

EXEMPLES DE PROJETS DE MUR DE SOUTÈNEMENT UTILISANT DES GÉOGRILLES AVEC DES AVANTAGES ÉCONOMIQUES ET ÉCOLOGIQUES

CASE STUDIES OF GEOGRID REINFORCED FILL STRUCTURES WITH ECONOMICAL AND ECOLOGICAL ADVANTAGES

Abdelghani MEKKAOU
Tensar International, Mérignac, France

RÉSUMÉ - De nombreuses études publiées récemment montrent que le renforcement par géosynthétiques de structures en génie civil présente des avantages économiques et écologiques. Les remblais renforcés étant acceptés comme solution de base ou variante, la demande de ce type de structure ne cesse d'augmenter. Ainsi, de nombreux projets sont en cours de réalisation actuellement. Cette publication présente deux exemples de projet de structure en remblai renforcé par géogrilles. Le premier projet correspond à un mur de soutènement réalisé en utilisant des matériaux de remblais recyclés du site, en remplacement d'un système traditionnel en béton armé. Pour le second projet, il s'agit d'un confortement et d'un rétablissement d'une voirie qui a été affectée par un glissement de terrain. Pour ces deux projets, les géosynthétiques ont encore une fois démontré leurs avantages économiques et écologiques tout en préservant les ressources naturelles, en utilisant les matériaux du site et en réduisant les émissions de CO₂.

Mots-clés : Remblai renforcé, renforcement, géo grille, remblai du site, confortement.

ABSTRACT – Many recently published studies present the economical and environmental benefits of the use of geosynthetic reinforcement in civil engineering structures. Reinforced fill structures have nowadays been widely accepted as a solution, either primary or alternative and the demand for this type of structures is increasing. Thus, many projects involving geosynthetic reinforcement are currently underway.

This publication presents two examples of geogrid reinforced structures. The first project refers to a retaining wall that was constructed by using recycled site won materials reinforced with geogrids, replacing the traditional system of reinforced concrete walls. The second project refers to the reinforcement and reinstatement of a roadside slope that had been affected by a landslide. Both projects have once again clearly demonstrated that the use of geosynthetics can offer economic and environmental benefits while preserving natural resources, using site and recycled fill materials and reducing CO₂ emissions.

Keywords: Reinforced fill structures, reinforcement, Geogrid, site fill material, confortment

1. Introduction

Les structures renforcées par géosynthétiques présentent des avantages économiques et écologiques par rapport aux structures traditionnelles en béton. Ces avantages ont été mis en évidence dans diverses publications et études (Naciri et al., 2008).

Les aspects écologiques, comme la conception de structures écologiques et esthétiques, qui en outre contribuent à économiser les ressources naturelles, sont de plus en plus adoptés comme l'option préférentielle par toutes les parties impliquées dans un projet.

Traditionnellement, les sols de mauvaise qualité sont excavés et transportés hors site. Un remplacement par un remblai granulaire, de bonne qualité, n'est pas souvent une solution très économique et écologiquement viable et peut être nuisible à l'environnement. Le réemploi du sol du site sur place, renforcé par les géosynthétiques, offre une solution permettant de réduire le besoin d'apport supplémentaire de matériaux.

Résultant d'une sensibilisation accrue du public pour la protection des ressources naturelles, d'après les informations récentes du Moniteur (Burgy, 2010) 80% des matériaux de démolition sont aujourd'hui enfouis; *cependant d'ici 2020, ils devront être valorisés entre 50 et 70%*. C'est une matière première secondaire. Afin de les revaloriser et de préserver les ressources naturelles, les matériaux du site recyclés (sols et matériaux de démolition) peuvent être réutilisés comme remblai dans les ouvrages renforcés avec les géosynthétiques. Les enjeux sont stratégiques, d'une part, pour les maîtres d'ouvrage

afin de minimiser les coûts et le temps de construction et, d'autre part, pour notre société, afin de préserver notre système écologique.

