

# OUVRAGES EN TERRE RENFORCÉS PAR GÉOSYNTHÉTIQUES – RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR DES OUVRAGES RÉCENTS

## **REINFORCED FILL STRUCTURES BY GEOSYNTHETICS - EXPERIENCE FEEDBACK ON RECENT WORKS**

Laurent EXBRAYAT, Jean-Baptiste DUQUET, Alain NANCEY  
TenCate, Bezons, France

**RÉSUMÉ** – À travers cinq chantiers réalisés en France et à l'étranger, sont montrés les atouts des massifs renforcés par géosynthétiques ainsi que les configurations favorables. Chaque exemple présente un parement différent dont le choix est fait en fonction du cadre environnant ou d'une fonction précise. Les intérêts économiques majeurs comme la possibilité de réemploi des matériaux du site et l'adaptation aux contextes géotechniques difficiles, sont largement illustrés. La description technique des ouvrages et des principes de réalisation permet de mettre en avant une exécution par des moyens de terrassement.

**Mots-clés** : Remblai renforcé, géosynthétique, retour d'expérience

**ABSTRACT** – Through five construction sites located in France and abroad, the benefits of reinforced wall by Geosynthetics as well as the favorable configurations are shown. Each example presents a different facing whose choice is made according to the framework surrounding or from a required function. The major economic interests like the possibility of re-employment of materials of the site and the adaptation to the difficult geotechnical contexts, are largely illustrated. The technical description of the works and the principles of realization makes it possible to propose an execution by means of earthwork.

**Keywords**: Reinforced fill structures, geosynthetic, feedback

### 1. Présentation

Pour un Maître d'ouvrage, faire le choix d'un massif renforcé par Géosynthétiques s'appuie bien souvent sur deux critères : l'intérêt économique et le type de parement. Par cette publication et la présentation de cas concrets, nous souhaitons exposer les différents atouts de ce type d'ouvrage et des configurations favorables. Ils sont énoncés ci-après dans un ordre d'intérêt qui peut varier en fonction des projets.

Avec un impact direct sur l'intérêt économique de l'ouvrage, une (1) réalisation en remblai représente la configuration la plus propice. Devoir terrasser une emprise a un coût et expose par ailleurs la zone de travaux à un front de taille plus ou moins stable.

Un des principaux intérêts des massifs renforcés par Géosynthétiques est de pouvoir (2) réutiliser les matériaux du site, ce qui n'est pas le cas avec des armatures peu extensibles. En choisissant les Géosynthétiques et le polymère adaptés (géogrille, non-tissés renforcés par câbles ou tissés / polypropylène, polyester ou autre), le réemploi d'une majorité de sols est possible. C'est un attrait économique évident mais aussi un choix de développement durable (économie des ressources naturelles et de transport routier).

Un autre intérêt environnemental est (3) l'intégration paysagère avec la possibilité d'associer au massif renforcé par Géosynthétiques différents types de parements minéralisés, végétalisables, en béton ou autre. Des ouvrages inclinés ou verticaux sont possibles. La participation du parement à la fonction de l'ouvrage est également envisageable.

Les possibilités de parement permettent également (4) d'adapter l'ouvrage au contexte géotechnique. Là où des ouvrages traditionnels ne supportent pas les déformations et nécessitent des fondations spéciales, le massif renforcé par Géosynthétiques peut être fondé sur des sols peu porteurs ou hétérogènes. Pour cela, il sera associé un parement supportant des tassements différentiels.

Au-delà de l'aspect lié au parement, lorsque les sols sont compressibles, il y a généralement un risque de grand glissement passant par l'assise de l'ouvrage. Contrairement aux murs traditionnels, les massifs renforcés par Géosynthétiques permettent, en augmentant l'ancrage, de s'affranchir de ce risque.

Les ouvrages de grande hauteur sont favorables aux massifs renforcés par Géosynthétiques quand les murs poids ou en béton armé trouvent leur limites techniques et économiques (5). Dans certaines configurations, ils peuvent également s'avérer concurrentiels à un ouvrage d'art.

