

# 15 ANNÉES D'EXPÉRIENCE DANS LES STRUCTURES EN SOL RENFORCÉ PAR GRILLAGES MÉTALLIQUES ET GÉOGRILLES

## 15 YEARS OF EXPERIENCE WITH REINFORCED SOIL STRUCTURES USING STEEL WIRE MESH AND GEOGRIDS

Marco VICARI<sup>1</sup>, Alexandre PLASTRE<sup>2</sup>  
1 *Officine Maccaferri, Zola Predosa, Italie*  
2 *France Maccaferri, Valence, France*

**RÉSUMÉ** – L'article présente les principaux résultats des modèles physiques et numériques qui ont permis à Maccaferri de concevoir, sans risque, des structures hybrides associant géogrilles et grillage métallique. Certaines des plus importantes structures sont présentées : du premier ouvrage de 15 m de haut construit en 1997 au Royaume Unis, aux applications les plus récentes en Inde, de plus de 70 m de hauteur.

Mots-clés: géogridde, grillage, ouvrage, sol renforcé.

**ABSTRACT** – The article shows the main results of the physical and numerical models which allowed Maccaferri to design, without risk, hybrid structures associating geogrids and steel wire mesh. Some of the most important structures are presented: from the first wall of 15 m height built in 1997 in the United Kingdom to the most recent applications in India more than 70 m high.

Keywords: geogrid, wire mesh, structure, reinforced soil.

### 1. Introduction

Les structures en sol renforcé offrent des avantages économiques par rapport aux systèmes conventionnels de murs de soutènement. Ce constat a poussé les chercheurs et les concepteurs à trouver des solutions qui pourraient réduire le coût total d'un tel ouvrage en optimisant l'utilisation du type de renfort, et notamment sur la combinaison entre des géogrilles et des renforts en grillage à base de fil métallique (Hatami et al, 2001). Les simulations numériques, effectuées avec la prise en compte des conditions de contraintes planes, ont montré qu'un arrangement alternatif de renforts semble être plus efficace que des arrangements groupés de renforts de rigidité différente combinés ensemble.

En comparant avec un modèle numérique de prévision de rupture plus réaliste (différences finies), certaines des configurations de calculs avec des renforts mixtes fournissent une réponse sous charge semblable à un modèle de renfort uniforme théorique. Les résultats de l'étude ont suggéré que la rigidité des couches de renfort placées à de petits intervalles est une stratégie à privilégier pour réduire au minimum la déformation du parement plutôt que d'utiliser des renforts plus raides avec un plus grand espacement. Ces résultats ont conduit Maccaferri à concevoir une structure de remblai renforcé hybride fait d'une combinaison de grillage métallique et de géogrilles, où le composant en acier a une fonction de renfort secondaire (qui minimise la déformation du parement) et les géogrilles constituent les fonctions de renfort principal, apportant aux matériaux une plus haute résistance pour un coût modéré dans des conditions relativement simples d'installation (Figure 1).

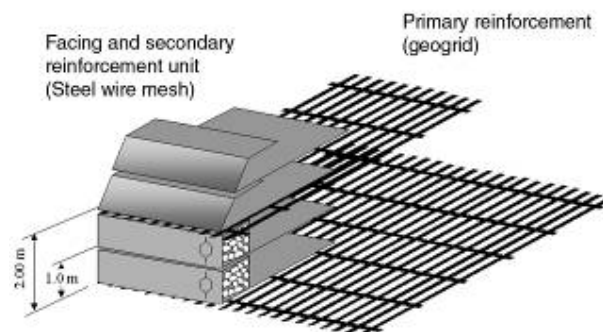


Figure 1. Principe d'un remblai hybride

## 2. Essai complet sur une structure hybride

Pour étudier pleinement le comportement réel d'une structure mixte, une activité de recherches complètes couvrant la modélisation physique et numérique a été effectuée durant la période 2000-2003 en coopération avec des laboratoires et des universités. Le modèle d'essai a été établi dans les installations pour essais statiques du laboratoire de Génie Civil de ENEL-HYDRO à Seriate, Italie. Le modèle d'essai consistait en un réservoir rigide de dimensions internes 2130 x 5100 x 4000 millimètres (Ghionna et al, 2002). Le sol employé comme matériau de remplissage était un sable moyen normal uniformément gradué de silice (sable de Ticino) dont les paramètres de résistance et de déformabilité sont :

- Pic de l'angle de frottement interne (cisaillement direct)  $\phi'_p = 43$  degrés
- Cohésion drainée  $c' = 0$
- Angle de frottement interne à volume constant  $\phi'_{cv} = 34$  degrés
- Module de cisaillement  $G_o = 630\div 900$  kPa
- Dilatance  $\psi = 17$  degrés

Le sable a été soumis à des essais de cisaillement direct afin de déterminer le coefficient d'interaction de cisaillement direct ( $\alpha_{ds}$ ), des tests de cisaillement sol/renfort et sol/sol (Vicari et Duran Da Silva, 2003). Les deux renforts utilisés lors de ce test étaient un grillage métallique à maille double torsion - (Maccaferri Terramesh Vert, résistance à la traction  $T_{ult} = 50$  kN/m) et une géo grille de polyester (Macgrid WG3,  $T_{ult} = 30$  kN/m).

