

# Étude de stabilité et des tassements

Agrandissement du lieu  
d'enfouissement  
technique (LET)

RÉGIE INTERMUNICIPALE  
DES DÉCHETS DE LA  
LIÈVRE



RIL-002

FÉVRIER 2022

Alphard

# Alphard

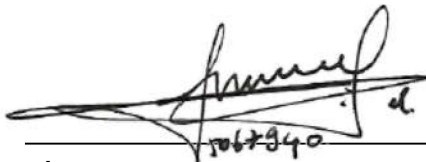


Étude géotechnique et hydrogéologique

Agrandissement du lieu d'enfouissement technique (LET)  
Rapport n°2 : Étude de stabilité et des tassements  
N/Réf. : RIL-002-RAP-002-R01

Version finale

Préparé par :



Éliane Ndanga, ing., Ph.D.  
Chargée de projet, ingénierie environnementale  
N° OIQ : 5067940

Vérfié par :



Pascale Pierre, ing., Ph.D.  
Directrice de projet, ingénierie environnementale  
No OIQ : 12377

## PROPRIÉTÉ ET CONFIDENTIALITÉ

« Ce document d'ingénierie est la propriété de Groupe Alphard et est protégé par la loi. Ce rapport est destiné exclusivement aux fins qui y sont mentionnées. Toute reproduction ou adaptation, partielle ou totale, est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite de Groupe Alphard et de son Client.

Si des essais ont été effectués, les résultats de ces essais ne sont valides que pour l'échantillon décrit dans le présent rapport.

Les sous-traitants de Groupe Alphard qui auraient réalisé des travaux au chantier ou en laboratoire sont dûment qualifiés. Pour toute information complémentaire ou de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec votre chargé de projet. »

## REGISTRE DES RÉVISIONS ET ÉMISSIONS

Date	Révision n°	Description de la modification et/ou de l'émission
11-02-2022	00	Version préliminaire
27-05-2022	01	Version finale

## Table des matières

<b>1. Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Données de base.....</b>	<b>2</b>
2.1 Généralités.....	2
2.2 Stratigraphie du site.....	2
2.3 Paramètres de cisaillement.....	3
2.4 Paramètres de consolidation de l'argile.....	4
2.5 Conditions de l'eau souterraine.....	4
<b>3. Analyses.....</b>	<b>5</b>
3.1 Analyses de stabilité.....	5
3.1.1 Méthodologie et scénarios de chargement.....	5
3.1.2 Paramètres sismiques.....	5
3.1.3 Critère de rupture.....	5
3.1.4 Résultats et recommandations.....	5
3.2 Tassements anticipés.....	6
3.2.1 Méthodologie.....	7
3.2.2 Hypothèses de calcul.....	7
3.2.3 Prédiction des tassements et recommandations.....	9
3.2.3.1 Tassements du fond de cellule dans l'axe des drains.....	9
3.2.3.2 Tassements du recouvrement final.....	9
3.2.3.3 Allongement des géomembranes.....	10
3.3 Soulèvement du fond d'excavation.....	10
3.3.1 Méthodologie.....	10
3.3.2 Résultats.....	10
<b>4. Conclusion.....</b>	<b>11</b>

## Liste des figures

Figure 1. Courbe des tassements en fonction de l'épaisseur des matières résiduelles.....	9
--	---



## Liste des tableaux

Tableau 1 : Propriétés des sols rencontrés sur le site .....	3
Tableau 2 : Propriétés des sols rencontrés sur le site .....	4
Tableau 3 : Synthèse des résultats des analyses de stabilité.....	6
Tableau 4 : Hypothèses de calculs – drains de collecte du lixiviat .....	8
Tableau 5 : Hypothèses de calculs –recouvrement final.....	9

## Liste des annexes

Annexe 1 : Résultat des analyses de stabilité.....	12
Annexe 2 : Résultats des calculs de tassement des Matières résiduelles.....	13
Annexe 3 : Résultats évaluation des risques de soulèvement du fond d’excavation.....	14
Annexe 4 : Calcul de l’aléa sismique – CNBC 2015 .....	15

# 1. Introduction

La Régie intermunicipale des déchets de la Lièvre (RIDL) est un organisme public responsable de gérer les matières résiduelles et les matières recyclables pour le compte des citoyens qu'elle représente. La Régie vise également à être à l'avant-garde et à faire évoluer ses installations vers des solutions permettant et favorisant la valorisation au détriment de l'enfouissement. Le lieu d'enfouissement technique (LET) est un des éléments du système de gestion de matières résiduelles qui permet de gérer les déchets ultimes qui ne peuvent pas actuellement être valorisés.

À la fin 2024, le LET actuellement en exploitation par la RIDL atteindra sa capacité maximale d'exploitation. Ainsi, la RIDL doit procéder à son agrandissement afin de continuer de répondre à ses besoins d'éliminations futures. Une étude géotechnique et hydrogéologique a précédemment été effectuée par Groupe Alphard sur le site prévu pour l'agrandissement afin de fournir une description de la nature et des propriétés des matériaux présents sur le site (N/Réf. : RIL-002-RAP-001-R01, Avril 2021).

Le présent rapport complète cette étude et porte sur l'analyse des aspects géotechniques de la conception de l'agrandissement du LET, notamment :

- L'évaluation des tassements générés par le profil proposé par le concepteur;
- L'analyse de stabilité des ouvrages sous conditions statique et pseudo statique;
- L'analyse de la stabilité de l'ouvrage vis-à-vis du soulèvement du fond d'excavation.

## 2. Données de base

### 2.1 Généralités

Le site à l'étude est situé au 1064, boulevard Industriel à Mont-Laurier, sur le lot 2 678 119 du cadastre foncier de Québec, au sud du territoire de la municipalité de Mont-Laurier. Il comprend deux zones potentielles d'agrandissement :

- La zone A de 7,8 ha est la zone principale du projet d'agrandissement. Elle est située au sud du LET existant.
- La zone B de 2,8 ha est située sur une partie de l'ancien LES. Elle est délimitée au nord par la crête du LET existant.

Une modélisation de l'emprise des cellules d'enfouissement projetées, le découpage des cellules et la modélisation 3D des épaisseurs de matières résiduelles à enfouir sur le site nous ont été fournis comme document de base pour les calculs de stabilité et de tassement. La vue en plan et les coupes des cellules d'enfouissement projetées sont fournies dans le rapport du concepteur des cellules d'enfouissement. La zone d'agrandissement A est subdivisée en 15 cellules numérotées de l'est à l'ouest de 10 à 24.

### 2.2 Stratigraphie du site

Selon l'étude de caractérisation géotechnique et hydrogéologique du site de l'agrandissement du LET, la stratigraphie des dépôts observés peut être résumée comme suit, à partir de la surface du terrain naturel :

- Dans la zone d'agrandissement du LET (zone A) :
  - Une couche végétale d'environ 0,30 m d'épaisseur,
  - Une couche de sable silteux ou de silt sableux d'épaisseur pouvant atteindre 4 m,
  - Une couche de silt argileux à argile silteuse de 3,8 à 4,25 m d'épaisseur, présente uniquement dans la portion est du site;
  - Une couche de sable silteux graveleux d'une épaisseur pouvant atteindre 6 m et reposant directement sur le socle rocheux;
  - Le roc à une profondeur variant entre 1,85 m et 9,65 m.
- Dans la zone de l'ancien LES (zone B) :
  - Une couche végétale de recouvrement de 0,15 m d'épaisseur,
  - Une couche de déchets d'épaisseur variant de 6,18 à 11,10 m,
  - Une couche de sable silteux avec présences d'horizons graveleux d'épaisseur variant de 0 à 2 m;
  - Le socle rocheux à une profondeur variant de 6,33 à 11,85 m.

## 2.3 Paramètres de cisaillement

Les propriétés des couches de sols rencontrées, de même que les propriétés utilisées pour les matières résiduelles sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Propriétés des sols rencontrés sur le site

Sol	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion (kPa)	Angle de frottement (°)
Assise et berme périphérique	18	0	32
Sable silteux	21	0	34
Silt sableux	14,5	0	30
Sable silteux graveleux	19	0	32
Argile silteuse (court terme)	17	37	22
Argile silteuse (long terme)	17	6	45
Socle rocheux	25	infinie	-
Matières résiduelles	11	20	21
Interface PeHD/géocomposite bentonitique	-	5	10
Interface PeHD/géofilet	-	5	12
Interface géocomposite bentonitique/sable	-	0	35
Interface PeHD/Sable	-	0	25
Drainage fond de cellule	18	0	30
Recouvrement final	18	0	32

Les poids volumiques des horizons de sols rencontrés ont été déterminés à partir de la masse volumique tassée humide déterminée au laboratoire. Les paramètres de cisaillement ont quant à eux été définis sur la base de la littérature et de l'expérience acquise par Groupe Alphard dans l'étude de matériaux similaires. Ces valeurs peuvent être considérées sécuritaires.

Dans le cas de l'argile silteuse, deux valeurs de poids volumique ont été mesurées au laboratoire, soit 15,77 kN/m<sup>3</sup> dans le forage P07-2020 et 18,18 kN/m<sup>3</sup> dans le forage P08-2020. Ainsi, pour l'évaluation de la stabilité, la valeur moyenne de 17,0 kN/m<sup>3</sup> a été considérée. Les autres paramètres de résistance au cisaillement sont basés sur les données et essais effectués durant les travaux d'investigation.

Dans le cas des matières résiduelles, les propriétés utilisées se basent sur les propriétés des matières résiduelles utilisées dans les analyses de stabilité et calculs de tassement dans le secteur actuellement en exploitation du site de la RIDL<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Étude géotechnique et hydrogéologique, LET de Mont-Laurier, octobre 2007, par Conestoga-Rovers et Associés

Enfin, étant donné que la construction du LET nécessite l'utilisation de géosynthétiques, les paramètres conservateurs de résistances au cisaillement aux interfaces avec les géosynthétiques ont été définis sur la base de l'expérience de Groupe Alphard sur des projets similaires.

