

CONFORTEMENT ET RAIDISSEMENT D'UNE DIGUE PAR UNE STRUCTURE ALVÉOLAIRE

STEEP SLOPE REINFORCEMENT OF DYKE BY USING GEOSYNTHETIC CELLULAR STRUCTURE

Jean-Marc FLOHR¹, Pascal MERCIER², Nicolas RACANA³, Fred THIBUR⁴

¹ BCEOM, Montpellier, France

² SYMADREM, Arles, France

³ SOL SOLUTION, Riom, France

⁴ TERRAM Ltd, Pontypool, United Kingdom

RÉSUMÉ - Dans le cadre du confortement des digues du delta du Rhône, le SYMADREM travaille notamment en reconstituant des digues élargies par rapport à la configuration initiale. Ces travaux, parfois menés proches des habitations nécessitent la création d'ouvrages de soutènement. Après analyse et prise en compte de l'ensemble des contraintes techniques et environnementales, le choix du maître d'ouvrage s'est axé sur une solution de renforcement de sol par géotextile cellulaire. Cette solution M3S® a été retenue sur le chantier de confortement de la digue d'Albaron (13). Cet ouvrage de référence a permis l'obtention du label IVOR (Innovation Validée sur Ouvrages de Référence) délivré par le ministère des Transports de l'Équipement du Tourisme et de la Mer.

Mots-clés : Renforcement, géotextile alvéolaire, digues, raidissement de talus, IVOR

ABSTRACT – Within the scope of the works to strengthen all the dykes of Rhone river delta, SYMADREM Carries out projects to rebuild and widen the shape of original dykes. These works require structures of soil reinforcement especially when they are made very near to private houses in residential areas. After studying all technical and environmental aspects, it has been decided to use geosynthetic cellular system as a steep slope reinforcement structure. This solution has been applied to Albaron's dyke strengthening works. This innovative solution has been honoured by the French Ministry of Transportation, Public Works, Tourism and the Sea, which has awarded the IVOR label to this job (innovation validated in reference works).

Keywords: Reinforcement, geosynthetic cellular system, dyke, steep slope, IVOR

1. Présentation du chantier

Le SYMADREM (Syndicat Mixte Interrégional d'Aménagement des Dignes du Delta du Rhône et de la Mer) établit régulièrement des marchés liés au confortement des digues du Grand Rhône et Petit Rhône. Dans le secteur d'Albaron, un aménagement d'environ 2 km sous maîtrise d'œuvre BCEOM a été réalisé de juin 2004 à janvier 2005 pour un montant total de 2 338 400 € TTC.

1.1 Objectif de l'opération

Le but de l'aménagement est d'améliorer l'étanchéité et la stabilité de l'ouvrage et de rendre la digue circulaire pour la surveillance, l'entretien et les interventions d'urgence. Il fallait également se prémunir des nuisances liées aux animaux fouisseurs et sécuriser l'ensemble des ouvrages traversant la digue.

1.2. Principe de confortement

L'aménagement retenu conforte la digue en place sans la rehausser. Les différents points de confortement sont les suivants :

- Mise en place d'un rideau de palplanche pour étancher l'assise de la digue,
- Réalisation d'un masque étanche en argiles compactées coté fleuve,
- Epaissement de la digue côté terre et réalisation d'une piste de 6 m de large en crête,
- Protection des talus (grillage anti-rongeur, géogrille).

Cet aménagement a été mené d'une manière générale selon la coupe de principe de la figure 1.