Un mur à parement incliné de 20 degrés par rapport à la verticale, de 2 m de largeur a été construit pour une hauteur totale de 3,6 m composé de 6 rangées de renfort placées alternativement (Figure 2). Le chargement était appliqué par une plaque en acier associée à un circuit hydraulique agissant sur la plaque par un joint sphérique. L'analyse de toutes les mesures recueillies pendant la phase de chargement et les observations faites sur l'intégrité des renforts une fois le matériau retiré à la fin de l'essai, ont permis de déterminer la surface de rupture.

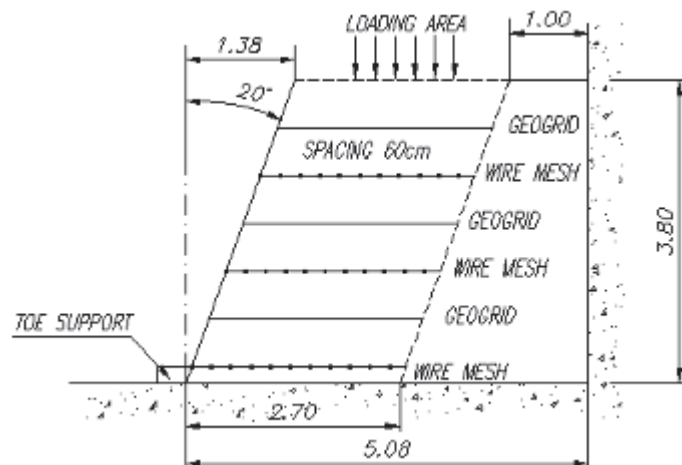


Figure 2. Coupe type du modèle

## 3. Modélisation numérique de la structure hybride sous FLAC 2D

La modélisation numérique du comportement du mur a été effectuée au moyen d'un code bidimensionnel aux différences finies (FLAC-2D); une sub-routine a été ajoutée à la version commerciale du code afin de mettre en application une nouvelle loi de comportement non linéaire pour les sols granulaires.

### 3.1. Sol, renforts et interface

Le modèle de sol adopté pour le sable de Ticino est un modèle élastique non linéaire associé à un critère de rupture de Mohr-Coulomb qui tient compte de la dilatance et de l'adoucissement après le pic

(Vicari et Duran Da Silva, 2005). Le comportement non linéaire contrainte-tension est pris en considération au moyen d'une loi de dégradation du module de cisaillement de type hyperbolique. Les deux renforts ont été modélisés par un modèle élastique linéaire, de type élément axial unidimensionnel caractérisé par la résistance à la traction  $T_{ult}$  et de la rigidité linéaire  $J$  :

- Grillage :  $T_{ult} = 50 \text{ kN/m}$ ;  $J = 500 \text{ kN/m}$
- Géogrille :  $T_{ult} = 30 \text{ kN/m}$ ;  $J = 186 \text{ kN/m}$

L'interface a été modélisée par des éléments « grout » représentés par des systèmes de « ressort-glissant » situés aux points nodaux ; le comportement au cisaillement des éléments « grout » pendant le déplacement relatif entre le renfort et le sol est numériquement décrit par une relation élastique linéaire parfaitement plastique caractérisée par les paramètres  $K_b$ , coefficient d'interaction (liaison) de rigidité et  $\tau_b$ , résistance au cisaillement ultime (liaison). En outre un modèle purement frottant (c.-à-d. cohésion nulle) a été pris en compte pour  $\tau_b$  avec l'expression  $\tau_b = \sigma'_v \alpha_b \tan \varphi'_p$  où  $\alpha_b$  est le coefficient de force d'interaction (liaison).

### 3.2. Analyses de FLAC

Une grille de 3656 quadrilatères à 4 nœuds, de 3800 mm de haut, de 5400 mm (à la base) et de 3800 mm (au sommet) dans la longueur, a été adoptée dans les calculs sous FLAC; l'analyse numérique a commencé à partir du mur complètement réalisé. Tandis que la dilatance  $\Psi$  a été prise égale à 17 degrés, l'analyse a couvert deux cas en termes de pics d'angles de frottement de sol  $\varphi'_p$  (PS)= 53,5 degrés en conditions de déformations planes et  $\varphi'_p$  (TX)= 47 degrés en conditions triaxiales pour comparer les résultats obtenus avec les 2 valeurs et en conclure quant au paramètre dimensionnant.

