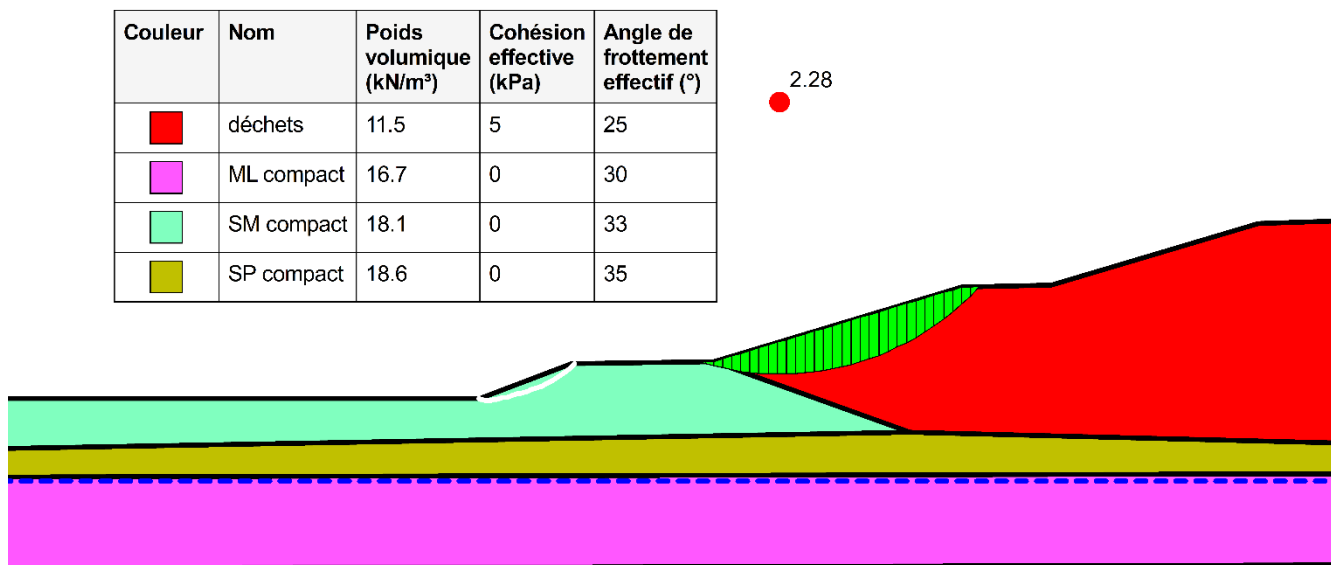


Figure 9

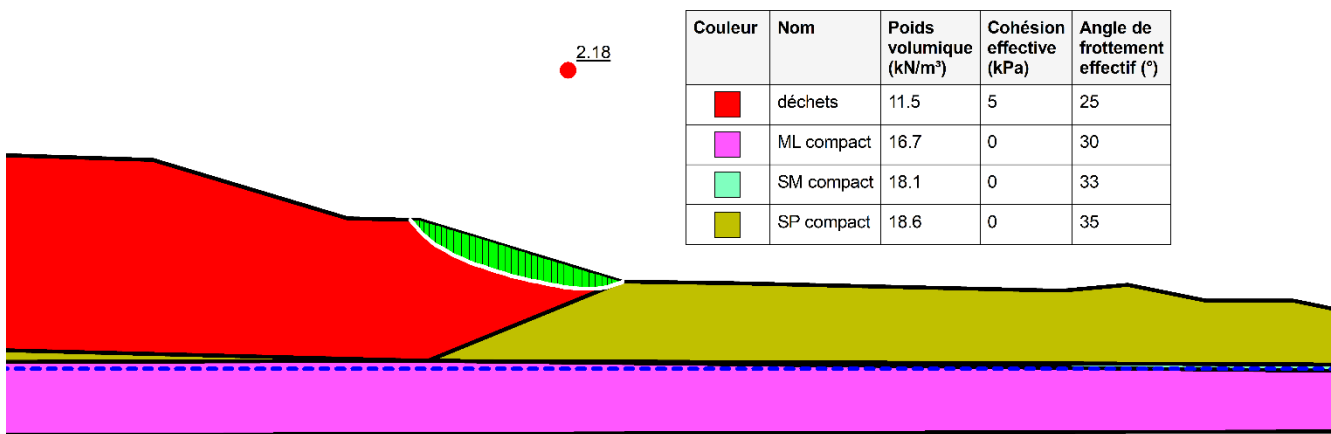


Figure 10

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
■	déchets	11.5	5	25
■	ML compact	16.7	0	30
■	SM compact	18.1	0	33
■	SP compact	18.6	0	35

