

CRÉATION D'UN OUVRAGE ALLÉGÉ EN SOL RENFORCÉ POUR L'ÉLARGISSEMENT DE L'A31

CREATION OF A LIGHTENED WORK BY REINFORCED SOILS FOR THE WIDENING OF THE HIGHWAY 31

Nicolas RACANA¹, Laurent SYLVESTRE²

¹ Sol Solution, Riom, France

² CETE de l'Est, Nancy, France

RÉSUMÉ – Dans le cadre de l'aménagement de l'échangeur de Jouy-aux-Arches sur l'A31, un élargissement de 4 m en crête du remblai autoroutier était nécessaire. Le projet initial, onéreux et de mise en œuvre difficile a été abandonné pour s'intéresser à une solution innovante associant un remblai allégé d'argile expansée et le procédé de soutènement en géotextile M3S®. Cette innovation technique s'avère exemplaire de multiples bénéfices : elle a permis d'une part de réduire l'enveloppe financière initiale tout en permettant une intervention rapide et donc plus adaptée aux contraintes autoroutières et d'autre part de s'affranchir du transport de matériaux d'apport en grande quantité.

Mots-clés : argile expansée – géotextile alvéolaire - soutènement

ABSTRACT – On the occasion of the interchange of Jouy-aux-Arches construction, on the highway 31, a 4 m widening on the motorway embankment crest was necessary. The original plan, was expensive and difficult implement, and had been given up in favor of an innovative solution which linked an expensed clay embankment and the retaining tridimensional geosynthetic process M3S. This technical innovation allowed on the one hand the initial budget to be reduced and at the same time a shorter intervention which gave a better answer to the problems linked of motorway traffic and on the other hand allowed the possibility of avoiding an important material transport.

Keywords : expensed clay – cellular geotextile - retaining structure

1. Introduction

La D.I.R. Est (Direction Interdépartementale des Routes de l'Est) a assuré entre autres la maîtrise d'œuvre de l'élargissement de l'A31 au droit de l'échangeur de Jouy-aux-Arches (57). Le CETE (Centre d'Études Techniques de l'Équipement) de l'Est a été associé à cette opération pour valider l'approche technique. L'élargissement du remblai autoroutier, en place depuis plus de 20 ans, passait initialement par un élargissement depuis sa base. L'enveloppe prévisionnelle initiale et les délais de réalisation de cette opération ont conduit le CETE à réfléchir à une solution alternative. La création d'un ouvrage de soutènement classique en tête de ce remblai, n'était pas envisageable car il aurait engendré un défaut de stabilité au grand glissement en surchargeant le remblai en place. En partenariat avec MAXIT, la société SOL SOLUTION a proposé une solution de soutènement associant du sol renforcé et un remblai allégé en argile expansée. La solution M3S® remblayée avec de l'argile expansée très intéressante financièrement a été validée techniquement par le CETE.

