

## **LES OUVRAGES RECENTS DE GRANDE HAUTEUR EN SOL RENFORCE**

### **RECENT VERY HIGH REINFORCED SOIL WALLS**

Eric LUCAS, Pierre SEREY, Alain TIGOULET, David BRANCAZ  
*Terre Armée S.A.S., Velizy, France*

**RÉSUMÉ** – Dans un contexte de recherche d'économie dans les projets d'infrastructures routières, la technique des murs en sol renforcé offre une perspective intéressante : substituer des murs de soutènement de grande hauteur aux ouvrages d'art de franchissement. Le présent article expose les cas de quatre soutènements de grande hauteur réalisés durant les trois dernières années.

**ABSTRACT** – While seeking for savings in road infrastructure projects, the reinforced soil walls technique proves to be an interesting solution: replace overpasses/viaduc by very high retaining walls. This article gives the case history of four very high reinforced soil walls erected during the three last years.

### **1. Introduction**

Dans la période de ces trois dernières années, Terre Armée a réalisé des ouvrages exceptionnels en sol renforcé de par leurs dimensions :

- Strikici (Croatie) : mur de 27m de hauteur en trois volées à parement Freyssisol et armatures en bandes géosynthétiques,
- Lodève - mur de Soumont (Autoroute A75) : mur à parement TerraClass et armatures métalliques de 31m de hauteur en 5 volées auquel s'ajoute un mur de 4.5m de hauteur pour la chaussée décalée,
- Bocognano (RN196 Corse) : mur TerraTrel de 20m de hauteur en 2 volées (parement légèrement incliné) surmonté d'un talus de 24m de hauteur et fondé sur une assise en béton cyclopéen,
- La Ravoire – PI161 (Autoroute A41) : culées porteuses de 24m de hauteur en 2 volées supportant un tablier d'une portée entre appuis de 38m.

L'article présente chacun des ouvrages et les spécifications techniques particulières imposées par leur caractère d'exception : dimensionnement, conditions de fondation et spécifications des matériaux et remblais constitutif des massifs en sol renforcé

### **2. Ouvrage de STRIKICI (Croatie) : fin de construction en mai 2007**

Pour répondre au fort développement touristique que connaît la Croatie depuis plusieurs années, le pays ne cesse d'agrandir son réseau autoroutier côtier. Dans le cadre de la liaison autoroutière Zagreb-Split-Dubrovnik, Viadukt d.d. et Terre Armée ont proposé, en variante à deux viaducs, deux soutènements Freyssisol de grande hauteur sur la section Dugopolje-Bisko, à une quinzaine de kilomètres à l'est de Split, dont le mur de Strikici.



Figure 1 : photo du mur de Strikici lors de la mise en service de l'autoroute

### **2.1. Les contraintes**

L'ouvrage étant construit sur une pente relativement forte, il a été nécessaire de limiter l'emprise des terrassements.

### **2.2. Les principales caractéristiques**

La hauteur maximale des massifs est de 27.4m pour une surface totale de 8 500m<sup>2</sup> de parement et une longueur de 508m. Les massifs sont fondés sur le substratum rocheux présentant un pendage défavorable et qui a fait l'objet d'une étude spécifique pour s'assurer de la stabilité pendant la phase provisoire de terrassement. Le parement (type Freyssisol) est constitué d'éléments modulaires en béton présentant une surface de 3.2m<sup>2</sup> (2.0m x 1.6m) pour une épaisseur de 14cm et 16cm. Les panneaux ont été connectés à des armatures géosynthétiques de 9cm de largeur (faisceau de fibres polyesters dans une gaine de protection en polyéthylène). Un maximum de 18 armatures ont été connectées aux panneaux en partie basse du mur. Leur longueur maximale a atteint 15m. L'ouvrage a été divisé en trois murs superposés afin de limiter l'effet des tassements internes sur le parement. Les remblais techniques et arrières aux massifs ont été réalisés avec des remblais de très bonne qualité provenant du concassage des matériaux extraits des terrassements : 0/250 -  $\phi' > 36^\circ$ , passants à 80 $\mu$ m < 12%. Se situant en zone sismique, l'ouvrage a été vérifié en stabilité interne et générale sous sollicitations dynamiques avec une accélération nominale de la gravité :  $a_N = 2.9m/s^2$

### **2.3 Les avantages**

Le projet présentait un excédant de matériaux de déblai rocheux ce qui a rendu le projet des murs d'autant plus économique.