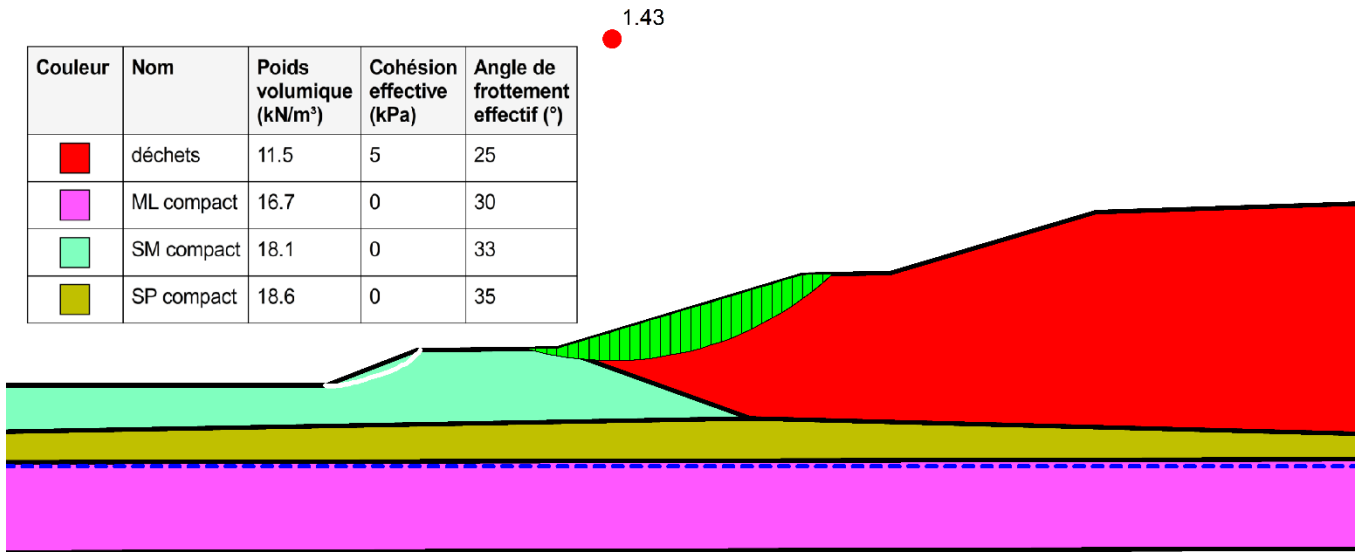


Figure 11

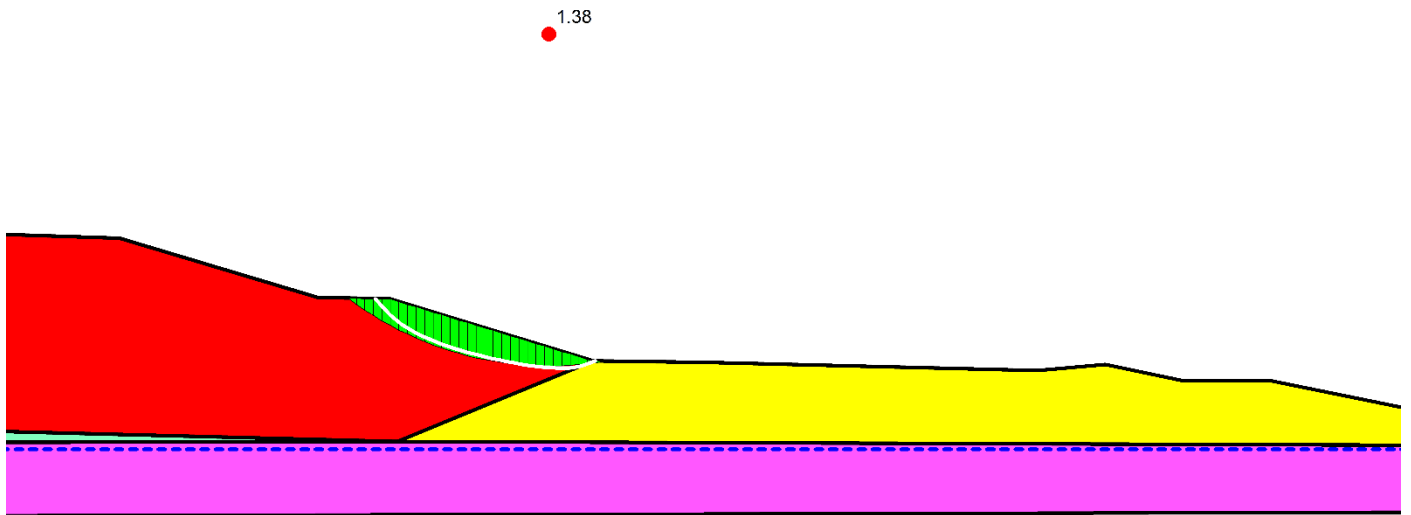


Figure 12



2.29

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
■	déchets	11.5	5	25
■	ML compact	16.7	0	30
■	SM compact	18.1	0	33
■	SP compact	18.6	0	35

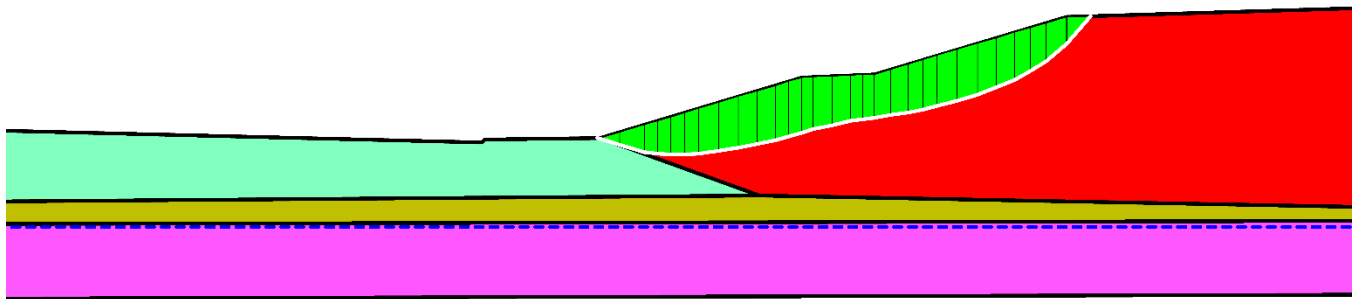


Figure 13

2.20

