

REMBLAI D'ACCES A UN OUVRAGE D'ART SUR SOLS COMPRESSIBLES

Rabah ARAB

AFITEX 13 – 15 rue Louis Blériot 28300 Champhol – France

Tél. : 00 33 (0)2 37 18 01 54

Fax : 00 33 (0)2 37 18 01 60

Email : rabah.arab@afitex.com

Pierre GENDRIN

GEOROUTE ingénierie - France

Yves Henri FAURE

Lirigm, Université Joseph Fourier, 38041 Grenoble Cedex 9, France

Saïd TABTI

AFITEX Algérie Cité des Castors, n° 150c - Bordj El Kiffan - ALGÉRIE

1. INTRODUCTION

Pour améliorer la circulation dans la métropole Lilloise, il y'a eu lieu la construction d'une nouvelle voie routière. Les particularités de ce projet sont la construction d'un remblai d'accès à un ouvrage d'art enjambant une voie ferrée sur des sols compressibles et le raidissement des talus pour consolider les sols au plus près de la voie ferrée.

Dans l'article sont décrites les solutions géosynthétiques employées d'une part pour drainer la base du remblai et d'autre part pour raidir les talus cotés voie ferrée.

2. CONTEXTE GEOTECHNIQUE

Les études de sols réalisées ont fait état de sols de caractéristiques mécaniques médiocres et la présence d'une nappe située à -1 m par rapport au terrain naturel.

En moyenne, de -1 à -10 m on rencontre des silts sablonneux, de -10 à -22 m une argile plastique gris vert appelée "argiles des Flandres" et au delà un sol porteur constitué par un sable vert.

Compte tenu des faibles caractéristiques mécaniques des sol de fondation et de la hauteur du remblai d'environ 8 m, le tassement théorique est évalué à 40 cm sur une durée de consolidation de 20 ans ; ce qui n'est pas compatible avec les contraintes de mise en service de l'ouvrage. Le Maître d'œuvre a donc fait le choix de recourir à la technique de drainage vertical pour diminuer le temps de consolidation.

3. TRAITEMENT DES ZONES COMPRESSIBLES

Pour satisfaire l'exigence du maître d'œuvre qui sont un temps de consolidation de 18 mois et un tassement résiduel maximum de 5 cm, il a été dimensionner un

maillage de drains plats verticaux géosynthétiques, fichés à 22 m de profondeur (photo1). La maille calculée est de 1,5×1,5 m .

Le drainage vertical est associé à un drainage horizontal (photo 2) assurant l'écoulement des eaux vers des fossés latéraux.



Photo 1 : Mise en place des drains verticaux géosynthétiques



Photo 2 : Drainage horizontal associée aux drains verticaux

Le drainage horizontal est assuré par le géocomposite SOMTUBE FTF. La structure du géocomposite est illustrée sur la figure 1. Elle résulte de l'assemblage par aiguilletage des éléments suivants :

- une nappe filtrante non tissée aiguilletée en polypropylène (filtre inférieur),
- une nappe drainante non tissée aiguilletée en polypropylène,
- des mini-drains de diamètres 20 mm, perforés régulièrement selon deux axes alternés à 90°, les mini-drains sont en polypropylène,
- une nappe filtrante non tissée aiguilletée en polypropylène (filtre supérieur).