### 3.3. Résultats de FLAC avec $\varphi'_p$ (PS)

Les tassements calculés sous la charge de la plaque sont très proches des valeurs mesurées, à la fois sur les bords de la plaque qu'en son centre (entre 10% et 13%). Les tassements calculés et mesurés dans le plan des renforts présentent des valeurs similaires avec des différences inférieures à 17 %. Les calculs effectués sur les renforts inférieurs présentent des différences plus élevées (30-35%). Ceci s'explique par les très faibles déformations mesurées et par la moins grande précision relative du modèle. La figure 3 montre les forces de traction dans les renforts à la dernière étape de chargement. L'analyse des sections centrales, où les efforts sont plus élevés pour les deux renforts, a donné les forces calculées suivantes: Grillage  $T_w \approx 42 \text{ kN/m}$  et Géogrille  $T_g \approx 19 \text{ kN/m}$ .

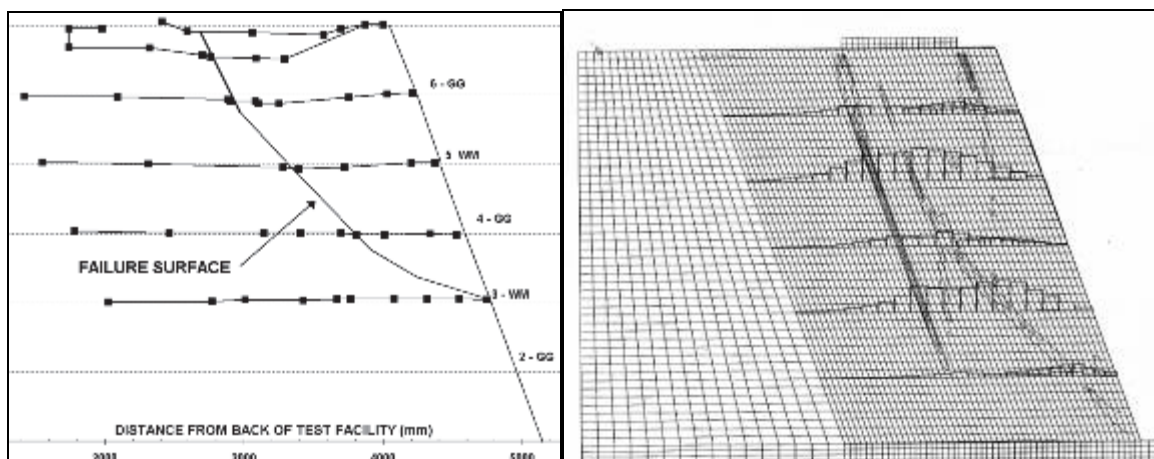


Figure 3. Surface de rupture mesurée (schéma de gauche), modélisation des déformations plastiques liées au cisaillement du sol et efforts dans les renforts (schéma de droite)

Le rapport  $T_w/T_g$  est égal à 2,26, ce qui est conforme au rapport correspondant entre le module linéaire de rigidité des renforts  $J_w/J_g = 2,69$ . Par conséquent, les déformations longitudinales maximum calculées  $\varepsilon$  sont respectivement de 9% pour le grillage métallique et de 10 % pour la géogrille, proches des valeurs de rupture également mesurées dans le mur expérimental.

### 3.4. Résultats de FLAC avec $\varphi'_p(TX)$

La figure 4 montre les déformations plastiques liées au cisaillement du sol obtenues avec  $\varphi'_p(TX)$  lors de la dernière étape de chargement. On constate que la surface critique est très proche de la valeur correspondante  $\varphi'_p(PS)$ . Cependant, selon l'état de déformation, les valeurs calculées sont considérablement plus hautes (65 à 75 %) que les valeurs correspondantes  $\varphi'_p(PS)$  et celles mesurées dans le mur expérimental. Tout ceci est conforme aux études à rebours effectuées sur des structures en sol renforcé qui indiquent que l'angle de frottement de pic de déformation plane contrôle la résistance interne des structures renforcées par géosynthétiques (Allen e Bathurst, 2001).

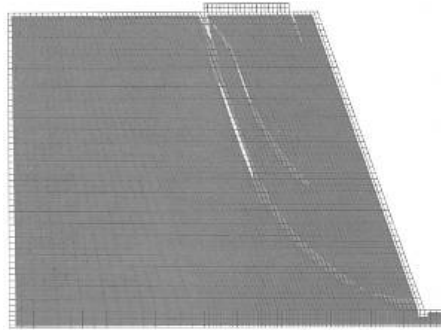


Figure 4. Déformations plastiques de cisaillement avec  $\varphi'_p(TX)$

## 4. Validation de Macstars W – Méthode des Déplacements

Macstars W est un logiciel développé pour vérifier l'analyse de stabilité de pente en utilisant différents types du renfort et de scénarios complexes de conception. Le logiciel utilise l'approche conventionnelle de l'équilibre limite (Bishop, Janbu) et la méthode des déplacements (Lemonnier, Gourc). Macstars W a été employé pour vérifier son efficacité en reconstruisant le modèle d'effort et de contrainte des renforts dans le mur expérimental, en imposant la surface de rupture et l'étape-chargeement de la structure.