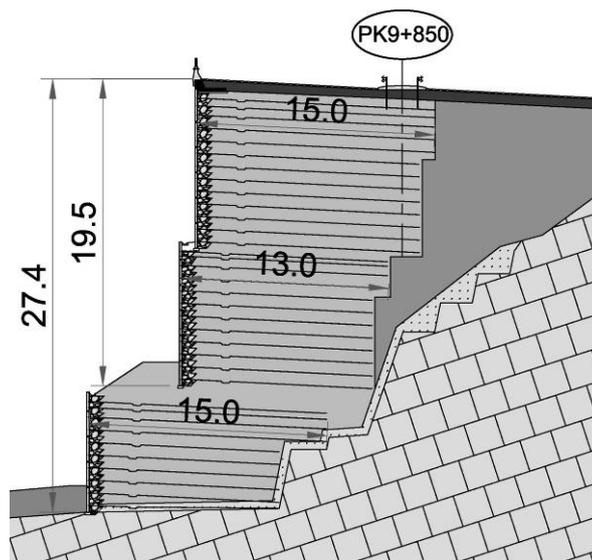


Figure 2 : Coupe transversale schématique pour la section du mur la plus haute

### 3. Ouvrage de LODEVE (autoroute A75) : fin de construction en mars 2005

Réalisé par la DDE de l'Hérault, le projet permet à l'autoroute A75 de contourner l'agglomération de Lodève. Sur le secteur de cet ouvrage, dit mur de Soumont, il s'agit de mettre aux normes autoroutières actuelles l'ancienne déviation de la RN9 réalisée dans les années 1980. L'ouvrage de soutènement, constitué d'une succession de 6 murs superposés, évite la construction d'un viaduc de franchissement du talweg.



Figure 3 : photo de l'ouvrage durant la construction du mur supérieur

#### 3.1. Les contraintes

Le thalweg franchi étant soumis à des venues d'eau importantes un soin particulier a été porté aux dispositifs d'assainissement avec la mise en œuvre de

drainage au droit des talus de fouille et la réalisation d'un fossé pour la collecte des ruissellements en amont du remblai, un ouvrage hydraulique étant réalisé sous le massif.

### 3.2. Les principales caractéristiques

Bien qu'exceptionnel par sa hauteur ce mur n'a pas présenté de difficulté géotechnique particulière puisque fondé sur le substratum hormis en fond de talweg ou une substitution locale a été réalisée à l'emplacement d'anciennes cuves enterrées. Côté Sud l'assise du mur est remontée de façon à prendre appui sur un éperon rocheux. Du fait de l'instabilité supposée de certains blocs rocheux, cet éperon a fait l'objet d'une confortation par clouage avant la réalisation de la Terre Armée. Le parement du massif est réalisé avec l'écaille cruciforme TERRACLASS, dont l'épaisseur est augmentée à 18cm en partie basse, la partie supérieure étant maintenue en 14cm. Au droit de la section la plus haute les armatures en acier galvanisé à chaud (section 45mmx5mm) atteignent un maximum de 14m de longueur. Comme pour tous les ouvrages de grande hauteur, le remblai a été sélectionnée avec un soin particulier : l'angle de frottement, la teneur en fine (passants à 80µm) et la forme de la courbe granulométrique (coefficient d'uniformité) garantissant un bon compactage. Dans un souci d'intégration, le mur aval a été conçu en cinq volées successives entrecoupées de risberme de deux mètres, deux tronçons étant par ailleurs réalisés en quatre volées avec risberme réduite à un mètre, risbermes qui ont été ensuite végétalisées.

