

## **ANNEXE I**

---

Rapport/Étude de stabilité

**Municipalité de Maskinongé**

Étude de stabilité

## **Table des matières**

<b>1.0 INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>2.0 TRAVAUX RÉALISÉS .....</b>	<b>2</b>
2.1 SITE A.....	2
2.2 SITE B.....	2
2.3 SITE E.....	3
2.4 SITE G .....	3
<b>3.0 INFORMATIONS DISPONIBLES .....</b>	<b>4</b>
<b>4.0 ANALYSES DE STABILITÉ .....</b>	<b>5</b>
4.1 MÉTHODOLOGIE ET CRITÈRE DE STABILITÉ .....	5
4.2 CHOIX DES SECTIONS ET GÉOMÉTRIE DU MODÈLE .....	6
4.3 PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX .....	7
4.4 RÉSULTATS DES ANALYSES ET COMMENTAIRES .....	8
4.4.1 ANALYSES AVANT STABILISATION (SANS BERME) .....	8
4.4.2 ANALYSES APRÈS STABILISATION (AVEC BERME) .....	10
<b>5.0 TRAVAUX RECOMMANDÉS .....</b>	<b>12</b>
<b>6.0 CONCLUSION.....</b>	<b>14</b>

## **1.0 INTRODUCTION**

En mars 2002, SNC-LAVALIN inc. a effectué la surveillance des travaux de protection des berges de la rivière Maskinongé aux sites A et B tel que prévu dans le décret gouvernemental 153-2002. Cependant, en raison d'un dégel hâtif entraînant l'amorce de la crue des eaux les sites E et G ne purent être protégés. Ce n'est qu'en juillet 2002 que tous les travaux d'urgence ont été complétés, une fois que le niveau d'eau de la rivière baissa suffisamment pour permettre la réalisation des ouvrages en toute sécurité.

Pour chacun des quatre (4) sites, les travaux de protection effectués sont conforme aux plans et devis soumis et approuvé préalablement par le Ministère de l'Environnement du Québec.

Dans les pages qui suivent, nous présenterons l'analyse de stabilité des travaux effectués de même que les modifications pouvant être apportées aux ouvrages en place pour se conformer aux conditions du décret 153-2002 adopté en février dernier.

## **2.0 TRAVAUX RÉALISÉS**

Tous les ouvrages de protection ont été réalisés sous la surveillance d'une personne qualifiée techniquement afin de s'assurer que l'exécution des travaux soit conforme aux plans et devis soumis au Ministère de l'Environnement du Québec.

Les chemins d'accès pour chacun des quatre (4) sites ont été conservés, tel que prévu, en vue des travaux complémentaires de reprofilage et de renaturalisation.

### **2.1 Site A**

Les travaux effectués en mars 2002 au site A sont la construction d'une berme de 124 mètres de long, de 6,60 mètres de largeur et dont la hauteur retenue était de 1,00 mètre au-dessus du niveau d'eau pris en novembre 2002. Un contrepoids de pierre de calibre 750-150 mm de 3 671 tonnes a donc été mis en place.

### **2.2 Site B**

Les travaux effectués en mars 2002 au site B sont la construction d'une berme de 150 mètres de long, d'une largeur moyenne de 5,50 mètres et dont la hauteur retenue était de 0,50 mètre au-dessus du niveau d'eau pris en novembre 2002. Un contrepoids de pierre de calibre 750-150 mm de 4000 tonnes a donc été mis en place.

### **2.3 Site E**

Les travaux effectués en juillet 2002 au site E sont la construction d'une berme de 92 mètres de long, d'une largeur moyenne de 5,00 mètres et dont la hauteur retenue était de 1,00 mètre au-dessus du niveau d'eau pris en février 2002. Un contrepoids de pierre de calibre 750-150 mm de 2 615 tonnes a donc été mis en place.

### **2.4 Site G**

Les travaux effectués en juillet 2002 au site G sont la construction d'une berme de 100 mètres de long, d'une largeur moyenne de 5,50 mètres et dont la hauteur retenue était de 1,00 mètre au-dessus du niveau d'eau pris en février 2002. Un contrepoids de perré de calibre 750-150 mm de 4165 tonnes a donc été mis en place.

### **3.0 INFORMATIONS DISPONIBLES**

Des travaux de terrain et des analyses de stabilité avaient été réalisés antérieurement par le **Laboratoire de services spécialisés MBF Itée (MBF)** au droit des quatre (4) sites de la présente étude :

- MBF (2000) Étude de stabilité – Talus naturel en bordure de la rivière maskinongé – chemin Rivière Sud-Est – près du numéro civique 203-B – Municipalité de St-Joseph-de-Maskinongé. Laboratoire de services spécialisés MBF Itée, dossier no 640-002-013. Décembre 2000.
- MBF (2002a) Étude de stabilité – Talus naturel en bordure de la rivière maskinongé – chemin Rivière Sud-Est – près du numéro civique 203-B – Municipalité de St-Joseph-de-Maskinongé. Laboratoire de services spécialisés MBF Itée, dossier no 640-002-015. Janvier 2002.
- MBF (2002b) Étude de stabilité – Talus naturel en bordure de la rivière maskinongé – chemin Rivière Sud-Ouest - Secteur « E » – près du numéro civique 324-A – Municipalité de St-Joseph-de-Maskinongé. Laboratoire de services spécialisés MBF Itée, dossier no 640-002-016. Mars 2002.
- MBF (2002c) Étude de stabilité – Talus naturel en bordure de la rivière maskinongé – chemin Rivière Sud-Ouest – Secteur « G » – près du numéro civique 354 – Municipalité de St-Joseph-de-Maskinongé. Laboratoire de services spécialisés MBF Itée, dossier no 640-002-017. Mars 2002.

À chaque site, MBF a réalisé un forage en haut de talus, un essai scissométrique à proximité du forage et un essai scissométrique dans le bas du talus à proximité de la rivière.

De plus, Demers et al (1999 : Demers D., Leroueil S. and d'Astous J. 1999. Investigation of a landslide in Maskinongé. Canadian Geotechnical Journal, 36:1001-1014) ont publié les résultats de l'étude rétroactive du glissement survenu à Maskinongé près de l'autoroute #138.

#### **4.0 ANALYSE DE STABILITÉ**

Sur la base de des informations présentées précédemment et des observations de terrain faites lors des travaux de protection des quatre (4) sites, des analyses de stabilité ont été réalisées dans le but de vérifier la stabilité actuelle des talus. L'objectif était de vérifier l'efficacité des travaux de stabilisation, de voir à ce qu'il n'y ait pas de surdimensionnement des ouvrages et de recommander au besoin des modifications.

#### **4.1 MÉTHODOLOGIE ET CRITÈRES DE STABILITÉ**

Pour chacun des sites, la section jugée la plus critique a été sélectionnée et analysée par ordinateur. Les paramètres des matériaux formant le modèle de terrain ainsi que la position de la nappe phréatique ont été déterminés à partir des données provenant des études de MBF citées plus haut, des données rapportées dans Demers et al (1999) et des paramètres habituels pour ce genre de matériaux.

Les analyses de stabilité ont été modélisées par la méthode de Morgenstern-Price à l'aide du logiciel SLOPE/W version 5.11, de Geo-Slope International, Calgary (2002). Ce logiciel de stabilité de pente est d'usage courant et répandu au Canada.

Un modèle numérique a donc été produit pour chacun des cas de chargement suivant:

- conditions habituelles à long terme (contraintes effectives)
- conditions à court terme (contraintes totales).

#### **Conditions habituelles à long terme :**

Ce cas est modélisé à l'aide d'analyses en contraintes effectives où l'on tient compte de la position de la nappe phréatique et de la distribution des pressions interstitielles. Dans la présente étude, la position habituelle de la nappe phréatique a été supposée à la surface du



dépôt d'argile sur la base des données piézométriques de MBF et des données rapportées dans Demers et al (1999). On a supposé une distribution hydrostatique des pressions interstitielles sous la nappe. Le critère de stabilité utilisé par le MTQ pour un talus impliquant une route est d'obtenir un facteur de sécurité supérieur ou égal à 1,50 pour les analyses effectuées en contraintes effectives. C'est le critère que nous avons adopté.

#### Conditions à court terme :

Des analyses en contraintes totales où l'on ne tient pas compte des pressions interstitielles dans l'argile ont été réalisées pour tenir compte des situations où les pressions interstitielles dans l'argile sont mal connues. Ainsi les variations saisonnières de pressions interstitielles à chacun des sites analysés ne sont pas connues. De plus, suite à la mise en place des remblais de protection et de stabilisation au pied des talus, il est possible que se soient développées des surpressions dans l'argile sous-jacente. Le facteur de sécurité minimum habituel pour ce genre de chargement varie entre 1,30 et 1,50 selon les conséquences d'une rupture. Un facteur de sécurité supérieur ou égal à 1,30 a été jugé satisfaisant dans le cas présent.

#### Analyses pour une argile ramollie :

Comme il est possible, tel que suggéré par Demers et al (1999) et par les données scissométriques du site B, que des zones d'argile ramollie soient présentes, on a aussi analysé, à titre indicatif, le cas où l'argile n'aurait qu'une résistance de  $c'=5$  kPa  $\phi'=24^\circ$  soit les paramètres obtenues lors des analyses à rebours du glissement survenu en 1990 sur la rivière Maskinongé.

## **4.2 CHOIX DES SECTIONS ET GÉOMÉTRIE DU MODÈLE**

Pour chacun des sites, on a sélectionné la section la plus abrupte parmi les sections arpentées des études de MBF. On a tenu compte des bermes de protection et de stabilisation mises en place en 2002.

Le niveau de la rivière mesuré par MBF est assez semblable à celui qui a été observé lors des travaux de stabilisation et on suppose donc que c'est le niveau habituel de la rivière en dehors des crues printanières.

Les conditions topographiques et stratigraphiques sont montrées sur les figures illustrant les modèles pour chaque site (voir figures 1, 4, 8 et 12).

## **4.3 PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX**

La stratigraphie a été établie à partir du forage réalisé à chaque site en haut de talus et des essais scissométriques. Les principaux matériaux qui forment le talus sont les suivants;

- Un remblai de sable, silt et matériaux de chaussée qu'on retrouve en haut de talus sous la route;
- L'argile silteuse de consistance ferme à raide;
- Un remblai de protection et de stabilisation constitué d'enrochement et placé au pied du talus.

Les paramètres de poids volumique et de résistance au cisaillement utilisés dans les analyses de stabilité sont donnés au tableau 1 ci-dessous.

## Étude de stabilité

Protection des berges  
de la rivière Maskinongé

Dossier No : 501334

**Tableau 1 - Propriétés géotechniques des matériaux considérés dans les calculs**

Matériau	Poids volumique		Résistance au cisaillement	
	Saturé (kN/m <sup>3</sup> )	Non-sat. (kN/m <sup>3</sup> )	Conditions drainées (court terme)	Conditions drainées (long terme)
Enrochement	21	20	$c'=0$ kPa $\phi'=45^\circ$	$c'=0$ kPa $\phi'=45^\circ$
Sable, silt et chaussée	20		$c'=0$ kPa $\phi'=35^\circ$	$c'=0$ kPa $\phi'=35^\circ$
Argile silteuse	16		Profil de Cu	$c'=7$ kPa $\phi'=28^\circ$

Les paramètres utilisés sont basés sur les données disponibles et sur les valeurs habituelles pour ce genre de matériaux.

Pour les analyses en contraintes totales, la résistance au cisaillement non-drainé ( $C_u$ ) de l'argile est utilisée. Elle est basée sur les mesures de cisaillement au scissomètre effectuées par MBF à chaque site. La valeur représentative sélectionnée a été corrigée en fonction de l'indice de plasticité (correction de Bjerrum).

Pour les analyses en contraintes effectives, la résistance au cisaillement drainé est utilisée. Les paramètres sélectionnés ( $c'=7$  kPa  $\phi'=28^\circ$ ) correspondent à la limite inférieure du domaine de valeurs rapportées par Tavenas et Leroueil (1981) pour les argiles de la Mer de Champlain.

## 4.4 RÉSULTATS DES ANALYSES ET COMMENTAIRES

### 4.4.1 Analyses avant stabilisation (sans berme)

À titre comparatif, des analyses ont d'abord été réalisées pour les conditions qui prévalaient avant les travaux de stabilisation. Les résultats de ces analyses sont résumés au tableau 2 ci-dessous.

## Étude de stabilité

Protection des berges  
de la rivière Maskinongé

Dossier No : 501334

**Tableau 2 - Facteur de sécurité pour les analyses avant stabilisation**

Site	Conditions habituelles à long terme		Court terme
	Argile intacte <sup>(1)</sup>	Argile ramollie <sup>(2)</sup>	Résistance non-drainée <sup>(3)</sup>
A, section A	1,24	0,98	1,34
B, section B	1,14	0,91	0,87 – 1,10 <sup>(4)</sup>
E, section B	1,13	0,92	1,14
G, section B	1,20	0,95	1,20

(1) Argile intacte :  $c'=7$  kPa  $\phi'=28^\circ$   
(2) Argile ramollie :  $c'=5$  kPa  $\phi'=24^\circ$  (valeur à la rupture calculée par Demers et al, 1999)  
(3) Résistance non-drainée de l'argile : selon les profils scissométriques mesurés sur chaque site  
(4) La valeur la plus faible a été obtenue avec les profils scissométriques mesurés à la section A du site B; la valeur plus élevée avec les profils mesurés à la section A du site A.

Les analyses de stabilité en supposant une argile intacte indique une stabilité ne satisfaisant pas le critère de  $FS > 1,50$  en contraintes effectives et de  $FS > 1,30$  en contraintes totales. Ces données montrent la nécessité des travaux de stabilisation réalisés en 2002.

Notons toutefois, que les facteurs de sécurité inférieurs à 1,0 obtenus pour l'argile ramollie indiquent une modélisation qui sous-estime la résistance de l'argile. En effet, dans tous les cas, il s'agit de sections qui existaient avant les travaux de stabilisation; le facteur de sécurité réel est donc supérieur ou égal à 1,0.

De la même façon, le facteur de sécurité de 0,87 obtenu pour la section B du site B n'est pas vraisemblable. La section B a été jugé la plus critique puisqu'elle était plus abrupte que la section A où il semble que des affaissements ont adouci la pente. Par contre, les profils scissométriques proviennent de la section A et pourraient avoir été l'objet d'un ramollissement de l'argile à cause des possibles mouvements de terrain. À titre indicatif, on a réalisé une

## Étude de stabilité

Protection des berges  
de la rivière Maskinongé

Dossier No : 501334

analyse en utilisant les données scissométriques mesurées au site A qui n'est pas très éloignée : on a obtenu un facteur de sécurité de 1,10 qui semble plus vraisemblable. On utilisera donc les valeurs du site A pour les analyses après stabilisation.