En général, la prévention et/ou la minimisation des déchets et autres matières résiduelles doivent être une priorité. Un autre objectif important sera la prévention des transports de masse inutiles. Celle-ci peut être accomplie en utilisant, chaque fois que cela est possible, les matériaux présents sur place. C'est le cas, par exemple, lorsque, dans la construction de nouveaux projets, les matériaux de démolition recyclés sont réutilisés en matériaux de construction. Cela permet d'économiser les ressources naturelles comme les remblais granulaires coûteux.

Deux exemples sont présentés ci-après, illustrant, d'une part, les avantages économiques et écologiques des ouvrages renforcés par géogrilles, et, d'autre part, une intégration architecturale paysagère grâce à leurs diversités de parement.

2. Mur de soutènement du projet STEP à LANGON

2.1. Description du projet

Le projet se situe à Langon, dans le Sud-Ouest de la France (département de la Gironde). Ce projet de STEP sera construit sur une ancienne décharge publique, sur les rives de la Garonne, dans une zone d'habitations, en mitoyenneté à une usine de remplissage de bouteilles de gaz.

Le CCTP prévoit la construction d'une station d'épuration des eaux polluées avec un mur de soutènement en béton armé.

Dans l'appel d'offres, les points suivants devaient être respectés :

- traitement de tous les matériaux sur site ;
- tri manuel des matériaux en raison du manque de place pour le stockage des matériaux traités ;
- aucun matériau ne doit sortir du site sauf le bois, le plastique et les blocs rocheux ;
- ne pas perturber les habitations riveraines ;
- faire attention au risque de pollution de la Garonne et des zones mitoyennes ;
- faire attention au risque d'incendie par la présence d'une usine de remplissage de bouteilles de gaz mitoyenne au site ;
- trouver le meilleur programme de phasage du projet ;
- aucun risque de pollution environnementale ou humaine n'est acceptable.

2.2. Objectif et solution retenue

L'objectif de ce projet était de trouver une zone de stockage pour les matériaux traités. La solution prévue par le Maître d'ouvrage était de créer un mur de soutènement en béton armé afin de stocker ces matériaux derrière celui-ci.

Parmi les différentes solutions examinées, les solutions d'écran en palplanches ou de mur en béton avec une hauteur hors sol de 5 m ont été éliminées en raison de leur atteinte à l'environnement, au non-respect des phasages de construction, aux coûts et au temps de construction très élevés. Après lancement de l'appel d'offres par le Maître d'ouvrage, afin d'optimiser les coûts du projet, le Maître d'œuvre a proposé une variante basée sur la réalisation d'un ouvrage avec remblai renforcé par géogrilles.

Cette solution de remblai de sol renforcé par des géogrilles a été retenue pour les raisons suivantes :

- la souplesse et la rapidité de la mise en œuvre,
- le réemploi des matériaux du site,
- le respect des mitoyens et de l'environnement,
- l'adaptation du système avec les phases de construction,
- le respect du temps de construction et des coûts du projet.

2.3. Caractéristiques du remblai

Les sondages effectués au niveau du site ont indiqué une épaisseur de remblai de l'ordre de quatre mètres avec des caractéristiques mécaniques très médiocres. D'après les essais de laboratoire, les matériaux du site sont des remblais gravelo-sablo-limoneux organiques. La figure 1 présente la courbe granulométrique du remblai suivant la classification GTR (NF-P 11-300) :