Nous retenons aussi la (6) facilité de réalisation de ces ouvrages, exécutables généralement avec des moyens de terrassement. Notons que la simplicité de mise en œuvre dépend du choix du parement, qui conduit à l'emploi ou non, d'un coffrage provisoire.

L'intérêt (7) esthétique, technique et économique des massifs renforcés par Géosynthétiques dépend de l'ensemble de ces critères.

Les cinq exemples présentés ci-après illustrent ces différents aspects, afin si possible, d'aider les concepteurs à mieux cerner les critères qui font que le massif renforcé par Géosynthétiques devient une solution intéressante.

Il est rappelé, que la définition des ouvrages s'inscrit dans le cadre de la Norme européenne NF EN 14475 (Exécution de travaux géotechniques spéciaux. – Remblais renforcés - indice de classement P94-326) et dont l'homologation a pris effet le 20 janvier 2007.

Deux référentiels de dimensionnement sont à venir :

- La norme NF P 94270 Calcul géotechnique - Ouvrages de soutènement - Remblais renforcés et massifs en sol cloué,
- La norme expérimentale XPG 38064 Murs inclinés et talus raidis en sols renforcés par Géosynthétiques – Justification du dimensionnement et éléments de conception.

## 2. Retour d'expérience sur des ouvrages récents

### 2.1. Rampes d'accès en remblai renforcé par Géosynthétiques - Sénégal 2005/2006

Faute d'emprise disponible en site urbain, les échangeurs dénivelés de « Malick SY » et « Cynros », localisés à la fin de l'autoroute d'accès à la presqu'île de Dakar, nécessitaient la construction de rampes d'accès à parement vertical. Les sols d'assise sablo-argileux mous et le coût local des matériaux issus de carrières étaient également à prendre en compte dans la conception des ouvrages. La réalisation des rampes en remblais renforcés par Géosynthétiques avec parement béton indépendant s'est révélée être une solution adaptée et économique, comparé aux autres solutions envisagées.

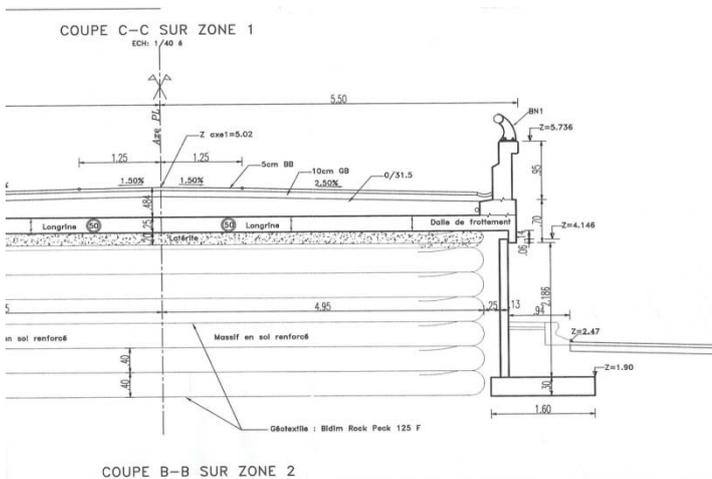


Figure 1. Coupe type transversale du remblai renforcé



Figure 2. Mise en œuvre d'une couche de remblai

Un sable dunaire disponible localement à faible coût a été utilisé comme matériau de remblai. Un Géosynthétique composite associant une trame non tissée aiguilletée en polypropylène et des câbles de renfort polyester a été retenu. Ce Géosynthétique inséré à intervalles verticaux réguliers assure la stabilité générale du remblai vertical. Retourné au parement et complété par un cordon périphérique en latérite cohésive, il permet par ailleurs le confinement du sable pulvérulent. La dissociation du remblai renforcé par Géosynthétiques auto-stable et du parement, a permis de réduire au minimum la section des voiles béton et de retenir un phasage de travaux intéressant dans le contexte du projet. Les voiles en béton préfabriqués ont été mis en place après la consolidation des sols sous la charge des remblais renforcés.