#### 4.4.2 Analyses après stabilisation (avec berme)

Les résultats des analyses réalisées pour les talus après stabilisation sont résumés au tableau 3 ci-dessous. Les principales analyses sont illustrées sur les figures à la fin du rapport.

**Tableau 3 - Facteur de sécurité pour les analyses après stabilisation**

Site	Conditions habituelles à long terme		Court terme
	Argile intacte <sup>(1)</sup>	Argile ramollie <sup>(2)</sup>	Résistance non-drainée <sup>(3)</sup>
Critère de stabilité	FS > 1,5	FS > 1,3	FS > 1,3
A, section A	1,61 (fig. 2)	1,30	1,50 (fig. 3)
B, section B	1,48 (fig. 5)	1,22	1,20
Berme modifiée	1,49 (fig. 6)	1,31	1,28 (fig. 7)
E, section B	1,39 (fig. 9)	1,14	1,25
Berme modifiée	1,51 (fig. 10)	1,24 – 1,35 <sup>(4)</sup>	1,34 (fig. 11)
G, section B	1,69 (fig. 13)	1,40	1,37
Berme modifiée	1,70 (fig. 14)		1,36 (fig. 15)

(1) Argile intacte :  $c'=7$  kPa  $\phi'=28^\circ$

(2) Argile ramollie :  $c'=5$  kPa  $\phi'=24^\circ$  (valeur à la rupture calculée par Demers et al, 1999)

(3) Résistance non-drainée de l'argile : selon les profils scissométriques mesurés sur chaque site

(4) La valeur la plus faible ne concerne qu'un cercle se limitant au haut du talus tandis que la valeur la plus forte est obtenue pour le talus dans son ensemble

**Étude de stabilité**Protection des berges  
de la rivière MaskinongéDossier No : 501334

---

Les analyses montrent que les travaux de stabilisation ont contribué à améliorer la stabilité des talus. Les facteurs de sécurité pour les conditions habituelles (à long terme) sont passés de valeurs variant entre 1,13 et 1,24 avant les travaux à des valeurs entre 1,39 et 1,69 à la suite aux travaux.

Les analyses indiquent une situation satisfaisante pour les sections analysées aux sites A et G. Des analyses supplémentaires ont été réalisées pour le site G pour montrer qu'une modification de la berme souhaitable pour stabiliser la surface du talus (voir figures 14 et 15) n'affectait pas significativement la stabilité du talus.

Pour les sections analysées aux sites B et E, les analyses indiquent que la situation existante ne satisfait pas les critères de stabilité adoptés. Des analyses supplémentaires ont montré de quelle façon la berme pouvait être modifiée pour satisfaire les critères de stabilité adoptés (voir figures 6, 7, 10 et 11).

## **5.0 TRAVAUX RECOMMANDÉS**

Afin de prévenir la possibilité de glissements de terrain tout en se conformant aux conditions du décret gouvernemental 153-2002, les travaux complémentaires suivants sont donc recommandés:

### **Site A :**

- Régaler le chemin d'accès de manière à restaurer le site ;
- Ajouter un terreau si nécessaire et ensemercer du gazon afin de revégétaliser le site.

### **Site B :**

- adoucir la pente aval de la berme à 2H :1V ;
- mettre en place de l'enrochement supplémentaire à la surface de la berme selon une pente faible vers l'aval 8H :1V de façon à rehausser d'environ 0,8 m la berme à son contact avec le pied du talus (voir figure 16) ;
- Régaler le chemin d'accès de manière à restaurer le site ;
- Ajouter un terreau si nécessaire et ensemercer du gazon afin de revégétaliser le site.

### **Site E :**

- adoucir la pente aval de la berme à 2H :1V ;
- mettre en place de l'enrochement supplémentaire à la surface de la berme selon une pente faible vers l'aval 10H :1V de façon à rehausser d'environ 0,8 m la berme à son contact avec le pied du talus (voir figures 17, 18 et 19) ;
- Régaler le chemin d'accès de manière à restaurer le site ;
- Ajouter un terreau si nécessaire et ensemercer du gazon afin de revégétaliser le site.

**Site G :**

- Régaler le chemin d'accès de manière à restaurer le site ;
- Ajouter un terreau si nécessaire et ensemercer du gazon afin de revégétaliser le site.

**Note :**

Les analyses pour une argile qui serait ramollie par les variations cycliques de pressions interstitielles montrent une situation satisfaisante une fois les bermes modifiées. En effet, on obtient dans tous les cas un facteur de sécurité supérieur ou égal à 1,25 pour le haut du talus et à 1,30 pour le talus dans son ensemble. Ceci est jugé satisfaisant et indique que, suite aux travaux complémentaires recommandés, aucun des quatre sites ne présenterait de signe de rupture prochaine pour les conditions habituelles.



## **6.0 CONCLUSION**

Des travaux de protection et stabilisation ont été réalisés en 2002 au droit de quatre (4) sites le long de la rivière Maskinongé entre l'autoroute 40 et la route 138.

Suite à ces travaux, des analyses de stabilité ont été réalisées. Elles montrent que :

- ces travaux de stabilisation étaient nécessaires puisque les facteurs de sécurité pour les conditions habituelles étaient nettement inférieurs au facteur de sécurité minimum visé de 1,50;
- ces travaux ont permis de passer de facteurs de sécurité variant entre 1,13 et 1,24 pour les conditions habituelles en contraintes effectives avant les travaux à des valeurs entre 1,39 et 1,69 suite aux travaux;
- des travaux complémentaires sont souhaitables aux sites B et E pour que les talus satisfassent les critères de stabilité visés : ces travaux sont de faible importance et sont décrits à la section 5.

### Limitations

Les analyses ont été réalisées sur la base des informations disponibles et devraient être complétées par des analyses plus détaillées. Des essais scissométriques supplémentaires seraient nécessaires en particulier au site B pour vérifier les hypothèses faites sur la résistance au cisaillement non-drainé à l'endroit de la section B. La collecte et/ou l'analyse des données piézométriques complètes à l'endroit de chacun des sites permettrait de valider les hypothèses faites sur la distribution des pressions interstitielles dans le talus d'argile.

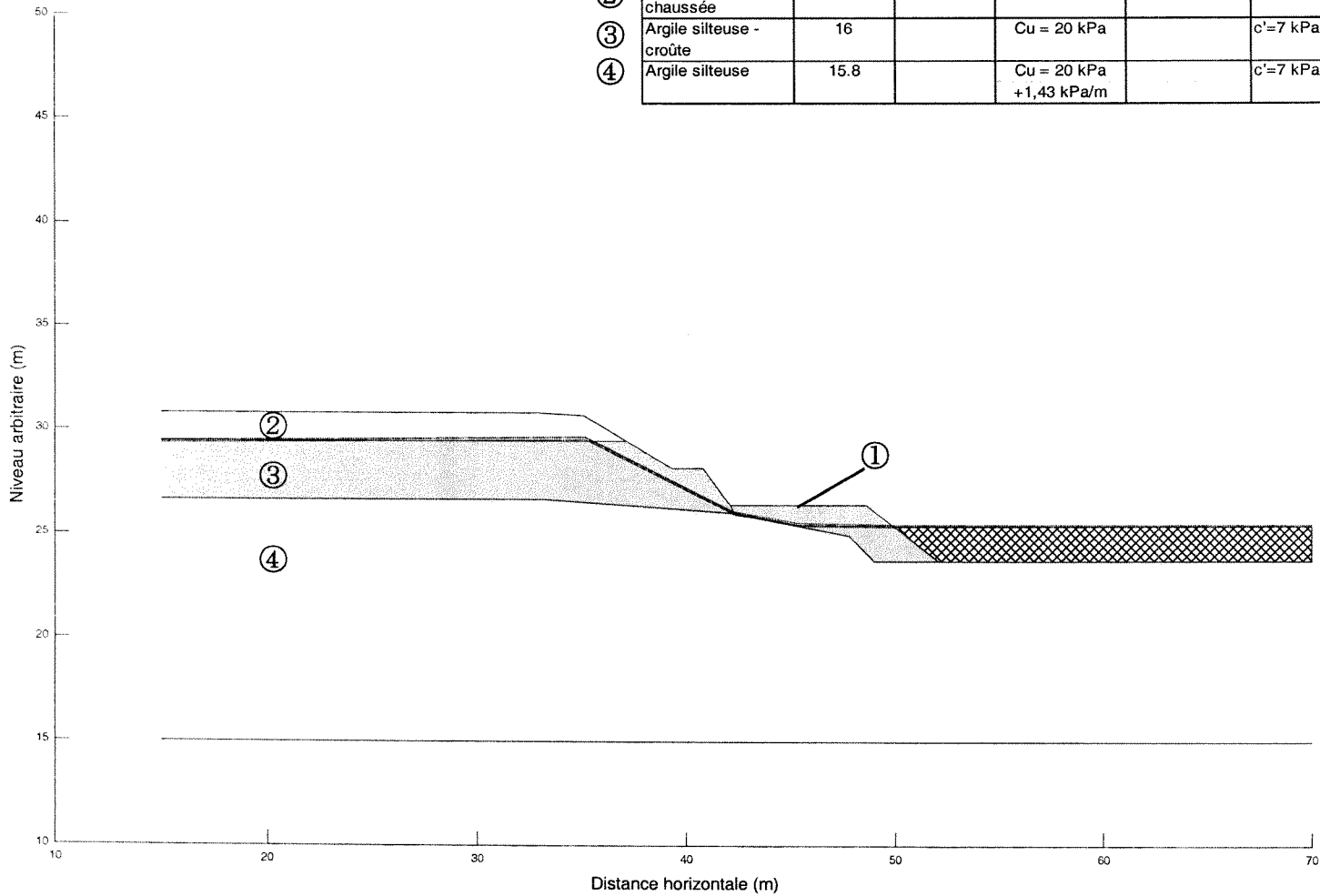
Il est bon de rappeler que l'objectif des analyses réalisées n'était pas de modéliser les décollements de couches superficielles du talus dus à l'érosion des pentes fort abruptes par endroit. La possibilité pour de tels décollements est encore présente. Par contre, la qualité du

couvert végétal et des travaux correcteurs réalisés en 2002 contribuent à l'intégrité de la pente.

Il est de plus recommandé de mettre en place un programme d'inspection périodique des talus jugés les plus critiques de façon à déceler les signes d'affaissement, d'érosion.

# Secteur 203-B – Section A

Matériau	Poids volumique		Résistance au cisailiment		
	Saturé (kN/m <sup>3</sup> )	Non-sat. (kN/m <sup>3</sup> )	Cas u001	Cas d001	Cas d002
① Enrochement	21	20	c'=0 kPa φ'=45°	c'=0 kPa φ'=45°	c'=0 kPa φ'=45°
② Sable, silt et chaussée	20		c'=0 kPa φ'=35°	c'=0 kPa φ'=35°	c'=0 kPa φ'=35°
③ Argile silteuse - croûte	16		Cu = 20 kPa	c'=7 kPa φ'=28°	c'=7 kPa φ'=28°
④ Argile silteuse	15.8		Cu = 20 kPa +1,43 kPa/m	c'=7 kPa φ'=28°	c'=5 kPa φ'=24°