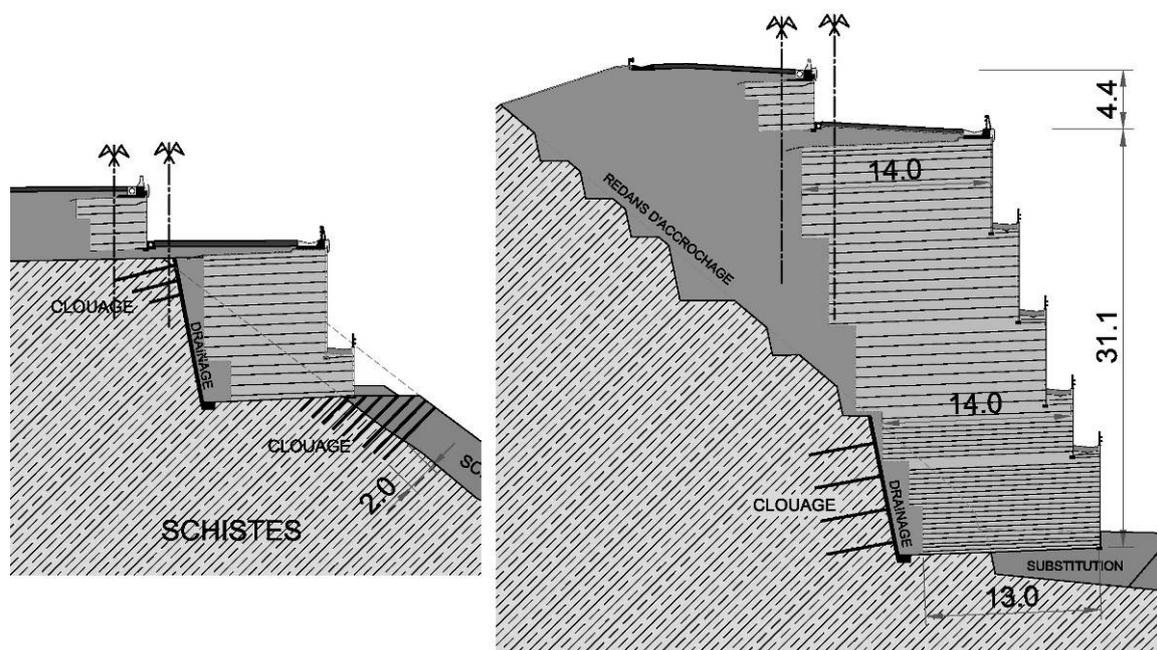


Figure 4 : coupes transversales typiques du projet

### 3.3 Les avantages

Pour cet ouvrage, venant s'insérer dans un site relativement chahuté, la souplesse, la modularité ainsi que la méthodologie de montage des murs Terre Armée ont permis de réaliser le franchissement du Talweg sur une grande hauteur avec un minimum de contrainte.

#### 4. Ouvrage de BOCOGNANO (Corse – RN196) : fin de construction en mai 2007

Maillon important de la route nationale 196 entre Bastia et Ajaccio en Corse, L'aménagement de la déviation de Bocognano permet d'éviter la traversée du village depuis le virage d'Ambaraccia, au Sud, jusqu'au pont de Sellola, au Nord. Une section de 5.5kms est réalisée afin de dévier 7kms environ de routes sinueuses. Parmi les principales caractéristiques du projet de la nouvelle voie qui comprendra 19 ouvrages hydrauliques ainsi que deux ouvrages d'art courants - pont sur le Bronco et passage supérieur de la route du Busso - figurent également, un viaduc de 260 mètres et un tunnel de 445 mètres ainsi que le massif de soutènement de grande hauteur.



Figure 5 : photo de l'ouvrage avec la mise en œuvre des talus supérieurs

##### 4.1. Les contraintes

La construction de cette portion de nationale avec le franchissement d'une vallée profonde (chaussée en élévation de 24m par rapport au terrain naturel sur une forte pente) a conduit SETEC (Maîtrise d'Œuvre) à concevoir un talus à 3/2 dont le pied est maintenu par un massif en sol renforcé de 20m de hauteur.

##### 4.2. Les principales caractéristiques

Pour une intégration du mur, le choix s'est porté sur le procédé TerraTrel d'aspect minéral constitué d'armatures métalliques connectées à un parement en treillis soudé galvanisé. L'aspect minéral est obtenu par un matelas de 50cm d'épaisseur en petit enrochement (150/200mm). Compte tenu de la hauteur, le parement treillis a été renforcé et l'espacement vertical des armatures a été réduit sur les 2/3 de la hauteur du mur. Les armatures dimensionnées à 13m de longueur en stabilité interne ont été portées à 16m pour la stabilité d'ensemble. Pour limiter la profondeur du massif, et donc les terrassements, il a été proposé de fonder le mur sur un béton cyclopéen de 3.5m d'épaisseur (maximale dans le fond du talweg) ancré dans le substratum rocheux. L'ouvrage étant situé sur pente, un système de drainage par masque drainant a été disposé sur le profil de terrassement à l'arrière du massif.

Compte tenu des hauteurs de remblaiement, les matériaux des remblais techniques ont été soigneusement sélectionnés (granulométrie, caractéristiques de cisaillement etc.). Le mur a été réalisé en deux étages avec une berme intermédiaire permettant d'avoir une plus grande accessibilité.