Figure 3. Remblai renforcé avec retour au parement du Géosynthétique



Figure 4. Ouvrage achevé avec parement béton préfabriqué indépendant

Chacune des rampes d'accès aux échangeurs a été équipée de deux bandes de mesure et de suivi de déformation GEODETECT. Chaque bande comporte 5 capteurs. Les bandes placées à proximité des culées ont permis de suivre précisément les déformations au cours de la construction. Des déformations au plus égales à 1% ont été relevées.

## 2.2. Mur avec parement en éléments modulaires béton - France 2007

La création d'une voie nouvelle par le Conseil Général sur le site de La Vallée de l'Amezule à Essey-les-Nancy, nécessitait la réalisation d'une partie du tracé en remblai sur un versant penté à environ 10%. L'emprise devant être limitée, la réalisation d'un soutènement a été retenue. La forme en courbe de l'ouvrage, le recul suffisant pour la pose des nappes, les sols d'assise peu porteurs et la possibilité de réutiliser les matériaux du site ont conduit au choix d'un massif renforcé par Géosynthétiques avec des éléments béton au parement.

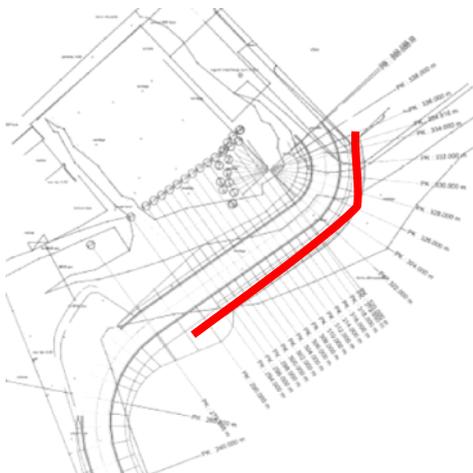


Figure 5. Vue en plan (Valerian): situation du mur en rouge



Figure 6. Vue d'ensemble de l'ouvrage – Photo Atalus

La longueur de l'ouvrage est de 80m. La hauteur maximum du soutènement est de 5,5m : 4,5m à 85 degrés plus un talus en tête de 1m (2H pour 1V).

Les matériaux utilisés en remblai sont issus du site. Ce sont des limons traités à la chaux. Cette possibilité d'utiliser les matériaux en place est économique et favorise le développement durable.

Le géosynthétique de renforcement est un tissé de bandelettes en polypropylène. Il est frottant avec des sols fins et compatible avec un environnement basique, notamment les sols traités.

L'ancrage important des nappes (5m) permet de s'affranchir du risque de glissement lié aux sols d'assise médiocres.

Compte tenu du contexte géométrique et géotechnique, une attention particulière est portée sur le drainage de l'ouvrage. Une couche de matériaux drainants est mise en œuvre à la base du remblai, associée à un réseau de drains à cunette.

Outre le drainage du massif, cet horizon permet de constituer une assise portante pour la montée du remblai.

Les éléments modulaires en béton de 120kg sont mis en œuvre à l'aide d'une pince de levage. Ils sont en béton vibré, très résistants à l'écrasement et non gélifs. L'assise est un béton de propreté située à -0,5m par rapport au terrain naturel. Cette disposition confère au parement une certaine capacité à s'adapter aux tassements différentiels. Nota : ce type de parement peut également être végétalisé.

Au regard du contexte, les avantages de l'ouvrage sont les suivants :

- Possibilité de se fonder sur des sols peu porteurs,
- Réemploi des matériaux du site grâce à un traitement et aux choix d'un Géosynthétique adapté,
- Facilité de réalisation d'un mur en courbe,
- Ouvrage de soutènement facile à mettre en œuvre par une entreprise de terrassement.



### 2.3. Merlon avec parement pneus - France 2007/2008

Le site de Nantua est menacé par des chutes de blocs provenant de la Barre des Fêcles surplombant la ville à l'Est. Afin de protéger les routes et habitations en contrebas, la mairie a décidé de réaliser un ouvrage de protection passive, constitué par un merlon en remblai.