## 2.4 Paramètres de consolidation de l'argile

Les valeurs de contraintes de préconsolidation, de l'indice de vide, de l'indice de compression vierge et de coefficients de recompression mesurés lors des essais de consolidation sont résumées dans le tableau suivant. Les contraintes effectives verticales initiales à l'élévation du prélèvement des échantillons ont également été calculées et sont présentées dans le tableau.

Tableau 2 : Propriétés des sols rencontrés sur le site

Échantillon	Profondeur (m)	$\sigma'_p$ (kPa)	$\sigma'_{v0}$ (kPa)	$e_0$	$C_c$	$C_r$
P08-PM4	3,74	64	38,7	0,82	0,062	0,0196*

\* Aucune reconsolidation n'a pu être réalisée. Cette valeur se base sur une extrapolation de la courbe de consolidation initiale et sur l'expérience de Groupe Alphard pour des matériaux similaires.

## 2.5 Conditions de l'eau souterraine

Le niveau de la nappe observé lors des investigations était généralement situé à moins de 1 m de la surface du terrain naturel. Étant donné la présence de milieux humides sur le site, on peut présumer qu'au courant de l'année le niveau de la nappe phréatique atteint celui du terrain naturel. Par ailleurs, un aquifère confiné a été observé dans le secteur sud-est du site.

Selon le concept d'agrandissement présenté par le concepteur, les futures cellules d'enfouissement reposent directement à la surface du terrain naturel. Très peu de déblais seront réalisés dans les sols en place. Un réseau de contrôle du niveau d'eau sera installé sous le système d'imperméabilisation afin d'éviter des pressions hydrauliques sur ce dernier en cas de fluctuations de la nappe pendant les travaux. De plus, Il a été considéré que les systèmes de drainage qui seront présents dans les cellules et en périphérie du lieu d'enfouissement seront adéquats et permettront d'éviter la présence d'une nappe phréatique qui pourrait influencer la stabilité de l'ouvrage.

## 3. Analyses

### 3.1 Analyses de stabilité

#### 3.1.1 Méthodologie et scénarios de chargement

Les calculs de stabilité ont été réalisés à l'aide du logiciel Slide de Rocscience (version 9.020) selon la méthode de Bishop simplifié. Plusieurs scénarios de glissement ont été évalués afin de vérifier la stabilité au fil des différentes phases du projet, soit en construction, en exploitation et en période post-fermeture.

Les analyses ont été réalisées sur le profil est du site, en conditions non drainées (court terme) et drainées (long terme) et certaines d'entre elles simulent des conditions sismiques. Les profils analysés sont présentés en annexe 1. Ils ont été choisis en fonction de la nature du sol support, de la hauteur des matières résiduelles et de la configuration de la conception du pied aval des piles de matières résiduelles.

La stabilité globale de l'ouvrage a été évaluée sur la base de ruptures circulaires. De plus, étant donné que la construction du LET implique l'utilisation de géosynthétiques, des ruptures non circulaires (ruptures linéaires) ont également été analysées afin de vérifier la présence de plans de glissement potentiels aux interfaces des géosynthétiques.

#### 3.1.2 Paramètres sismiques

L'accélération horizontale considérée pour les analyses en condition pseudo statique a été déterminée en utilisant les valeurs du Code national du bâtiment du Canada (CNBC, 2015) et en considérant une probabilité de dépassement de 2 % sur 50 ans.

Le calcul de l'aléa sismique et les valeurs spectrales obtenues sont présentés en annexe 4 pour des sols de catégorie C (sol très dense et roche tendre). Dans le cas de la présente étude, la cellule d'enfouissement reposera généralement sur des sols meubles de catégorie E. Ainsi, un coefficient d'accélération spectral de 1,95 tiré du CNBC 2015 a été appliqué tel que décrit dans le code. L'accélération horizontale utilisée pour les analyses pseudo statique est de 0,200 g.

#### 3.1.3 Critère de rupture

Le facteur de sécurité minimum recherché est de 1,5 pour la stabilité de chacune des analyses, à l'exception des analyses en conditions pseudo statique où un facteur de sécurité d'au moins 1,0 est recherché.

Afin d'éviter l'évaluation des conditions de rupture superficielles, la profondeur minimale des plans de rupture a été fixée à 1 m. Lorsque requis, des plans de rupture complète des ouvrages sont également montrés à titre informatif.

#### 3.1.4 Résultats et recommandations

Les scénarios de glissement analysés correspondent à différentes étapes du projet, soit la construction, l'exploitation et la période de post-fermeture de la cellule d'enfouissement. Les résultats des analyses de stabilité sont présentés dans le tableau ci-après. Les figures présentant les cercles de rupture sont en annexe 1.

Tableau 3 : Synthèse des résultats des analyses de stabilité

Scénario	Type de ruptures	Facteur de sécurité recherché	Facteur de sécurité obtenu
Talus final des matières résiduelles	Circulaire	1,5	2,88
Talus final en condition pseudo statique	Circulaire	1,0	1,50
Système d'étanchéité	Interface	1,5	2,79
Recouvrement final	Interface	1,5	2,01
Recouvrement final + machinerie	Interface	1,5	1,96

Les résultats des analyses permettent de conclure que la stabilité globale du lieu d'enfouissement est assurée par un facteur de sécurité acceptable pendant la construction, l'exploitation et la période de post-fermeture, sur la base des hypothèses et des géométries posées à l'intérieur des modèles.

### 3.2 Tassements anticipés

Cette section vise à déterminer les tassements qui seront engendrés par la consolidation des dépôts d'argile sous la cellule d'enfouissement. En effet, la géométrie initiale du fond d'excavation et du recouvrement final doit permettre de maintenir les pentes minimales exigées par la réglementation après la fin de la consolidation de l'argile.

Les critères de conception qui sont retenus permettent de garantir le maintien des pentes minimales après que le tassement de l'argile a atteint sa valeur maximale :

- Pente minimale de la couche de drainage de 2 %;
- Pente minimale des conduites collectrices de 0,5 %;
- Pente minimale du recouvrement final de 2 %;
- Prise en compte d'hypothèses sécuritaires sur le tassement aux points hauts et aux points bas pour le calcul des pentes finales après tassements pour assurer une sécurité face aux tassements différentiels.

### 3.2.1 Méthodologie

Le tassement en un point donné du fond des cellules d'enfouissement peut être évalué en utilisant la formule suivante :

$$\Delta H = C_r \frac{H_o}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{vo}} + C_c \frac{H_o}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_{vo} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_p}$$

où :

- $\Delta H$  : tassement de consolidation total de la couche d'argile (m);
- $H_o$  : épaisseur originale de la couche d'argile (m);
- $e_o$  : indice des vides initiaux de la couche d'argile;
- $C_r$  : indice de recompression;
- $C_c$  : indice de compression;
- $\sigma'_p$  : contrainte de préconsolidation (kPa);
- $\sigma'_{vo}$  : contrainte effective verticale au centre de la couche d'argile (kPa);
- $\Delta\sigma_v$  : surcharge appliquée (kPa).

Le tassement des matières résiduelles enfouies a été estimé par la méthode de Sowers (1973)<sup>2</sup> en utilisant l'expression suivante :

$$\Delta H = C'_c \cdot H_o \cdot \log \frac{\sigma_i}{\sigma_o} + C_\alpha \cdot H_o \cdot \log \frac{t_2}{t_1}$$

où :

- $\Delta H$  : tassement total des matières résiduelles (m);
- $H_o$  : épaisseur initiale de la couche de matière résiduelle (m);
- $C'_c$  : indice de compression primaire modifié (varie entre 0,17 et 0,36. Une valeur de 0,26 a été considérée dans le cadre de cette étude);
- $C_\alpha$  : indice de compression secondaire modifié (varie entre 0,03 et 0,1. Une valeur de 0,07 a été considérée dans le cadre de cette étude);
- $\sigma_i$  : contrainte au centre de la couche de matière résiduelle, due au poids des couches supérieures (kPa);
- $\sigma_o$  : contrainte initiale sur la couche de matière résiduelle, considérée comme étant la pression de compaction, soit 48 kPa;
- $t_1$  : Date à partir de laquelle le tassement secondaire sera calculé ( $t_1 = 1$  mois);
- $t_2$  : Date de fin de l'estimation du tassement secondaire (la date de mise en place du recouvrement final correspondant à la date à laquelle la cellule est remplie a été considérée);

### 3.2.2 Hypothèses de calcul

Le tableau 1 qui suit présente les hypothèses prises en compte pour le calcul des tassements dans l'axe des drains de collecte du lixiviât. Les données géotechniques retenues sont celles qui nous apparaissent les plus défavorables. Les tassements ont été déterminés dans l'axe des drains soumis à la plus grande épaisseur de matières résiduelles, soit au point haut du drain longitudinal de la cellule 13 (à proximité de P08-2020) et au point bas du drain longitudinal de la cellule 12 (au nord-ouest de P07-2020).

---

<sup>2</sup> Geotechnical aspects of landfill design and construction, X. Qian, R. Koerner, D. H. Gray.



En se basant sur la modélisation conceptuelle des cellules d'enfouissement de la zone d'agrandissement, un troisième point situé entre les deux précédents a été utilisé pour le calcul de tassement, afin de vérifier les risques de courbures et d'inversement du sens d'écoulement dans les conduites du réseau d'évacuation des lixiviats. Le point choisi correspond également au secteur de la zone d'agrandissement où l'épaisseur des matières résiduelles projetée sera maximale.

L'épaisseur d'argile retenue pour le point haut et le point bas a été évaluée à partir des coupes stratigraphiques du secteur sud-est de l'agrandissement.