**Analyse  
de stabilité**

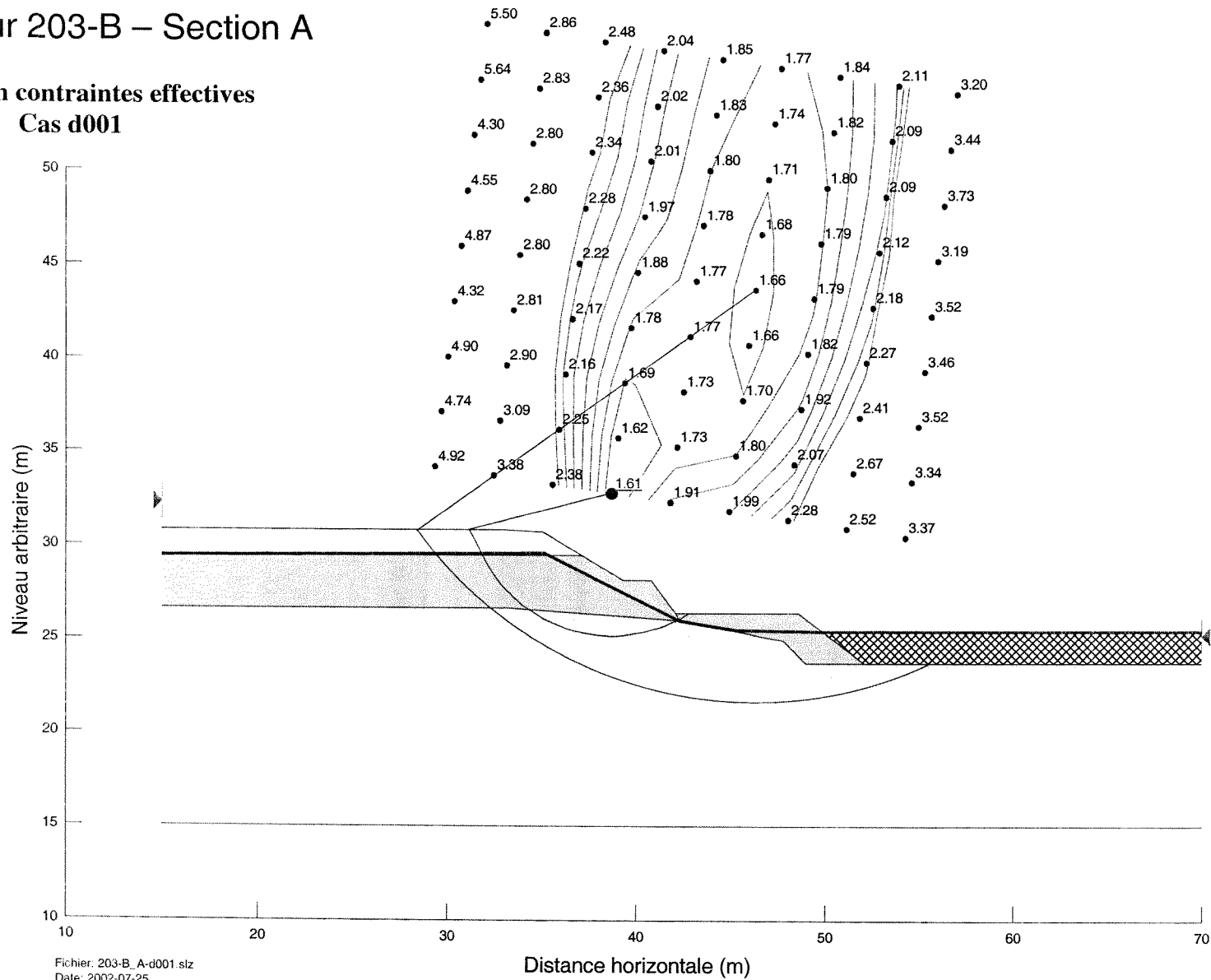
Maskinongé – Site A

Projet: 501334 - 0040

Figure: 1

# Secteur 203-B – Section A

Analyse en contraintes effectives  
Cas d001



**Analyse  
de stabilité**

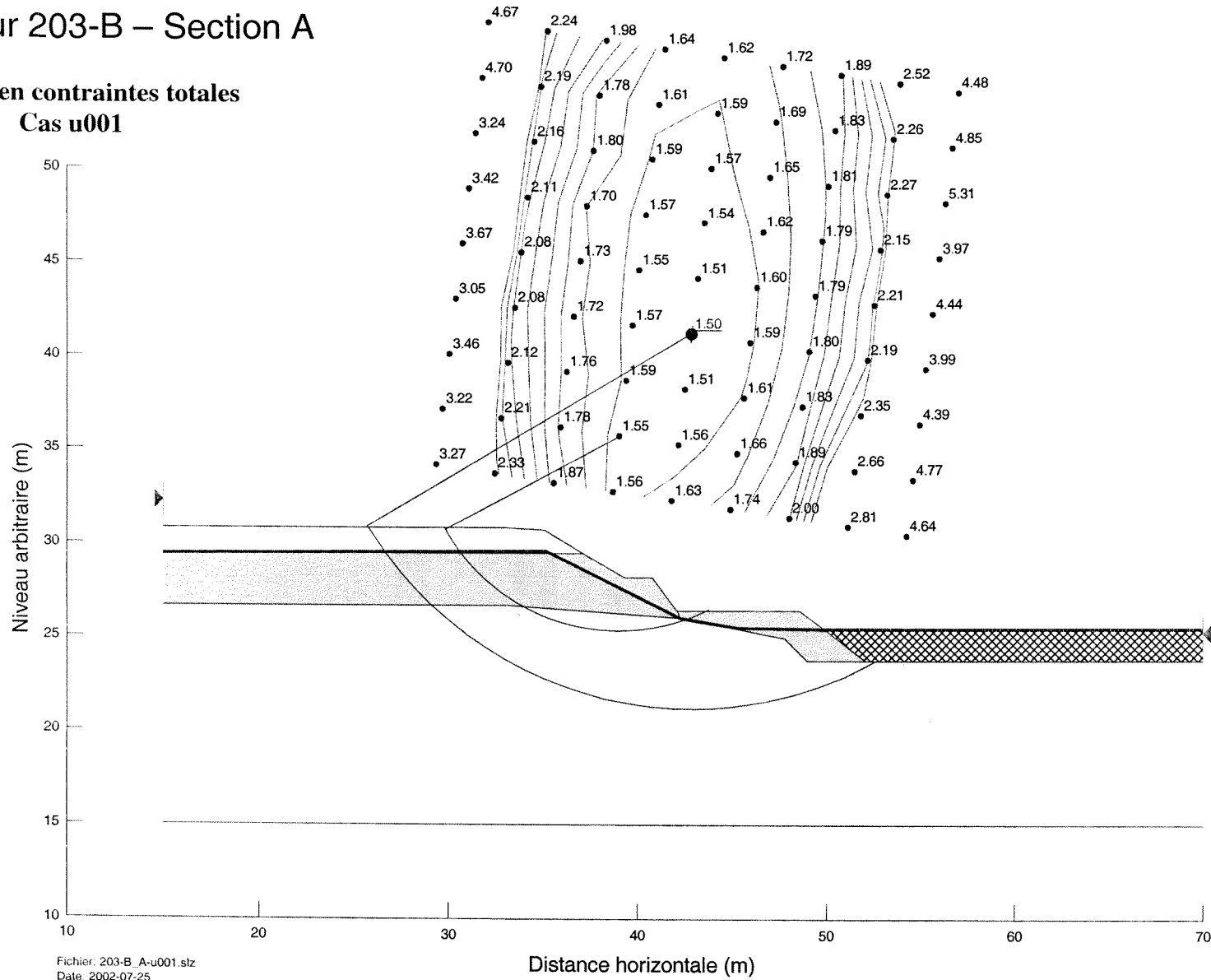
Maskinongé – Site A

Projet: 501334 - 0040

Figure: 2

# Secteur 203-B – Section A

Analyse en contraintes totales  
Cas u001



**Analyse  
de stabilité**

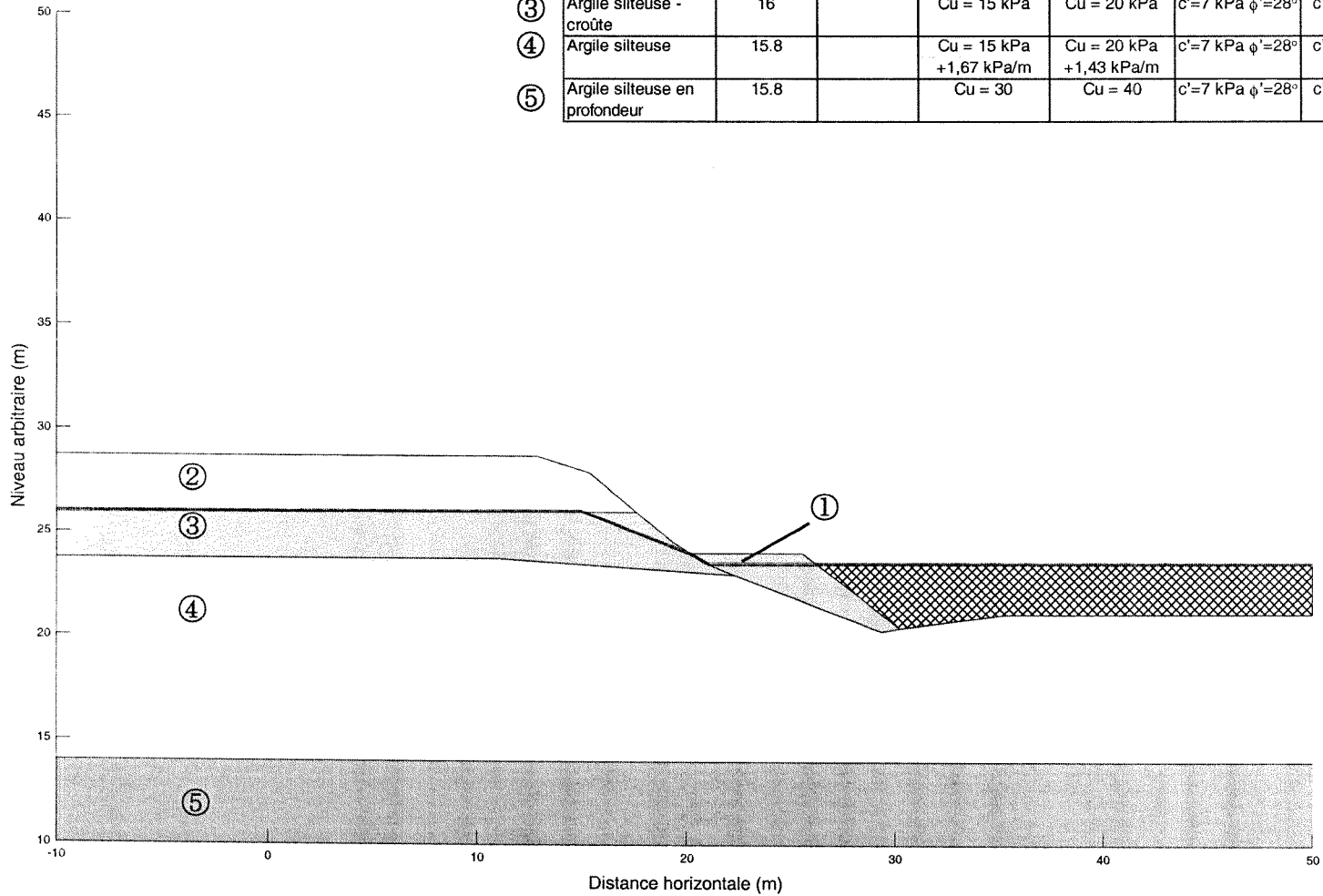
Maskinongé – Site A

Projet: 501334 - 0040

Figure: 3

# Secteur 217 – Section B

Matériau	Poids volumique		Résistance au cisaillement			
	Saturé (kN/m <sup>3</sup> )	Non-sat. (kN/m <sup>3</sup> )	Cas u001	Cas u002 Cu du site A	Cas d001	Cas d002
① Enrochement	21	20	c'=0 kPa φ'=45°	c'=0 kPa φ'=45°	c'=0 kPa φ'=45°	c'=0 kPa φ'=45°
② Sable, silt et chaussée	20		c'=0 kPa φ'=35°	c'=0 kPa φ'=35°	c'=0 kPa φ'=35°	c'=0 kPa φ'=35°
③ Argile silteuse - croûte	16		Cu = 15 kPa	Cu = 20 kPa	c'=7 kPa φ'=28°	c'=7 kPa φ'=28°
④ Argile silteuse	15.8		Cu = 15 kPa +1,67 kPa/m	Cu = 20 kPa +1,43 kPa/m	c'=7 kPa φ'=28°	c'=5 kPa φ'=24°
⑤ Argile silteuse en profondeur	15.8		Cu = 30	Cu = 40	c'=7 kPa φ'=28°	c'=7 kPa φ'=28°