La géométrie du merlon et de la fosse amont est dimensionnée pour piéger les blocs et absorber une certaine énergie cinétique.

La longueur du merlon est de 380m. La hauteur maximale du soutènement est de 10m. Le parement amont est incliné à 62 degrés. Le parement aval est à 3H pour 2V. La largeur de la fosse est d'environ 7m.

Pour permettre la montée de ce remblai et résoudre les problèmes de stabilité interne tout en réutilisant les matériaux du site, une solution de remblai renforcé par Géosynthétiques a été retenue.

Au parement, des pneus de camions permettent un coffrage des remblais en phase de chantier et offrent une certaine capacité d'absorption de l'énergie cinétique des blocs en phase de service.

Les éléments du parement sont des pneus de récupération. Un flanc est découpé et laissé dans le pneu. Les pneus sont assemblés par des ligatures. Ils sont ensuite remplis de matériaux granulaires compactés, de façon à limiter les déformations du parement.

En partie basse de l'ouvrage (photo ci-contre), les Géosynthétiques mis en œuvre sont des non-tissés aiguilletés renforcés par des câbles en polyester de forte résistance à la traction (192 kN/m). Ce type de Géosynthétiques présente un très bon rapport de frottement avec le sol et la présence du géotextile non-tissé permet la dissipation des pressions interstitielles qui se développent lors du compactage des matériaux. Cette spécificité confère au remblai une meilleure stabilité.

En partie supérieure (photo ci-contre), il a été retenu des Géogrilles de renforcement constituées de câbles en polyester de haute ténacité protégé par un enduit polymère. Les résistances à la traction sont de 88kN/ml sur les nappes centrales et 58kN/m sur les nappes supérieures. Les Géogrilles retenues sont adaptées au matériau du site issu d'éboulis, granulaire et frottant.

Les Géosynthétiques sont pincés entre les pneus. Disposés tous les deux rangs de pneus, soit selon un espacement vertical de 60cm, les nappes ont un ancrage de 5m.

Au regard du contexte, les avantages de l'ouvrage sont les suivants :

- facilité de réalisation d'un soutènement de grande hauteur à faible coût (de l'ordre de 130 euros par m<sup>2</sup> de parement) ;
- cadence de réalisation élevée (50 à 66m<sup>2</sup> de parement par jour) ;
- intérêt d'utiliser des pneus dans la fonction d'absorption d'énergie de l'ouvrage,
- possibilité de réemploi des matériaux du site grâce aux géosynthétiques,
- Intérêt environnemental et de développement durable.

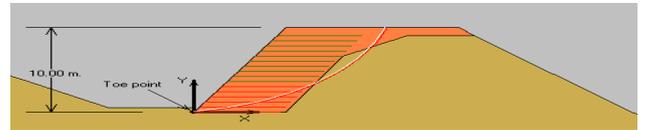
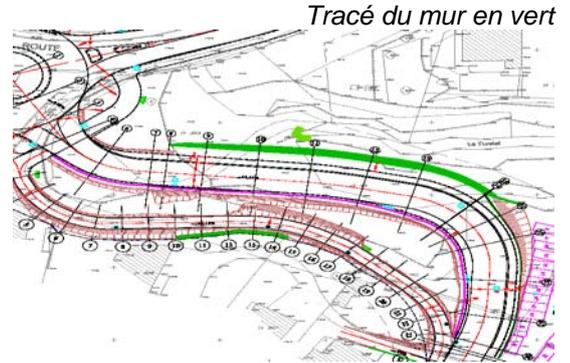


Photo Famy

2.4. Remblai renforcé avec parement gabions – France 2007/2008

L'ouvrage se situe à Gap, la Ville étant le Maître d'ouvrage. Il s'agit d'une nouvelle liaison routière réalisée en remblai sur un versant très penté. Elle est située dans une zone boisée, implantée sur le flanc d'un talweg en présence d'un ruisseau en pied du soutènement et de remblais en place.