Tableau 4 : Hypothèses de calculs – drains de collecte du lixiviat

Paramètres	Point haut	Point intermédiaire	Point bas
$C_r$	0,02	0,02	0,02
$C_c$	0,062	0,062	0,062
Épaisseur d'argile (m)	3,5	4,25	3,9
$\gamma_{\text{argile}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	17	17	17
$\sigma'_{vo}$ (kPa)	29,2	16,7	7,2
$\sigma'_p$ (kPa)	64	64	64
$\gamma_{\text{matières résiduelles}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	11	11	11

Le tableau 2 qui suit présente les hypothèses prises en compte pour le calcul des tassements des matières résiduelles. Les tassements ont été estimés en considérant les hypothèses suivantes :

- Chaque cellule a une superficie moyenne de 5 000 m<sup>2</sup>;
- Chaque cellule est remplie par couches successives de 3 m d'épaisseur;
- Le taux de remplissage des cellules considéré est de 20 000 m<sup>3</sup>/an<sup>3</sup>;
- La hauteur moyenne des matières résiduelles dans les cellules est de 10 m.

Ainsi, il faudrait environ 2,5 ans pour remplir une cellule moyenne. Les tassements des matières résiduelles ont été déterminés pour différents paliers de remplissage des cellules jusqu'à une épaisseur totale de matières résiduelles de 21 m, afin de prendre en considération les zones du site où la hauteur des déchets est maximale (19,6 m).

<sup>3</sup> Demande de certificat d'autorisation – Mise en conformité du site d'enfouissement de Mont-Laurier, 20 février 2008, Génivar Société en commandite

Tableau 5 : Hypothèses de calculs –recouvrement final

Paramètres	Valeurs
$C'_c$	0,26
$C'_\alpha$	0,07
Épaisseur matières résiduelles $H_0(m)$	3
$\sigma_0$ (kPa)	48
$\gamma_{\text{matières résiduelles}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	11
$t_1$ (mois)	1

### 3.2.3 Prédiction des tassements et recommandations

#### 3.2.3.1 Tassements du fond de cellule dans l'axe des drains

Les calculs révèlent que le tassement maximum au point haut atteindrait 0,13 m et 0,27 m au point bas. Entre les 2 points, le tassement intermédiaire est de 0,24 m. Rappelons que les drains doivent respecter la pente minimale de 0,5% prescrite par le REIMR. Malgré les tassements ainsi obtenus, la pente initiale des drains est conservée. La pente finale après tassement serait de 0,59%.

#### 3.2.3.2 Tassements du recouvrement final

Les calculs indiquent que le tassement variera entre 0,14 m et 3,86 m pour des matières résiduelles de 3 m d'épaisseur à 21 m d'épaisseur. La figure suivante montre les valeurs de tassement obtenues en fonction de l'épaisseur finale de matières résiduelles enfouies. La répartition de ces tassements sur la superficie totale de l'agrandissement est présentée à l'annexe 2. Ainsi, pour l'épaisseur de matières résiduelles la plus élevée (19,6 m), le tassement anticipé est de l'ordre de 3,40 m. Ce tassement pourra être progressivement comblé par les matières résiduelles de manière à respecter le profil final du site autorisé par le REIMR.

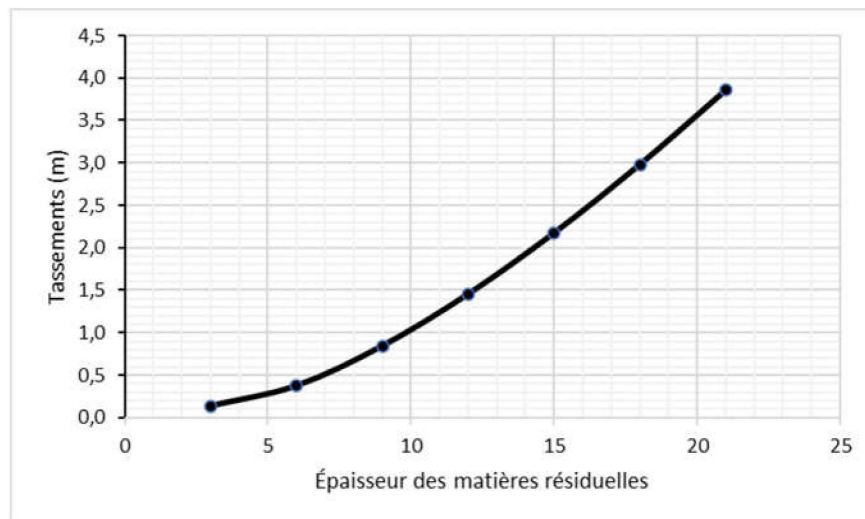


Figure 1. Courbe des tassements en fonction de l'épaisseur des matières résiduelles

### 3.2.3.3 Allongement des géomembranes

Les tassements de la cellule d'enfouissement sont susceptibles de solliciter les géomembranes en tension. Pour vérifier ce point, le calcul consiste à déterminer l'allongement des géomembranes engendré par les tassements en comparant la longueur finale et la longueur initiale du système d'étanchéité dans l'axe du fond de cellule. Toutefois, compte tenu de la géométrie du fond, le tassement n'aura pas pour effet d'étirer les géomembranes.

## 3.3 Soulèvement du fond d'excavation

### 3.3.1 Méthodologie

La méthode proposée par Holtz et Kovacks (2010)<sup>4</sup> a été utilisée pour évaluer les risques de soulèvement du fond d'excavation en un point donné à l'aide de la formule suivante :

$$FS = \frac{P_w \times g \times H_w}{\sum P_s \times g \times H_s}$$

où :

$H_s$  : épaisseur des couches de sols qui doivent être laissées en place suite à l'excavation (m);

$P_w$  : Poids volumique de l'eau (kN/m<sup>3</sup>);

$H_w$  : Charge hydraulique de la nappe captive (m);

$P_s$  : Poids volumique des sols au-dessus de la nappe captive (kN/m<sup>3</sup>);

FS : Facteur de sécurité.

La nappe captive a été interceptée au droit des forages P07-2020 et P08-2020, dans une couche de sable silteux avec traces de gravier à graveleux. Par ailleurs, un facteur de sécurité minimal de 1,2 a été fixé pour les fins de la présente étude.

### 3.3.2 Résultats

Les résultats de l'évaluation des risques de soulèvement sont présentés en annexe 3. La profondeur d'excavation doit être limitée dans le secteur est du site, du fait de la présence de la nappe captive et de la couche d'argile silteuse. Le niveau minimum du fond des excavations ne devra pas excéder 227,31 m et 228,55 m respectivement dans les secteurs des forages P07-2020 et P08-2020.

Il est cependant important de mentionner que cette évaluation est basée sur les niveaux piézométriques relevés au courant de l'automne 2020. Les variations saisonnières du niveau de la nappe phréatique pourraient avoir une incidence sur les résultats.

---

<sup>4</sup> Holtz, R. D., & Kovacks, W. D. (2010). Introduction à la géotechnique (J. Lafleur, Trad., p. 269-270)

## 4. Conclusion

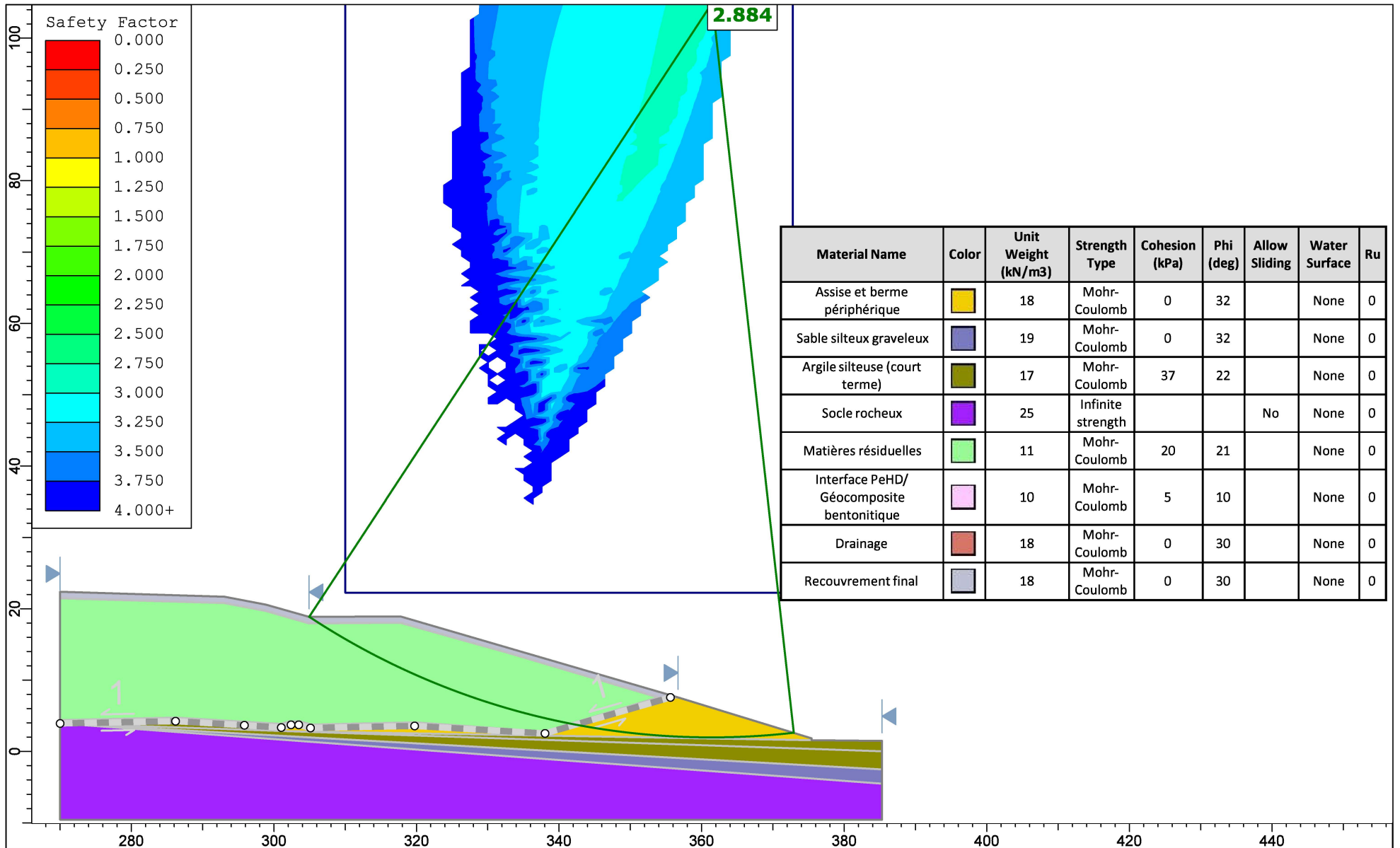
La présente analyse géotechnique de la conception de l'agrandissement du LET de la RIDL vient compléter l'étude géotechnique et hydrogéologique précédemment effectuée par Groupe Alphard. Cette analyse a porté sur :