**Analyse  
de stabilité**

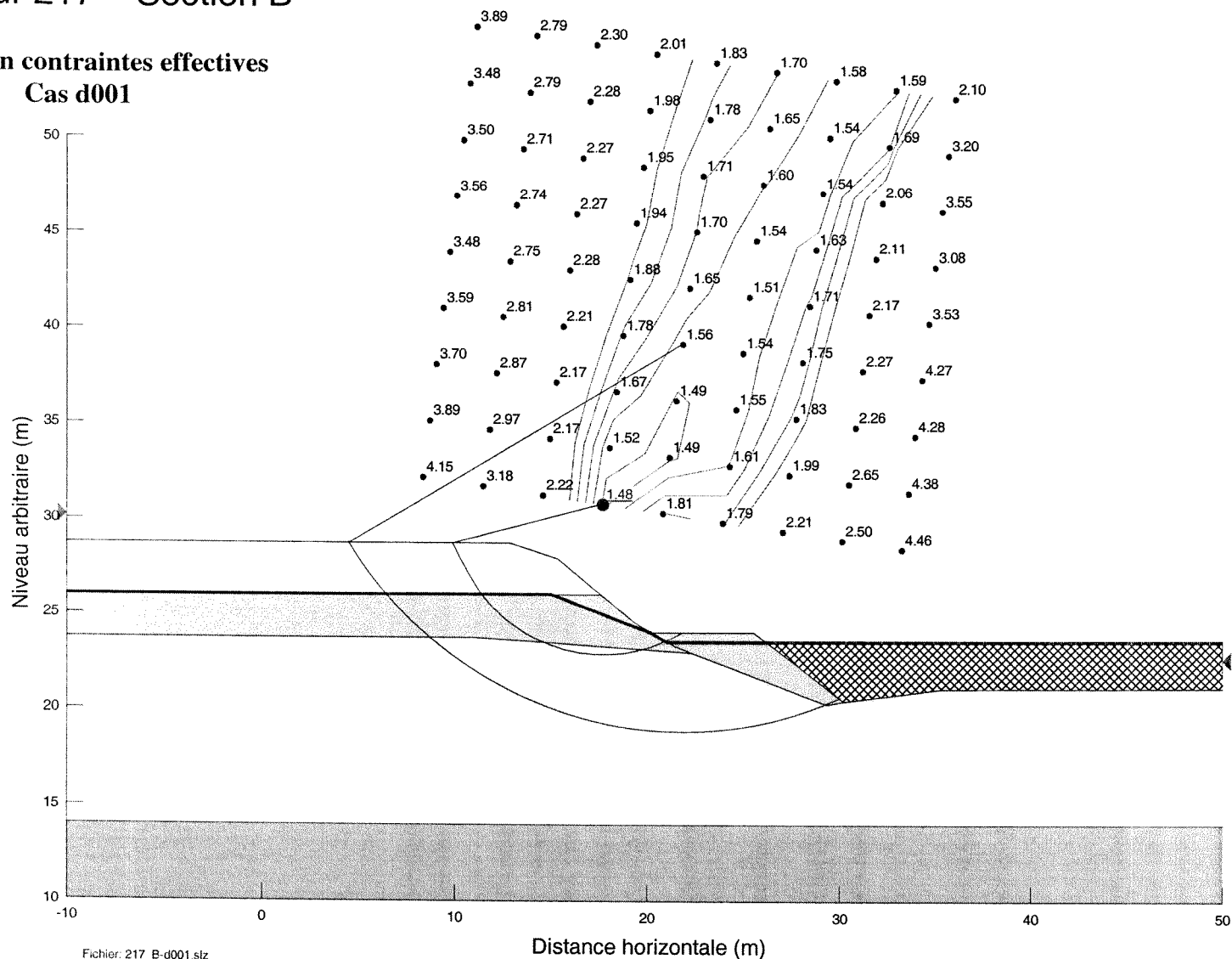
Maskinongé – Site B

Projet: 501334 - 0040

Figure: 4

# Secteur 217 – Section B

Analyse en contraintes effectives  
Cas d001



Fichier: 217\_B-d001.siz  
Date: 2002-07-25



**Analyse  
de stabilité**

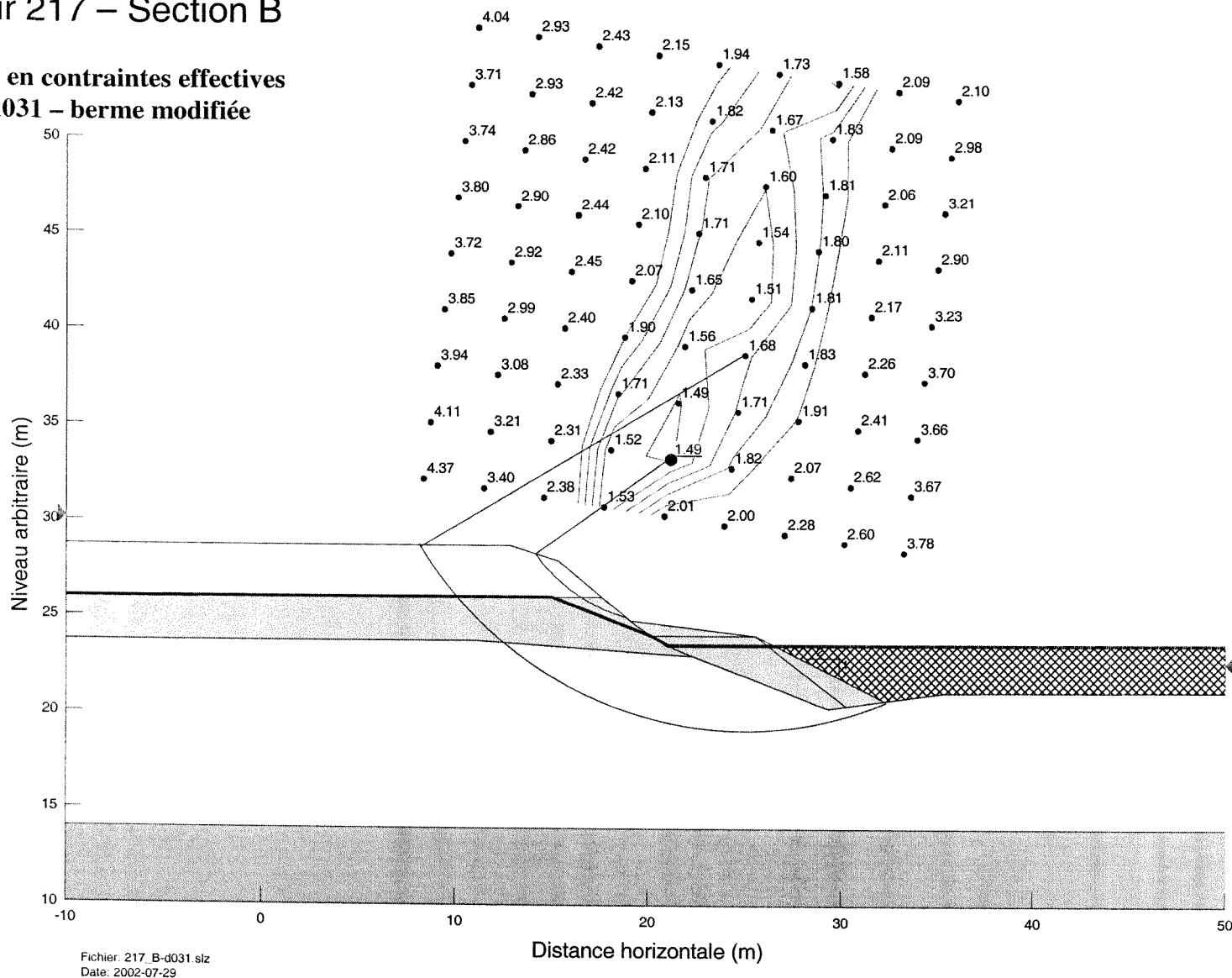
Maskinongé – Site B


Projet: 501334 - 0040

Figure: 5

# Secteur 217 – Section B

Analyse en contraintes effectives  
Cas d031 – berme modifiée

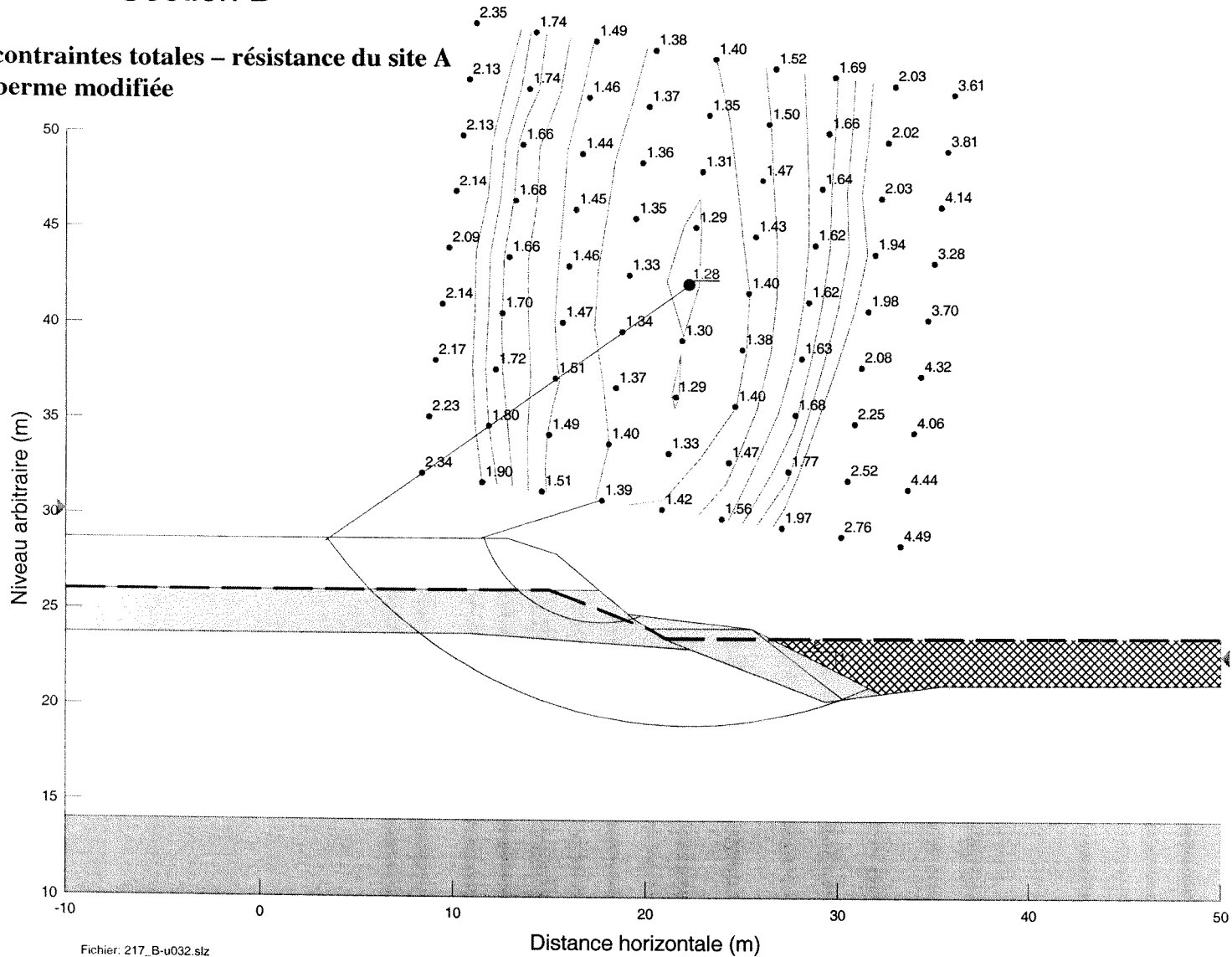



 <b>Geocon</b>	<b>Analyse de stabilité</b>	<b>Maskinongé – Site B</b>	
		Projet: 501334 - 0040	Figure: 6



# Secteur 217 – Section B

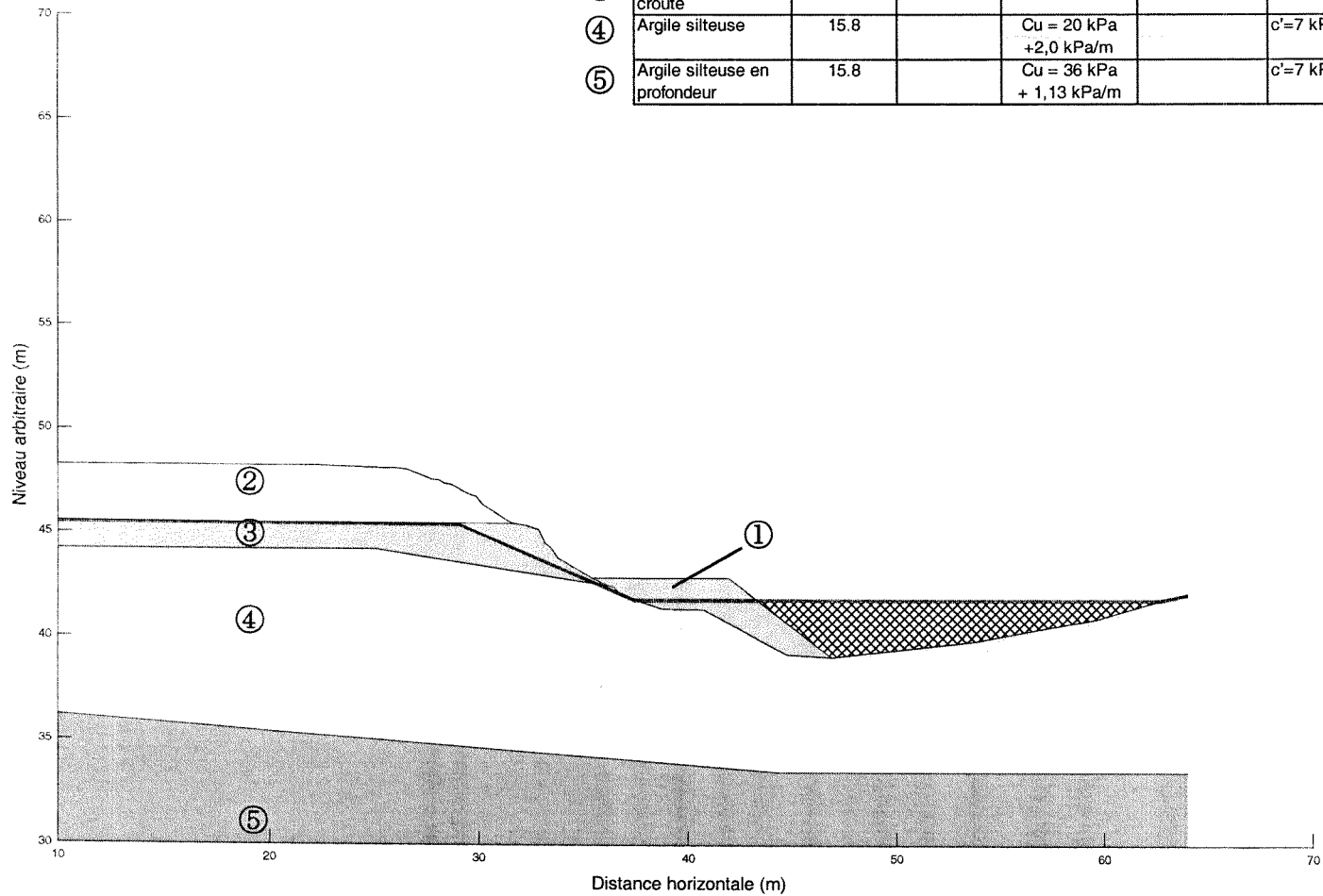
Analyse en contraintes totales – résistance du site A  
 Cas u032 – berme modifiée



	<b>Analyse de stabilité</b>	<b>Maskinongé – Site B</b>	
		Projet: 501334 - 0040	Figure: 7

# Secteur 324-A - Section B

Matériau	Poids volumique		Résistance au cisailiment		
	Saturé (kN/m <sup>3</sup> )	Non-sat. (kN/m <sup>3</sup> )	Cas u001	Cas d001	Cas d002
① Enrochement	21	20	c'=0 kPa φ'=45°	c'=0 kPa φ'=45°	c'=0 kPa φ'=45°
② Sable, silt et chaussée	20		c'=0 kPa φ'=35°	c'=0 kPa φ'=35°	c'=0 kPa φ'=35°
③ Argile silteuse - croûte	16		Cu = 20 kPa	c'=7 kPa φ'=28°	c'=7 kPa φ'=28°
④ Argile silteuse	15.8		Cu = 20 kPa + 2,0 kPa/m	c'=7 kPa φ'=28°	c'=5 kPa φ'=24°
⑤ Argile silteuse en profondeur	15.8		Cu = 36 kPa + 1,13 kPa/m	c'=7 kPa φ'=28°	c'=7 kPa φ'=28°