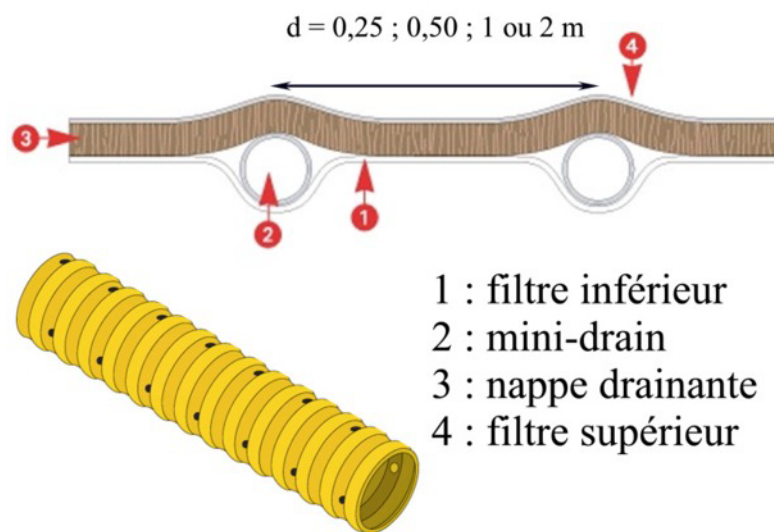


Figure 1 : Structure du géocomposite de drainage horizontal

L'espacement entre les mini-drains est variable (0,25 ; 0,5 ; 1 et 2 m) et, est fonction des débits à drainer et des caractéristiques géométriques de l'ouvrage

4. DIMENSIONNEMENT DU GEOCOMPOSITE DE DRAINAGE HORIZONTAL

4.1 FILTRATION

L'ouverture de filtration des filtres est de 80 μm , qui est compatible compte tenu des sols sous-jacents.

Les 2 filtres sont des géotextiles non tissés aiguilletés, mode de fabrication le plus adapté à la fonction filtration.

L'association des filtres à la nappe drainante par aiguilletage permet d'éviter tous déplacements filtre/nappe drainante, ce qui assure la continuité de la filtration.

La souplesse du SOMTUBE lui permet d'épouser les irrégularités du fond de forme.

Les 2 dernières caractéristiques optimisent la fonction filtre en limitant les vides au contact du filtre, donc l'apparition de sol en suspension.

4.2 DRAINAGE

Les eaux évacuées par le dispositif de drainage vertical sont collectées et transportées par la nappe drainante non-tissée vers les mini-drains après avoir traversé le filtre inférieur.

Le dimensionnement du composite doit donc prendre en compte :

- la perte de charge à la traversée du filtre inférieur,
- les pertes de charge de l'écoulement dans la nappe drainante,
- la perte de charge d'entrée dans les mini-drains,
- les pertes de charge des écoulements dans les mini- drains.

4.2.1 Hypotheses

a - Les pertes de charge liées à la traversée du filtre inférieur déjà considérées dans les critères de filtre, ne sont pas prises en compte dans la méthode de dimensionnement du drainage. Ce qui est généralement le cas pour tous les dispositifs de drainage.

b - La nappe non-tissée est placée horizontalement. Il est donc considéré qu'elle est entièrement saturée. Le paramètre caractéristique retenu est sa transmissivité. Par raison de simplification il est supposé que l'écoulement dans la nappe est rectiligne, perpendiculaire à la direction des mini-drains. Le débit Q_1 transporté par unité de largeur est donné par :

$$Q_1 = V_1 T_g = -\theta i_1 \quad (1)$$

c – des essais de laboratoire ont été réalisés pour estimer les pertes de charge d'entrée dans les mini-drains. Ils ont montré qu'elles étaient négligeables et correspondaient au plus à quelques millimètres d'écoulement dans la nappe non-tissée.

d – Pour cette d'application, les mini-drains sont placés horizontalement. Pour évacuer l'eau collectée sur une grande longueur, ils seront eux aussi supposés complètement saturés. Il n'y a pas de pente suffisante pour considérer un écoulement à surface libre dans les mini-drains. Il est même fort probable, compte tenu des tassements différentiels plus importants dans la partie centrale, qu'ils soient amenés à être en charge.

