

Confortement de la digue du Grand Rhône – La solution géocomposite face aux matériaux sableux et granulaires

Reinforcement of the Grand Rhône dyke – Geocomposite solution vs sandy and granular materials

A. Hérault¹, M. Normand², A. Skotarczak³

¹Low & Bonar, Antony, alain.herault@lowandbonar.com

²Egis Eau, Montpellier, mathieu.normand@egis.fr

³Guintoli, Arles, askotarczak@guintoli.fr

Résumé

La partie aval du Rhône et son delta en Camargue sont protégés par des digues anciennes. Suite à la crue exceptionnelle de décembre 2003, il a été décidé de conforter ces ouvrages. Le principe de confortement retenu repose sur la reconstruction complète de la digue avec un remblai étanche côté fleuve et une clef d'ancrage à l'axe de l'ouvrage, épaulé par un remblai moins technique côté terre ; les deux structures sont séparées par un dispositif de filtration et de drainage. Plusieurs solutions ont été envisagées pour ce dispositif : un drain en matériaux sableux auto filtrants, un drain en matériaux granulaires dans une chaussette géotextile et la solution géosynthétique constituée d'un géocomposite de drainage et de filtration qui a finalement été retenue. Cette dernière solution a permis de réduire considérablement le transport de matériaux et les problèmes de gestion des approvisionnements et de stockage. La mise en œuvre aisée du géocomposite par rapport aux solutions granulaires était un atout supplémentaire pour l'entreprise avec des risques de non conformités réduits pour la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage.

Mots-Clés

Digue, inondations, drainage, filtration, géocomposite.

Abstract

The downstream part of the Rhone and its delta in the Camargue are protected by old dikes. Following the exceptional flood of December 2003, it was decided to reinforce these structures. The principle of strengthening which was retained is based on the complete reconstruction of the dike with a waterproof embankment on the river side and an anchoring key to the axis of the structure, supported by a less technical backfill on the other side; the two

structures are separated by a filtration and drainage system. Several solutions have been considered for this system: a drain made of self-filtering sand materials, a drain made of granular materials in a geotextile sock and the geosynthetic solution consisting of a geocomposite for drainage and filtration which was finally applied. The latter solution significantly reduced material transportation and supply and storage management issues. The easy installation of geocomposite compared to granular solutions was an additional asset for the contractor with reduction of the risk of quality issues for the project management.

Key Words

Dyke, flooding, drainage, filtration, geocomposite.

Introduction

La partie aval du Rhône et son delta en Camargue sont protégés par des digues anciennes, qui ont été édifiées et rehaussées progressivement au cours de ces derniers siècles. Suite à la crue exceptionnelle de décembre 2003, un programme de sécurisation de ces ouvrages est porté par le Syndicat Mixte Interrégional d'Aménagement des Digues du Delta du Rhône et de la Mer (SYMADREM) dans le cadre général du Plan Rhône.

Solutions de confortement étudiées

Différentes solutions de confortement de la digue du Grand Rhône rive gauche entre Prends-Té-Garde et Grand Mollégès ont été étudiées, chiffrées et détaillées par EGIS EAU. À l'issue des études d'avant-projet, le SYMADREM a retenu un principe de confortement reposant sur la reconstruction complète de la digue avec un remblai étanche côté fleuve et une clef d'ancrage à l'axe de l'ouvrage (Figure 1), épaulé par un remblai moins technique côté terre ; les deux structures sont séparées par un dispositif de filtration et de drainage

permettant d'augmenter de façon importante la sécurité de l'ouvrage au regard des risques d'érosion interne en cas de défaillance de l'organe d'étanchéité amont (fissures ou galeries éventuelles qui pourraient être le siège d'écoulements préférentiels en période de crue).