**Analyse  
de stabilité**

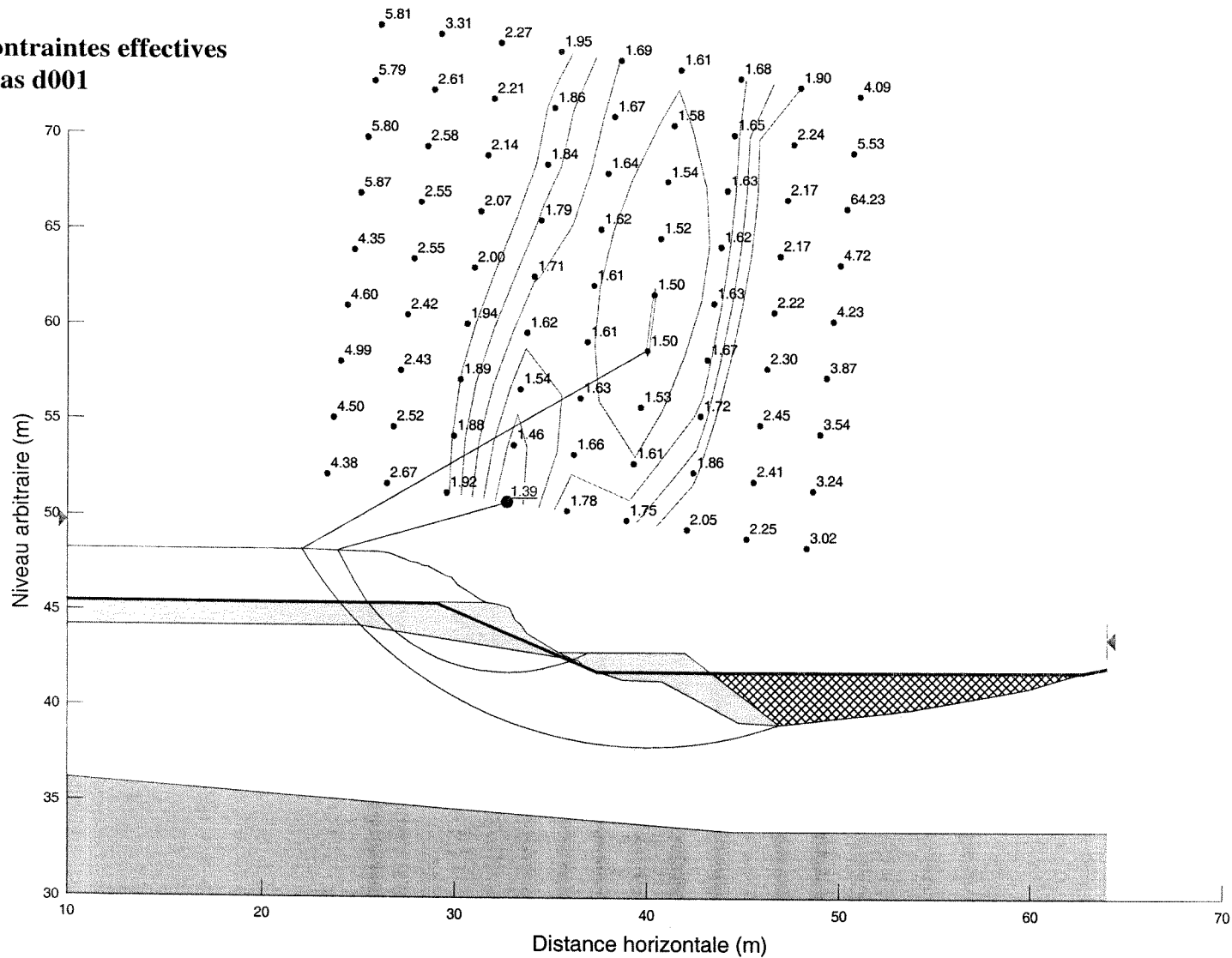
Maskinongé – Site E

Projet: 501334 - 0040

Figure: 8

# Secteur 324-A - Section B

Analyse en contraintes effectives  
Cas d001



Analyse  
de stabilité

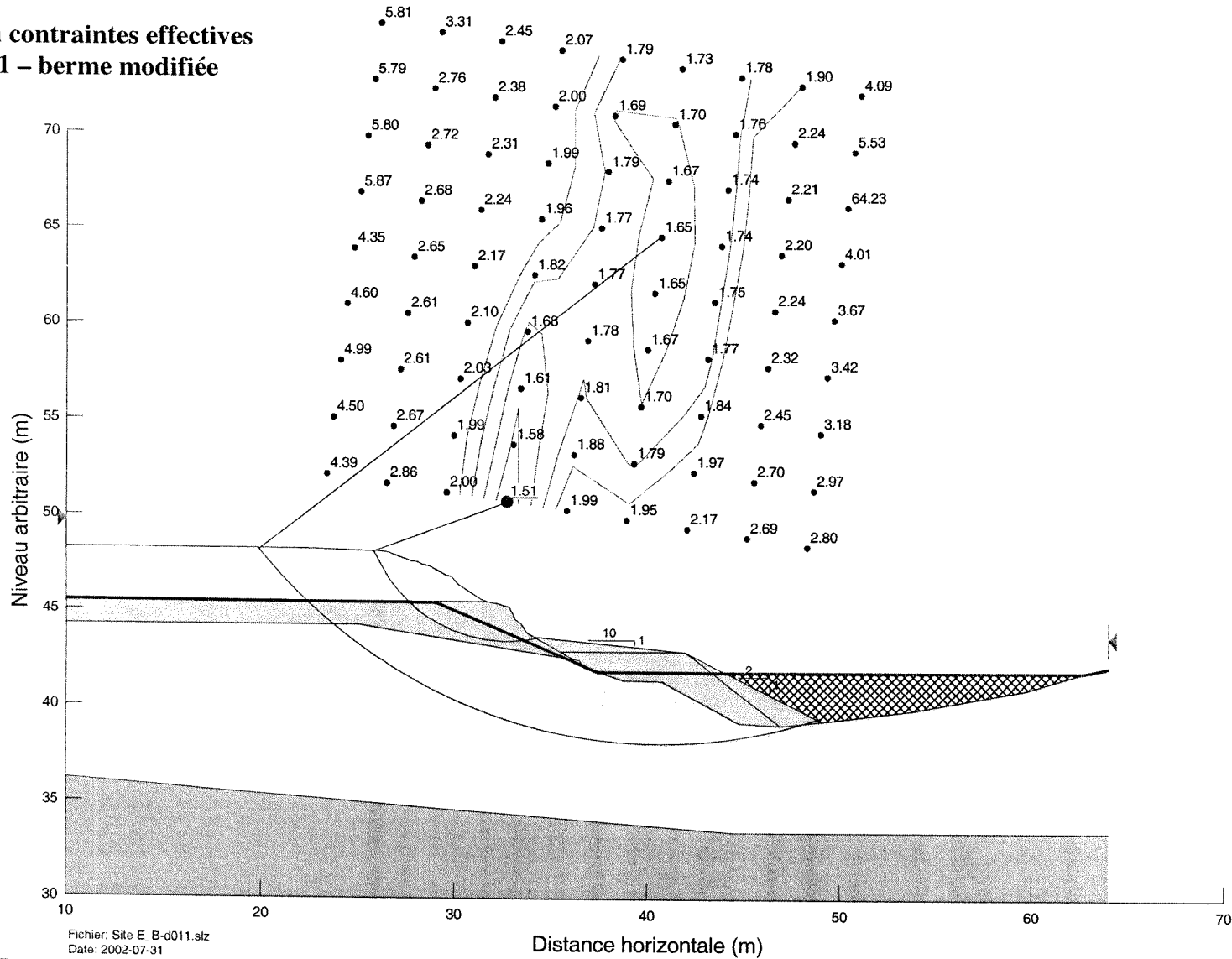
Maskinongé – Site E

Projet: 501334 - 0040

Figure: 9

# Secteur 324-A - Section B

Analyse en contraintes effectives  
 Cas d011 – berme modifiée



**Analyse  
 de stabilité**

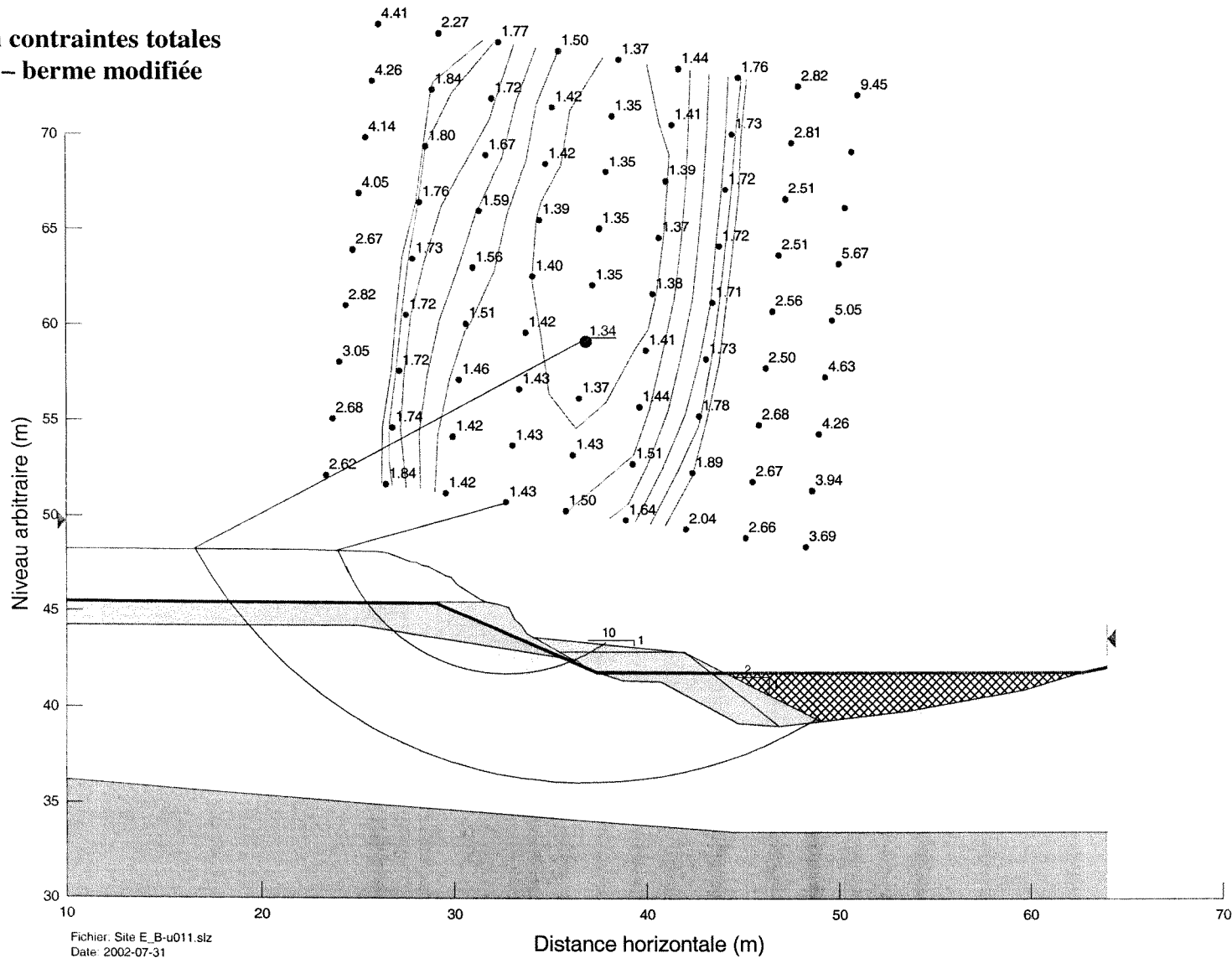
Maskinongé – Site E

Projet: 501334 - 0040

Figure: 10

# Secteur 324-A - Section B

Analyse en contraintes totales  
Cas u011 – berme modifiée



**Analyse  
de stabilité**

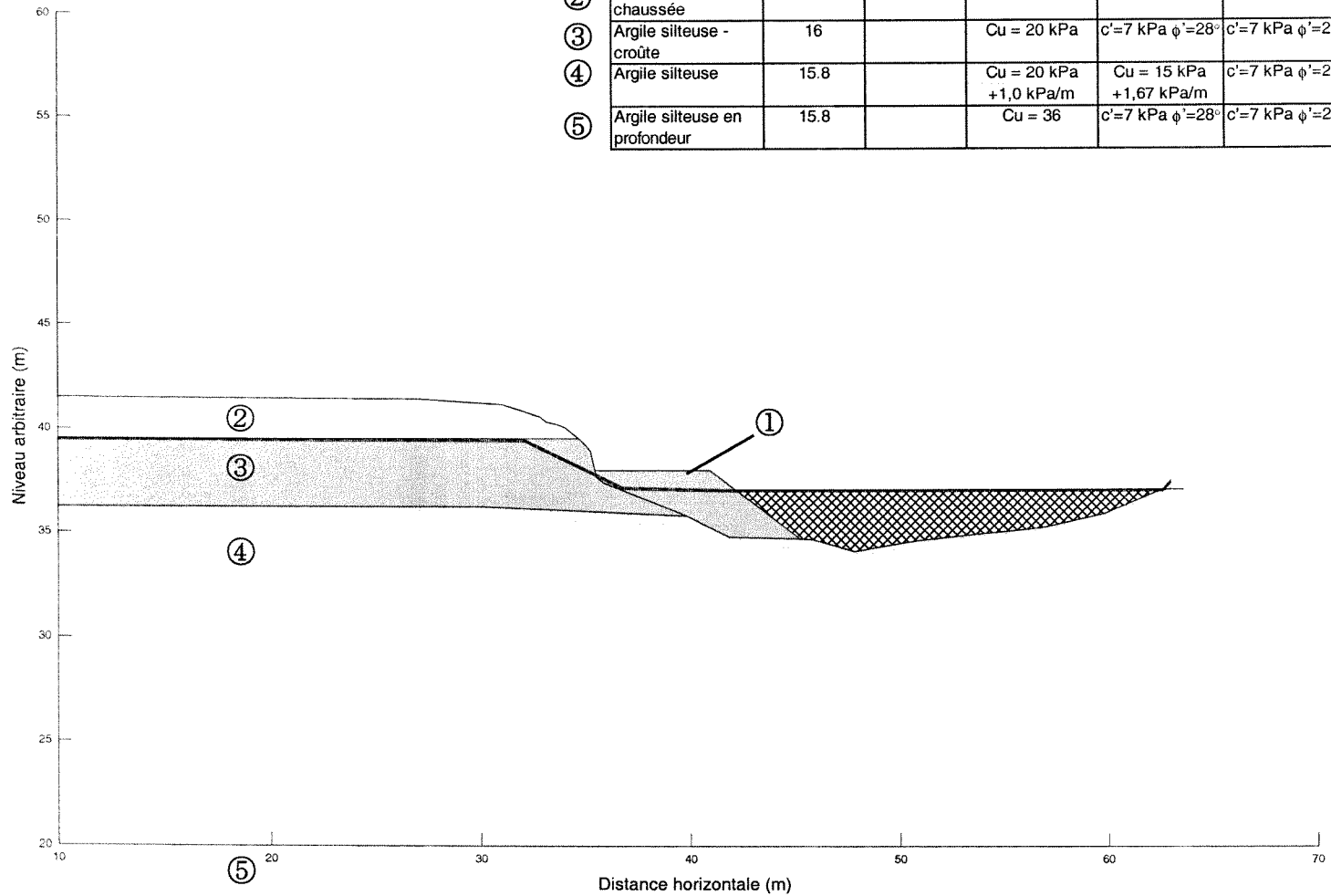
Maskinongé – Site E

Projet: 501334 - 0040

Figure: 11

# Secteur 354 - Section B

Matériau	Poids volumique		Résistance au cisaillement			
	Saturé (kN/m <sup>3</sup> )	Non-sat. (kN/m <sup>3</sup> )	Cas u001	Cas u002	Cas d001	Cas d002
① Enrochement	21	20	c'=0 kPa φ'=45°	c'=0 kPa φ'=45°	c'=0 kPa φ'=45°	c'=0 kPa φ'=45°
② Sable, silt et chaussée	20		c'=0 kPa φ'=35°	c'=0 kPa φ'=35°	c'=0 kPa φ'=35°	c'=0 kPa φ'=35°
③ Argile silteuse - croûte	16		Cu = 20 kPa	c'=7 kPa φ'=28°	c'=7 kPa φ'=28°	c'=7 kPa φ'=28°
④ Argile silteuse	15.8		Cu = 20 kPa +1,0 kPa/m	Cu = 15 kPa +1,67 kPa/m	c'=7 kPa φ'=28°	c'=5 kPa φ'=24°
⑤ Argile silteuse en profondeur	15.8		Cu = 36	c'=7 kPa φ'=28°	c'=7 kPa φ'=28°	c'=7 kPa φ'=28°