Les résultats principaux de l'analyse méthode de déplacements sont décrits ci-dessous (Vicari et Duran da Silva 2005) :

- les conditions expérimentales de rupture ont été obtenues avec une valeur de l'angle de frottement de 52 degrés proche de  $\varphi'_p(PS)=53,5$  degrés conformes aux résultats de FLAC ;
- Les tassements verticaux calculés sont presque identiques à ceux mesurés et tendent à être plus élevés seulement quand la charge appliquée est proche de la rupture (Figure 5) ;
- la valeur maximum du facteur de sécurité ( $F_S$ ) est atteinte pour toutes les étapes de charge en imposant une contrainte dans les renforts de grillage métallique égal à 18% ;
- l'état  $F_S=1$  est atteint pour  $q=650$  kPa, auquel correspond un tassement vertical de la partie supérieure de la tête de mur égal à 40 millimètres.

En conclusion, la méthode des déplacements introduite dans le logiciel Macstars W permet une très bonne modélisation des conditions de dimensionnement, loin des conditions de rupture, ce qui correspond à une approche classique de dimensionnement pour le concepteur.

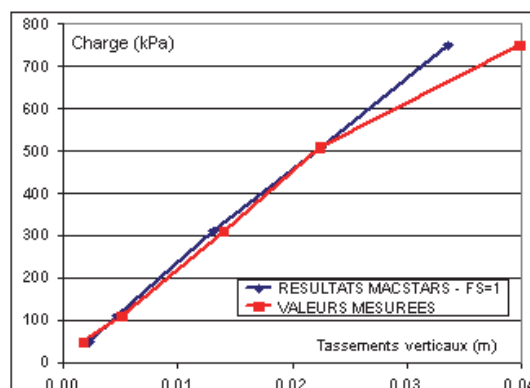


Figure 5. Comparaison entre les calculs effectués par Macstars et les tassements mesurés

## 5. Étude de cas de structures hybrides en sol renforcé par Grillage métallique et Géogrilles

### 5.1. Mur de 15 m de haut - Rénovation de cale sèche de Nigg (Cromarty Firth, UK, 1997)

Barmac, propriétaire de Nigg drydock, souhaitait faire évoluer son installation pour permettre la restauration de plus grands navires : un nouveau mur de quai de 240 m de long et 15 m de hauteur était nécessaire pour remplacer le pan incliné existant. Les exigences des clients ont été analysées en détail et en raison de la nature sans précédent de la conception, Maccaferri et Ove Arup ont travaillé conjointement pour satisfaire les demandes du client.

La conception préliminaire de Maccaferri pour le mur renforcé de Terramesh system (Module de remblai renforcé en grillage à parement gabion) a été réalisée en conformité avec la norme BS 8006 ; vérifiant la stabilité interne et externe, en utilisant à la fois un logiciel interne (MACSTARS) et un logiciel commercialisé d'équilibre limite (SLOPE).

La contrainte principale était l'abaissement des eaux souterraines de 13 m à 0 m en moins de douze heures, ce qui a compliqué la conception et a exigé la mise en place d'une importante série de drains composés de géotextiles et d'agrégats. En combinant cette action avec les charges importantes appliquées sur le mur, la stabilité de la structure pouvait seulement être assurée avec l'utilisation de renforts à haute résistance en géogrille polyester (Paralink 300 kN/m), utilisé en combinaison avec le Terramesh system (50 kN/m) suivant les indications de la figure 6.

La géogrille disposée dans la moitié inférieure de la structure assure une résistance élevée pour éliminer le risque de grand glissement et des renforts de longueur pouvant atteindre 20m ont été utilisés. La géogrille ParaLink est une structure composite, composée d'un noyau intérieur en fibres de polyester caractérisées par un faible fluage et d'une gaine en polyéthylène dur, rendant la structure durable et idéale pour l'environnement agressif de chez Nigg.

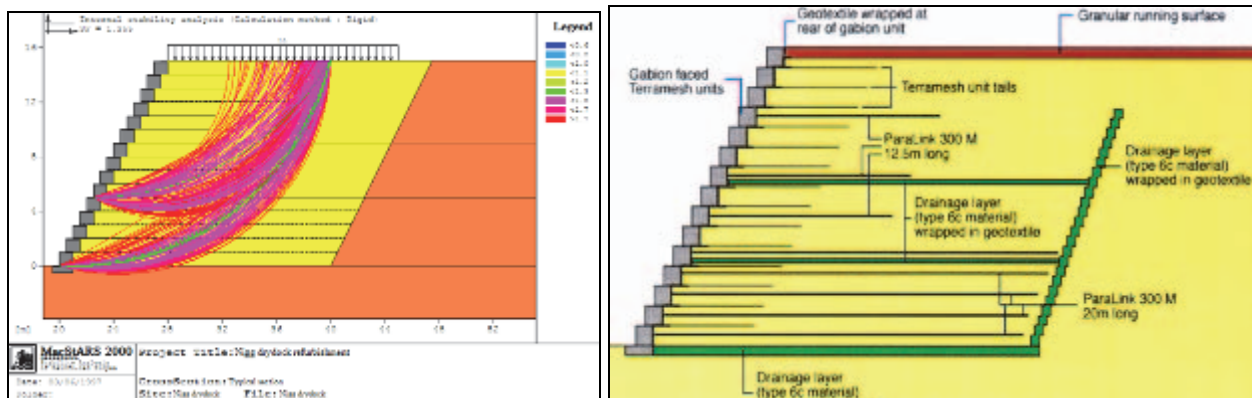


Figure 6. Nigg, UK– Calculs avec Macstars et coupe type de la solution hybride

Les travaux ont été réalisés en un mois. Dans la semaine suivant la fin des travaux, le dock a été mis en eau pour la première fois (Figure 7). Les paramètres de sol utilisés dans la conception sont rapportés dans le tableau 1.