2. Principe de renforcement

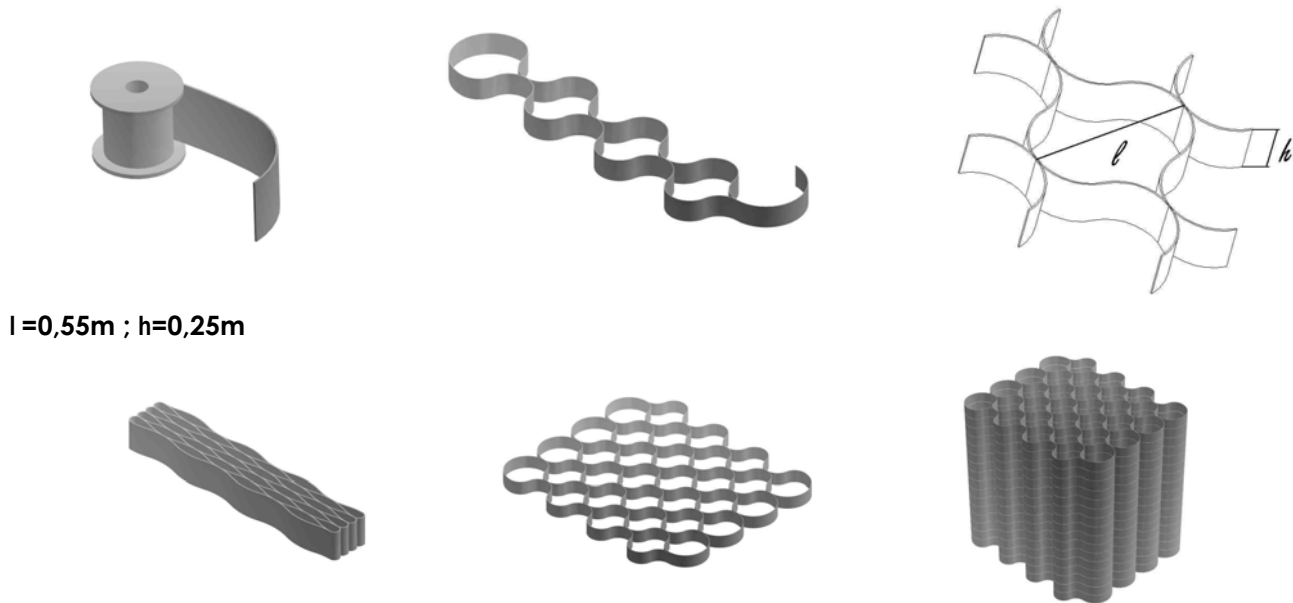
Le procédé M3S® se présente sous la forme de nappes cellulaires obtenues par assemblage de bandes géotextiles entre elles. Le matériau de base est un géotextile non-tissé thermolié, de filaments de polypropylène (70%) et polyéthylène (30%). Ce type de géotextile est semi-rigide, rendant la mise en œuvre aisée et conserve de bonnes caractéristiques de perméabilité. Les caractéristiques mécaniques principales du géotextile non-tissé certifié ASQUAL sont présentées dans le tableau I.

Ce géotextile est résistant à tous les sols naturellement alcalins (pH<10) et acides (pH>2). Biologiquement il n'est pas affecté par les bactéries, les moisissures... Il ne constitue pas une source de nourriture pour les rongeurs ou termites. Le géotextile n'étant généralement exposé au rayonnement direct du soleil que sur une courte durée (phase chantier), sa résistance n'en n'est pas affectée de manière significative.

Tableau 1. Caractéristiques principales du géotextile

Caractéristique	Norme	Unité	Valeur
Masse surfacique	NF EN 965	g/m ²	330
Epaisseur sous 2kPa	NF EN 964.1	mm	1,5
Résistance à la traction sens longitudinal et transversal	NF EN ISO 10319	kN/m	25,1
Allongement à la rupture	NF EN ISO 10319	%	25
Perforation Dynamique	NF EN 918	mm	20
Perméabilité normale au plan	NF EN ISO 11058	m/s	0,040

La résistance à la traction à long terme du géosynthétique, par rapport à sa résistance à la traction à court terme, est réduite pour tenir compte du fluage, de l'endommagement et du vieillissement. Les nappes cellulaires sont réalisées en usine par assemblage d'une seule et même bande de géotextile.



$l=0,55m$; $h=0,25m$

Figure 1. Schéma de principe de confection des nappes M3S®.

La structure composite obtenue possède des caractéristiques mécaniques bien plus fortes que le contenu seul. En effet la présence de ce géotextile engendre un gain de résistance assimilable à de la cohésion apparente qui améliore sa résistance au cisaillement et à la traction. Le principe est de renforcer le sol par effet d'interaction cellulaire et par fonctionnement en membrane du géotextile (Racana, 2002). Ce principe de renforcement de sol permet la réalisation d'ouvrages fortement inclinés ou verticaux.

3. Principe de dimensionnement

La méthode de calcul s'appuie sur toutes les réglementations en vigueur en matière de murs renforcés et notamment le projet de norme Pr NF 94-270, mais également sur les travaux de recherche menés spécifiquement sur ces structures cellulaires. Des expériences sur modèles réduits mais aussi en grandeur nature ont été réalisés pour l'essentiel au LGC/CUST de Clermont-Ferrand en collaboration avec Sol-Solution (Reiffsteck, 1996 ; Racana, 2002). Les mécanismes de rupture et de déformations observés mettent en évidence que les ouvrages M3S® entrent dans la gamme des remblais renforcés (Racana et al., 2001).