Après décapage des emprises et constat du fond de fouille, une clef d'ancrage est constituée dans l'axe de la digue, permettant de vérifier l'absence d'hétérogénéité du sol support. La partie amont de la digue est construite à partir des matériaux de remblai issus des déblais de la digue existante, des zones d'emprunt locales et de matériaux A1/A2

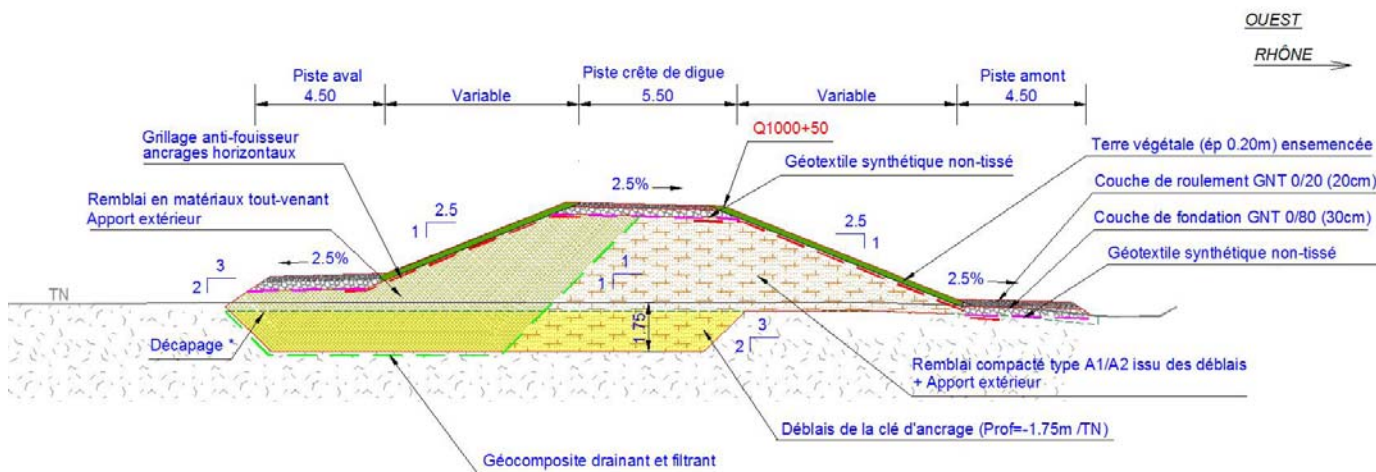


FIGURE 1 : COUPE TYPE DE L'OUVRAGE REALISE

provenant de carrière. Le remblai étanche a été réalisé par la méthode dite excédentaire, la frange de matériaux insuffisamment compactée a été retaillée après compactage et avant mise en œuvre du dispositif de drainage et de filtration, le remblai de recharge aval est constitué de matériaux tout-venant compactés. Les talus sont ensuite protégés par un grillage anti-fouisseur, avec ancrages horizontaux permettant d'éviter les ravines dans les matériaux étanches préalablement compactés, puis par une couverture en terre végétale ensemencée.

Les principaux avantages de la solution de confortement retenue sont :

- La fonction étanchéité est garantie à court terme, dès lors que le remblai étanche est réalisé dans de bonnes conditions,
- La fonction filtration est assurée à l'interface du remblai étanche amont et de la recharge aval afin de limiter les phénomènes d'érosion interne en cas de défaillance à long terme du remblai étanche liée à des fissures ou des galeries (racines, faune).
- Le contrôle de la piézométrie interne au remblai est effectué par le drain qui améliore la stabilité de la digue, dans la mesure où la partie aval de la digue n'est jamais impactée par les écoulements internes quel que soit l'état de saturation de sa partie amont, y-compris en cas de défaillance du masque étanche.
- Le drain de pied aval permet également d'intercepter les écoulements dans la fondation et d'éviter les phénomènes d'érosion interne à proximité du pied de talus aval, quelle que soit la nature de la

fondation. Dans certains cas, ce dispositif permet également de réduire le risque de claquage hydraulique à l'aval de la digue.