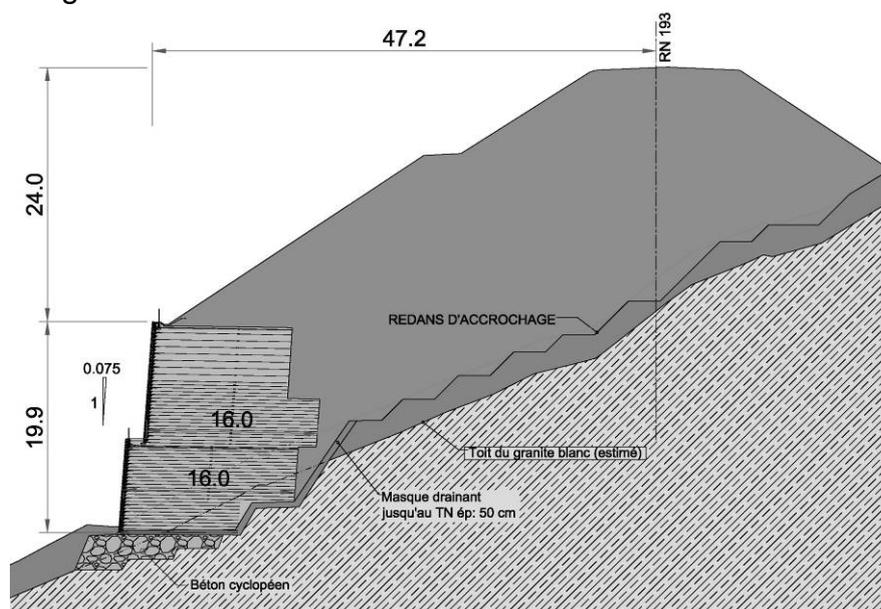


Figure 6 : Coupe type dans l'axe de la section la plus haute du projet

#### 4.3 Les avantages

L'insertion de l'ouvrage dans le site a été particulièrement réussie grâce notamment à l'aspect minéral du parement TerraTrel. La topographie du terrain était mal connue au moment du projet du fait de la difficulté d'accès au site. Les modules de parement de 3m x 0.65m (L x H) ont permis d'adapter les niveaux de fondation du mur au plus près du terrain en place.

### 5. Ouvrage de La RAVOIRE (autoroute A41) : fin de construction août 2008

Dans le cadre des travaux sur la section St Julien-en-Genevois/Villy-le-Pelloux de l'Autoroute A41, le concessionnaire ADELAC a demandé la réalisation de l'ouvrage de franchissement du ruisseau de la Ravoire sur la commune de Cruseilles. Le site est dans l'environnement de l'ouvrage classé du Pont de la Caille et doit répondre aux préoccupations environnementales liées à la *préservation de l'habitat des écrevisses à « pieds blancs » ou pattes blanches* (espèce protégée).

#### 5.1. Les contraintes

Les impératifs imposés à cet ouvrage ont été de préserver la luminosité du site et le milieu sur une bande de 15m de largeur depuis l'axe du ruisseau.

#### 5.2. Les principales caractéristiques

L'ouvrage se compose de deux tabliers jumeaux de 37.7m de portée entre appuis. Les tabliers sont des quadri-poutre mixtes (acier-béton) posés sur des chevêtres

portés par les soutènements en sol renforcé. La hauteur maximale des massifs sous tablier est de 23.80m pour une surface totale de 3700m<sup>2</sup> de parement. Une plateforme de 3.25m en avant des murs au-delà de la zone protégée a été prévue pour répondre aux impératifs suivants : supprimer les blindages de protection lors de l'ouverture des fouilles, améliorer la luminosité et améliorer l'accessibilité en pied de l'ouvrage en dehors de la zone protégée.



Figure 7 : Photo en cours de réalisation des chevêtres

Les massifs sont fondés sur les moraines compactes et les molasses gréseuses dont les pressions limites sont supérieures à 3MPa. Localement, une substitution s'est avérée nécessaire. Les parements (type TerraClass) sont constitués d'éléments modulaires en béton présentant une surface de 2.25m<sup>2</sup> (1.5mx1.5m) et de 14 et 18cm d'épaisseur. Les panneaux ont été connectés à des armatures métalliques nervurées galvanisées à chaud de section 45mmx5mm. Au maximum et en partie basse des murs, 18 armatures ont été connectées aux panneaux. La longueur maximale des armatures est de 16m. Les murs ont été découpés en deux volées avec une berme intermédiaire de 1.5m. Les tassements internes aux massifs techniques devant être pris en considération, le choix des matériaux de remblai a été très strict : 0/150 -  $\phi' > 36^\circ$ , passants à 80 $\mu\text{m} < 5\%$ . Les remblais contigus aux massifs armés devaient par ailleurs avoir un angle de frottement interne  $\phi' > 35^\circ$ . L'ouvrage, se situant en zone sismique, a été vérifié en stabilité interne et générale sous sollicitations dynamiques avec une accélération nominale de la gravité:  $a_N = 2.5\text{m/s}^2$