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
■	déchets	11.5	5	25
■	ML compact	16.7	0	30
■	SM compact	18.1	0	33
■	SP compact	18.6	0	35

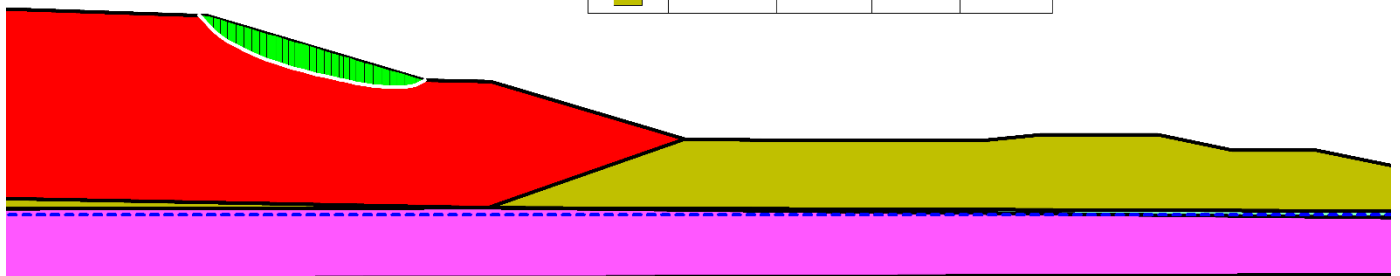


Figure 14

1.34

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
■	déchets	11.5	5	25
■	ML compact	16.7	0	30
■	SM compact	18.1	0	33
■	SP compact	18.6	0	35