- La réalisation du remblai étanche en amont sur toute la hauteur permet de disposer d'un ouvrage étanche dès les premières phases de remblai, sa stabilité provisoire a été vérifiée en phase projet, pour garantir l'absence de risque de rupture pendant la phase chantier.
- Les déblais de la clef d'ancrage et du massif drainant aval permettent une inspection large du sol support sous la digue.

Dispositifs de filtration et de drainage envisagés

Les dispositifs de filtration et de drainage envisagés et comparés sur la partie aval de la digue étaient composés d'un drain en matériaux sableux auto filtrants, avec respect d'une règle de filtre, d'un drain granulaire dans une chaussette géotextile et d'un géocomposite de drainage et de filtration assurant également la fonction séparation. Cette dernière solution a été retenue par le SYMADREM et effectivement mise en œuvre par l'entreprise GUINTOLI.

La pente retenue pour le filtre drain a été fixée à 1H/1V au sein du remblai zoné, pour minimiser le volume de matériaux étanches, traditionnellement plus onéreux, tout en conservant une largeur en crête du remblai étanche amont suffisante pour l'évolution des engins pendant le chantier.

Drain en matériaux sableux auto filtrants

Le masque drainant en matériaux sableux auto filtrants (Figure 2) se met en œuvre directement au contact du remblai étanche dans la mesure où il respecte la règle de filtre, permettant de garantir le non entraînement des fines constitutives des remblais étanches dans le massif drainant.

En revanche, en face supérieure, la mise en place d'un géotextile de séparation contre les sables est indispensable pour éviter leur pollution lors de la mise en œuvre du remblai de recharge aval en tout-venant. Le drain classique en

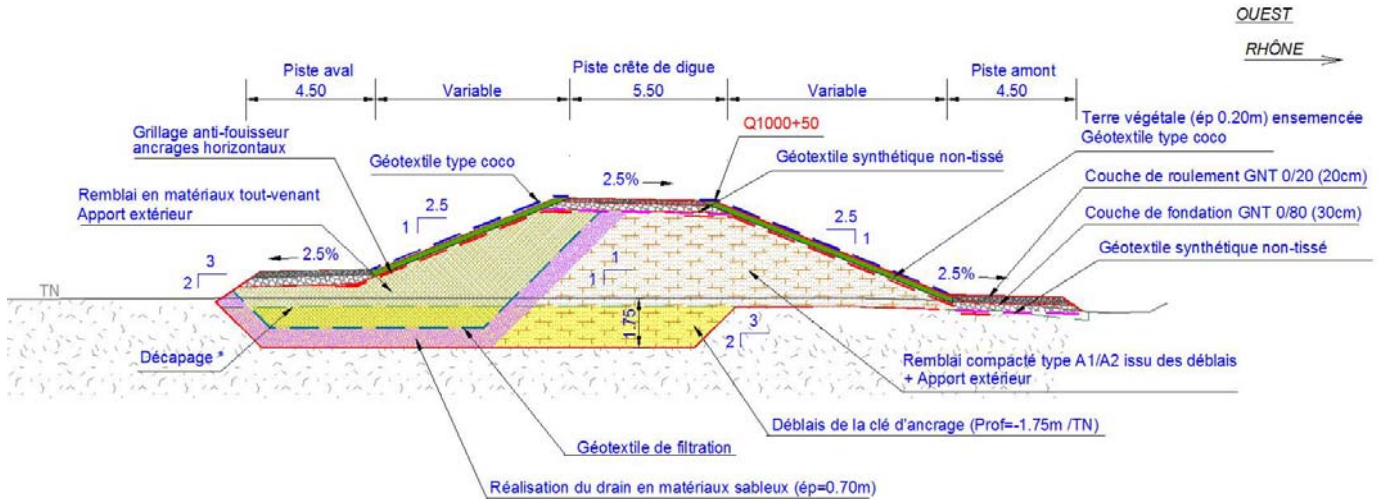


FIGURE 2: COUPE TYPE DE LA SOLUTION ENVISAGÉE AVEC DRAIN EN SABLE

matériaux sableux a une capacité d'absorption importante et parfaitement maîtrisée en fonction de la qualité des matériaux qui le constituent.