Néanmoins il paraît évident que l'ouvrage considéré est atypique avec la spécificité d'être construit à l'aide d'un matériau cinq fois plus léger que le matériau de remblai classique. Avec 400kg/m³ de densité une fois compacté, ce matériau semblait délicat à utiliser dans un massif en sol renforcé classiquement dimensionné comme un mur poids. Nous avons été contraints de proposer une forme géométrique d'ouvrage particulière avec des nappes renforcées plus larges en tête d'ouvrages qu'en pied (figure 2). Ceci permet tout simplement d'incliner l'écran de poussée derrière l'ouvrage et donc de réduire de manière significative la poussée des terres sur cet ouvrage allégé.

On notera que les graves propres (C1B3) constituant le remblai initial ont de bonnes caractéristiques mécaniques ce qui limite la poussée des terres et permet leur réemploi en remblai contigu à l'ouvrage M3S®.

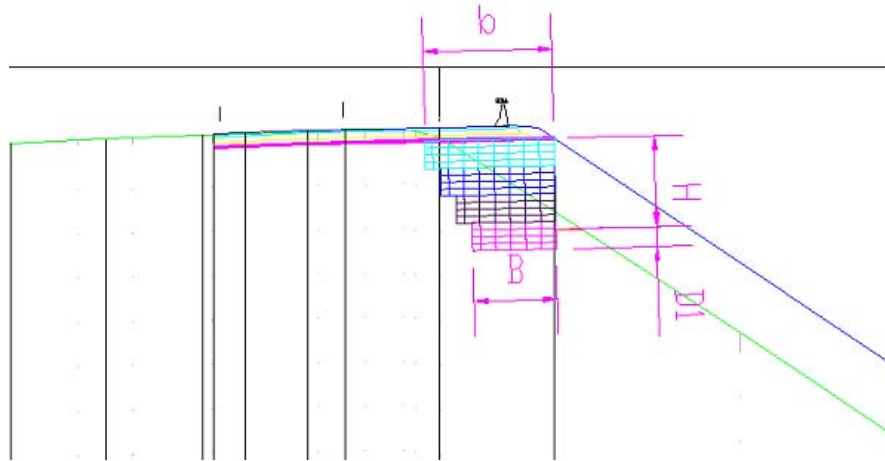


Figure 2. Coupe de l'ouvrage M3S® en élargissement de l'A31.

Parmi les vérifications classiques qu'il faut réaliser, l'étude de la stabilité globale devait être menée en priorité pour valider ce choix technique (figure 3).

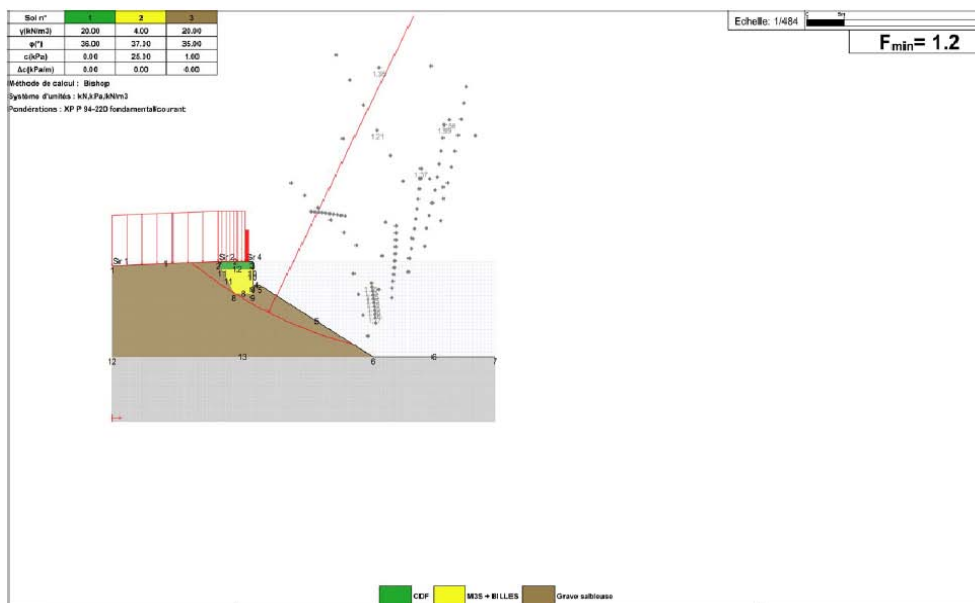


Figure 3. Analyse de la stabilité au grand glissement.