**Analyse  
de stabilité**

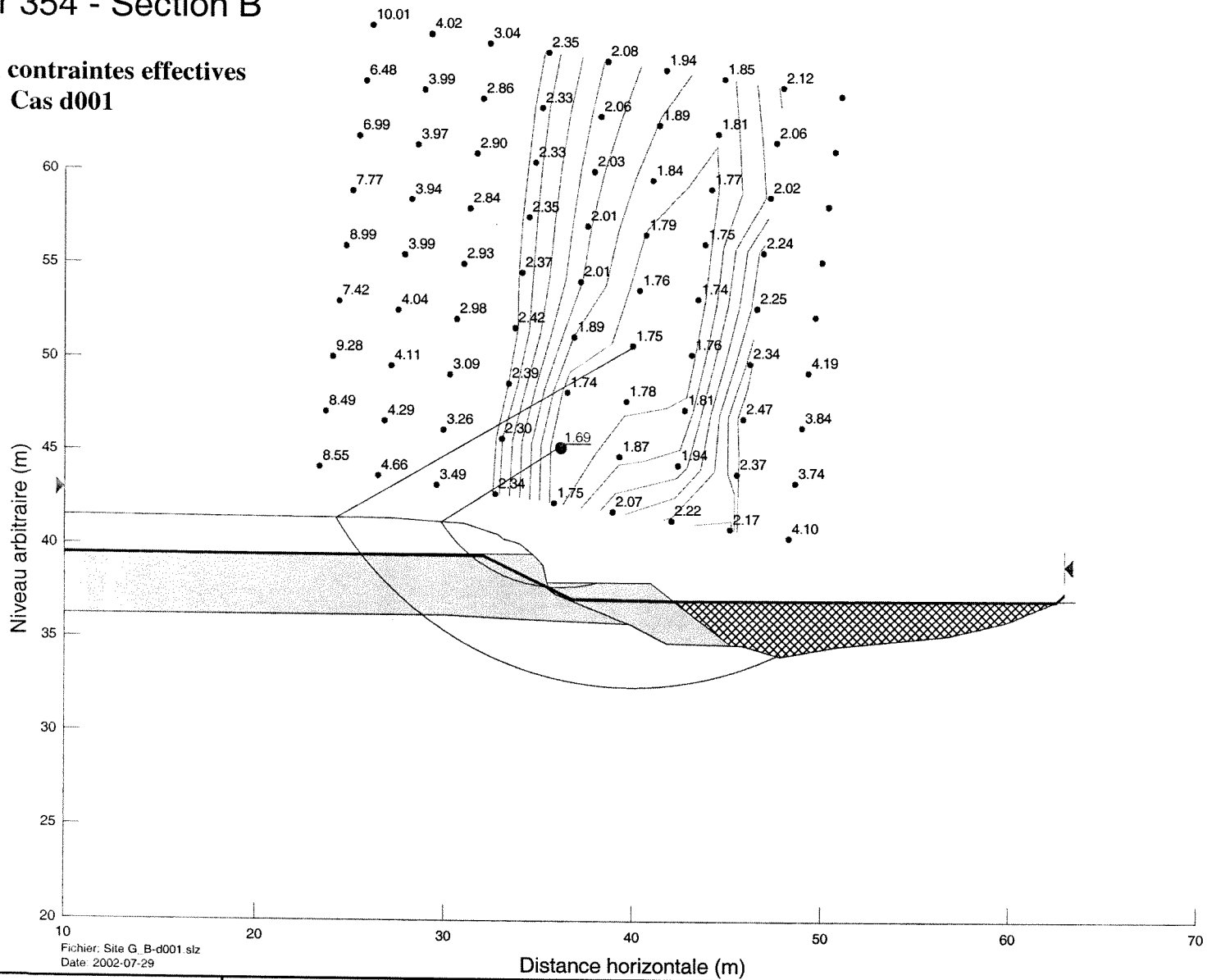
Maskinongé – Site G

Projet: 501334 - 0040

Figure: 12

# Secteur 354 - Section B

## Analyse en contraintes effectives Cas d001



**Analyse  
de stabilité**

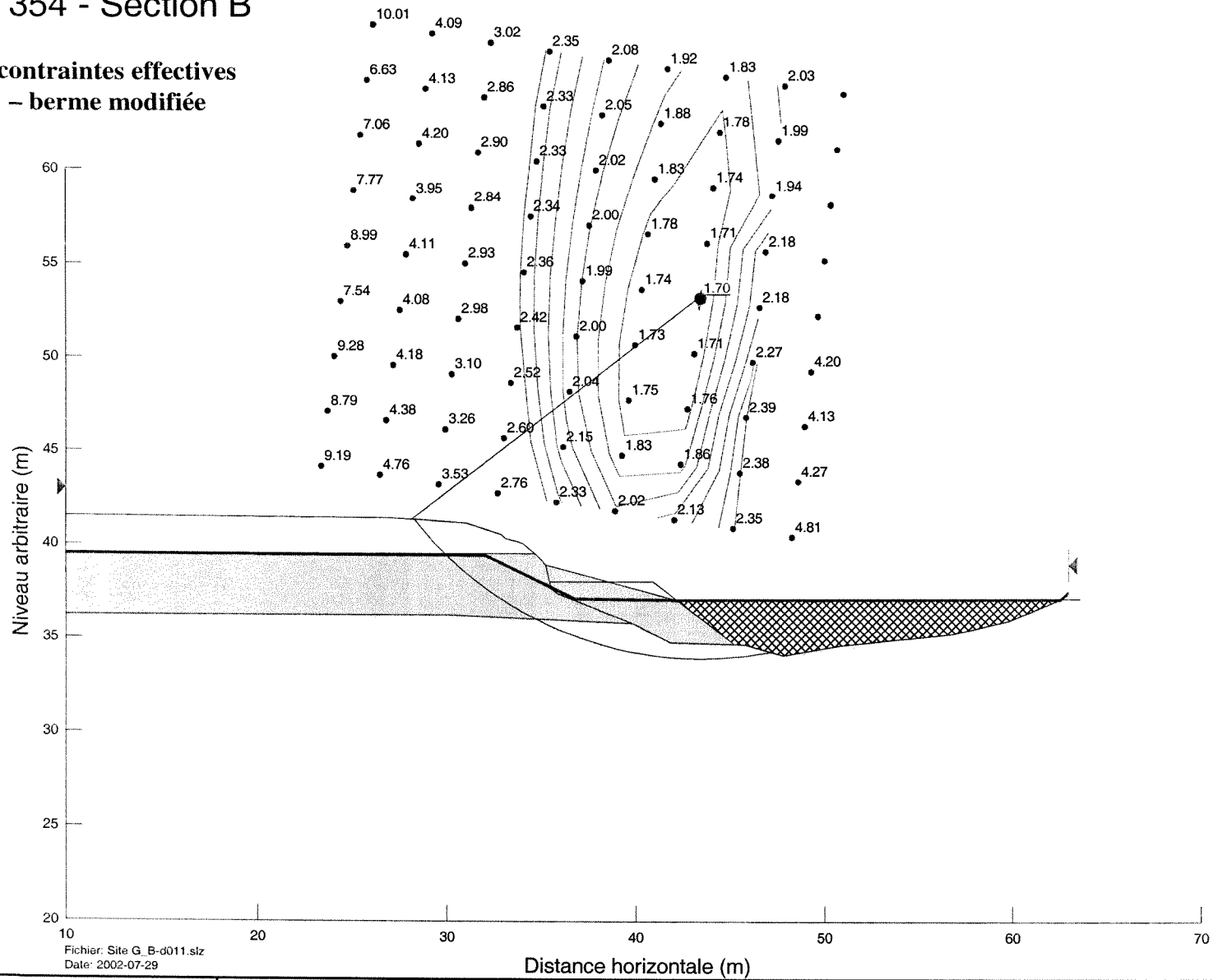
Maskinongé – Site G

Projet: 501334 - 0040

Figure: 13

# Secteur 354 - Section B

Analyse en contraintes effectives  
Cas d011 – berme modifiée



**Analyse  
de stabilité**

Maskinongé – Site G

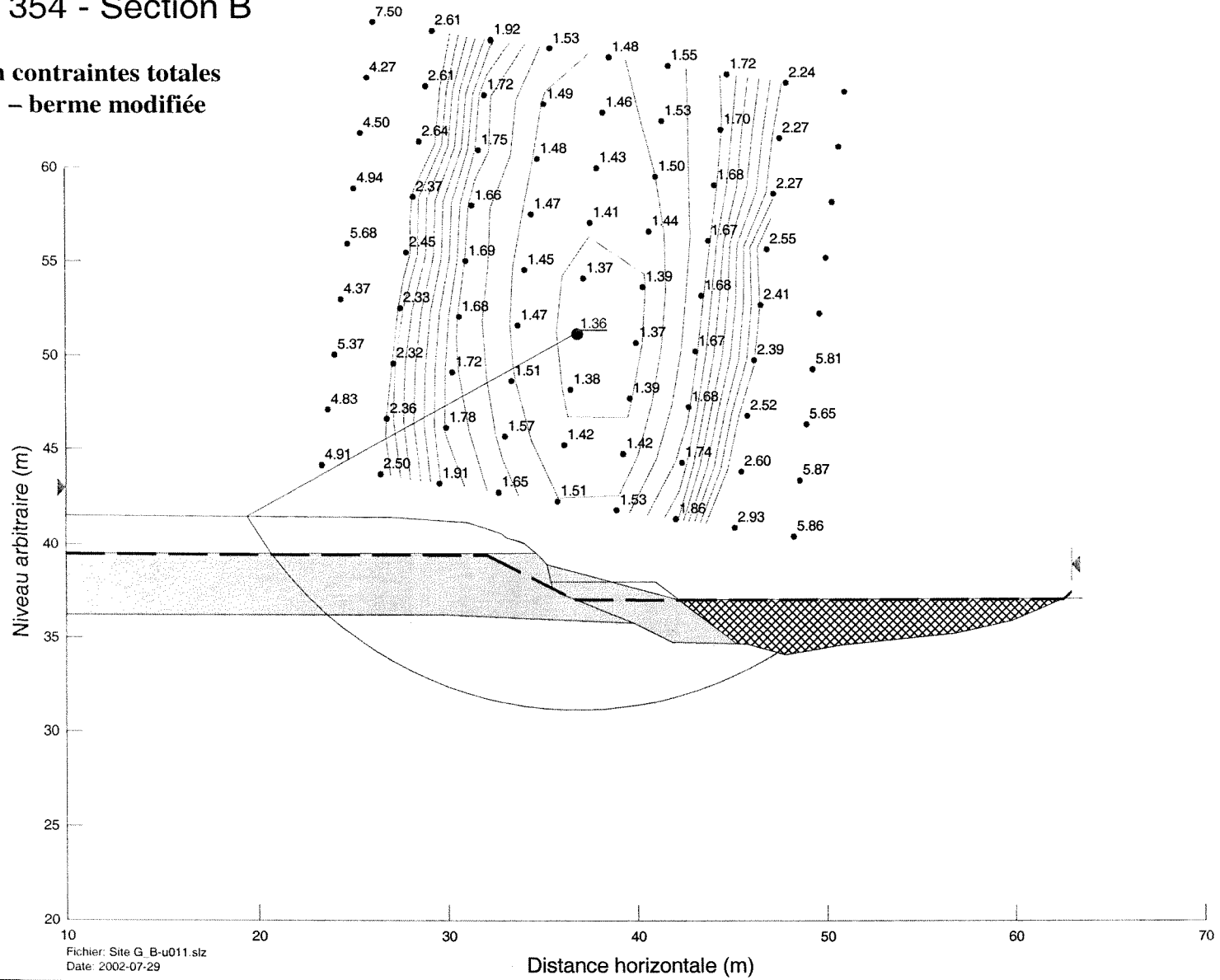
Projet: 501334 - 0040

Figure: 14



# Secteur 354 - Section B

Analyse en contraintes totales  
Cas u011 – berme modifiée



**Analyse  
de stabilité**

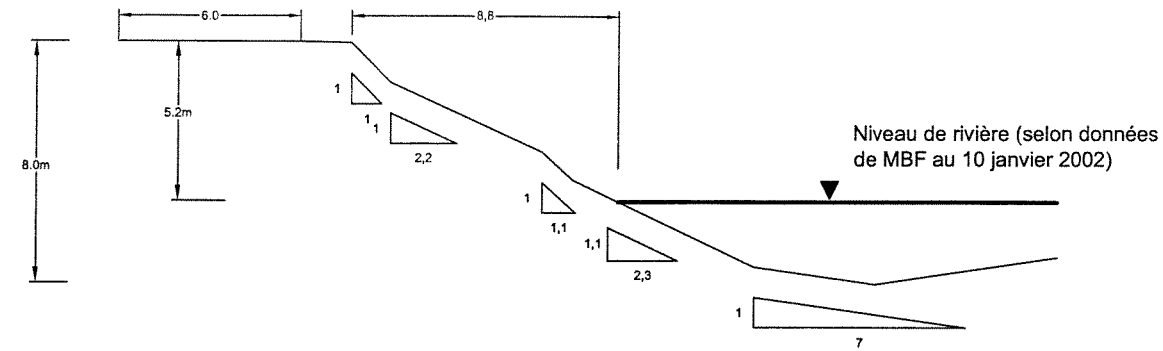
Maskinongé – Site G

Projet: 501334 - 0040

Figure: 15

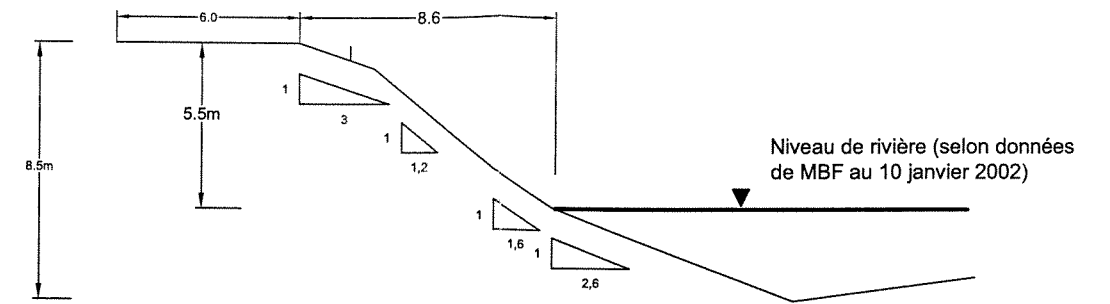
### SECTION A-A'