Compte tenu de l'emprise limitée et de la grande hauteur, des solutions de remblai classique ou de mur poids ont été écartées. Pour répondre aux contraintes géométriques, géotechniques et à l'intégration paysagère, il a été retenu un massif renforcé par Géosynthétiques avec un parement minéral constitué de gabions. La longueur du mur est de 63m. La hauteur maximale du soutènement est de 12m. Le parement est incliné à 85 degrés. Sa surface est de 700 m<sup>2</sup>.



← Vue d'ensemble – Photo SEE Gaudy

Sur la zone centrale de grande hauteur, l'ouvrage est fondé au toit du substratum schisto-argileux, directement ou par des substitutions locales. Les gabions reposent sur des enrochements bétonnés. À l'amont et à l'aval, le massif et le parement sont fondés sur un horizon intermédiaire meuble.

Les gabions sont constitués par des panneaux électrosoudés remplis de cailloux d'origine alluvionnaire. Le matériau est mis en vrac ce qui permet, par rapport à une pose appareillée, un gain de temps important.



Assise du parement et remplissage en vrac  
Photo Aquaterra Solutions

Deux types de Géosynthétiques ont été utilisés avec des résistances allant de 100kN/m à 300kN/m : des non-tissés aiguilletés renforcés par des câbles en polyester et des tissés de polyester. Le remblai a été monté avec retour au parement des Géosynthétiques. Les gabions servent de coffrage pour la mise en œuvre des matériaux. Une pose inversée des nappes avec préention a été adoptée.

Selon les contraintes, les cadences de réalisation pour une équipe ont varié entre 10 et 35 m<sup>2</sup> de parement par jour.



Pose de nappes de Géosynthétiques

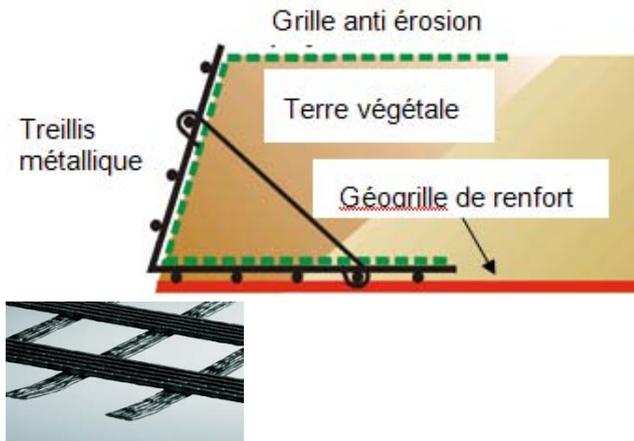
Une partie des matériaux de remblai a été apportée. Lorsque leur teneur en eau le permettait, les matériaux issus du site ont été réutilisés, soit environ 1/3 des volumes.

Au regard du contexte, les avantages de l'ouvrage sont les suivants :

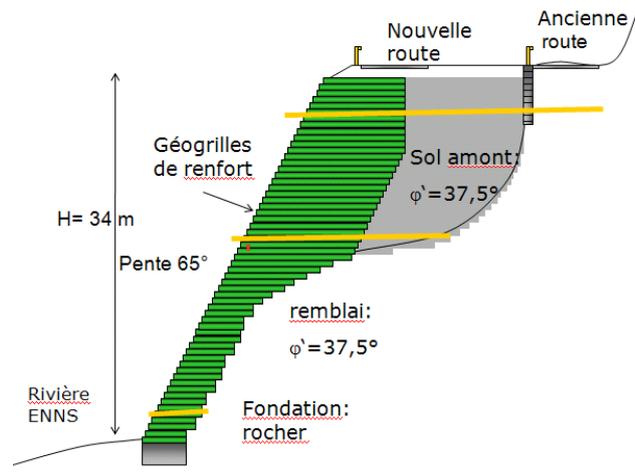
- Réalisation d'un soutènement de grande hauteur à coût modéré (250 k€ pour le massif renforcé),
- Intégration de l'ouvrage dans l'environnement,
- Adaptation de l'ouvrage à des sols d'assise de portance hétérogène,
- Réemploi d'une partie des matériaux du site en remblai,
- Réalisation d'un soutènement de grande hauteur avec des moyens de terrassement.