Au final, le fait de venir bâtir cet ouvrage allégé en crête de remblai autoroutier n'engendre pas de charge supplémentaire et permet même d'atteindre un coefficient de sécurité global plus sécuritaire que la configuration initiale.

4. Contrôle et suivi de chantier

Les notes de calcul établies pour chaque ouvrage sont soumises à la garantie décennale. Pour s'assurer que les hypothèses retenues pour ces notes de calcul soient conformes avec la réalité du chantier, SOL SOLUTION impose un suivi systématique de la construction de ces ouvrages.

Tout d'abord l'assise de l'ouvrage est vérifiée afin de garantir la résistance au poinçonnement de l'ouvrage. Ensuite, un contrôle de compactage du remblai mis en œuvre dans les structures M3S® est systématique comme sur n'importe quel ouvrage en sol renforcé. Ces contrôles permettent notamment de confirmer la qualité du compactage réalisé et de valider le bon respect des règles classiques de mise en œuvre. Les hypothèses retenues dans le dimensionnement de cet ouvrage sont ainsi validées.

Nous attirons l'attention sur la spécificité du matériau de remplissage de la structure alvéolaire. Classiquement, l'argile expansée, caractérisée par une densité cinq fois moins importante qu'un

matériau classique, se contrôle avec des essais de plaque. L'influence évidente induite pas les structures alvéolaires M3S® nous a contraints à réaliser en amont des essais de référence en laboratoire afin de permettre un contrôle de ce remblai à partir d'essais pénétrométriques Panda® (norme XP 94-105). Ces essais ont été réalisés au sein de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand. L'objectif est d'établir une relation entre la densité sèche en place (ou la densité relative qui est mieux adaptée à ce type de matériau granulaire) et la résistance de pointe au pénétromètre Panda, afin de pouvoir directement estimer et contrôler cette densité à partir d'essai in situ.

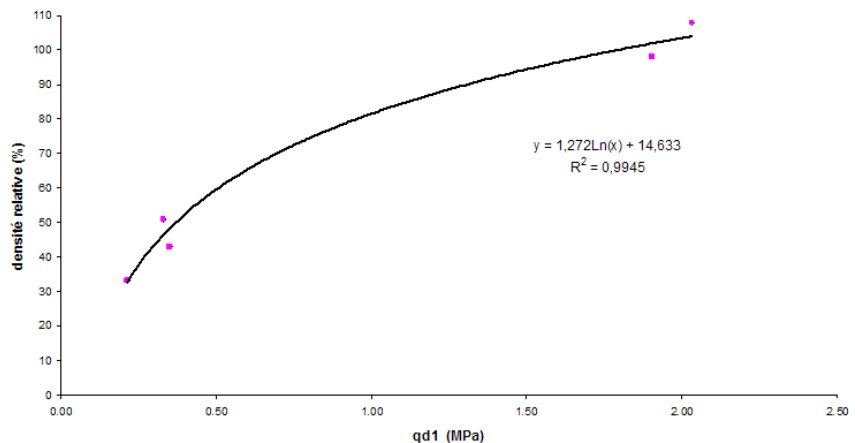
Les essais ont été réalisés sur cinq moules de densité différente couvrant l'intervalle de densité de ce matériau. Pour chaque moule, trois essais pénétrométriques Panda ont été réalisés à partir desquels les trois paramètres principaux des pénétrogrammes (q_{d0} , z_c et q_{d1}) ont été calculés.