Les mesures de laboratoire ont montré que les écoulements dan les mini-drains pouvaient être caractérisés par une relation de la forme :

$$Q_2 = q_d i = \alpha i^{(n+1)} \quad (2)$$

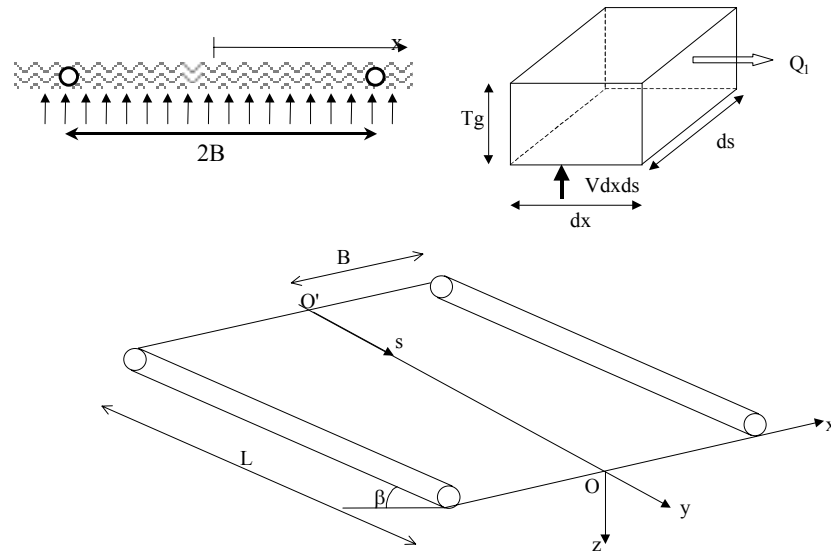
q_d : discharge capacity of the mini-drain,

i : gradient hydraulique dans le mini-drain

α, n : constantes expérimentales.

4.2.2 Calcul de la pression maximale à l'inter drain

Un flux uniforme d'intensité V est supposé entrer perpendiculairement dans la nappe drainante sur une largeur $2B$, correspondant à la distance entre les mini-drains.



Le débit dQ_1 qui entre perpendiculairement par un élément de surface $(dx.ds)$ de nappe non-tissée est :

$$dQ_1 = V dx ds$$

Or le débit à travers un élément de nappe $(ds Tg)$ est :

$$Q_1(x, s) ds = V_1 T_g ds = -\theta \frac{dh_1}{dx} ds$$

avec :

Q_1 : débit dans le plan de la nappe non-tissée,

Tg : épaisseur de la nappe

θ : transmissivité de la nappe

V : flux entrant dans la nappe

V_1 : flux transporté par la nappe

h_1 : charge hydraulique dans la nappe.

Ce qui conduit à :

$$\frac{d^2 h_1}{dx^2} = -\frac{V}{\theta}$$

Par ailleurs, le débit collecté dans un élément de longueur « ds » de mini-drain est donné par :

$$dQ_2(s) = 2VBds$$

avec

$$Q_2(s) = q_d i = \alpha i^{(n+1)} \quad (3)$$

où :

Q_2 : débit transporté par un mini-drain

q_d : capacité de décharge des mini- drains

i : gradient hydraulique dans le mini-drain

α, n : constantes expérimentales.

Soit :

$$\frac{dh_2}{ds} = - \left[\frac{2VB}{\alpha} s + C_1 \right]^{\frac{1}{n+1}}$$

h_2 : charge hydraulique dans les mini-drains.

Mais $C_1 = 0$ car pour $s=0$, $i = 0$ (Q_2 est nul à $s = 0$) :

$$h_2(s) = - \frac{n+1}{n+2} \times \left(\frac{2VB}{\alpha} \right)^{(1/n+1)} s^{(n+2)/(n+1)} + C_2$$

Ce qui donne

$$h_2(s) = - \frac{n+1}{n+2} \times \left(\frac{2VB}{\alpha} \right)^{(1/n+1)} \left[s^{(n+2)/(n+1)} - L^{(n+2)/(n+1)} \right]$$

La charge maximum est obtenue pour $s = 0$

$$(h_2)_{\max} = \frac{n+1}{n+2} \times \left(\frac{2VB}{\alpha} \right)^{(1/n+1)} L^{(n+2)/(n+1)}$$

La charge maximum h_1 max, à l'inter-drain est :

$$(h_1)_{\max} = \frac{VB^2}{2\theta} + \frac{n+1}{n+2} \times \left(\frac{2VB}{\alpha} \right)^{(1/n+1)} L^{(n+2)/(n+1)} \quad (4)$$