Figure 7. Nigg, UK – Ouvrage en cours de réalisation et une fois terminé

Tableau 1. Projet de cale sèche de Nigg - Paramètres de sol utilisés dans la conception

	$\gamma$ (kN/ m <sup>3</sup> )	$\phi$ (deg)	c (kN/m <sup>2</sup> )
Remblai	19	30	0
Fondation	19	28	0
Remblai structurel	19	33	0

**5.2. Ouvrage de 29,2m de haut - Aménagement d'un Parc à Leiria (Portugal)**

Ce mur en sol renforcé a été construit pour agrandir le parking du Parc Retail à Leiria, Portugal. L'ouvrage présente une hauteur maximale de 29,2 m. Compte tenu de la faible empreinte en pied, la solution retenue a consisté en la combinaison d'un mur en remblai renforcé (semi vertical) et d'un talus en sol renforcé. Une solution constituée de renforts principaux en géogrilles et de renforts secondaires plus courts en grillage métallique (Figure 8) a été retenue. Les paramètres de sol utilisés dans la conception sont reportés dans le tableau 2.

Tableau 2. Projet Leiria- Paramètres de sol utilisés dans le dimensionnement

	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (deg)	c (kN/m <sup>2</sup> )
Remblai	19	35	0
Fondation	19	33	20
Remblai structurel	19	35	0

En parallèle, une comparaison a été faite en utilisant une approche conventionnelle utilisant le même type de renforts de géogrilles avec une plus petite résistance et uniformément espacée. Les renforts en géogrilles ont été choisis pour fournir des facteurs de sécurité interne et global comparables à la solution combinant des renforts principaux et secondaires; la section alternative de conception est rapportée dans la figure 8. Basé sur l'expérience, le coût estimatif de la section conçue utilisant des renforts combinés, en incluant l'approvisionnement du matériel et les coûts d'installation (mise en œuvre, fourniture et compactage du remblai) a été estimé approximativement à 15 % moins chère que la section équivalente conçue avec des renforts en géogrilles seulement. Le projet à Leiria a été conçu en avril 2001. La construction de mur (3.300 m<sup>2</sup> de parement) a commencé en mai 2001 et s'est terminée en août 2001. L'hydro ensemencement a été fait en octobre 2001 (Figure 9).

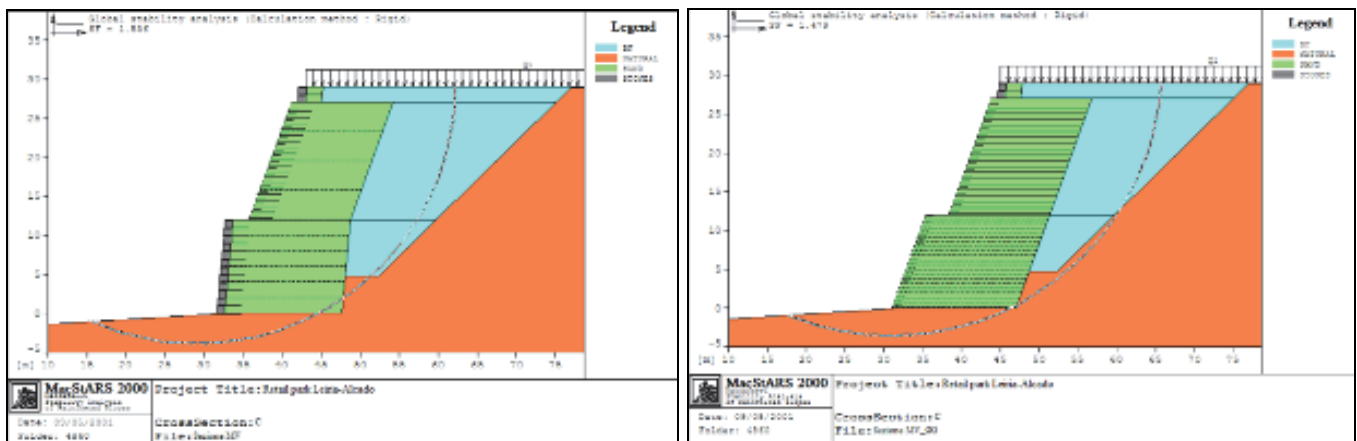


Figure 8. Leiria, Portugal – Solution mise en œuvre - géogrilles et grillage- (schéma supérieur) en comparaison avec la solution avec une géo grille uniforme (schéma inférieur)