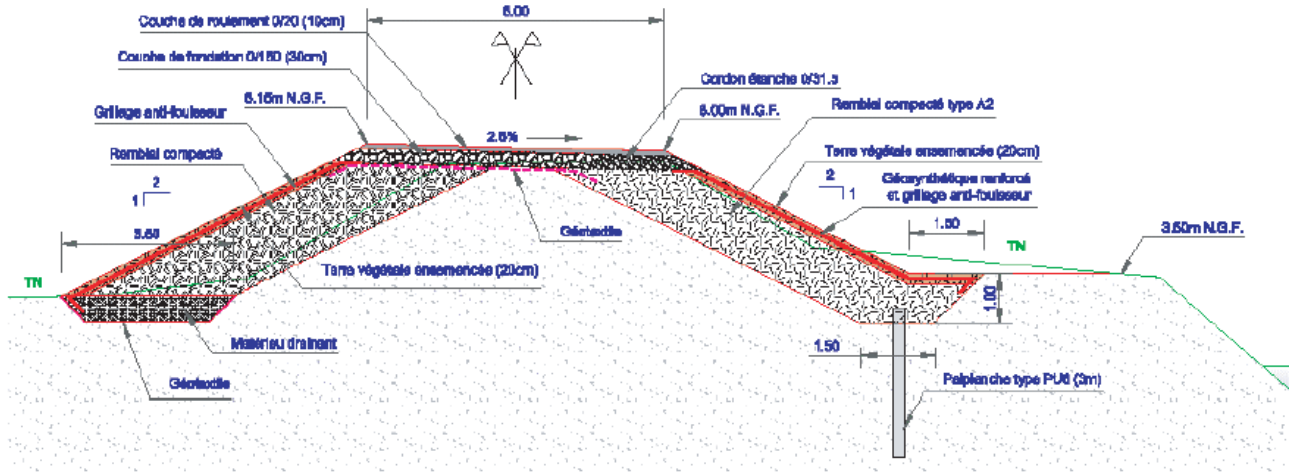


Figure 1. Coupe de principe du confortement réalisé

Cette coupe a été réalisée sur environ 90% du linéaire mais son emprise au sol n'était pas compatible avec la proximité des habitations notamment au droit du lotissement d'Albaron. Sur une longueur de 200 m un raidissement de talus côté habitation s'imposait. Après analyse et prise en compte de l'ensemble des contraintes techniques et environnementales, le choix du maître d'ouvrage s'est axé sur une solution de renforcement de sol par géosynthétique alvéolaire. Le gain financier généré par la solution géosynthétique a également été un élément déterminant dans le choix du Maître d'Ouvrage.

La figure 2 présente ce raidissement de talus qui permet de réduire l'emprise de la digue de 4 m. Ce confortement a permis également une intégration paysagère forte avec la mise en place d'un parement végétalisé.

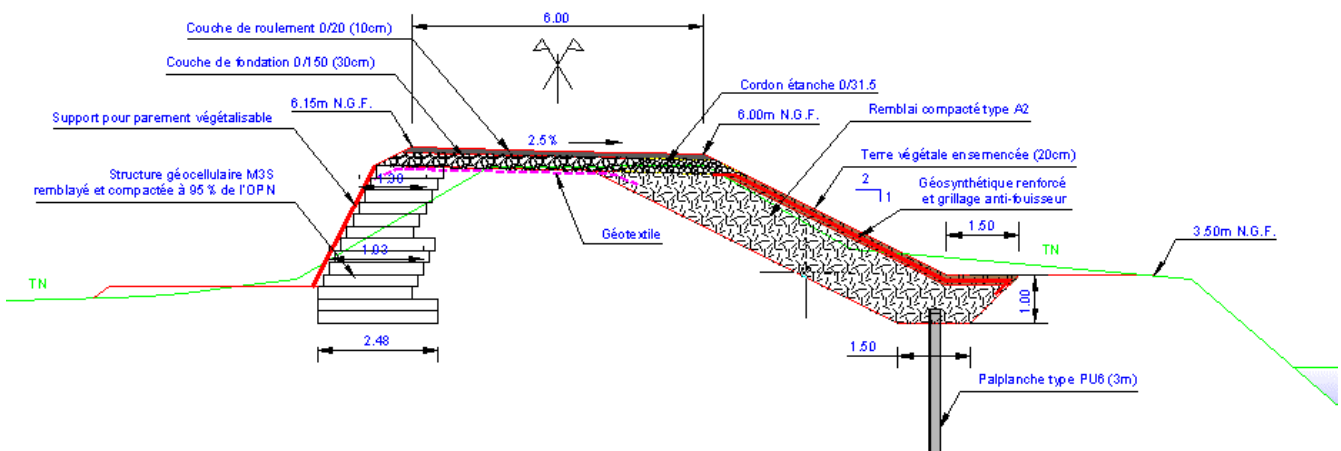


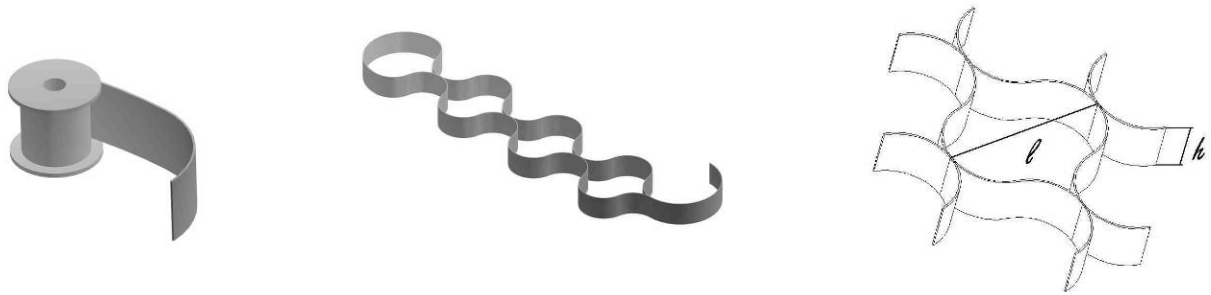
Figure 2. Raidissement de talus au droit des habitations

2. Présentation du procédé de soutènement

2.1. Principe

Le produit est une structure textile tridimensionnelle. Ce produit qui se présente sous forme de nappe alvéolaire s'utilise en association avec un matériau de remplissage compactable en qualité q4 au sens du GTR. Le réseau cellulaire obtenu crée un *mécanisme de confinement du matériau* qui améliore sa résistance au cisaillement et à la traction.