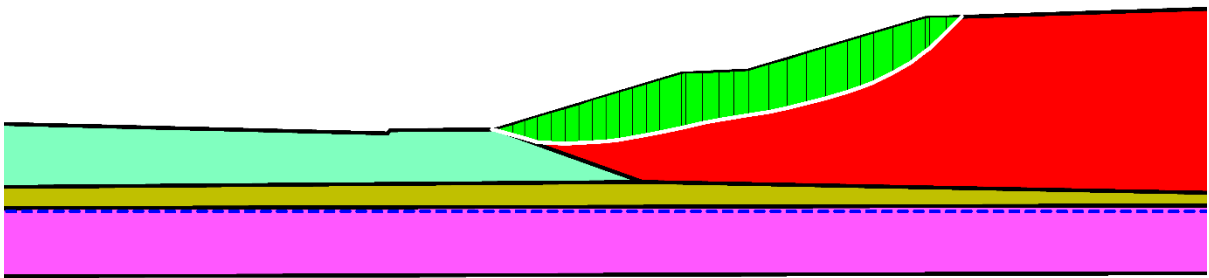


Figure 15

1.32

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
■	déchets	11.5	5	25
■	ML compact	16.7	0	30
■	SM compact	18.1	0	33
■	SP compact	18.6	0	35

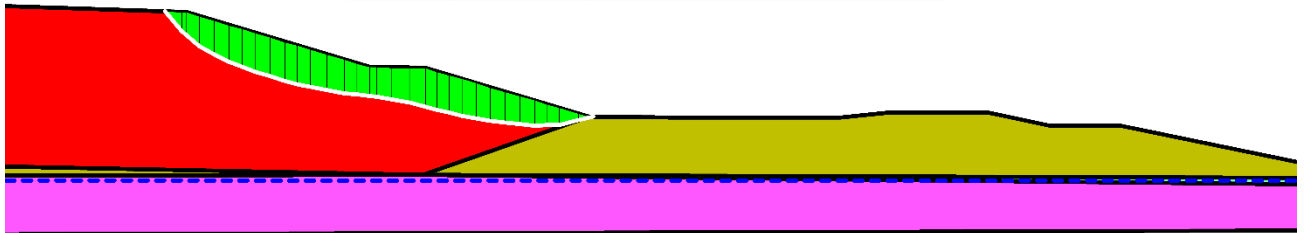


Figure 16

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
■	déchets	11.5	5	25
■	ML compact	16.7	0	30
■	ML dense	17.2	0	32
■	SM compact	18.1	0	33
■	SP compact	18.6	0	35
■	SP lâche	17.7	0	33

2.36

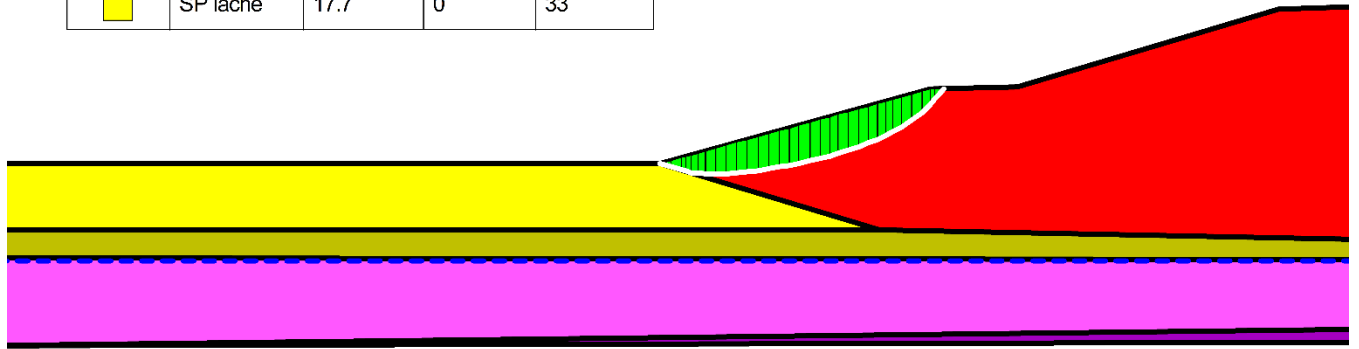


Figure 17

2.13

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
■	déchets	11.5	5	25
■	ML compact	16.7	0	30
■	ML dense	17.2	0	32
■	SM compact	18.1	0	33
■	SP compact	18.6	0	35
■	SP lâche	17.7	0	33