Figure 9. Leiria, Portugal – Vue de l'ouvrage en construction et une fois terminé

### 5.3. Ouvrage de 37 m de hauteur - Autoroute entre Rreshen et Kalimash (Albanie)

Le projet de 103 kilomètres de long, attribué à l'entreprise Bechtel Enka Joint Venture (BEJV), est un raccordement clé entre le port de Durres, premier port d'Albanie sur la Mer Adriatique et le Kosovo. L'autoroute est conçue en 2 x 2 voies avec des chaussées de 2 x 3,75 m, complétées par des bandes d'arrêt d'urgences de 2 m et fondée sur le relief difficile du terrain montagneux de l'Albanie à plus de 1.000 m d'altitude. Maccaferri était responsable de la fourniture et de la pose, par l'intermédiaire de son associé local (Albanie Draht), de 30 structures en sol renforcé hybrides composées de Terramesh system ayant des nappes de 4 m de longueur et de géogrilles ParaLink 300, dont la longueur est variable en fonction de l'emplacement dans le remblai. La hauteur maximale des différents ouvrages est de 37 m. Les propriétés des sols utilisés dans le dimensionnement sont reportées dans le tableau 3. Compte tenu de la fondation sur versant du massif en sol renforcé, les éléments de base sont associés à des longueurs de géogrille plus faibles qu'en tête d'ouvrage (Figure 10).

Tableau 3. Projet autoroutier entre Rreshen et Kalimash, Albanie - propriétés du sol utilisé dans le dimensionnement

	$\gamma$ (kN/ m <sup>3</sup> )	$\phi$ (deg)	c (kPa)
Remblai	20	35	0
Fondation	25,8	46	40
Remblai structurel	20	30	0

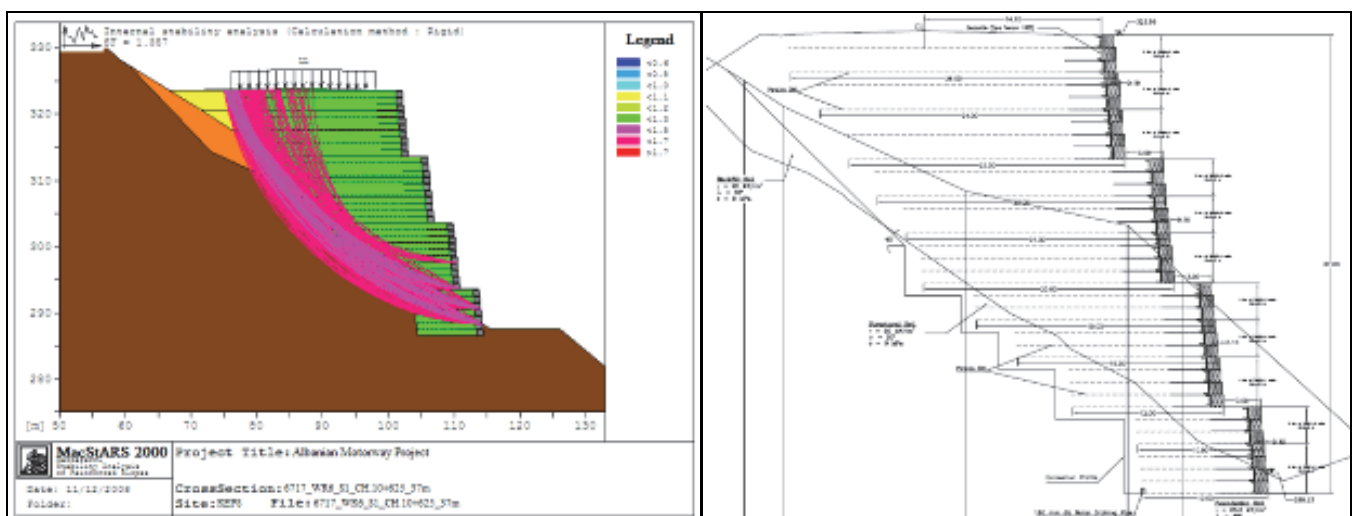


Figure 10. Projet autoroutier entre Rreshen et Kalimash, Albanie – Calculs Macstars et Coupe type de 37 m de hauteur



Figure 11. Projet autoroutier entre Rreshen et Kalimash, Albanie – Vue de la structure en construction et une fois terminée

#### 5.4. Ouvrage de 80 m de hauteur – Aéroport du Sikkim (Inde)

La région du Sikkim, au nord de l'Inde, est une zone très isolée à l'accès difficile par des cols à très haute altitude. La réalisation d'un aéroport pour approvisionner plus rapidement la région et permettre l'intervention rapide des secours devenait indispensable. Le relief de haute montagne imposait la réalisation d'une piste sur un versant montagneux, nécessitant de gros travaux de terrassement en déblais et remblais et la construction d'ouvrages de soutènement à l'aval de la piste sur une longueur de plus de 2 km.