4.2.3 Utilisation du logiciel LYPHEA

Un logiciel de dimensionnement (LYMPHEA) a été développé en collaboration avec le Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche Impliquant la Géologie et la Mécanique (Lirigm) de l'Université Joseph Fourier de Grenoble et validé conjointement avec le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées (LRPC) de Nancy. Il permet de traiter

ce type de configuration : sol horizontal et mini-drains saturés, mais il permet aussi de prendre en compte d'autres configurations :

- sol en pente et écoulement libre dans les mini-drains,
- charge constante imposée à une certaine distance du drain,
- drainage des gaz,
- nappe drainante avec ou sans mini-drains.

Dans le logiciel, les écoulements dans la nappe drainante sont considérés mono-directionnels et perpendiculaires aux mini-drains.

Le logiciel prend en compte les paramètres suivants :

- la transmissivité de la nappe drainante sous compression,
- la longueur des écoulements dans les mini drains,
- la pente des écoulements dans les mini drains,
- l'espacement entre les mini drains,
- les conditions d'écoulement dans les mini drains (saturés, partiellement saturé ou non saturé)

Pour ce projet, le dimensionnement a été réalisé à l'aide du logiciel LYMPHEA, en tenant compte du contexte hydrogéotechnique et des caractéristiques géométriques de l'ouvrage,

Les hypothèses prises en compte pour le calcul du drainage sous le remblai de Lille ont été les suivantes :

- hauteur du remblai : 8 m
- mini-drains saturés
- flux uniforme
- deux mini –drains par mètre (espacement : 0.5 m)
- longueurs d'écoulement : 17,5 m
- transmissivité de la nappe drainante sous la contrainte de 8 m de remblai : $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- pente des écoulements : 0%
- pression maximale dans le géocomposite : 0,01m