Tableau 2. Récapitulation des relations densité-résistance de pointe dynamique

Argile expansée 2/22							
N° Moule	γ_h (kN/m ³)	w (%)	γ_d (kN/m ³)	I_D (%)	z_c (cm)	q_{d0} (MPa)	q_{d1} (MPa)
1	3,05	4,5	2,91	33	0	0	0,21
2	3,10	4,5	2,96	43	6	0,1	0,35
3	3,89	30	2,99	51	3	0	0,33
4	4,18	31	3,19	98	10	0,2	1,90
5	3,39	4,5	3,24	108	11	0,2	2,03

γ_h – poids volumique humide, w – teneur en eau, γ_d poids volumique sec, I_D indice de densité, z_c profondeur critique, q_{d0} résistance de pointe initiale, q_{d1} résistance de pointe sous z_c

La courbe de la figure 4 met en évidence les bien-fondés de contrôler ce type de matériau granulaire léger à partir d'essais pénétrométriques. On note que la résistance de pointe augmente de manière significative lorsque l'on se rapproche de 100% de densité relative ($I_D = 100\%$).

Figure 4. Photo du dispositif d'essais et relation q_{d1} - densité relative.

L'objectif retenu de résistance de pointe q_d a été fixé à 1,5MPa. On note sur l'ensemble des sondages réalisés une résistance de pointe toujours supérieur à cette valeur avec classiquement une résistance de 2MPa ce qui correspond à un indice de densité de 100% (figure 5).

5. Présentation du chantier

5.1. Contraintes techniques et coupe de l'ouvrage

Les contraintes techniques locales sur l'échangeur de Jouy-aux-Arches sont classiques pour un élargissement autoroutier avec maintien de la circulation. La hauteur de l'ouvrage varie de 1 à 4 m pour un linéaire de 250 m. Il a été construit en deux phases en quatre semaines au total. L'approvisionnement de l'argile expansée en gros sacs de 2,5m³ (environ 800kg) a permis une mise en œuvre efficace du remblai avec des rendements pouvant atteindre 80 unités mises en œuvre et compactées dans une journée. La figure 6 montre les différentes phases du montage de cet ouvrage.

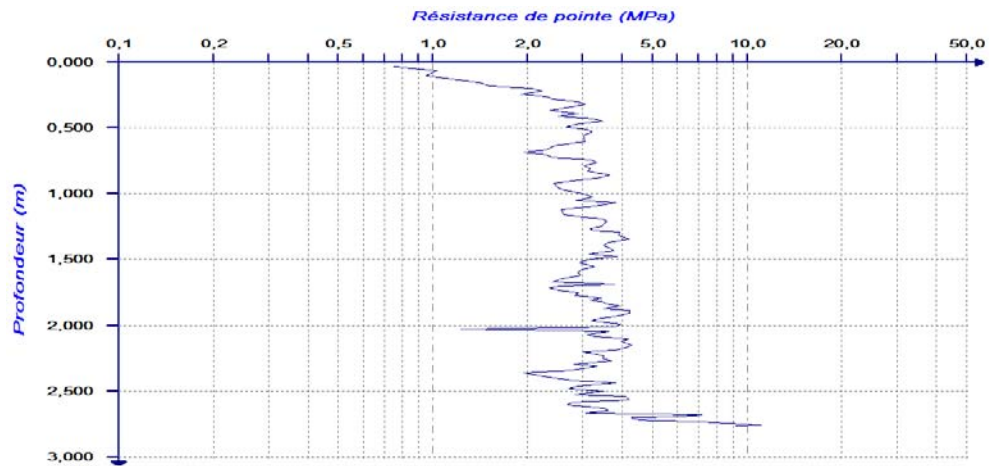


Figure 5. Contrôle de compactage.



Figure 6. Mise en œuvre des nappes M3S® et de l'argile expansée.

5.2. Habillage de l'ouvrage et intégration des ouvrages traversants

La solution finalisée propose un aspect minéral constitué de panneaux électrosoudés fixés sur le mur M3S® par agrafage. La figure 7 présente la méthodologie appropriée pour mettre en œuvre cet ouvrage. Les nappes alvéolaires sont connectées entre elles par l'intermédiaire de bandes de rive. Ensuite des panneaux électrosoudés fabriqués sur mesure sont agrafés sur ces bandes de rive afin d'avoir comme aspect final un assemblage de structures métalliques. Les panneaux électrosoudés retenus sont constitués de fil Galfan® de 4,5 mm de diamètre avec une maille rectangulaire 50*100mm.

Ensuite l'intervalle entre les panneaux électrosoudés et les alvéoles M3S® est rempli de matériau granulaire 50/100 mm issu de carrière. L'intérêt de cette technique est de proposer un parement minéral uniquement avec 1 m³ de matériau concassé pour 4 m² de parement (figure 8).