## 2.5. Remblai avec parement végétalisable - Autriche 2005

En raison des problèmes d'infiltration d'eau et de trafic accru, la route B115 dans les montagnes de la Styrie en Autriche n'offrait plus les garanties de sécurité suffisantes. Cette route était principalement utilisée par des camions de transport de bois et était supportée en partie par un mur de 10 m en pierre devenu instable. Le trafic avait dû être limité après des déformations importantes. Il a donc fallu trouver une solution techniquement viable au problème tout en gardant un budget limité. La première solution proposée fut la construction d'un pont de 100 m de long avec 5 piliers. La réalisation des fondations dans le contexte difficile des travaux en montagne aurait entraîné des coûts évalués environ à 900 k€. La construction d'un mur de soutènement n'avait pas été considérée initialement comme une option alternative en raison de la hauteur 34 m. Cependant, il est apparu très clairement qu'une solution de remblai renforcé par Géosynthétiques était techniquement viable et allait permettre une réduction de moitié des coûts et délais. L'esthétique de l'ouvrage, aspect naturel et face végétalisée, a aussi été considérée dans la conception pour une bonne intégration dans l'environnement.



Grille et schéma du système de parement



Profil du remblai renforcé

Le système utilisé incorpore le renfort géosynthétique, le coffrage perdu en grillage métallique et une grille de protection contre l'érosion. La stabilité a été assurée par la mise en place sur toute la hauteur du remblai de géogrilles de renforcement avec des résistances à la traction allant de 100 kN/ml à 200 kN/m. Les géogrilles utilisées sont des produits composés de fils de polyester de haute-ténacité protégés par un enduit polymère.



Profil du remblai renforcé



Aspect du remblai après 1 an

La construction du remblai renforcé par géosynthétique a nécessité moins de 50 jours de travaux pour un ouvrage de 34 m de hauteur, une longueur de 100 m et une pente avant de 65 degrés. Le coût final de l'ouvrage s'est élevé à 410 k€, ce qui représente une réduction des coûts de 54% par rapport à la solution initiale de l'ouvrage d'art.

### 3. Conclusions

Les ouvrages présentés illustrent les attraits et atouts des massifs renforcés par Géosynthétiques.

Les configurations favorables sont :

- une réalisation en remblai,
- un contexte géotechnique difficile rendant les soutènements traditionnels mal adaptés,
- un coût élevé des matériaux d'apport.

Les intérêts sont :

- la possibilité fréquente de réemploi des matériaux du site,
- par ce biais, la satisfaction d'un développement durable,
- un ouvrage souple qui s'adapte à des assises de mauvaise qualité,
- un choix de parements variés permettant l'intégration paysagère,
- un ouvrage réalisable par des moyens de terrassement seuls,
- la possibilité de soutènements de grande hauteur,
- des ouvrages économiques et des délais limités lorsque le contexte est favorable.

### 4. Références bibliographiques

Gruber J. (2008). Geosynthetic Reinforced Retaining Structures in Alpine Regions, *4th European Geosynthetics Conference, Edinburgh, Scotland, CD-ROM Conference Proceeding*.

Gotteland Ph., Dubreucq Th., Guerpillon Y. (2003). Ouvrages de soutènement, des techniques Géosynthétiques matures ? Actes, 5èmes Rencontres Géosynthétiques Francophones 2003/2004

Cemagref Lirigm – Ouvrages de protection contre les risques naturels et ouvrages en sites instables.(2006)

Duquet J.B., Garcin P., Nancey A. (2007). Construction de rampes d'accès à des ouvrages d'art en remblais renforcés par géosynthétiques Dakar (Sénégal) Geosynthetic Reinforced Retaining Structures in Alpine Regions. Actes, 14ème congrès régional de mécanique des sols et de géotechnique, Yaoundé, Cameroun.