- l'évaluation de la stabilité de l'ouvrage en condition statique et pseudo statique;
- l'évaluation des tassements générés par le profil proposé par le concepteur, et
- l'analyse de la stabilité de l'ouvrage vis-à-vis du soulèvement du fond d'excavation.

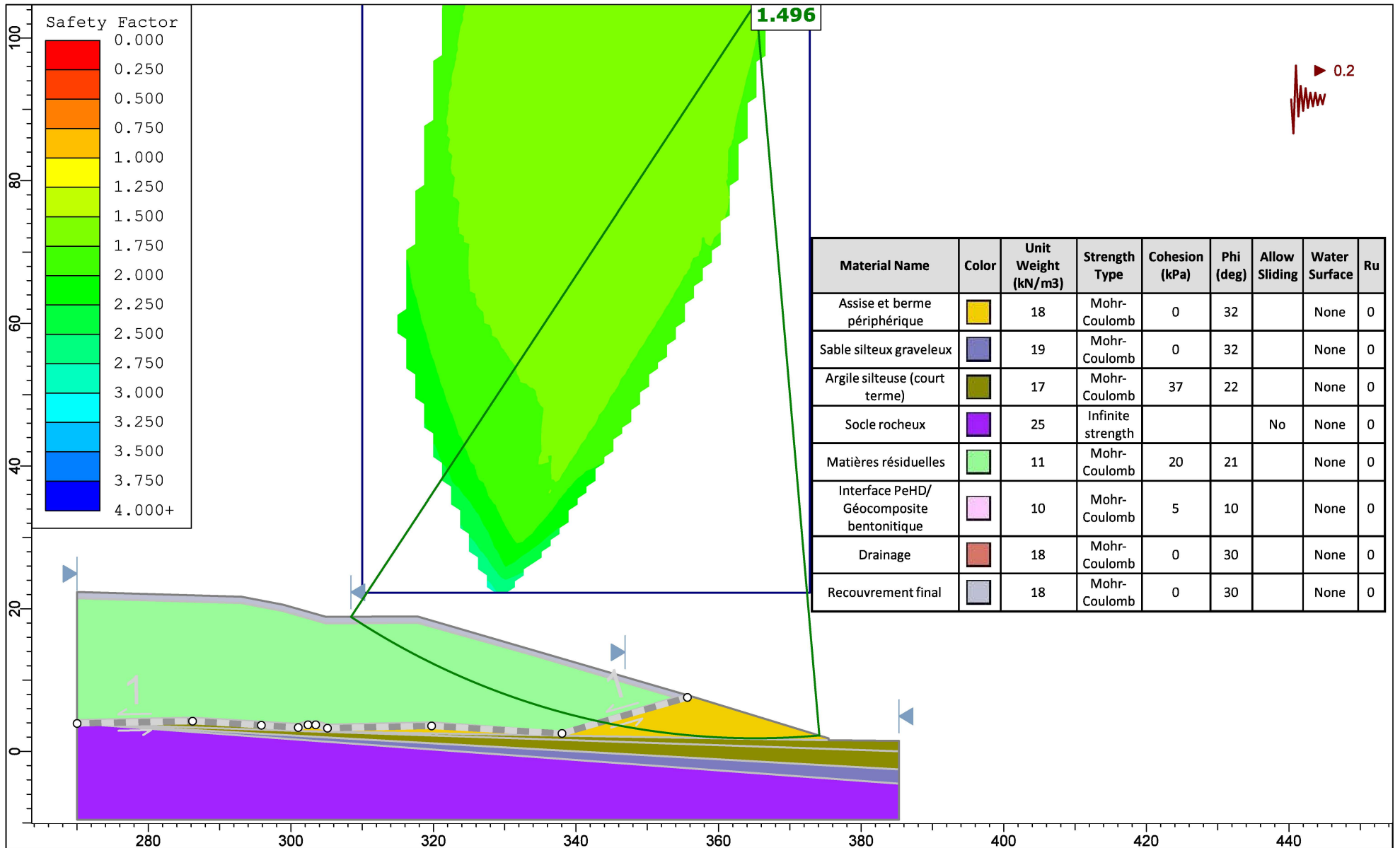
Les différents résultats obtenus ont montré que le concept proposé des cellules d'enfouissement permet d'assurer la stabilité des ouvrages aux différentes étapes de l'exploitation du site.

---

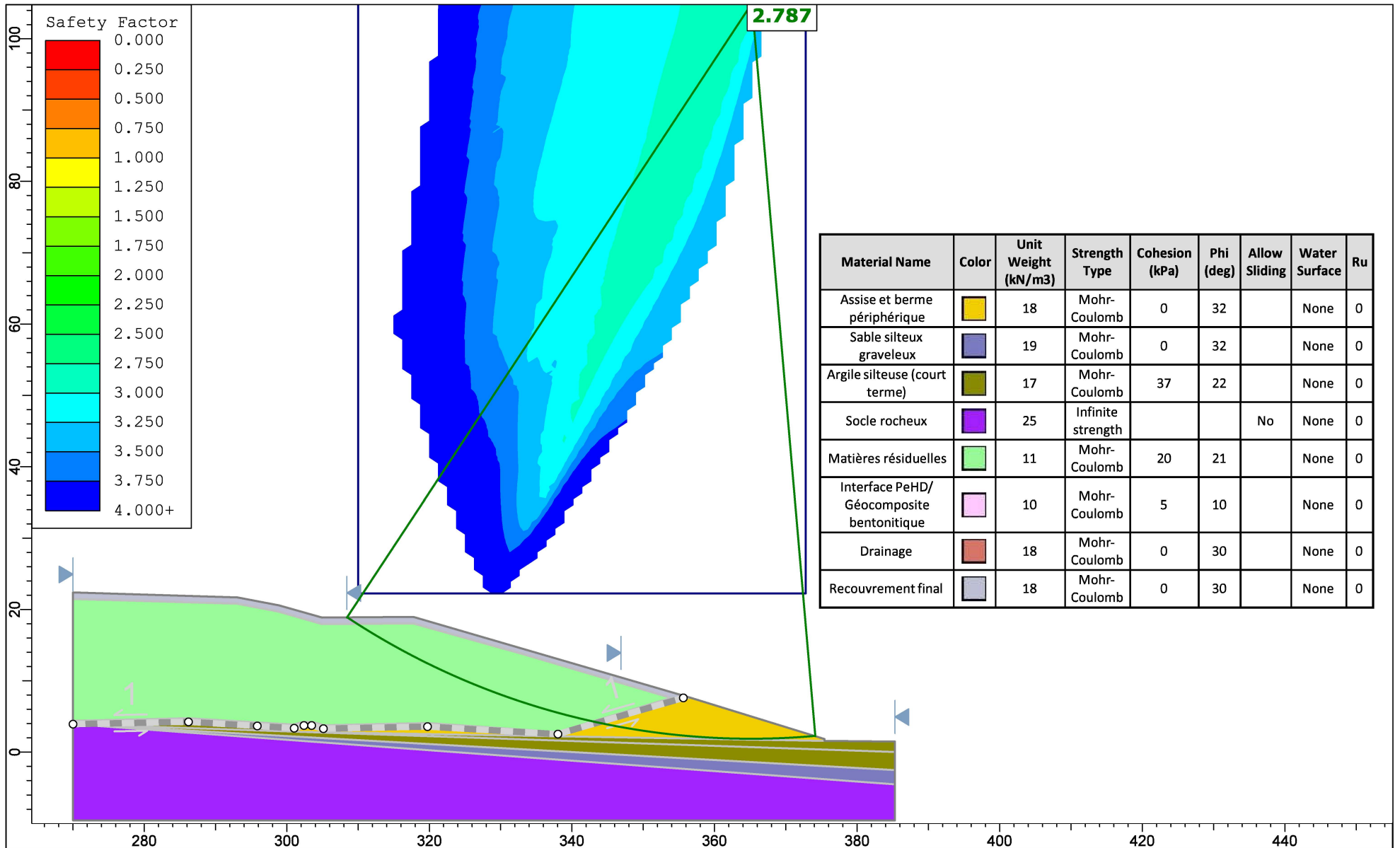
## Annexe 1 : Résultat des analyses de stabilité




CLIENT:	 <b>Alphard</b>	SCEAU:	PROJET:	TITRE:
			Agrandissement du lieu d'enfouissement technique (LET)	Stabilité talus Est.slmd
			PRÉPARÉ PAR: É. Ndanga, ing.	VÉRIFIÉ PAR: P. Pierre, ing.
		APPROUVÉ PAR: E. Ndanga, ing.	CHARGÉ DE PROJET: P. Pierre, ing.	SCÉNARIO: Master Scenario
		ECHELLE: 1:750	DATE: 2022-01-17	N° ANALYSE: RIL-002-CAL-001
				RÉVISION: 00