Profil du talus existant

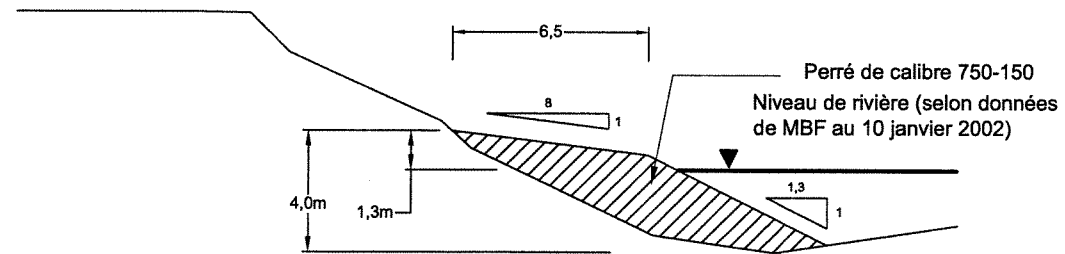


### SECTION B-B'

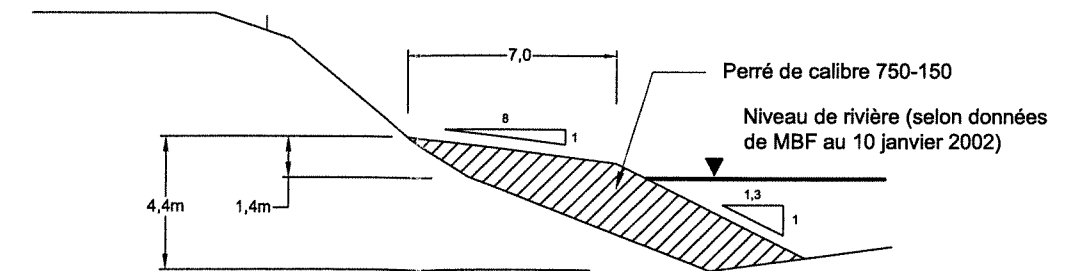
Profil du talus existant




Profil du talus après mise en place du perré

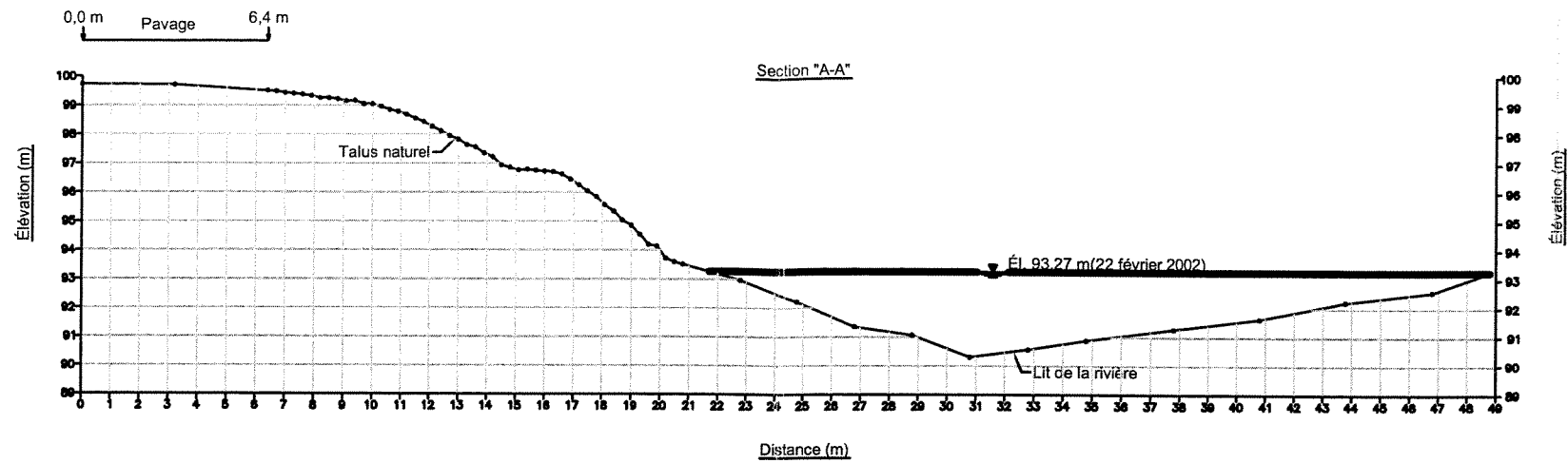


Profil du talus après mise en place du perré

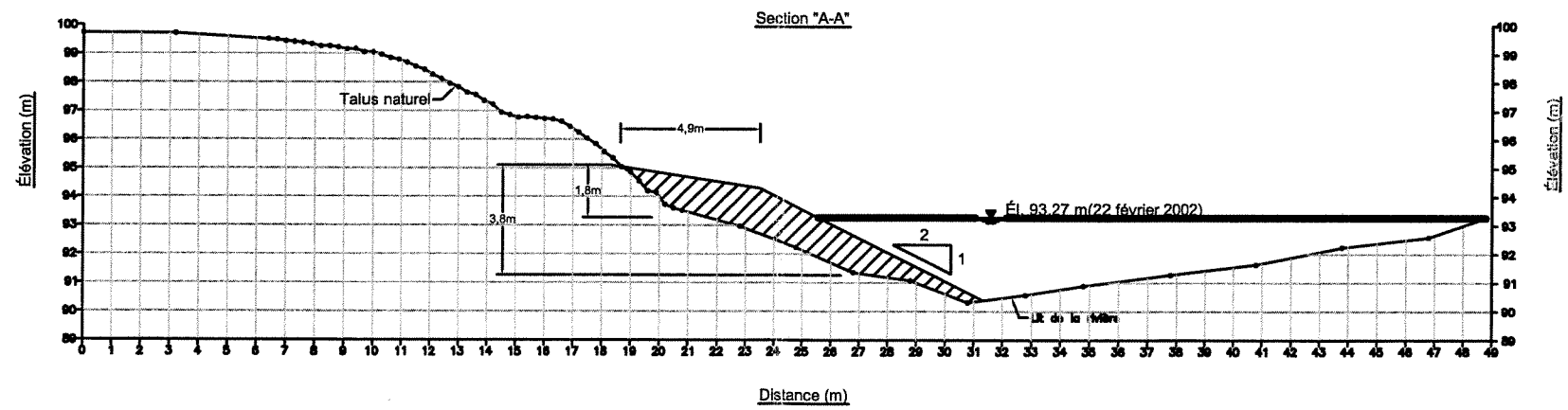



REGISTRE D'ÉMISSION DU DESSIN				REGISTRE DES RÉVISIONS * CONÇU ** APPROUVÉ				SCEAU PROFESSIONNEL		 CLIENT <b>MUNICIPALITÉ DE MASKINONGÉ</b>		CONÇU D. GÉLINAS DESSINÉ D. GÉLINAS VÉRIFIÉ G. BOIVIN ing. APPROUVÉ M. SAMSON ing. DATE 14 août 2002 ÉCHELLE 1: 250		PROJET <b>STABILISATION DES RIVES - MASKINONGÉ -</b> TITRE <b>FIGURE: 16</b> <b>SECTION TYPE</b> <b>SECTEUR B</b>				
No ÉMIS.	RÉV.	DATE (A/M/J)	BUT DE L'ÉMISSION	No	DESCRIPTION DE LA RÉVISION	DATE (A/M/J)	*	**	No PROJÉT	SUBDIVISION	SUJET	SÉRIE	RÉV.					
1		02/08/14	ÉMIS POUR APPROBATION						501334	0010	00 00	00	0					

### Profil du talus existant

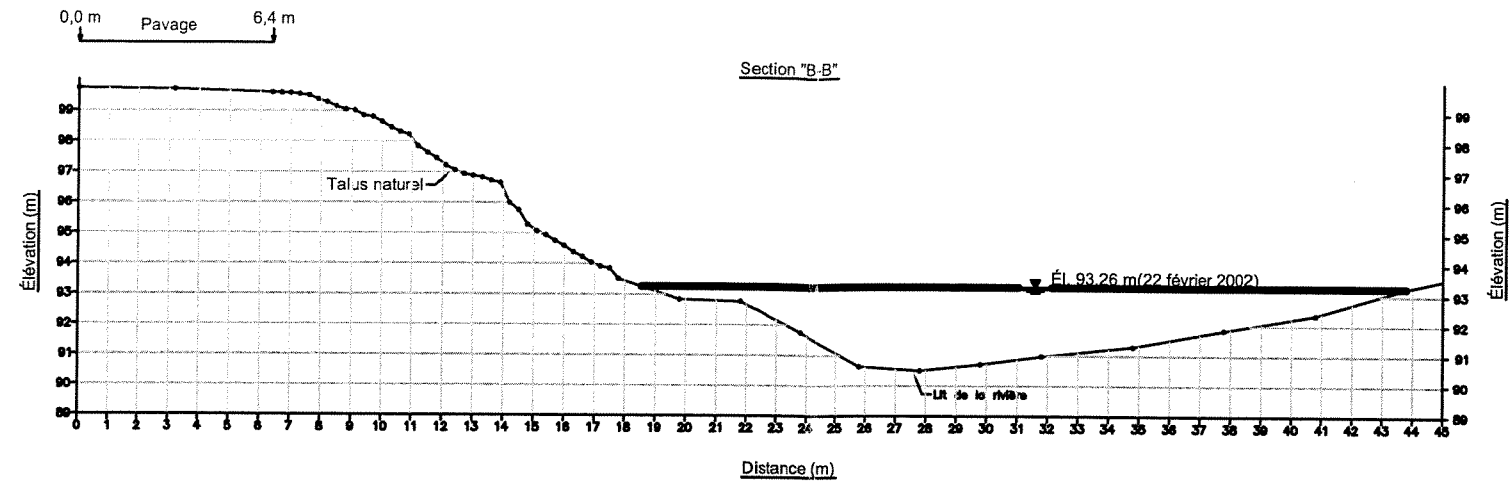


### Profil du talus après mise en place du perré

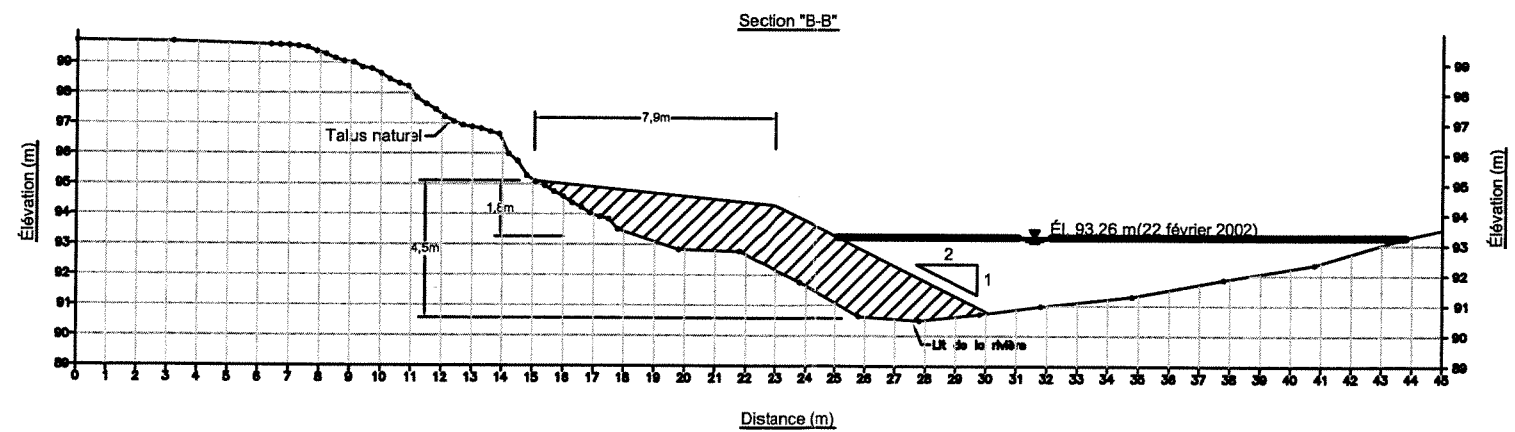


				SCEAU PROFESSIONNEL				 <b>SNC-Lavalin</b>		CONÇU D. GÉLINAS DESSINÉ D. GÉLINAS VÉRIFIÉ G. BOIVIN ing. APPROUVÉ M. SAMSON ing. DATE 14 août 2002 ÉCHELLE 1:250		PROJET STABILISATION DES RIVES - MASKINONGÉ - TITRE FIGURE: 17 SECTION TYPE SECTEUR E							
1 02/08/14 ÉMIS POUR APPROBATION								CLIENT <b>MUNICIPALITÉ DE MASKINONGÉ</b>		No PROJÉT 501334		SUBDIVISION 0010		SUJET 00 00		SÉRIE 00		RÉV. 0	
No ÉMIS. RÉV. DATE (A/M/J) BUT DE L'ÉMISSION				No DESCRIPTION DE LA RÉVISION DATE (A/M/J) * **															
REGISTRE D'ÉMISSION DU DESSIN				REGISTRE DES RÉVISIONS * CONÇU ** APPROUVÉ															