Compte tenu de la grande hauteur des ouvrages et de l'aléa sismique important, la technique de soutènement s'est naturellement orientée vers une solution en sol renforcé. Cette technique permettait entre autres de répondre aux exigences de temps (rapidité de pose), de souplesse (ouvrage fondé en zone sismique), de drainage (zone soumise à de forts épisodes pluvieux – mousson), d'intégration dans l'environnement et de réutilisation des matériaux issus des déblais importants. Une analyse spécifique du terrain en place et du remblai mis en œuvre a été réalisée. Les propriétés des sols rencontrés ainsi que le coefficient sismique horizontal considérés dans le dimensionnement sont reportées dans le tableau 4.

Tableau 4. Aéroport du Sikkim (INDE) - propriétés du sol utilisé dans le dimensionnement

	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\varphi$ (deg)	c (kPa)
Remblai	20	30	0
Terrain naturel	20	30	0
Coefficient sismique horizontal : $\sigma_H=0,12$ ( $a_{gH}=1,17\text{m/s}^2$ )			

L'emprise limitée a nécessité la mise en œuvre d'un parement sub-vertical en pied d'ouvrage à l'aide d'un module de remblai renforcé en grillage à parement gabions alors que la partie supérieure était constituée de modules de remblai renforcé en grillage inclinés et végétalisables. En couverture, un talus d'une douzaine de mètres de hauteur, de 30 degrés d'inclinaison a été réalisé. Le talus a été imperméabilisé à l'aide d'une couche d'argile de 25 cm d'épaisseur et d'une géomembrane et protégé de l'érosion par un tapis anti-érosion.

Les renforts principaux de l'ouvrage sont des géogrilles en polyester protégées par une gaine en polypropylène de résistance et de longueur variable suivant leur emplacement dans le remblai.

Pour la section la plus importante, la hauteur totale de l'ouvrage est de 80 m avec 26 m de parement minéral sub-vertical, 40 m de parement raidi végétalisable et 12 m de talus incliné à 30 degrés. En pied d'ouvrage le dimensionnement a conduit à mettre en œuvre des géogrilles d'une résistance de 800 kN/m pour une longueur de 66 m espacées tous les mètres de longueur (Figure 12).

Des dispositifs de collecte des eaux ont également été aménagés afin de canaliser les quelques 5 cours d'eaux traversant la zone d'étude ainsi que l'ensemble des eaux pluviales tombant sur le site. Des



drains constitués de gravier + géotextiles on été placés à l'arrière du remblai structural et des cadres bétons traversant la structure en sol renforcé ont spécialement été installés pour permettre la traversée des torrents dévalant de la montagne (Figure 13).

La réalisation de l'ouvrage de soutènement s'est effectuée entre janvier 2009 et décembre 2011 et les installations complètes de l'aéroport devraient être terminées pour fin 2012. Durant la construction, en septembre 2011 l'ouvrage a subi un séisme de magnitude 6,8 sur l'échelle de Richter (ce qui a causé une accélération horizontale d'environ  $2,94 \text{ m/s}^2$  bien supérieure à l'accélération de calcul de  $1,17 \text{ m/s}^2$ ) sans pour autant compromettre son intégrité au contraire de nombreux ouvrages construits dans le secteur.