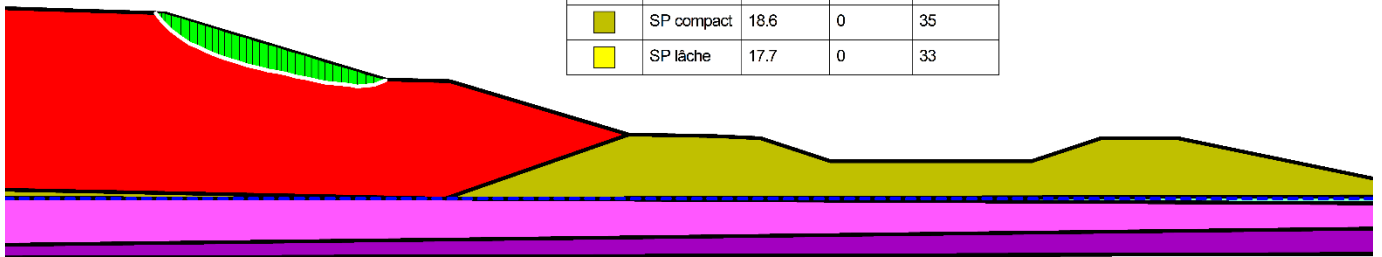








Figure 18

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
	déchets	11.5	5	25
	ML compact	16.7	0	30
	ML dense	17.2	0	32
	SM compact	18.1	0	33
	SP compact	18.6	0	35
	SP lâche	17.7	0	33

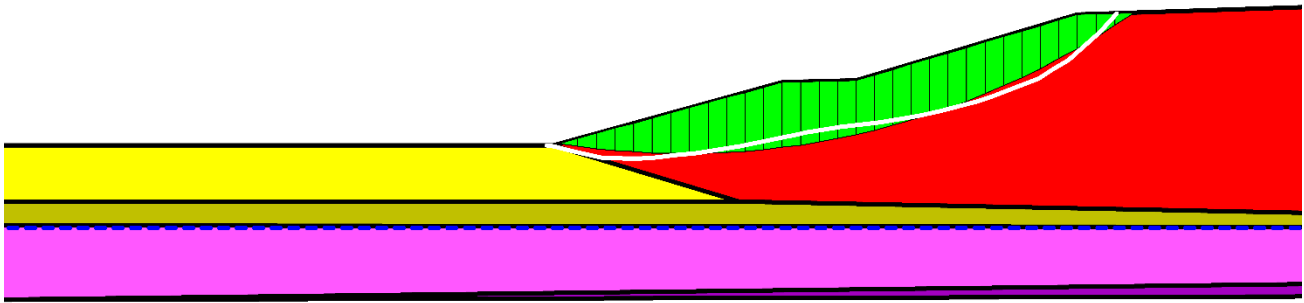


Figure 19

1.38

Couleur	Nom	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif (°)
■	déchets	11.5	5	25
■	ML compact	16.7	0	30
■	ML dense	17.2	0	32
■	SM compact	18.1	0	33
■	SP compact	18.6	0	35
■	SP lâche	17.7	0	33

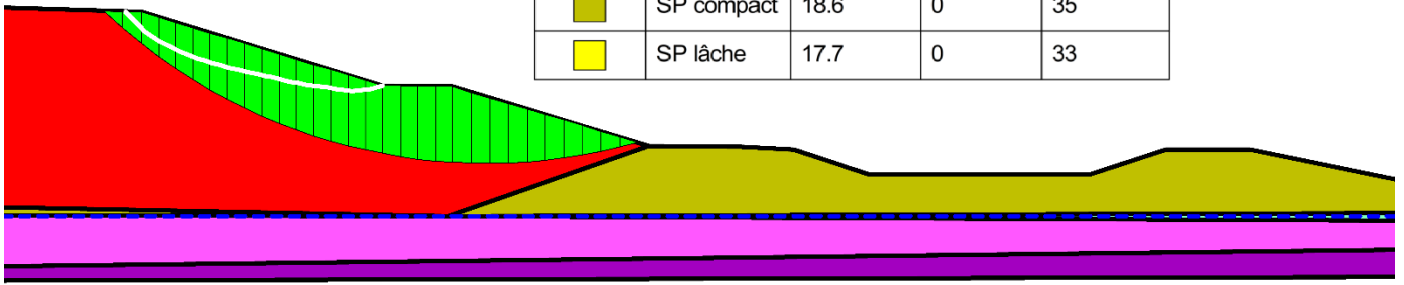


Figure 20