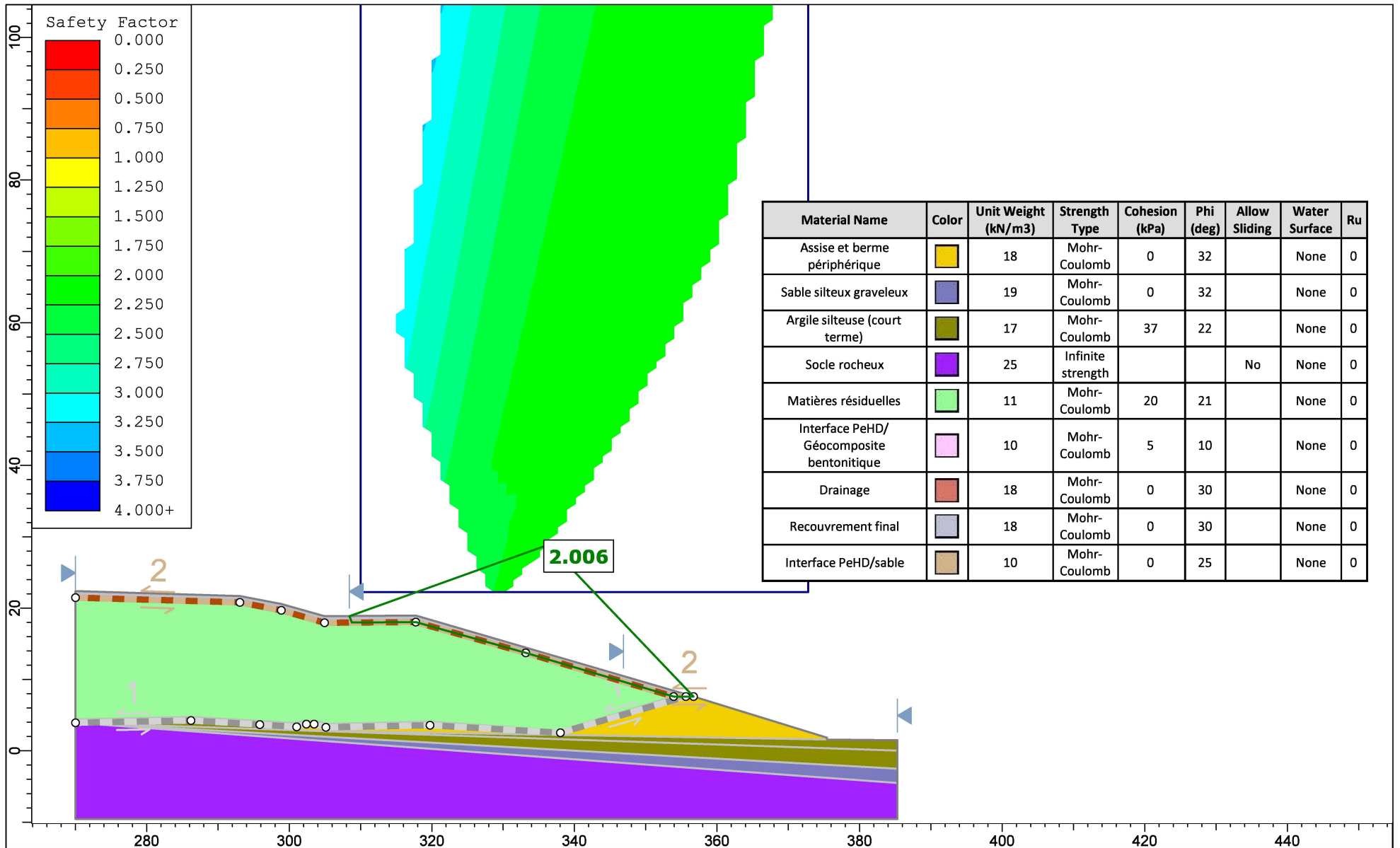


CLIENT:	SCEAU:		PROJET:	TITRE:	
 <b>RÉGIE INTERMUNICIPALE DES DÉCHETS DE LA LIÈVRE</b>	 <b>Alphard</b>		Agrandissement du lieu d'enfouissement technique (LET)	Stabilité talus Est.slmd	
			PRÉPARÉ PAR: É. Ndanga, ing.	VÉRIFIÉ PAR: P. Pierre, ing.	MÉTHODE D'ANALYSE: Bishop simplified
			APPROUVÉ PAR: E. Ndanga, ing.	CHARGÉ DE PROJET: P. Pierre, ing.	SCÉNARIO: Analyse pseudo-statique
			ECHELLE: 1:750	DATE: 2022-01-17	N° ANALYSE: RIL-002-CAL-001

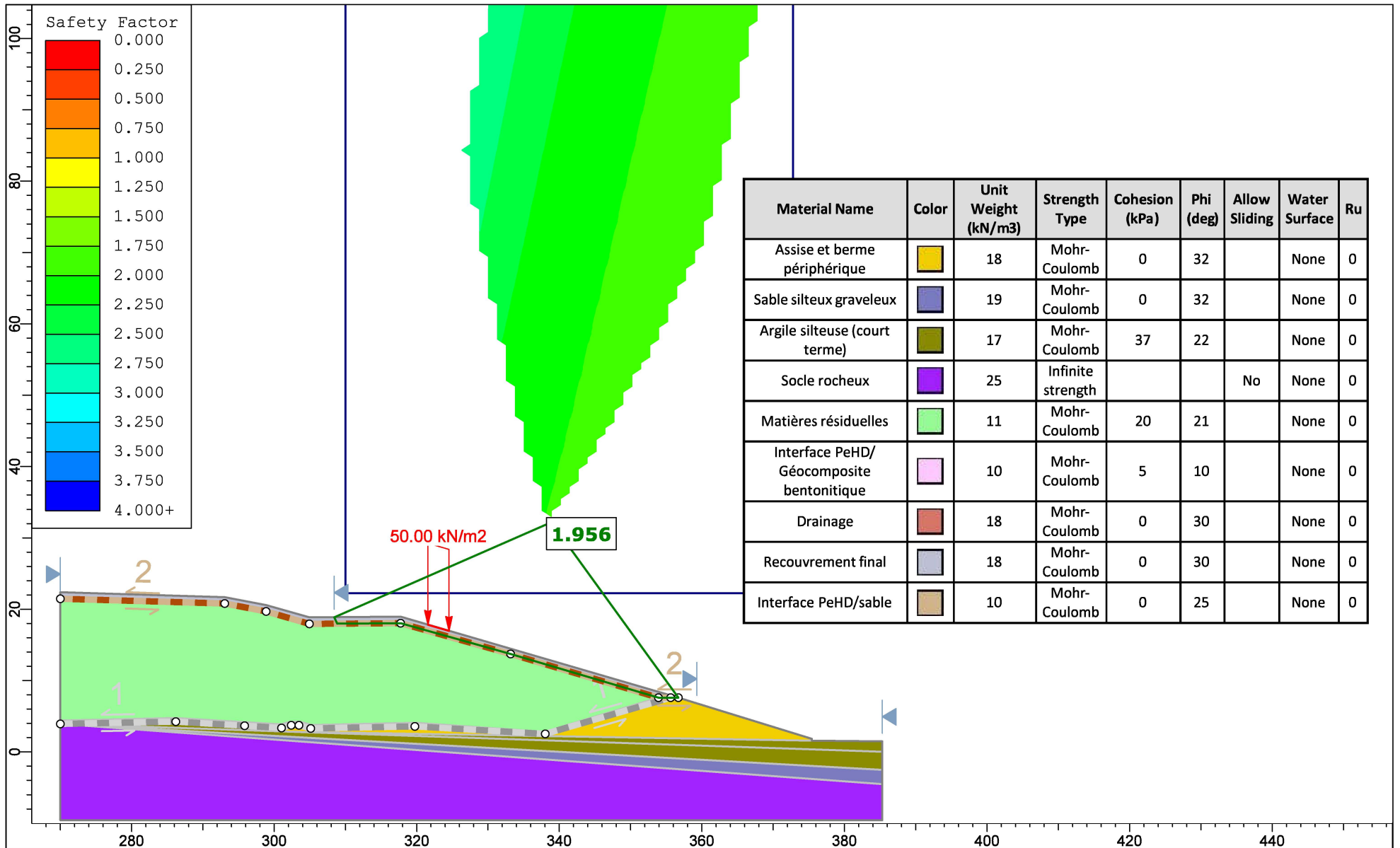


CLIENT:	 <b>Alphard</b>	SCEAU:	PROJET:	TITRE:
			Agrandissement du lieu d'enfouissement technique (LET)	Stabilité talus Est.slmd
			PRÉPARÉ PAR: É. Ndanga, ing.	VÉRIFIÉ PAR: P. Pierre, ing.
		APPROUVÉ PAR: E. Ndanga, ing.	CHARGÉ DE PROJET: P. Pierre, ing.	SCÉNARIO: Interface PeHD/géofilet
		ECHELLE: 1:750	DATE: 2022-01-17	N° ANALYSE: RIL-002-CAL-001
				RÉVISION: 00

