



Analyse d'un ouvrage de bas de plage le brise-lames de Sainte-Anne à Salins de Giraud : un exemple unique en France

Olivier Briand

Docteur-es-Sciences, Société Géomer

Denis Gieulles

Directeur, Société Géomer

Résumé :

Le Géotube ® est un concept innovant de conteneurisation de matériaux qui peut constituer tout ou partie d'ouvrage de protection des littoraux sableux. La première expérimentation française en tant que brise-lames a été réalisée sur le littoral de la Camargue en juillet 1992.

Dimensionné selon les règles de l'art ce brise-lames immergé n'a pas été implanté à la distance à la côte prédéfinie. La cote d'arase du Géotube ® est descendue de façon significative au cours des mois suivant son implantation démontrant l'absolue nécessité de mettre en place un système anti-affouillement. Les observations et le suivi du site ont permis d'expliquer l'évolution de la zone aménagée et concernant le géotextile lui-même, ont montré sa bonne résistance.

1. Introduction

La protection de l'exploitation salinière des Salins de Giraud a nécessité la mise en place d'ouvrages pour lutter contre l'érosion de son littoral. Depuis 1987, année où ont été construits les premiers ouvrages, la tendance s'est globalement inversée : d'une érosion de la plage de 5 à 10 m / an en moyenne, on est passé à un engraissement moyen des plages de 4 à 5 m / an. La région de Sainte-Anne n'a toutefois pas suivi cette évolution. En effet, après une phase d'accrétion très marquée, l'érosion a fortement repris, menaçant à plusieurs occasions la digue frontale entre les épis 1S, 2S' et 3S. nous avons mis en évidence les causes de ce renversement de tendance et proposé des aménagements entre les épis 5V'-1S et les épis 2S'-3S (Figure 2). Au début de l'année 1992, il a été décidé de réaliser deux brise-lames de conception très différente, l'un étant émergé et en enrochement, l'autre immergé en géotube. Le premier était donc classique et le second expérimental. C'est de ce dernier dont il sera question ici.

2 Analyse de l'état initial

2.1 Situation géographique

La zone étudiée constitue la frange littorale la plus au sud-est du complexe de la Grande Camargue (Bouches du Rhône) (Figure 1). S'étendant sur environ 25 Km au droit des exploitations salinières de la C.S.M.E., cette zone constitue aussi la première partie de la côte orientale du delta du Rhône. Elle est limitée à l'ouest par le Golfe de Beauduc et à l'est par l'embouchure du Rhône. Un plan d'aménagement général sur toute la longueur du littoral compris entre la pointe de Beauduc et le Rhône a été établi, par Géoconcept, pour les années 1985-1990. Ce plan concernait les zones où l'érosion s'étant accélérée, il existait un risque majeur pour l'activité de la C.S.M.E. en cas de la pénétration de la mer.

2.2 Epis

Les ouvrages transversaux utilisés sont des épis perpendiculaires au rivage. La côte des Salins de Giraud orientée Est-Ouest est en effet soumise aux houles moyennes opposées Sud-Ouest et Sud-Est. De l'effet de réfraction sur les fonds résulte, pour les deux sens principaux des houles, des angles d'incidence faible (5 à 10°) de part et d'autre de l'axe Nord-Sud. Les épis perpendiculaires à la ligne de rivage sont donc dans ce cas les plus efficaces. Les épis forment un barrage en travers du transport littoral, qui se fait essentiellement au niveau des rides, et provoquent un dépôt de sable sur leur face amont. En contre partie, ils suppriment tout apport de matériaux à l'aval où le bilan sédimentaire devient fortement négatif et entraîne de ce fait une érosion sur cette partie du littoral. On observe donc deux phénomènes parallèles, un dépôt à l'amont et une érosion à l'aval. Entre 1985-1990, il a ainsi été construit 21 épis.

Dans la région qui nous interesse ici, la région de Sainte-Anne à l'Ouest du Grau de la Dent. Douze épis ont été réalisés. Ils comprennent 4 épis longs et 9 épis courts qui alternent au droit de l'étang de Sainte-Anne. Ils sont régulièrement espacés de 220 m. La longueur en mer des épis a été définie d'une part d'après les photographies aériennes qui ont précisé la position moyenne de la première ride sous-marine (par où s'effectue la plus grande majorité du transit et qu'il est donc intéressant d'atteindre lors de la mise en place de l'épi afin de couper ce transit), et d'autre part, par les levés bathymétriques effectués dans l'année en cours. Le choix s'est porté, dans la majorité des cas, sur le principe d'épis courts (moins chers). Ceux-ci rendent la zone de jet de rive très irrégulière et réduisent ainsi le transport littoral. Toutefois ces épis ne provoquent pas de dépôts massifs, mais permettent seulement d'arrêter l'érosion en cours. Compte tenu de la pente moyenne des fonds ($1.8 < i < 2$ %) l'extrémité des épis atteint généralement la cote de -1.50 C.M., et ce, à une distance moyenne de la côte de $L = 100$ m. Pour une meilleure stabilité et une meilleure efficacité (risque de contournement) les épis sont enracinés, à terre, à la cote de +1.50 C.M., qui est la limite des plus hautes mers. Ceci représente environ une longueur moyenne de 50 m en terre. La technique de construction utilisée aux Salins de Giraud est basée sur le principe d'enrochements posés sur un géotextile qui joue à la fois le rôle de filtre et d'armature mécanique de répartition des contraintes sur un sol mou (sables et lentilles d'argile).