Les nappes alvéolaires sont obtenues en assemblant entre elles des bandes continues de géotextile. Le matériau de base est un *non-tissé de filaments bi-composants (polypropylène et polyéthylène) thermoliés* (Figure 3).



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

Figure 3. Caractéristiques d'une alvéole

2.2. Aménagement d'Albaron

L'ouvrage réalisé s'étend sur 200 m avec une hauteur oscillant entre 3,7 et 5 m. Les deux premières couches alvéolaires de 2,48 m de largeur ont été remblayées de matériau drainant roulé de type 4/16 (Figure 4).



Figure 4. Remblaiement en matériau drainant

Le reste de l'ouvrage est remblayé avec le matériau propre de la digue en place. Ce matériau a été identifié A1 au sens du GTR avec une teneur en eau à l'OPN 15 %. Pour respecter les critères de compactage au sein des structures alvéolaires (95% de l'OPN) nous avons contrôlé deux ou trois fois par jour la teneur en eau afin de valider l'état moyennement humide souhaité.



Figure 5. Construction de l'ouvrage

Le renforcement par géotextile proposé a permis de s'adapter à l'ensemble des contraintes du chantier avec notamment la mise en place d'ouvrages de pompage traversant (Figure 6).



Figure 6. Adaptation du mur en sol renforcé aux ouvrages traversants

3. Méthode de dimensionnement du procédé alvéolaire

3.1. Principe

La méthode de calcul s'appuie sur toutes les réglementations en vigueur en matière de murs renforcés par des géotextiles. De plus, des travaux de recherche ont été réalisés pour analyser le comportement de ces structures alvéolaires. Des expériences sur modèle réduit, mais aussi grandeur nature ont été menées essentiellement au LGC/CUST de Clermont-Ferrand (Reiffsteck 1996) (Racana 2001) (Racana 2002) (Racana 2003). Les mécanismes de ruptures et de déformations révélés confirment que les murs de soutènement M3S® entrent dans la gamme des massifs en sol renforcé. Les méthodes de dimensionnement présentées s'appuient sur les documents actuellement en vigueur et prennent en compte la future norme NF G 38064 « Dimensionnement des massifs en sol renforcé par géosynthétiques ».

3.2. Stabilité interne

Les massifs en sol renforcé sont vérifiés en considérant a priori que la masse de sol renforcé réagit aux sollicitations extérieures comme un corps rigide, hypothèse similaire à celle faite pour les murs renforcés par des éléments bidimensionnels. La stabilité externe d'un ouvrage renforcé concerne la stabilité vis-à-vis du glissement sur sa base, du poinçonnement (Figure 7). Le risque de basculement d'un ouvrage souple n'est normalement pas pris en compte.

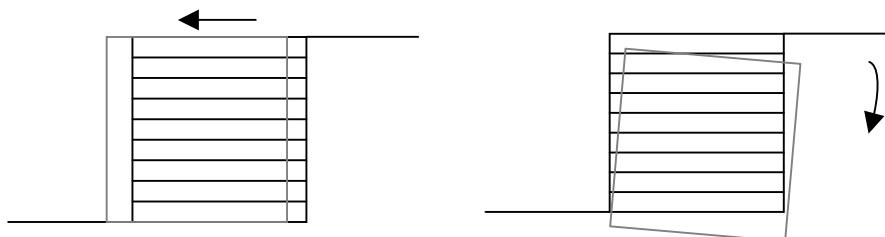


Figure 7. Glissement et poinçonnement d'un massif en sol renforcé

3.3. Stabilité globale et stabilité d'ensemble

Cette justification est commune à tous les ouvrages de soutènement et consiste à vérifier la stabilité du projet vis-à-vis de toutes surfaces de rupture. La stabilité globale concerne une zone d'environ trois fois la hauteur active de l'ouvrage de part et d'autre. La stabilité d'ensemble quant à elle peut prendre en compte un site dans sa globalité. Cette dernière est particulièrement importante pour les ouvrages sur fortes pentes. Pour le chantier d'Albaron l'analyse de la stabilité au grand glissement a été menée dans une configuration de niveau haut des eaux du petit Rhône (Figure 8).