### 5.3 Les avantages

La solution économique d'un tablier porté par des massifs en sol renforcé présentait notamment les avantages suivants :

- Travaux de montage réalisés intégralement depuis la zone de remblaiement des murs en dehors de la zone protégée,
- Simplicité de réalisation des fouilles, de la mise en œuvre des murs et de la réalisation des tabliers,
- Réduction de l'importance des ouvrages.

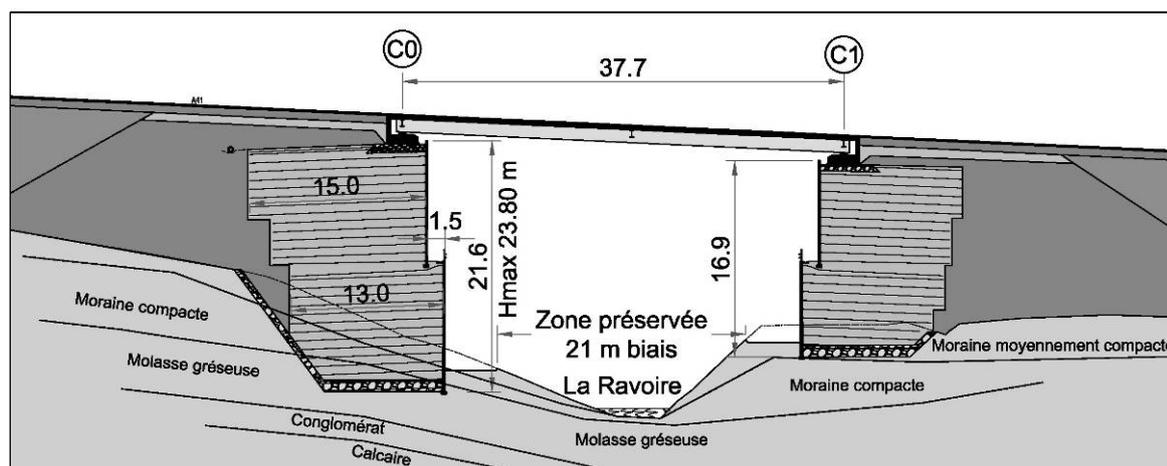


Figure 8 : Coupe longitudinale schématisée dans l'axe de l'ouvrage

## 6. Synthèse

Les massifs en sol renforcé de grande hauteur sont de toute évidence des solutions économiques, eu égard aux ouvrages d'art traditionnels de franchissement et présentent des avantages certains qui rendent ces murs de grande hauteur encore plus attrayants:

- *Délais de réalisation courts* : les fournitures pour la réalisation des murs (parement, armatures) sont fabriquées en temps masqué pendant la période de préparation et de terrassement du site. Les différents systèmes permettent un montage rapide des murs notamment du fait de la simplicité de mise en œuvre,
- *Mise en œuvre facilitée et optimisée* : la souplesse et la modularité des massifs en sol renforcé leur confèrent une facilité d'adaptation géométrique à la topographie des sites.

Un soin particulier doit être apporté dans la conception de ces ouvrages, notamment pour :

- *Les études* : stabilité interne, externe et générale – estimation des tassements. Un soin particulier doit être apporté dans la définition des campagnes de reconnaissance des sols,
- *La sélection des remblais techniques* de ces ouvrages:
  - Utilisation de *matériaux nobles* avec granulométrie étalée pour faciliter le compactage,
  - suivi des *caractéristiques de cisaillement* pour les questions de stabilité,
  - *réduction des fines* (passants à 80µm) pour limiter leur déformabilité.
- *Les préconisations du drainage* à l'arrière et à la base des massifs contre le profil de terrassement,
- *Le compactage des remblais* qui est le gage d'un contrôle efficace des déformations interne et externe aux massifs.

Pour le contrôle des déformations et pour respecter le profil théorique du parement des murs, il suffit de donner un fruit à chaque rang de panneaux compris entre 5 et 10mm par mètre de hauteur avec une correction éventuelle en cours de montage.