6. Conclusions

Le chantier de la création d'une troisième voie sur l'A31 à Jouy-aux-Arches (57) a permis de tester un procédé innovant associant l'utilisation des alvéoles M3S® et un remblai de 2500 m³ ultraléger en argile expansée. Cette solution technique, validée par le CETE, a permis de réduire considérablement l'enveloppe financière ainsi que le temps de réalisation des travaux tout en limitant l'impact environnemental d'une solution classique qui engendrait plus de 30 000 m³ en matériaux d'apport.

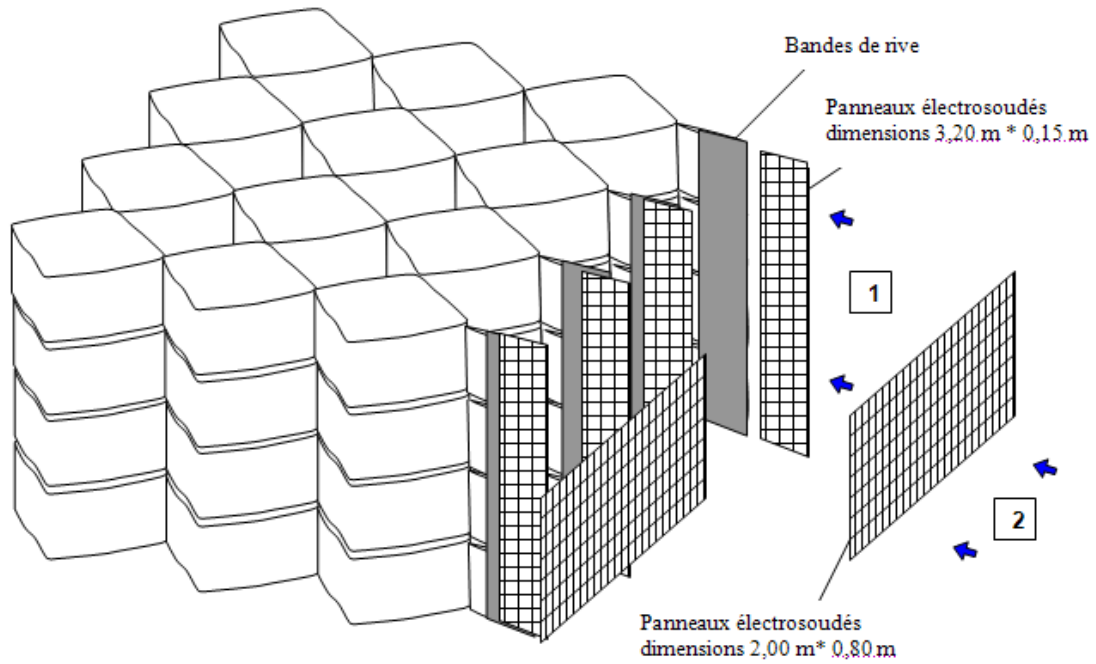


Figure 7. Principe de construction du parement.



Figure 8. Aspect général du mur M3S®.

7. Références bibliographiques

- Flohr J.M., Mercier P., Racana N., Thibur F. (2006). Confortement et raidissement d'une digue par une structure alvéolaire. Actes des Rencontres Géosynthétiques 2006 – pp. 489-494
- Racana N., Gourvès R., Grédiac M. (2001). Mechanical behaviour of soil reinforced by geocells. Landmark in Earth Reinforcement – Ochiai et al., pp. 437-441.
- Racana N. (2002). Étude du comportement mécanique d'un massif en sol renforcé par géotextile cellulaire - Thèse de doctorat – Université Blaise Pascal Clermont Ferrand.
- Reiffsteck P. (1996). Étude du comportement mécanique du géotextile tridimensionnel alvéolaire ARMATER® - Thèse de doctorat – Université Blaise Pascal Clermont Ferrand.
- XP P 94-105 Sols: Reconnaissance et essais – Contrôle de la qualité du compactage. AFNOR,000.
- Pr NF 94-270 : Avant projet de norme soumise à enquête probatoire – Remblais renforcés et massifs en sol cloué. AFNOR, 2007