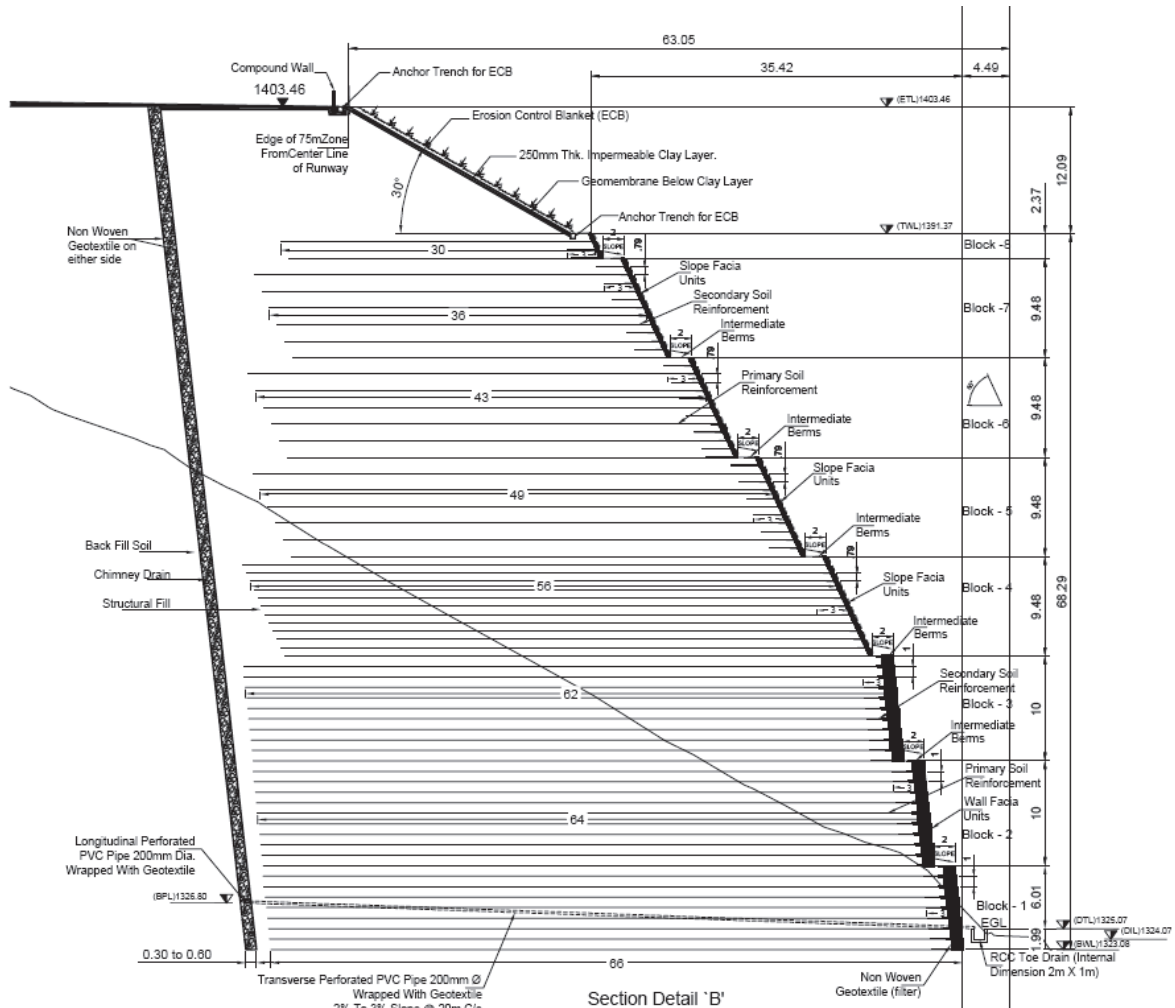


Figure 12. Coupe type de la hauteur maximale



Figure 13. Photographies de l'ouvrage fini

## 6. Conclusion

Des recherches complètes couvrant la modélisation physique et numérique ont été réalisées sur des structures mixtes combinant des géogrilles et des renforts en grillage métallique. Ces recherches étaient basées sur la réalisation d'un ouvrage expérimental à taille réelle chargé progressivement jusqu'à sa rupture et sur la modélisation numérique du comportement au moyen d'un code bidimensionnel aux différences finies (FLAC-2D) et sur la validation de Macstars W, logiciel développé pour vérifier l'analyse de stabilité de pente en utilisant différents types de renforts et de scénarios complexes lors de conception.

Les résultats permettent aujourd'hui à Maccaferri de concevoir des structures en remblai renforcé hybrides, combinaison de grillage métallique et de géogrilles, pour diminuer sensiblement le coût des ouvrages par rapport aux solutions traditionnelles connues. Des ouvrages de très grandes hauteurs ont déjà été réalisés dans le monde et sont en projet actuellement.

## 7. Références bibliographiques

- Allen T.M. and Bathrust R. J. (2001). Prediction of Soil Reinforcement Loads in Mechanically Stabilized Earth (MSE) Walls. Final Research Project prepared for Washington DOT (USA).
- Bishop A. W. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique* 5: 7-17.
- FLAC 2D. Fast Lagrangian Analysis of Continua in 2D, ITASCA, Minneapolis (USA)
- Ghionna V.N., Fioravante V., Vicari M. (2002). Full scale test on a retaining wall with non-uniform reinforcements. 7<sup>th</sup> ICG, Nice.
- Gourc J.P., Ratel A., Delmas P. 1986. Design of fabric retaining walls: The displacement method, 3rd International Conference On Geotextiles, II: 289-294, Vienna.
- Hatami K., Bathrust R.J., Di Pietro P. 2001. Static Response of Reinforced Soils Retaining Walls with Non-uniform Reinforcements. *The International Journal of Geomechanics*: Volume 1, Number 4, 477-506.
- Janbu N., Bjerrum L. and Kjaernsli B. (1956). Stabilitetsberegning for fyllinger skjaeringer og naturlige skraninger. Norwegian Geotechnical Publication No. 16, Oslo, Norway.
- Lemonnier P., Soubra A.H., Kastner R. 1998. Variational displacement method for geosynthetically reinforced slope stability analysis: I. Local stability, *Geotextiles and Geomembranes* 16: 1-25, Elsevier
- Macstars W – Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Soils and Walls software, Officine Maccaferri, Bologna (Italie)
- SLOPE. Computer program for the analysing the stability of slopes. Geosolve, London
- Vicari M., Duran da Silva J. (2003). Interpretation of direct shear and pullout tests on double-twisted steel wire mesh reinforcements. *Geosintéticos* 2003, Porto Alegre.
- Vicari M., Duran da Silva J. (2005). Lessons learned from the numerical modelling of a retaining wall with non-uniform reinforcements, *Infogeo* 2005, Belo Horizonte.