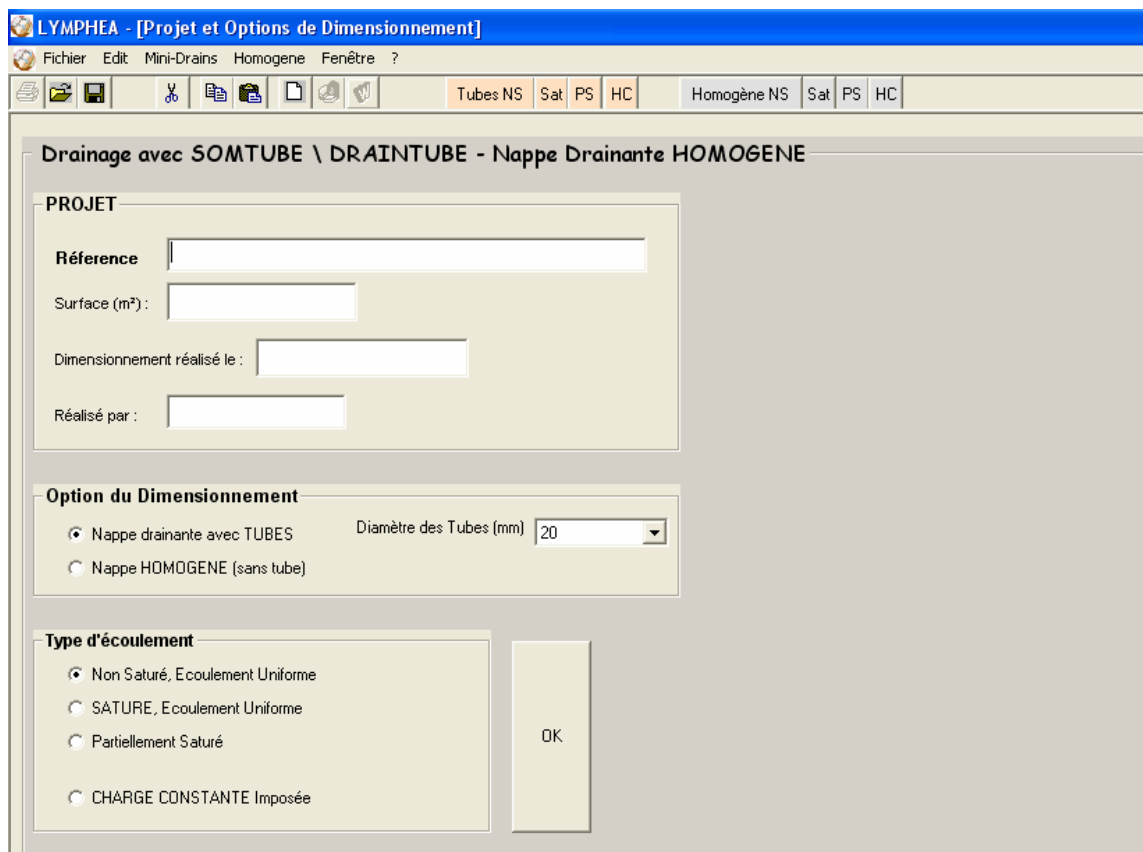


Figure 2 : Présentation du projet (LYMPHÉA)

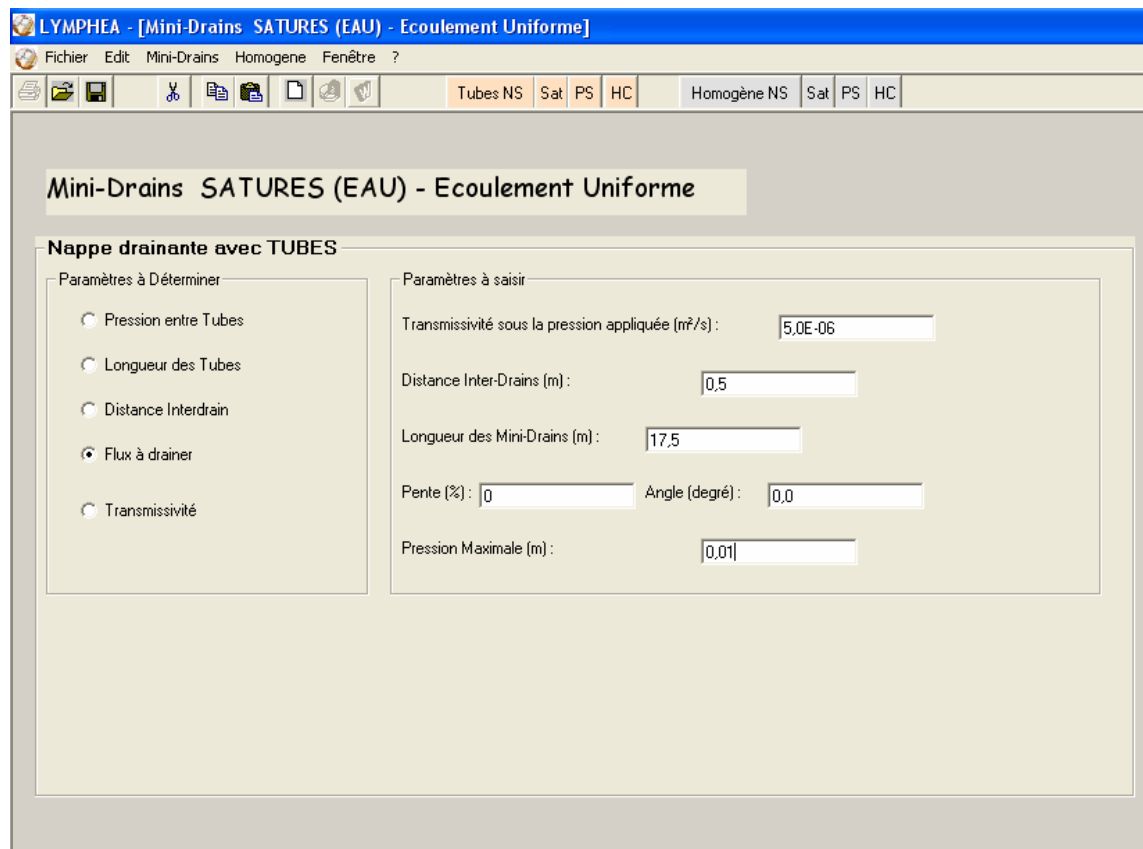


Figure 3 : Saisie des paramètres (LYMPHÉA).