La bonne fonctionnalité de l'ouvrage nécessite cependant une courbe granulométrique régulière du sable et une mise en œuvre irréprochable des matériaux sableux qui ne doivent pas être pollués par des remblais divers pour garantir leur perméabilité. De plus, la réalisation du massif en sable drainant auto filtrant avec une pente de 1H/1V dans le cœur de digue est rendue complexe par les différentes strates à réaliser sur une faible largeur d'ouvrage (Figure 3), avec un impact direct sur les cadences et le coût de l'ouvrage. C'est pourquoi, pour prendre en compte ces volumes "hors profil", le massif de sable a été considéré avec une épaisseur de 70 cm, pour un objectif de 50 cm fonctionnels.

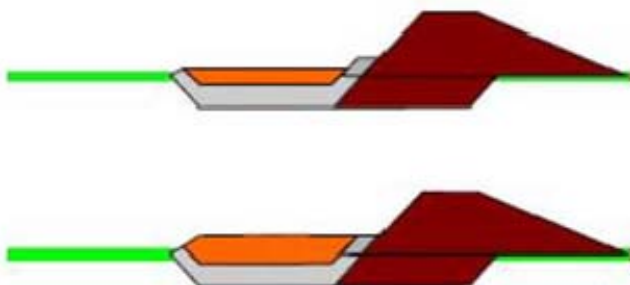


FIGURE 3: PHASAGE DE LA MISE EN ŒUVRE D'UN MASQUE EN MATÉRIEAUX GRANULAIRES

Drain en matériaux granulaires dans une chaussette géotextile

Le masque drainant en matériaux granulaires présente les mêmes caractéristiques géométriques et les mêmes fonctionnalités que celui en sable drainant auto-filtrant.

La transition avec les matériaux fins du remblai étanche est assurée par un géotextile synthétique non tissé, ce qui permet la mise en place de matériaux granulaires avec une granulométrie plus large et une perméabilité plus élevée, diminuant ainsi son épaisseur pour une même capacité de débit. Le choix d'un matériau granulaire concassé permet également de dresser les matériaux avec un fruit plus important que les matériaux sableux.

Il subsiste néanmoins un risque résiduel d'entraînements de matériaux fins vers le drain aval en cas de défaillance du filtre du fait de déchirures ou de mauvais recouvrements des lés de géotextile à la mise en œuvre.

Géocomposite de drainage, filtration et séparation

Le géocomposite de drainage mis en œuvre est un produit en 5 m de large de la gamme Enkadrain® Wide de chez Low & Bonar, il associe par couture en usine une nappe filamenteuse tridimensionnelle drainante (Photo 1) à deux géotextiles de filtration non-tissés thermoliés. De par sa structure homogène à micro-canaux, la nappe drainante retenue optimise sur toute sa surface la vitesse d'écoulement de l'eau dans sa direction privilégiée. Son épaisseur et sa masse surfacique sont déterminées en fonction des contraintes de chaque projet. Le produit utilisé offre une capacité de débit dans le plan sous 100 kPa supérieure à celle d'une couche de 70 cm de sable

de perméabilité 10^{-4} m/s, en intégrant pour un drainage sur pente selon la loi de Darcy le coefficient d'équivalence hydraulique tel que défini par Giroud et al. [2] à appliquer entre le géocomposite de drainage et la couche minérale.



PHOTO 1: STRUCTURE FILAMENTEUSE TRIDIMENSIONNELLE DRAINANTE

Les filtres non-tissés thermoliés sont utilisés depuis de très nombreuses années sur la gamme. Une étude de comportement à long terme face au risque de colmatage fut réalisée sur un filtre non-tissé thermolié de 125 g/m^2 au contact de sols fins de coefficient de perméabilité k_v inférieur à $3 \cdot 10^{-7}$ m/s, sur les sites de Gerolsheim et Wuppertal (Allemagne), Brixen et Innsbruck (Autriche), au terme de durées de service respectivement de 4 ans, 14 ans, 5 ans et 7 ans. La perméabilité du filtre est restée sur tous les sites supérieure à 1000 fois la perméabilité du sol environnant.