### Profil du talus existant

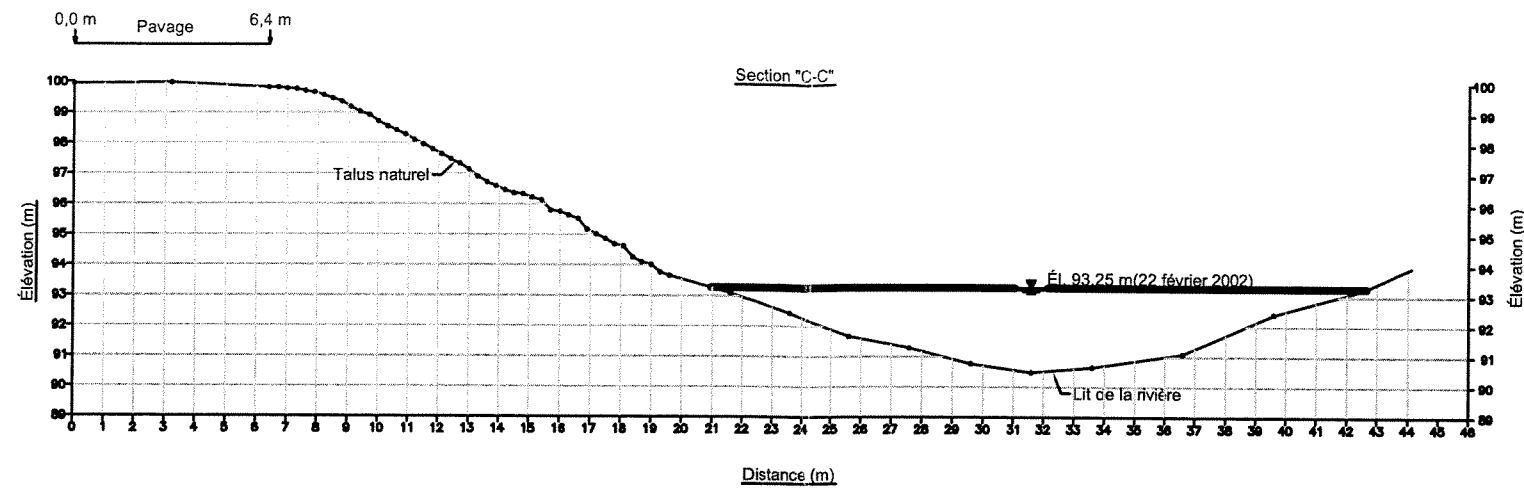


### Profil du talus après mise en place du perré

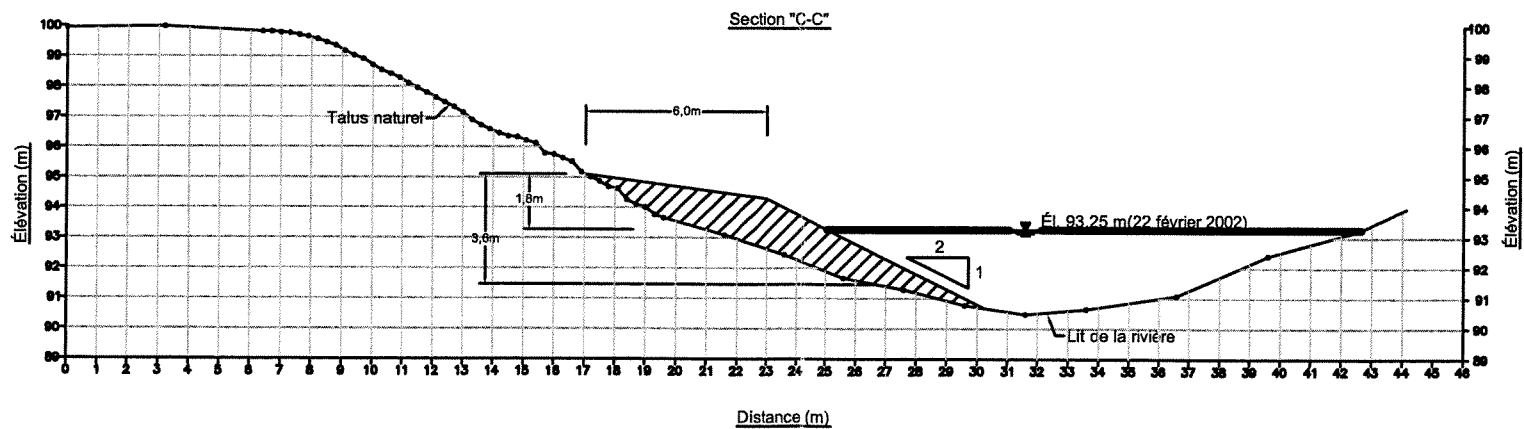


				SCEAU PROFESSIONNEL				CONÇU D. Gélinas DESSINÉ D. Gélinas VÉRIFIÉ G. BOIVIN ing. APPROUVÉ M. SAMSON ing. DATE 14 août 2002 ÉCHELLE 1: 250		PROJET STABILISATION DES RIVES - MASKINONGÉ - TITRE FIGURE: 18 SECTION TYPE SECTEUR E				
1    02/08/14    ÉMIS POUR APPROBATION						CLIENT MUNICIPALITÉ DE MASKINONGÉ				No PROJET    SUBDIVISION    SUJET    SÉRIE    RÉV. 501334    0010    00 00    00    0				
No ÉMIS.    RÉV.    DATE (A/M/J)    BUT DE L'ÉMISSION				No    DESCRIPTION DE LA RÉVISION    DATE (A/M/J)    *    **										
REGISTRE D'ÉMISSION DU DESSIN				REGISTRE DES RÉVISIONS		* CONÇU    ** APPROUVÉ								

### Profil du talus existant



### Profil du talus après mise en place du perré



				SCEAU PROFESSIONNEL					CONÇU D. Gélinas DESSINÉ D. Gélinas VÉRIFIÉ G. BOIVIN ing. APPROUVÉ M. SAMSON ing. DATE 14 août 2002 ÉCHELLE 1: 250		PROJET STABILISATION DES RIVES - MASKINONGÉ - TITRE FIGURE: 19 SECTION TYPE SECTEUR E														
1 02/08/14 ÉMIS POUR APPROBATION							CLIENT MUNICIPALITÉ DE MASKINONGÉ		ÉCHELLE 		<table border="1"> <tr> <th>No PROJET</th> <th>SUBDIVISION</th> <th>SUJET</th> <th>SÉRIE</th> <th>RÉV.</th> </tr> <tr> <td>501334</td> <td>0010</td> <td>00 00</td> <td>00</td> <td>0</td> </tr> </table>					No PROJET	SUBDIVISION	SUJET	SÉRIE	RÉV.	501334	0010	00 00	00	0
No PROJET	SUBDIVISION	SUJET	SÉRIE	RÉV.																					
501334	0010	00 00	00	0																					
REGISTRE D'ÉMISSION DU DESSIN				REGISTRE DES RÉVISIONS * CONÇU ** APPROUVÉ																					
No ÉMIS.	RÉV.	DATE (A/M/J)	BUT DE L'ÉMISSION	No	DESCRIPTION DE LA RÉVISION	DATE (A/M/J)	*	**																	

**NOTE**

**DESTINATAIRE :** Monsieur Gilles Brunet  
Chef du Service des projets en milieu hydrique

**DATE :** Le 11 octobre 2002

**OBJET :** *Avis technique : Stabilisation des berges sur le territoire de la  
municipalité de Maskinongé*  
VID : 3211-02-200

---

Pour faire suite à votre demande concernant l'objet en titre, je vous informe par la présente que j'ai pris connaissance du rapport produit par SNC-Lavalin intitulé « *Municipalité de Maskinongé - Étude de stabilité* ». Cette consultation devait me permettre de fournir un avis sur les facteurs de sécurité proposés et sur les modes de réalisation des travaux précisés dans le document. Celle-ci devait également me positionner afin d'émettre une opinion quant à l'urgence de réalisation des travaux. Voici donc mes commentaires et recommandations :

**Résumé succinct de l'étude de SNC-Lavalin**

- Dans l'étude de stabilité, quatre sites d'intervention ont été traités, soit les sites A, B, E et G.
- Des analyses de stabilité ont été réalisées en contraintes effectives ainsi qu'en contraintes totales pour chacun des sites afin, entre autres, de vérifier le facteur de sécurité contre la rupture des talus dans leur état actuel, soit après les travaux de stabilisation.
- Un facteur de sécurité contre la rupture minimum de 1,5 a été recherché pour les analyses en contraintes effectives alors qu'une valeur cible de 1,3 a été sélectionnée pour les analyses en contraintes totales.
- Les paramètres géotechniques suivants ont été utilisés en contraintes effectives : cohésion ( $c'$ ) : 7 kPa; angle de friction ( $\phi'$ ) : 28°. Ces valeurs correspondent à la limite inférieure du domaine de valeurs rapportées par Tavenas et Leroueil (1981) pour les argiles de la mer de Champlain.

...2

Après analyse, la stabilité des sites A et G a été jugée adéquate alors que celle des sites B et E a été qualifiée comme étant inadéquate. Il est donc proposé pour ces derniers de faire des correctifs par la mise en place de matériaux additionnels en pied de talus.

### Commentaires et recommandations

- Puisque nous sommes en présence de talus naturels, je suis d'avis que des analyses de stabilité en contraintes effectives (à long terme), faisant intervenir les conditions d'eau souterraine, doivent être considérées. Les analyses en contraintes totales (à court terme), quant à elles, doivent plutôt être réservées pour les cas d'excavation ou de mise en place de remblais, afin de simuler le comportement des sols immédiatement après la réalisation de travaux. Bien que les deux types d'analyses aient été réalisées, les résultats obtenus en contraintes effectives semblent avoir été considérés pour émettre les recommandations de l'étude.
- Lors de la réalisation d'analyses de stabilité de talus naturels tels que ceux qui nous préoccupent, je crois qu'un facteur de sécurité contre la rupture de 1,3 devrait être recherché plutôt qu'un de 1,5, tel que mentionné dans l'étude.
- Suite à ces considérations, je suis d'avis que la stabilité de chacun des talus est adéquate dans les conditions actuelles. En effet, toutes les analyses réalisées ont révélé des facteurs de sécurité supérieurs à 1,3, la valeur minimale obtenue étant de 1,39 au site E. Par conséquent, je ne crois pas qu'il soit requis d'ajouter des matériaux additionnels à l'endroit des berges stabilisatrices pour accroître le facteur de sécurité. Les travaux pourraient se limiter à une restauration des lieux (régalage du chemin d'accès et revégétalisation des sites). Ceux-ci n'auraient pas d'influence sur la stabilité des talus et ne sont pas considérés comme étant urgents.

Espérant le tout à votre entière satisfaction, je vous prie d'agréer, Monsieur, l'expression de mes sentiments les meilleurs.



RB/lc

Richard Boutet, ing.

Québec, le 18 octobre 2002

**Transports**  
**Québec** 

M. Gilles Brunet  
Chef du Service des projets en milieu hydrique  
Ministère de l'Environnement  
Édifice Marie-Guyart, 6<sup>ème</sup>, boîte 83  
675, boul. René-Lévesque Est  
Québec G1R 5V7



*Jean-Philippe*

Objet : Stabilisation des berges  
Rivière Maskinongé  
N.D. : 021(019)01

---

Monsieur,

À votre demande, nous avons consulté le rapport que vous a transmis la firme SNC-Lavalin concernant les études de stabilité pour les travaux réalisés au printemps et à l'été 2002 à quatre sites le long de la rivière Maskinongé dans la municipalité du même nom. La présente donne nos commentaires finaux sur ce rapport.

Dans son ensemble, ce rapport est bien présenté et il fournit suffisamment de données de base pour qu'on puisse juger de la valeur des calculs réalisés. Ainsi, les hypothèses concernant les propriétés et la nature des sols nous semblent satisfaisantes mais celle concernant la distribution hydrostatique des pressions interstitielles est définitivement très conservatrice. Le suivi des piézomètres que nous avons effectué pendant 5 ans sur un site à proximité indiquait clairement la présence d'un gradient descendant en sommet de talus, ce qui a un effet stabilisateur. Ceci affecte principalement les cercles potentiels de rupture qui passent au-dessus de l'enrochement. Pour ces cercles, les calculs de SNC-Lavalin sous-estiment leur stabilité réelle.

L'auteur du rapport mentionne que « le critère utilisé par le MTQ impliquant une route est d'obtenir un facteur de sécurité supérieur à 1,50 pour les analyses effectuées en contraintes effectives ». Après discussion avec mes collègues géotechniciens qui réalisent ces études, il n'y a aucune règle écrite qui stipule un tel critère à notre ministère. Notre approche est plus souple et



repose sur une approche rigoureuse où un ensemble de facteurs sont pris en compte pour déterminer le facteur de sécurité à utiliser au cas par cas. Nous travaillons le plus souvent en utilisant un pourcentage d'augmentation du facteur de sécurité plutôt qu'avec une valeur fixe. Il n'est donc pas obligatoire de viser absolument 1,5 comme l'ont fait SNC-Lavalin.

Les analyses de stabilité qui ont été faites en contraintes totales nous semblent totalement injustifiées car non pertinentes. Elles ne sont plus appropriées maintenant que les remblais de pierres ont été mis en place et, selon les règles de l'art, elles ne l'étaient pas pour étudier les talus naturels. Nous n'avons donc pas tenu compte de ces résultats dans notre analyse.

Nos commentaires sur les recommandations de SNC-Lavalin à chacun des sites sont les suivants :


- Site A : Nous sommes d'accord avec leurs recommandations.
- Site B : Les résultats des calculs de stabilité ne justifient aucunement d'ajouts ou de modifications à l'enrochement déjà en place (fig. 5 et 6). La surface potentielle de rupture profonde possède un facteur de sécurité suffisamment élevé (1.56) alors que celle qui passe au-dessus de l'enrochement a une valeur de 1.48, qui est déjà très élevée et qui est assurément très sous-estimée pour la raison évoquée plus haut concernant la distribution des pressions interstitielles. On peut donc s'en tenir au régalage du chemin et à la revégétalisation du site.
- Site E : Les résultats des calculs de stabilité ne justifient aucunement d'ajouts ou de modifications à l'enrochement déjà en place (fig. 9 et 10). La surface potentielle de rupture profonde possède un facteur de sécurité suffisamment élevé (1.50) et il n'est donc pas nécessaire d'ajouter de la pierre au bout de l'enrochement actuel (fig. 10). Quant à la surface qui passe au-dessus de l'enrochement, le calcul est très sensible à la moindre petite variation, comme le montre l'augmentation très rapide du facteur de sécurité en modifiant très légèrement le sommet de l'enrochement (fig. 10). Ceci indique que les calculs pour ces petits cercles en sommet de talus sont moins fiables et très sensibles aux petites variations des paramètres comme celle concernant l'hypothèse sur la distribution des pressions d'eau. D'autre part, ce genre de rupture ne correspond pas aux observations de terrain. Finalement, le rehaussement de l'enrochement constitue une augmentation de la charge car il se fait du côté « moteur ». Pour toutes ces raisons, l'ajout de pierre au sommet de l'enrochement ne

nous semble pas appropriée non plus. On peut donc s'en tenir au régalage du chemin et à la revégétalisation du site.

- Site G : Nous sommes d'accord avec leurs recommandations.

En conclusion, nous croyons que les travaux d'enrochement déjà réalisés assurent une augmentation de stabilité suffisante et que les ajouts proposés par SNC-Lavalin ne sont pas essentiels.

Espérant le tout à votre satisfaction, nous vous prions d'accepter nos salutations distinguées.

  
Denis Demers, ing. Ph. D.  
Service géotechnique et géologie

c.c. Bernard Morin, ing. Chef de Service