Drainage avec SOMETUBE / DRAINTUBE - EAU

PROJET : ARMENTIERES - LILLE (59)

Surface (m²) : 15 000

Dimensionnement réalisé le : mai 2002

Réalisé par : GEOROUTE

Hypothèses Hydrauliques : Mini-Drains SATURES, Flux Uniforme

Paramètres saisis :

Transmissivité sous la pression appliquée (m²/s) : 5,0E-06

Distance Inter-Drains (m) : 0,5

Longueur des Mini-Drains (m) : 17,5 ; Diamètre (mm) : Gris

Pente (%) : 0,0 ; Angle (degré) : 0,0

Pression Maximale (m) : 0,01

Résultat :

Flux à Drainer (m/s) : 9,55E-07

Pression Maximale (m) : 0,01 à s (m) = 0,0

Pression entre tubes à s = 0, (m) : 1,0E-02

Pression Maximale = 1,0E-02 m

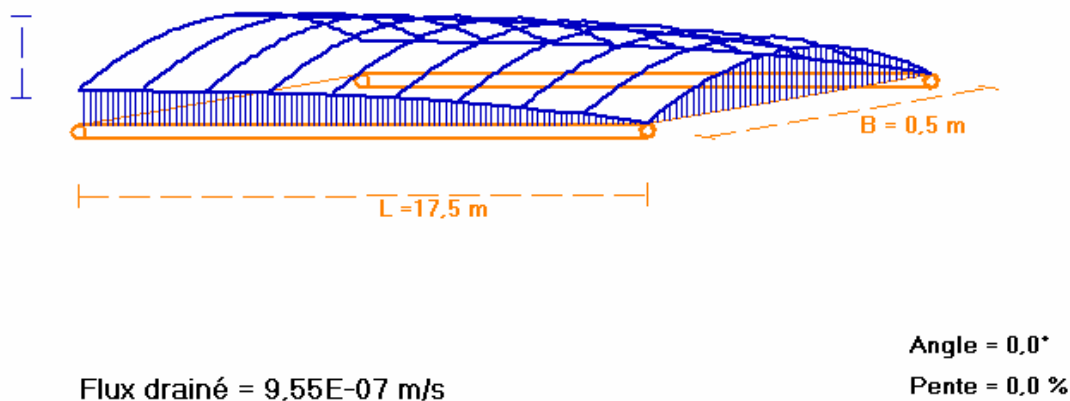


Figure 4 : Résultat de calcul et surface piézométrique dans le SOMETUBE

(LYMPHEA).

Le calcul conduit à un flux entrant de l'ordre de 10^{-6} m/s pour une pression maximale imposée de 0,01 m. Ce flux est supérieur au flux attendu.

5. OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT VERTICAL RENFORCÈ PAR GÈOTEXTILE

Le raidissement des talus a pour but de consolider les sols au plus près de la voie ferrée. Cet ouvrage est constitué de deux parements dont un est provisoire (celui situé au droit de la future culée) l'autre est définitif.

Les caractéristiques géométriques des murs sont les suivantes :

- Largeur de la base : 5,5 m
- Hauteur du mur : 7,10 m en phase provisoire et 8,10 m en phase définitive
- Surcharge routière : 20 kN/m².

La technique employée consiste à monter les remblais par couche et d'intercaler des nappes géotextiles.

Les matériaux compactés sont ainsi enveloppés dans le géotextile et afin d'obtenir un parement vertical, on utilise un coffrage amovible et des "big-bags". L'empilement des "big-bags" permet alors d'échafauder une butée massive qui, bien que résistante, s'accommodera des tassements différentiels attendus sur ces sols compressibles.