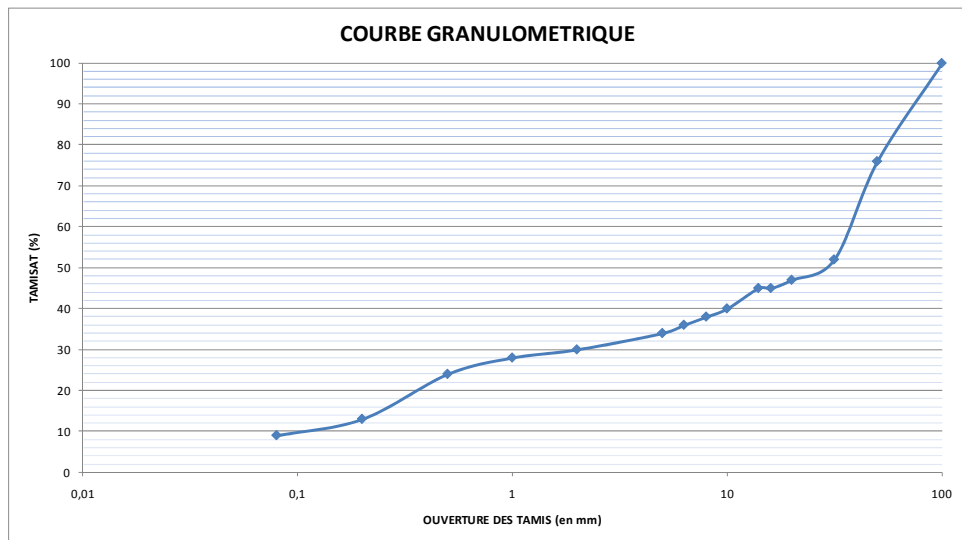


Figure 1. Courbe granulométrique du remblai du site.

2.4. Procédé de construction

L'ouvrage en remblai renforcé (figures 2 et 3) a été construit en un temps très court, d'environ 15 jours. Avant l'installation de la première géogrille, le support de la construction a été soigneusement compacté afin d'obtenir une plate-forme uniforme. Le système proposé est composé de quatre éléments : une unité de parement en treillis soudé galvanisé, une géogrille en polyéthylène, une tige métallique comme connexion mécanique et un protection anti-érosion. Le treillis a été posé et la première géogrille mise en œuvre après avoir été découpée à la longueur de la conception. Le parement et la géogrille sont connectés mécaniquement par une tige métallique. Le remblai a été mis en place avec des engins de compactage appropriés et compacté à une densité Proctor d'au moins 95% de l'OPN.

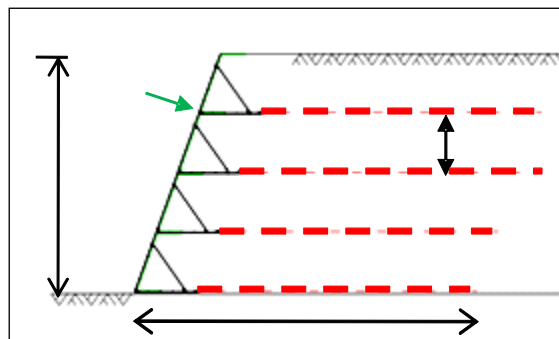


Figure 2. Remblai renforcé.



Photo a. Construction en cours de réalisation.



Photo b. Une semaine après la construction.



Photo c. Fin de construction.



Photo d. 1 an après de la construction.

Figure 3. Photos montrant plusieurs phases de la construction.

2.5. Bilan économique et écologique

Comme mentionné précédemment, la solution de mur en béton a été éliminée pour leur atteinte à l'environnement, au non-respect des phasages de construction, aux coûts et au temps de construction très élevés.

Dans un premier temps, une solution de déplacement de tous les matériaux du site vers un centre de tri avait été proposée; cette solution a été refusée pour les raisons suivantes :

- Volume à déplacer énorme,
- Distance entre le site du projet et le centre de tri assez importante,
- Mouvement de camions très important, afin de déplacer ce volume,
- Conséquence : zone d'habitation perturbée par la circulation des camions et émissions de CO2 très élevées.

La quantité de matériaux à transférer hors site représentait un volume d'environ $V_{total} = 5000 \text{ m}^3$. Le bois, le plastique et les blocs rocheux ont été retirés de ce volume. Ces derniers représentaient un volume d'environ $V_1 = 850 \text{ m}^3$ qui ont été transportés hors du site vers le centre de recyclage le plus proche.