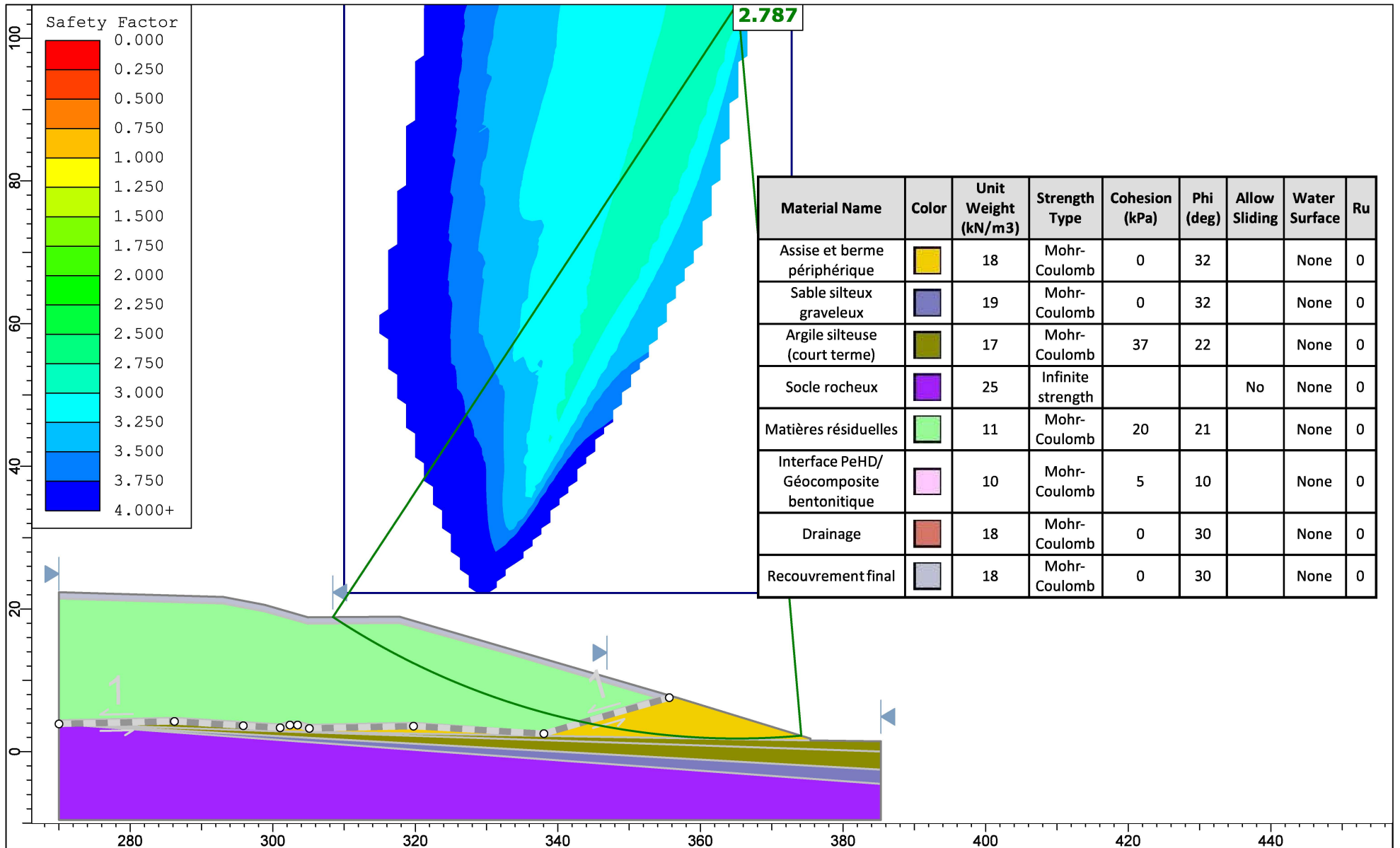






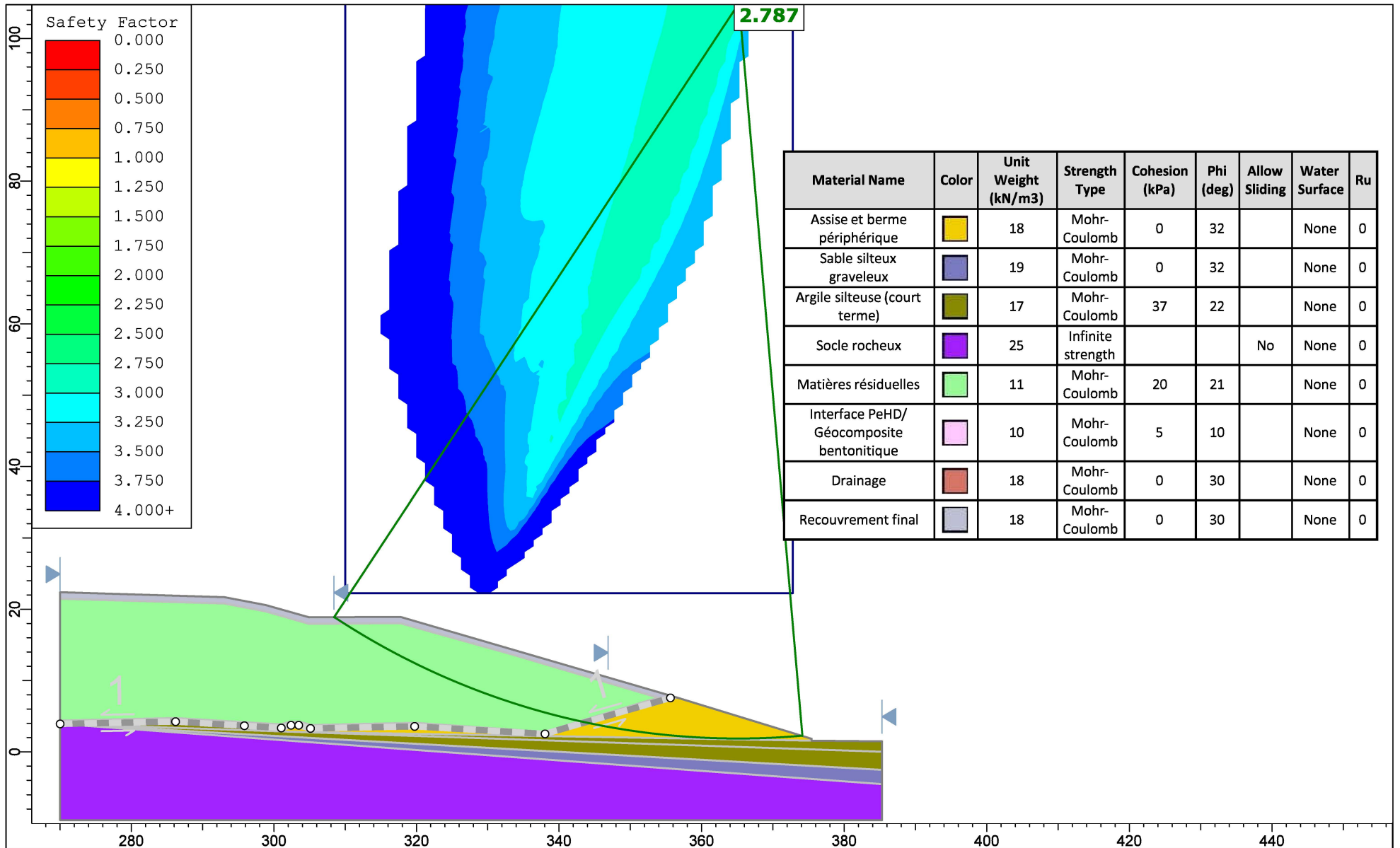
CLIENT:	SCEAU:	PROJET:	TITRE:	
 <b>RÉGIE INTERMUNICIPALE DES DÉCHETS DE LA LIÈVRE</b>	 <b>Alphard</b>	Agrandissement du lieu d'enfouissement technique (LET)	Stabilité talus Est.slmd	
		PRÉPARÉ PAR: É. Ndanga, ing.	VÉRIFIÉ PAR: P. Pierre, ing.	MÉTHODE D'ANALYSE: Bishop simplified
		APPROUVÉ PAR: E. Ndanga, ing.	CHARGÉ DE PROJET: P. Pierre, ing.	SCÉNARIO: Recouvrement final
		ECHELLE: 1:750	DATE: 2022-01-17	N° ANALYSE: RIL-002-CAL-001