Les "big-bags" sont maintenus dans le coffrage mobile par trois unités à l'aplomb du parement et ils sont remplis de matériaux 0/100 à l'aide d'une pelle mécanique (photos 3). Le remplissage s'effectue simultanément dans les trois sacs avec des levées d'environ 30 cm de hauteur.



Photo 3 : Vue des big-bag et du coffrage amovible

Au préalable, des calculs de stabilité externe et interne ont été menés compte tenu du caractère compressible des matériaux du site.

La stabilité interne est réalisée à l'aide du logiciel Cartage développé par le LCPC et LIRIGM. Il est conforme aux "*Recommandations pour l'emploi des géotextiles dans le renforcement des ouvrages en terre*" du Comité Français des Géosynthétiques.

Cette méthode permet de déterminer les efforts mobilisés dans les renforcements en tenant compte du caractère extensible des géotextiles de renforcement, des caractéristiques mécaniques du matériau de remblai et de la géométrie de l'ouvrage. On détermine ainsi le nombre, la résistance, la longueur et les espacements des nappes géotextiles. L'aspect définitif des murs est montré sur la photo 4.



Photo 4 : Aspect final des murs renforcés

L'ouvrage est achevé en mars 2003. Le suivi des mesures est prévu pour une durée de 18 mois. Les mesures effectuées sont en accord avec les prédictions théoriques (figure 5).

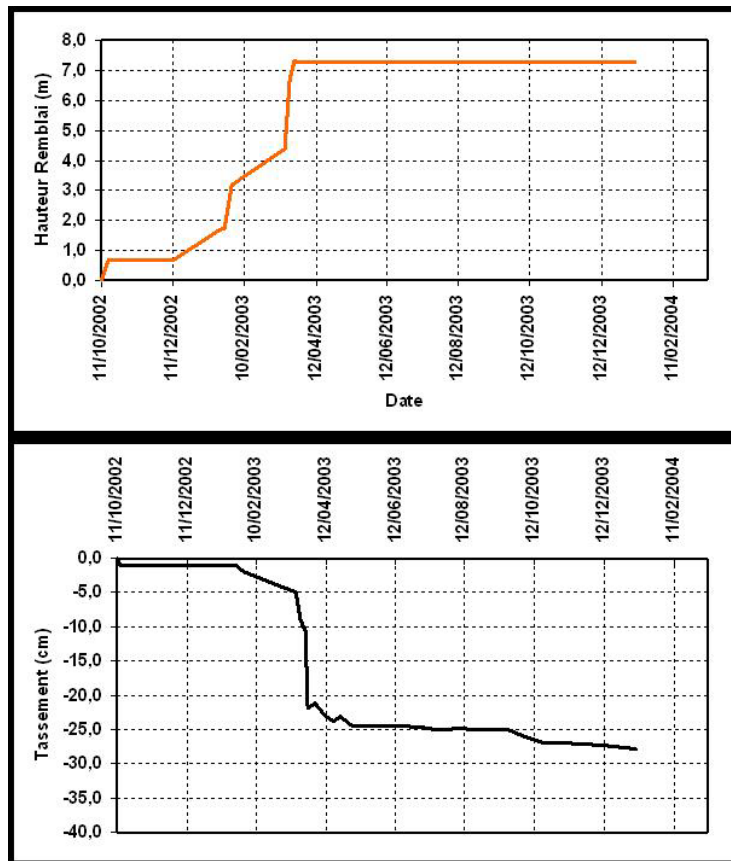


Figure 5 : Montée du remblai – tassement mesuré

6. CONCLUSION

Les géocomposites de drainage (horizontal et vertical) ont été utilisés avec succès pour accélérer la consolidation du remblai routier. Comparativement aux techniques traditionnelles en matériau granulaire, ils apportent une garantie plus grande de régularité de performances, une rapidité d'exécution et un gain de terrassement.

REFERENCE

Arab R. Durkheim Y., Gendrin P., 2002: Landfill drainage system, 7 th IGS ; Nice, pp. 745 – 748

Gendrin P., Arab R. Faure Y.H., 2002: Drainage sous remblai – géocomposite SOMTUBE, Revue Travaux, Paris, pp. 23 – 26