La figure 4 schématise la comparaison entre les deux cas de transfert et de stockage des matériaux.

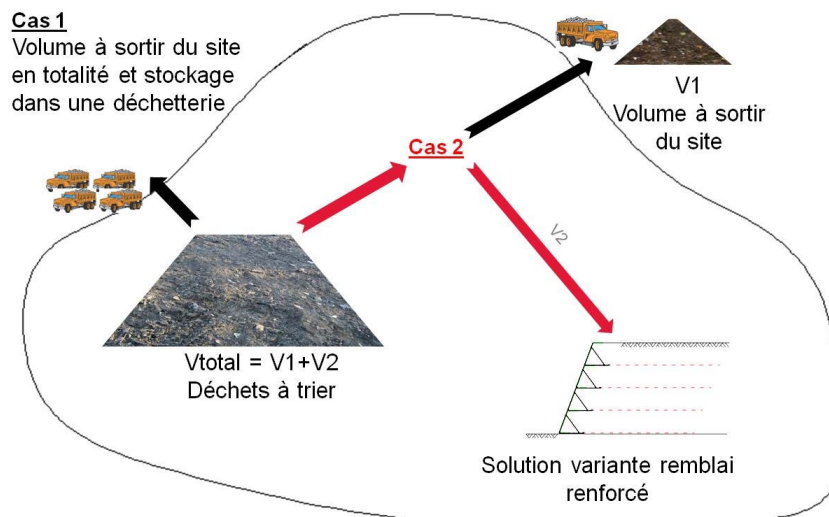


Figure 4. Vue générale des deux cas.

Une simulation a été effectuée pour quantifier les éléments influant sur les coûts de transport et le stockage des matériaux. À titre d'exemple, pour transférer un volume d'environ 5000 m³ vers un centre de recyclage, il était nécessaire de mettre en œuvre 100 camions de 50 m³ de capacité. Pour réduire les coûts du projet, une solution de stockage sur site a été examinée. Cette solution a réduit le volume sorti du site à 83 % du volume total et a permis de réaliser une économie très significative des coûts du transport et de stockage des matériaux. Cette simulation est schématisée sur la figure 5.

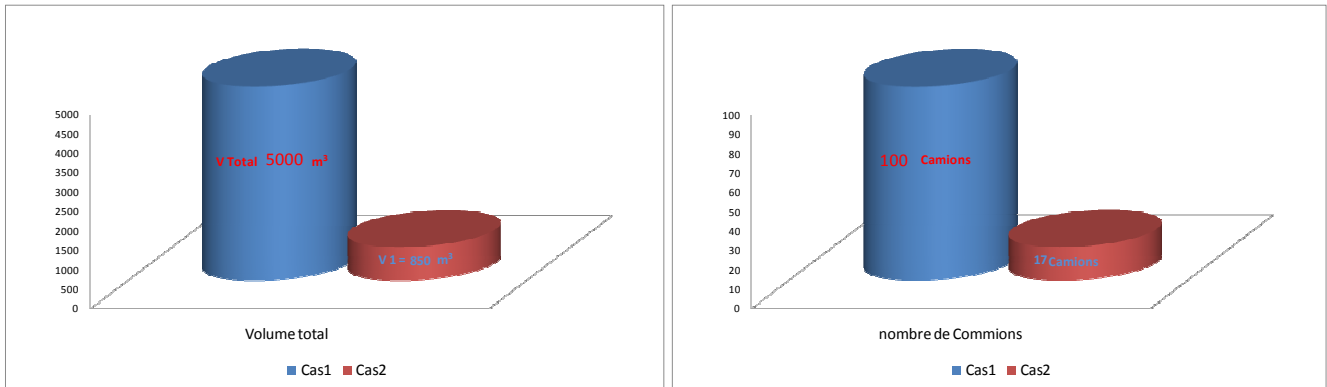


Figure 5. Graphique de comparaison entre les deux cas de stockage.