En matière de risque d'endommagement du géocomposite à la mise en œuvre, certains chantiers ont fait l'objet de planches d'essai à grande échelle, on peut citer par exemple la tranchée St Barnabé sur la deuxième rocade de Marseille sur laquelle un géocomposite de la même gamme, doté de filtres non-tissés thermoliés de 200 g/m^2 , recevait une couche de forme de 60 cm en graves $0/31^5$ et était mis à l'épreuve pendant plusieurs semaines dans une zone d'intense circulation d'engins de chantier. Au terme de cette mise à l'épreuve, le C.E.T.E d'Aix en Provence a agréé le géocomposite.

Les bénéfices tant techniques qu'économiques de la solution géocomposite face aux matériaux sableux auto filtrants ou granulaires sont les suivants :

- La mise en œuvre du dispositif est grandement facilitée par le fait que le complexe géocomposite respecte les trois fonctions de filtration, drainage et séparation en un seul produit.
- Une bien meilleure garantie de la bonne fonctionnalité de la solution mise en œuvre s'agissant d'un dispositif industriel fabriqué sous système de gestion de la qualité certifié ISO 9001, faisant l'objet du marquage CE selon NF EN 13 252 avec une durabilité minimum présumée de 100 ans.
- Le coût de l'ouvrage est diminué du fait de

l'absence d'apport de sable propre ou de matériaux drainants concassés (non compensé par le surcote lié au volume de tout-venant en plus) et la rapidité de mise en œuvre.

- Une solution qui préserve les ressources en matériaux de carrière : 63 000 m³ de matériaux drainants auraient été nécessaires sur le linéaire du projet,
- Limitation des émissions de CO₂ [1] et des nuisances du fait de la proximité des carrières d'approvisionnement de matériaux tout-venant, plus proches que les carrières de matériaux granulaires drainants : ceci s'est traduit par environ 250 000 km de trajets de poids lourds en moins pour la solution géosynthétique.

Les géocomposites de drainage sont des produits innovants dont les premières applications datent d'une quarantaine d'années. Ils appartiennent à la grande famille des géosynthétiques qui, de composition similaire, sont également utilisés depuis des décennies dans des environnements comparables et remplissent parfois des fonctions essentielles pour la sécurité des biens et des personnes et la protection de l'environnement. La France a été pionnière dans l'usage des matériaux géosynthétiques et, de ce fait, dispose sur son sol des ouvrages de Génie Civil avec inclusions géosynthétiques parmi les plus anciens au monde. Les premières expérimentations remontent aux années 1970. Une étude récente menée sur dix ouvrages anciens, six correspondant à des applications mécaniques et quatre à des applications hydrauliques, fut publiée au congrès Eurogeo 2016 [3], elle conclut sur le bon comportement à long terme des matériaux géosynthétiques dans les différentes applications.

Retours d'expérience chantier

La mise en place du géocomposite est une tâche qui nécessite peu de moyens matériels, mais des moyens humains bien organisés pour manipuler et déplier les lés sur le talus préalablement retaillé.

Les rouleaux de géocomposite ont été disposés à pied d'œuvre sur le linéaire de digue, en crête de remblai étanche, en fonction des quantités nécessaires selon les développés de chaque profil d'ouvrage.

L'atelier de mise en place du géocomposite était constitué d'une pelle à chenilles de 25 à 30 tonnes équipée d'un palonnier dérouleur et d'une équipe de 4 à 6 personnes à pied, réparties entre la crête d'ouvrage et le fond de clef aval, sans possibilité d'évolution à pied sur le talus à 1H/1V pour des raisons de sécurité du fait du risque de chute.

Les cadences de l'atelier de mise en place étaient rapides et permettaient de s'intercaler aisément entre les autres postes de création de l'ouvrage, à savoir le retaillage du talus de

remblais à réaliser préalablement et la création de la recharge aval en matériaux tout-venant à réaliser ultérieurement.