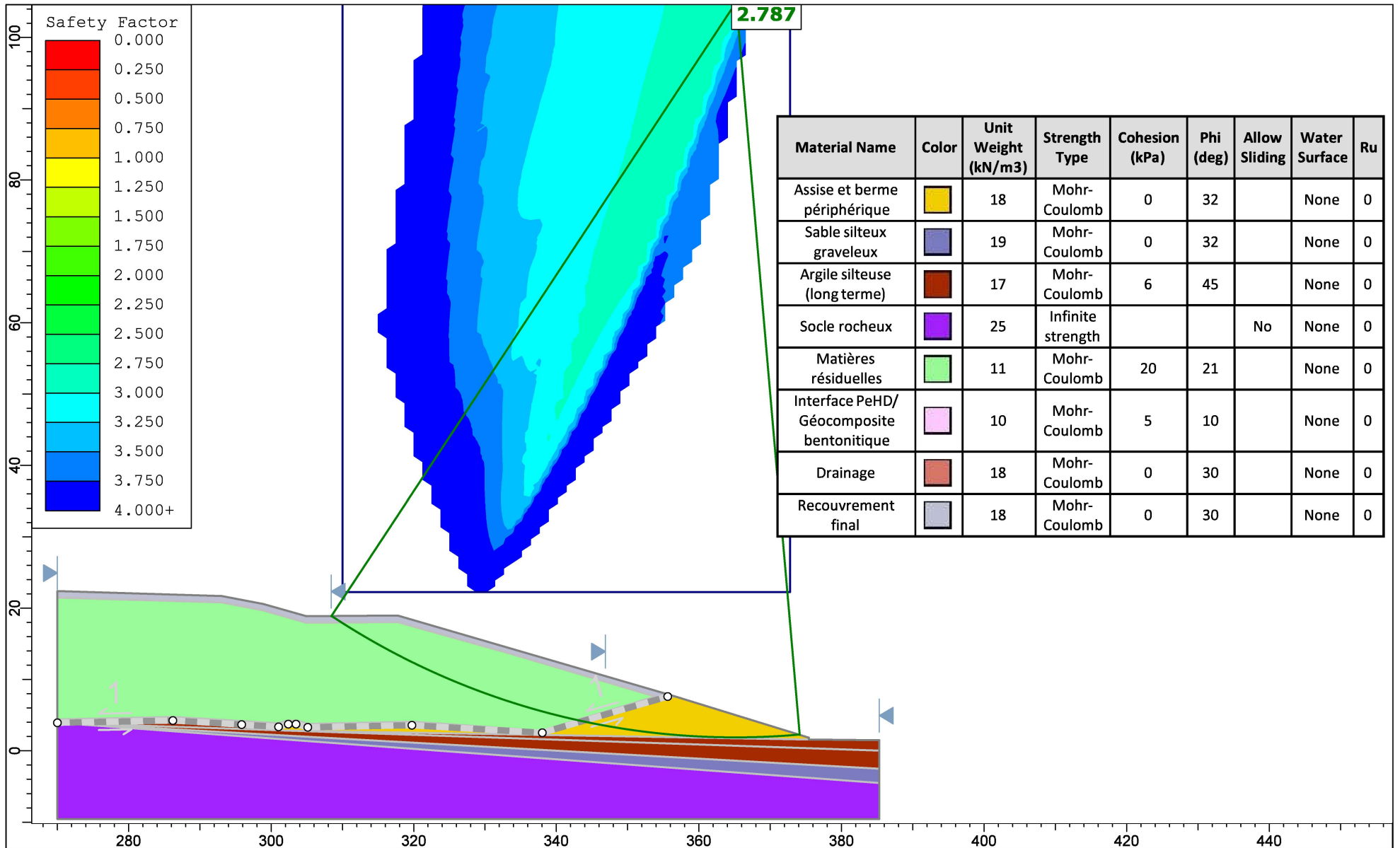
CLIENT:	 <b>Régie Intercommunale DES DÉCHETS DE LA LIÈVRE</b>	SCEAU:	PROJET:	TITRE:
 <b>Alphard</b>			Agrandissement du lieu d'enfouissement technique (LET)	Stabilité talus Est.slmd
			PRÉPARÉ PAR: É. Ndanga, ing.	VÉRIFIÉ PAR: P. Pierre, ing.
		APPROUVÉ PAR: E. Ndanga, ing.	CHARGÉ DE PROJET: P. Pierre, ing.	SCÉNARIO: Recouvrement final + machinerie
		ECHELLE: 1:750	DATE: 2022-01-17	N° ANALYSE: RIL-002-CAL-001
				RÉVISION: 00



CLIENT:	 <b>Régie Intercommunale DES DÉCHETS DE LA LIÈVRE</b>	SCEAU:	PROJET:	TITRE:	
		 <b>Alphard</b>	Agrandissement du lieu d'enfouissement technique (LET)	Stabilité talus Est.slmd	
			PRÉPARÉ PAR: É. Ndanga, ing.	VÉRIFIÉ PAR: P. Pierre, ing.	MÉTHODE D'ANALYSE: Bishop simplified
			APPROUVÉ PAR: E. Ndanga, ing.	CHARGÉ DE PROJET: P. Pierre, ing.	SCÉNARIO: Interface PeHD/Géocomposite bentonitique
		ECHELLE: 1:750	DATE: 2022-01-17	N° ANALYSE: RIL-002-CAL-001	RÉVISION: 00



CLIENT:	 <b>Régie Intercommunale DES DÉCHETS DE LA LIÈVRE</b>	SCEAU:	PROJET:	TITRE:
 <b>Alphard</b>			Agrandissement du lieu d'enfouissement technique (LET)	Stabilité talus Est.slmd
			PRÉPARÉ PAR: É. Ndanga, ing.	VÉRIFIÉ PAR: P. Pierre, ing.
		APPROUVÉ PAR: E. Ndanga, ing.	CHARGÉ DE PROJET: P. Pierre, ing.	SCÉNARIO: Interface Géocomposite bentonitique/sable
		ECHELLE: 1:750	DATE: 2022-01-17	N° ANALYSE: RIL-002-CAL-001
				RÉVISION: 00

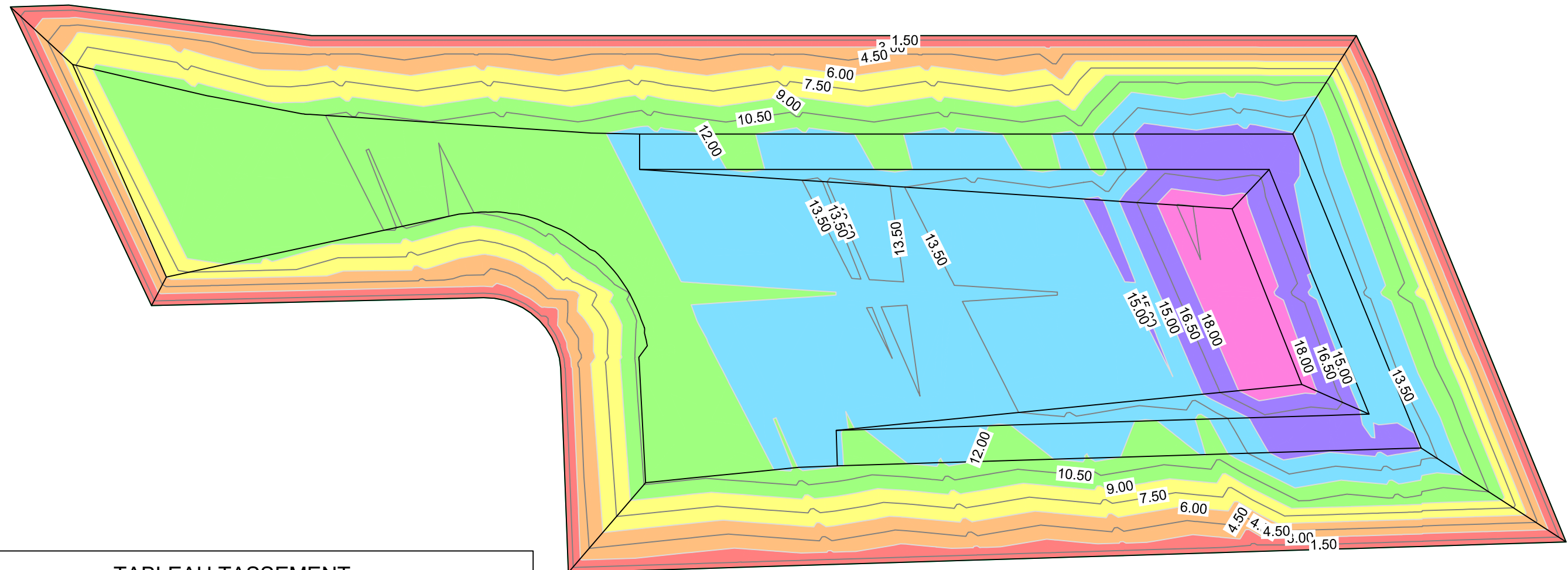
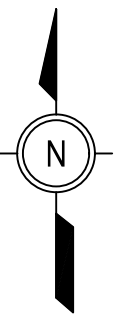


CLIENT:		SCEAU:	PROJET:	TITRE:	
			Agrandissement du lieu d'enfouissement technique (LET)	Stabilité talus Est.slmd	
			PRÉPARÉ PAR: É. Ndanga, ing.	VÉRIFIÉ PAR: P. Pierre, ing.	MÉTHODE D'ANALYSE: Bishop simplified
			APPROUVÉ PAR: E. Ndanga, ing.	CHARGÉ DE PROJET: P. Pierre, ing.	SCÉNARIO: Stabilité à long terme (conditions drainées)
		ECHELLE: 1:750	DATE: 2022-01-17	N° ANALYSE: RIL-002-CAL-001	
				RÉVISION: 00	

---

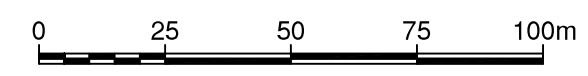
Annexe 2 : Résultats des calculs de tassement des Matières résiduelles





**TABLEAU TASSEMENT  
DES MATIÈRES RÉSIDUELLES**

Number	Minimum Elevation	Maximum Elevation	Color	TASSEMENTS ( m )
1	0.00	3.00	Red	0.14
2	3.00	6.00	Orange	0.37
3	6.00	9.00	Yellow	0.84
4	9.00	12.00	Light Green	1.45
5	12.00	15.00	Light Blue	2.17
6	15.00	18.00	Purple	2.98
7	18.00	21.00	Pink	3.86



**VERSION FINALE**

REVISIONS	DATE	DESCRIPTION	No. PROJET	DESSINÉ PAR	CONÇU PAR	No. OIQ
01	2022-05-10	VERSION FINALE	RIL-002	M.G.	É.N.	
00	2022-02-11	VERSION FINALE	RIL-002	M.G.	É.N.	



SCEAU:  
CLIENT:

PROJET:  
**ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE  
AGRANDISSEMENT LET RIDL**

CONÇU PAR:  
É. Ndanga ing.

DESSINÉ PAR:  
M. GRIGNON

VÉRIFIÉ PAR:  
É. Ndanga ing.

APPROUVÉ PAR:  
É. Ndanga ing.

CHARGÉ DE PROJET:  
É. Ndanga ing.