Cette deuxième solution de stockage sur site a satisfait toutes les parties impliquées dans le projet tant pour son intérêt d'économie de coûts que par la réduction des émissions de CO₂.

3. Mur de soutènement du projet La Tour-en-Jarez

3.1. Description du projet

Le projet consiste à la réparation de désordres liés à l'effondrement d'une voie communale. Il est à signaler qu'une conduite d'eau potable était enterrée sous la couche de forme de la voirie, cette conduite en fonte grise, posée en 1965, s'étant rompue en sept. 2005, déc. 2007 et déc. 2008 (cette date a précédé l'effondrement). Les désordres sont imputable à un excès d'eau dans la masse argileuse.

3.2. Caractéristiques du site et du remblai:

La figure 6 montre l'état des lieux suite au glissement de la voirie.



Figure 6. Photos du glissement de la voirie (Petit-Maire, 2009).

Les matériaux intéressés par la rupture sont de type argileux à potentialité de perte de cohésion par humidification d'imbibition (classe GTR A1) et à faible perméabilité favorisant les surpressions interstitielles (Petit-Maire, 2009). Les sondages indiquent la présence d'eau en imbibition hautement « anormale » des matériaux meubles pourtant faiblement perméables compte tenu de leur matrice argileuse. De plus, ils signalent des arrivées d'eau au contact du toit rocheux SA4 et de l'ossature, en

condition « normale » de circulation (eau résultant d'infiltrations météorologiques de long terme alimentée par le versant de coteau amont, et en transit vers l'aval)

La figure 7 montre la géométrie des manifestations hydrologiques (Petit-Maire, 2009).

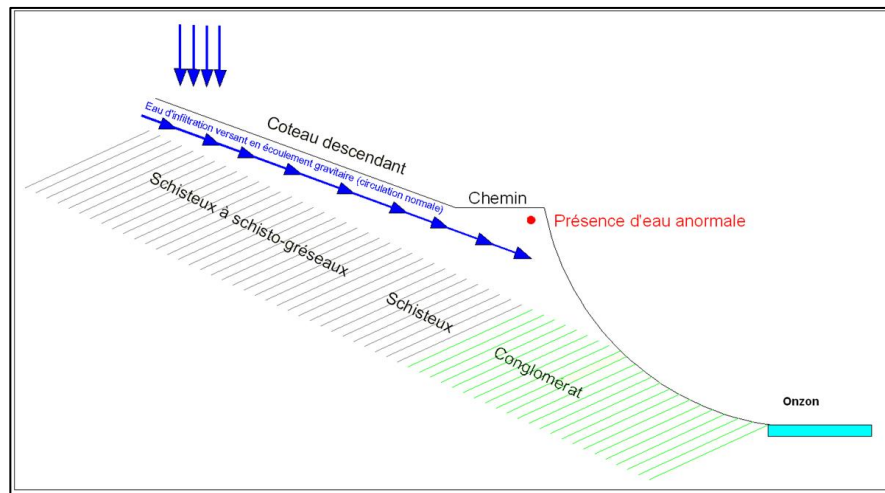


Figure 7. Régime hydrologique d'Onzon [2].

3.3. Objectif et solution retenue

L'objectif de ce projet est la réparation de désordres liées à l'effondrement de la voirie, l'utilisation des géogrilles pour augmenter l'ancrage, s'affranchir du risque de glissement passant par l'assise de l'ouvrage et la minimisation des coûts du projet. La solution prévue par le Maître d'ouvrage était de créer un mur de soutènement en enrochement afin d'obtenir une intégration paysagère, de stabiliser la voirie et de supporter les déformations dues au sol de fondation.