Du point de vue de l'entreprise, les enseignements à retenir suite à l'usage de ce type de produit sont :

- Gain de temps avec un seul géotextile à dérouler au lieu des deux prévus pour une chaussette drainante et aucune mise en œuvre de matériaux drainant,
- Facilité d'exécution par rapport aux matériaux drainants qui sont difficiles à mettre en œuvre sur une faible épaisseur et en talus, imposant un réglage au GPS, une pelle à grand bras, un approvisionnement par la crête de digue. La solution géosynthétique dispense l'entreprise de la gestion de stockage, d'approvisionnement et de reprise de matériaux. Le produit mis en œuvre est assez léger et simple à dérouler au palonnier.

Les principales difficultés rencontrées ont été engendrées par les conditions météorologiques du site, exposé à des vents particulièrement forts (mistral régulier avec bourrasques dans le couloir rhodanien) ; le déroulage des lés lors des épisodes de vent les plus intenses était impossible, nécessitant d'anticiper la réalisation des travaux à des périodes plus propices, puis de maintenir les géocomposites avec mise en place de matériaux pour éviter leur envol (Photo 2).



PHOTO 2: VUE D'ENSEMBLE DU GEOCOMPOSITE AVANT REALISATION DE LA RECHARGE AVAL

Conclusion

Au moment même où la France connaît des inondations inédites à répétition, cette communication tire les enseignements des travaux de grande ampleur réalisés pour le confortement de la digue du grand Rhône suite à la crue exceptionnelle de décembre 2003. Les solutions traditionnelles en matériaux granulaires ont été envisagées mais la solution géosynthétique constituée d'un géocomposite de drainage et de filtration s'est révélée ici la

plus performante, que ce soit aux yeux de la maîtrise d'œuvre ou de l'entreprise. Elle permet également aux maîtres d'ouvrages de disposer d'une seconde barrière de sécurité vis-à-vis des risques d'érosion interne en cas de défaillance du remblai étanche, ce qui est un point positif pour les études de danger réalisées sur ce type d'ouvrage. Une récente étude sur ouvrages anciens a montré par ailleurs que les géosynthétiques étaient des matériaux qui assuraient sur le long terme leurs fonctions parfois essentielles pour la sécurité des biens et des personnes. Cette communication démontre que la solution géocomposite entre désormais dans le panel des solutions existantes et qu'elle peut permettre aux maîtres d'ouvrages d'augmenter la sécurité de leurs ouvrages à des coûts qui restent acceptables, sous réserve que soient respectées les règles de dimensionnement et les guides de pose du géocomposite.

Remerciements

Aux équipes ingénierie des sols du groupe GINGER CEBTP MONTPELLIER qui ont participé à la conception géotechnique des ouvrages, et plus particulièrement à Christophe KOPIBIDA pour sa réflexion sur la problématique d'érosion interne et ses nombreuses contributions sur les digues de Camargue.

À l'ensemble des membres du groupement d'Entreprises GUINTOLI, CROZEL, MASONI, SLTP pour leur adaptabilité aux techniques nouvelles et leur application à l'exécution, qui ont permis la réalisation de cet ouvrage de qualité.

Références

- [1] E.A.G.M. *Comparative life cycle assessment of geosynthetics versus conventional construction materials, case 3, landfill construction drainage layer.* (www.eagm.eu)
- [2] Giroud, J.P., Zornberg, J.G., and Zhao, A., 2000, *Hydraulic Design of Geosynthetic and Granular Liquid Collection Layers*, Geosynthetic International, Special Issue on Liquid Collection Systems, Vol. 7, Nos. 4-6, pp. 285-380.
- [3] Gourc, J.P. & Delmas, Ph. (2016). *Behavior of "alive" earthworks with geosynthetics after several decades*, Eurogeo 6, Ljubljana, Slovénie, pp. 65-107.