ÉCHELLE:  
1:1500

DATE:  
2022-02-11

TITRE:  
**PLAN DE TASSEMENT  
DES MATIÈRES RÉSIDUELLES**

PAGE:  
N/A

FORMAT:  
ANSI B

NUMÉRO DE DESSIN:  
**RIL-002-CIV-100-001**

RÉVISION:  
**01**

---

## Annexe 3 : Résultats évaluation des risques de soulèvement du fond d'excavation



Client : RÉGIE INTERMUNICIPALE DES DÉCHETS DE LA LIÈVRE

Date : 2022-01-17

Projet : Agrandissement du lieu d'enfouissement technique (LET)

Dossier No : RIL-002

Description : Vérification au niveau du soulèvement du fond d'excavation sur la base du forage P07-2020

Révision : 01

Note de calculs :  Miane Ndanga, ing., OIQ N°: 5067940

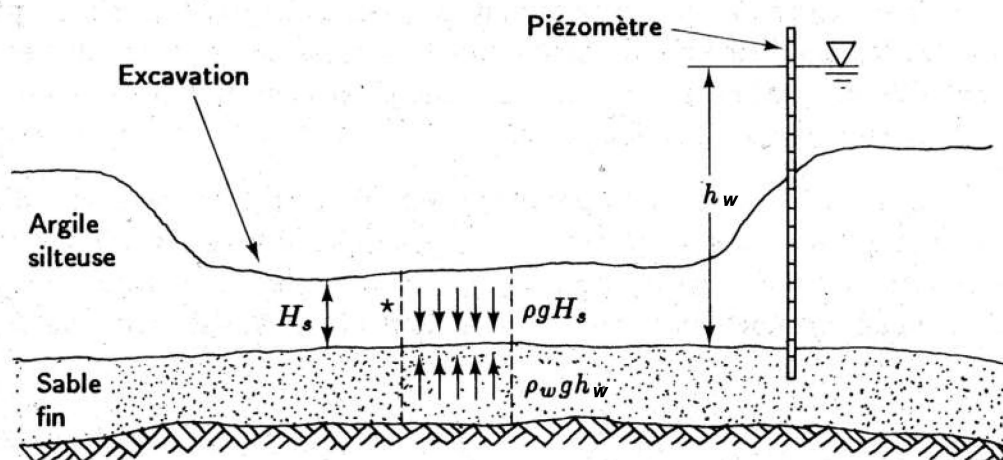
Vérfiée par : Pascale Pierre, ing., OIQ N°:

Signature :

Signature :

Symbole	Pression verticale exercée par les sols en place	Unité	Valeur
	$P_s = \sum(\gamma_i \times H_{Si})$		
$\gamma_1 * H_{S1}$	Couche 1 : Argile, épaisseur en place après l'excavation de la cellule vis-à-vis du forage P07-2020 Poids volumique $\gamma_1$ : 17,0 (kN/m <sup>3</sup> )      Épaisseur $H_{S1}$ : 4,25 (m)	kPa	72,25
$\gamma_2 * H_{S2}$	Couche 2 : Sable silteux, épaisseur en place après l'excavation de la cellule vis-à-vis du forage P07-2020 Poids volumique $\gamma_2$ : 21,0 (kN/m <sup>3</sup> )      Épaisseur $H_{S2}$ : 0,55 (m)	kPa	11,55
$\gamma_3 * H_{S3}$	Couche 3 : Poids volumique $\gamma_3$ : (kN/m <sup>3</sup> )      Épaisseur $H_{S3}$ : (m)	kPa	0,00
$P_s$	Pression verticale exercée par les sols	kPa	83,80
Symbole	Pression hydrostatique et soulèvement du fond d'excavation	Unité	Valeur
	$P_w = \rho_w \times g \times h_w = \gamma_w \times h_w$		
$\rho_w$	Masse volumique de l'eau	kg / m <sup>3</sup>	1 000
$g$	Accélération gravitationnelle	m / s <sup>2</sup>	9,81
$\gamma_w$	Poids volumique de l'eau, $\gamma_w = \rho_w * g$	kN / m <sup>3</sup>	9,81
$EL_{Piezo}$	Élévation du niveau piézométrique de la couche sous-jacente à l'argile	m	229,60
$EL_{Sommet}$	Élévation du sommet de la couche sous-jacente à l'argile	m	222,51
$h_w$	Hauteur d'eau artésienne, $h_w = EL_{Piezo} - EL_{Sommet}$	m	7,09
$P_w$	Poussée hydrostatique exercée par l'eau	kPa	69,55
$FS_{Soulèvement}$	Facteur de sécurité au soulèvement du fond d'excavation, $FS_{Soulèvement} = P_s / P_w$	-----	1,20
$EL_{fond excavation}$	Élévation du fond de l'excavation	m	227,31

Commentaires : Le cas le plus défavorable se produit lorsque l'excavation de la cellule est complétée et que cette dernière est vide.



\* Ne pas tenir compte de la résistance au cisaillement le long des parois.

Figure E.7.17

Client : RÉGIE INTERMUNICIPALE DES DÉCHETS DE LA LIÈVRE

Date : 2022-01-17

Projet : Agrandissement du lieu d'enfouissement technique (LET)

Dossier No : RIL-002

Description : Vérification au niveau du soulèvement du fond d'excavation sur la base du forage P08-2020

Révision : 01

Note de calcul :  Eliane Ndanga, ing., OIQ N°: 5067940

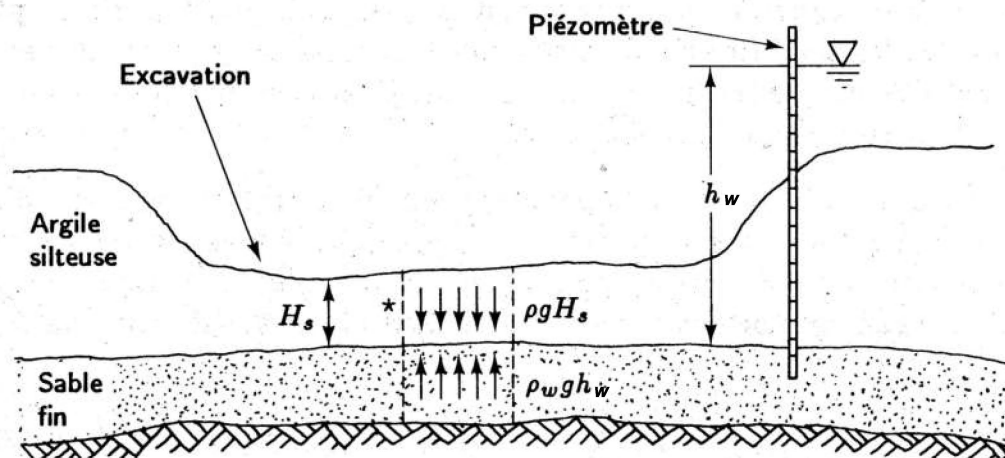
Vérfiée par : Pascale Pierre, ing., OIQ N°:

Signature :

Signature :

Symbole	Pression verticale exercée par les sols en place	$P_s = \sum(\gamma_i \times H_{Si})$	Unité	Valeur
$\gamma_1 * H_{S1}$	Couche 1 : Argile, épaisseur en place après l'excavation de la cellule vis-à-vis du forage P08-2020 Poids volumique $\gamma_1$ : 17,0 (kN/m <sup>3</sup> )	Épaisseur $H_{S1}$ : 2,38 (m)	kPa	40,48
$\gamma_2 * H_{S2}$	Couche 2 : Poids volumique $\gamma_2$ : (kN/m <sup>3</sup> )	Épaisseur $H_{S2}$ : (m)	kPa	0,00
$\gamma_3 * H_{S3}$	Couche 3 : Poids volumique $\gamma_3$ : (kN/m <sup>3</sup> )	Épaisseur $H_{S3}$ : (m)	kPa	0,00
$P_s$	Pression verticale exercée par les sols		kPa	40,48
Symbole	Pression hydrostatique et soulèvement du fond d'excavation	$P_w = \rho_w \times g \times h_w = \gamma_w \times h_w$	Unité	Valeur
$\rho_w$	Masse volumique de l'eau		kg / m <sup>3</sup>	1 000
$g$	Accélération gravitationnelle		m / s <sup>2</sup>	9,81
$\gamma_w$	Poids volumique de l'eau, $\gamma_w = \rho_w * g$		kN / m <sup>3</sup>	9,81
$EL_{Piezo}$	Élévation du niveau piézométrique de la couche sous-jacente à l'argile		m	229,60
$EL_{Sommet}$	Élévation du sommet de la couche sous-jacente à l'argile		m	226,17
$h_w$	Hauteur d'eau artésienne, $h_w = EL_{Piezo} - EL_{Sommet}$		m	3,43
$P_w$	Poussée hydrostatique exercée par l'eau		kPa	33,62
$FS_{Soulèvement}$	Facteur de sécurité au soulèvement du fond d'excavation, $FS_{Soulèvement} = P_s / P_w$		-----	1,20
$EL_{fond excavation}$	Élévation du fond de l'excavation		m	228,55

Commentaires : Le cas le plus défavorable se produit lorsque l'excavation de la cellule est complétée et que cette dernière est vide.



\* Ne pas tenir compte de la résistance au cisaillement le long des parois.

Figure E.7.17

---

## Annexe 4 : Calcul de l'aléa sismique – CNBC 2015

# 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: 46.538N 72.475W

Bibliographie fichier utilisateur: Lieu d'enfouissement technique

2022-02-01 07:16 UT

Demandeur: Groupe Alphard inc., Régie intermunicipale des déchets de la Lièvre

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)	0.347	0.178	0.103	0.034
Sa (0.1)	0.412	0.224	0.137	0.049
Sa (0.2)	0.347	0.197	0.127	0.049
Sa (0.3)	0.266	0.157	0.104	0.042
Sa (0.5)	0.194	0.119	0.080	0.032
Sa (1.0)	0.103	0.065	0.044	0.017
Sa (2.0)	0.052	0.032	0.021	0.007
Sa (5.0)	0.014	0.008	0.005	0.001
Sa (10.0)	0.005	0.003	0.002	0.001
PGA (g)	0.222	0.124	0.077	0.027
PGV (m/s)	0.166	0.098	0.063	0.022

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