Après examen de plusieurs solutions par géosynthétiques, la solution retenue a été d'utiliser des géogrilles monolithiques à haute résistance et rigidité en raison de l'utilisation de matériaux de granulométrie grossière. Cette solution permet également de faciliter le drainage des eaux présentes dans le massif et des eaux d'infiltration, de stabiliser la voirie, d'augmenter la portance de la couche de forme et de supporter les déformations dues à la compressibilité du sol de fondation.

La solution en remblai avec enrochement renforcé par des géogrilles, qui a été mise en œuvre, présente des avantages pour les raisons suivantes :

- la souplesse et la rapidité de la mise en œuvre,
- le faible coût de cette solution par rapport aux solutions traditionnelles.

3.4. Procédé de construction

La solution de construction a consisté en (figure 8) :

- réalisation d'une bêche d'ancrage en reprise du désordre principal (cône central du glissement)
- réalisation d'un massif granulaire reconstitué en support d'assiette de masse ancré à flanc amont comprenant :
 - une semelle en talon d'appui,
 - un enrochement maçonné,
 - un remblaiement compacté par couches unitaires d'élévation renforcé par géogrilles,
- réalisation du corps de chaussée définitif.

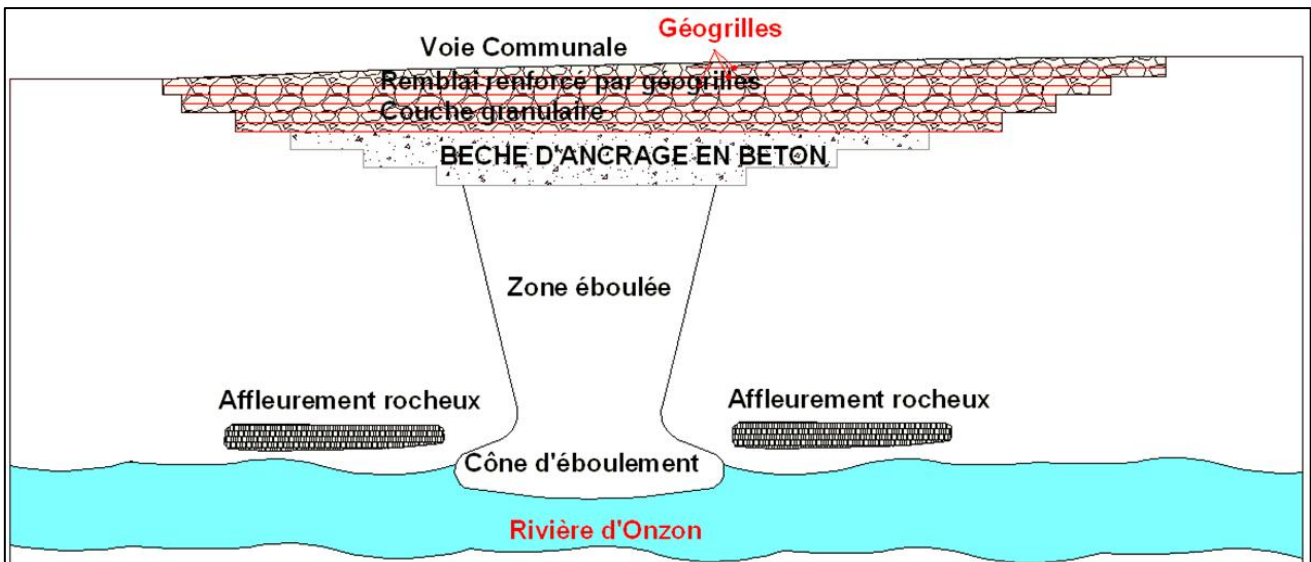


Figure 8. Vue de face du projet.

Les figures 9 et 10 montrent une coupe du mur de soutènement.