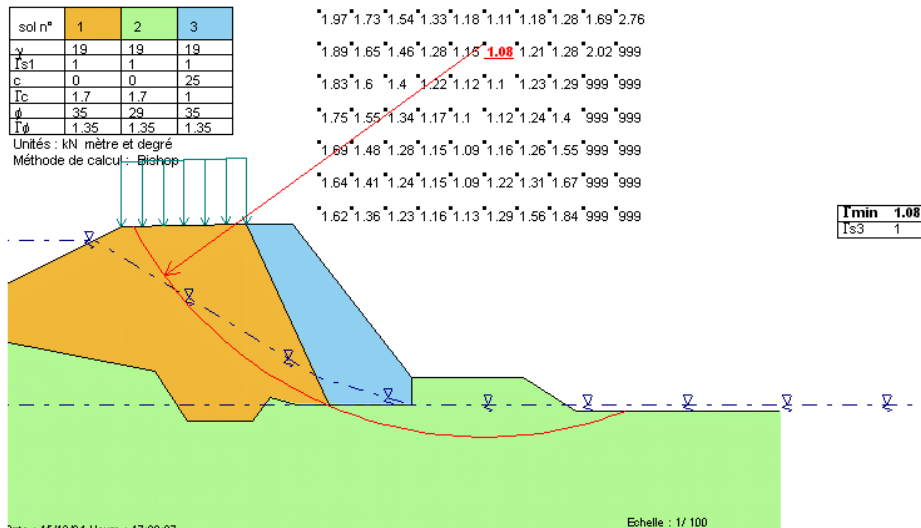


Figure 8. Analyse de la stabilité au grand glissement

4. Le point de vue du maître d'œuvre

Le gain financier généré par la solution géosynthétique a également été un élément déterminant dans le choix du Maître d'Ouvrage. L'avenant que nous avons établi en début de chantier a été argumenté avec les éléments suivants :

« Dans les secteurs où l'emprise foncière limitée ne permettait pas un élargissement par engraissement, un dispositif de soutènement en remblai renforcé était initialement prévu au marché.

Ces remblais renforcés de soutènement étaient constitués de couches de formes étagées de 0,5 mètres d'épaisseur, protégées par un grillage métallique double torsion ancré entre les couches de matériaux compactés.

La mise en œuvre de cette technique nécessitait un décapage total du corps de digue préalable à la construction de l'ouvrage, très préjudiciable en cas de crue du Rhône.

Afin de réduire ce risque, une solution variante a donc été étudiée. Elle permet la mise en œuvre d'un massif de soutènement à base de géotextiles alvéolaires, conforme aux objectifs du chantier (pente des talus, stabilité, végétalisation,...), tout en générant une **moins value de 58 279,00 € HT**.

Une moins - value de 102 291,50 € HT a été dégagée par les postes de terrassements est liée à la technique de soutènement précédemment décrite.

L'arasement complet du corps de digue aurait en effet nécessité l'approvisionnement et la mise en œuvre d'argiles compactées en quantités importantes afin de reconstituer l'ouvrage et assurer son étanchéité.

Cette technique aurait également générée un volume de déblais excédentaires à évacuer très supérieur à celui dégagé par la solution variante. »

5. Conclusion

Le confortement des digues du Rhône, destiné à élargir celles ci en crête ainsi qu'à permettre la circulation nécessaire à la surveillance a généré de nombreuses contraintes dans les zones urbanisées.

Ces travaux, parfois menés proches des habitations nécessitent la création d'ouvrages de soutènement afin de limiter les préemptions sur les propriétés riveraines. Après analyse et prise en compte de l'ensemble des contraintes techniques et environnementales, le choix du maître d'ouvrage s'est axé sur une solution de renforcement par un massif en géotextiles alvéolaire.

La portion de la digue d'Albaron renforcée par la structure alvéolaire a été réalisée au cours de l'automne 2004 en moins de 8 semaines et le chantier réceptionné en Janvier 2005 (Figure 9).



Figure 9. Avant et après le confortement des digues

La solution retenue sur ce chantier est l'ouvrage de référence ayant permis l'obtention du *label IVOR* (Innovation Validée sur Ouvrages de Référence) délivré par le ministère des Transports de l'Équipement du Tourisme et de la Mer. De plus cette solution de raidissement de talus a été retenue par le Maître d'Ouvrage sur deux autres aménagements sur le Grand Rhône.

6. Références bibliographiques

- AFNOR Dimensionnement des massifs en sol renforcé par géosynthétiques. NF G 38064, *Norme française géotextile à paraître*
- Racana N., Grédiac M., Gourvès R. (2003). Pull-out response of corrugated geotextile strips. *Geotextile and Geomembrane* 21 265-288
- Racana N., Gourvès R., Grédiac M. (2001) Mechanical behaviour of soil reinforced by geocells. *Landmarks in Earth Reinforcement, Ochiai et al.* 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 II, 147 pages*
- Reiffsteck P. (1996). Étude du comportement mécanique du géotextile tridimensionnel alvéolaire ARMATER®. *Thèse de doctorat Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand II, 157 pages*