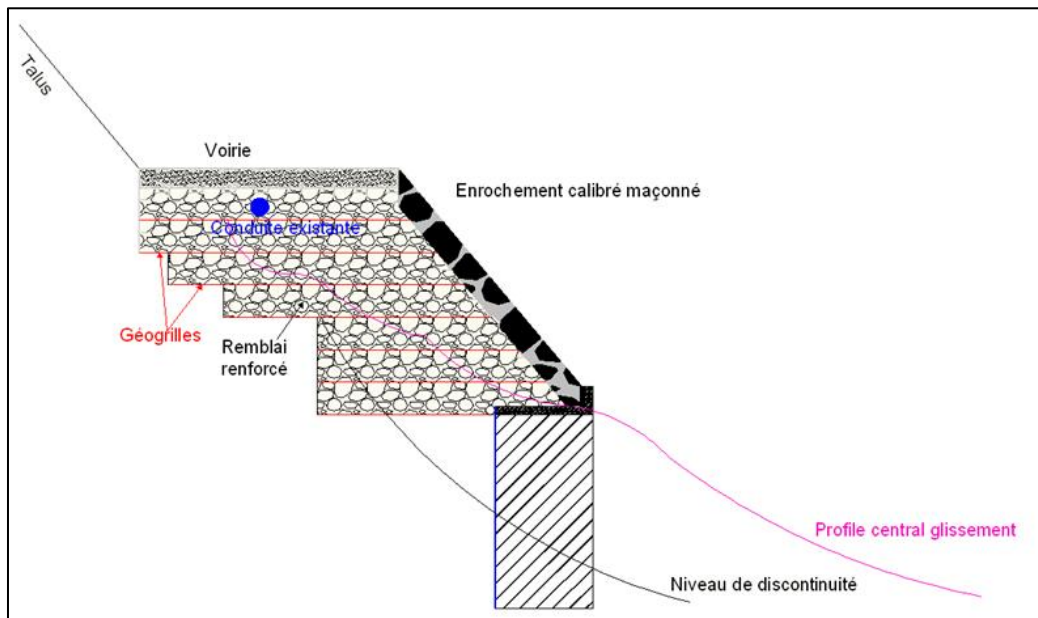


Figure 9. Solution retenue.

4. Conclusion

L'utilisation des géogrilles dans la construction de ces murs en remblai renforcé a montré des avantages très significatifs afin de préserver les ressources naturelles tout en gardant un aspect architectural naturel, d'être un produit aidant à développer des solutions de préservation de notre système écologique menacé et enfin de minimiser les coûts et le temps de construction (Naciri, 2009).

Les deux projets présentés ici montrent les attraits et les avantages de renforcement par géogrilles. Les solutions traditionnelles sont souvent coûteuses et peu adaptées à un contexte géotechnique difficile, qui demande des matériaux nobles. Or, les solutions géogrilles permettent souvent d'utiliser les matériaux du site dans un but de satisfaction d'un développement durable. Ce sont également des ouvrages souples qui supportent des déformations de sol compressible. Elles peuvent aussi être couplées facilement avec des parements permettant une intégration architecturale paysagère. Enfin, elles apportent un intérêt économique tant du coût du projet que de la durée de la construction.



Figure 10. Photos montrant le mur de soutènement après construction.

5. Références bibliographiques

- Burgy J.Y. (19/10/2010) Comment augmenter (rapidement) la part de la valorisation des déchets du bâtiment. Le Moniteur.fr. <http://www.lemoniteur.fr/185-regles-et-normes/article/a-suivre/770648-comment-augmenter-rapidement-la-part-de-la-valorisation-des-dechetsdu-batiment-la-sensibilisation-1>
- Naciri O. (2009). Appropriation of recycled material and locally won soil as fill in geogrid reinforced earth structures. *2nd International Seminar Earthworks in Europe, London UK.*
- Petit-Maire M. (2009). Étude géotechnique 42/8A/7939, bureau d'étude géotechnique SIC INFRA.
- Naciri O. et al. (2008). *Eurogeo 4, Edinburgh UK.* Paper number 145