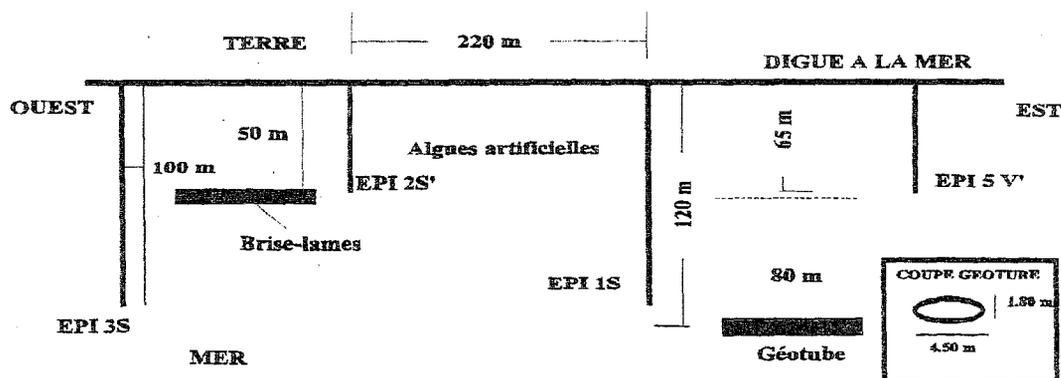


Figure 2 : Schéma d'aménagements des épis 5V'-1S et des épis 2S'-3S .

Cette analyse détaillée du trait de côte, dans la région de Sainte-Anne, montre que la reprise de la tendance érosive a été très importante pour certaines alvéoles qui ont même vu leur trait de côte revenir en pied de digue. Cette constatation est surtout valable pour les trois alvéoles comprises entre les épis 1S, 2S', 3S et 4S'. La digue Sainte-Anne comprise entre les épis 1S et 3S a d'ailleurs nécessité un rechargement de 500 tonnes d'enrochements après la forte érosion dont elle a été l'objet au cours des deux fortes tempêtes qui ont affecté le littoral des Salins en novembre 1991.

2.3 Analyse des causes de l'érosion à SAINTE ANNE

Suite à ces coups de mer, et étant donné les risques que représente une rupture de la digue à cet endroit, j'ai étudié les causes de cette reprise de la tendance érosive et proposé des aménagements qui permettent d'inverser cette tendance. Afin de déterminer les raisons pour lesquelles la région de Sainte-Anne est en défense frontale et est donc, par conséquent, soumise à une pression érosive plus forte que partout ailleurs, des profils bathymétriques et des plans de vagues ont été réalisés. Ces études permettent de mieux définir le comportement des houles dans ce secteur.

Les plans de houles ont été réalisés à l'aide du logiciel Géoconcept de calcul "waveref", suivant les principales directions de houle: Sud-Est, Sud-Sud-Ouest, Sud-Sud-Est, Sud-Ouest et Sud.

Ces tracés ont permis de déterminer la propagation de la houle du large vers le rivage. Quelque soit le régime retenu, on observe une convergence des orthogonales dans la zone de Sainte-Anne. Cette concentration s'accompagne d'une incidence faible des houles avec pour conséquence l'augmentation de la pression érosive dans cette zone. En effet, au large, les houles de secteur Est, Sud-Est et Sud-Ouest changent de direction en passant sur les hauts fonds, de l'ancien prodelta du vieux Rhône. Les changements de direction, vers une très faible incidence, provoquent des courants de retour dirigés vers le large. Les courants perpendiculaires au rivage vont soutirer le sable accumulé entre les épis, pour le transporter plus au large. Ces courants de retour compensent l'apport des masses d'eau au littoral sous l'effet du vent et des houles. On peut ajouter aussi que ce sont les houles de direction Sud-Est, où sont atteintes des valeurs de 120 à 140 % de la houle au large, qui induisent la plus forte agitation à la côte. Cette constatation coïncide d'ailleurs très bien avec les données recueillies sur le terrain où l'on a montré que, dans les alvéoles, l'érosion est surtout marquée à l'Ouest.

3 Conception des aménagements et fonctionnement

3.1 Aménagement de l'alvéole comprise entre les épis 5V' et 1S

Dès 1990, je proposais à la C.S.M.E. de faire des essais afin de compléter les ouvrages déjà réalisés par des aménagements de type brise-lames immergés en Géotube ®. Ces ouvrages en géotextile parallèles au rivage relieraient les épis entre eux pour créer des alvéoles mieux abritées des houles. Ces brise-lames particuliers offrent l'avantage d'un coût d'investissement très faible par rapport aux ouvrages en enrochements. Durant l'été 1992, un consensus ayant été réalisé entre les différents partenaires que sont PRODIREG (distributeur des géotextiles) et la C.S.M.E., la mise en place d'un Géotube ® immergé a été réalisée à titre expérimental entre les épis 5V' et 1S. Le choix de l'alvéole a été fait par la compagnie de Salins de Giraud en fonction de sa vulnérabilité.

3.1.1 Dimensionnement de l'ouvrage

Dimensionné comme un ouvrage émergeant pour son positionnement, nous avons repris les mêmes caractéristiques que pour l'ouvrage classique dimensionné dans une des cellules latérales. La longueur hors tout de l'ouvrage devait être de 80 mètres et il devait être implanté à 65 m de la ligne de rivage. Sa cote d'arase, fixée à -1.00 CM, avait été retenue d'après les résultats exposés dans la thèse de LALAUT (1992) indiquant une efficacité plus accrue à -1.00 qu'à la cote 0.00 CM. Il est à noter qu'il n'a pas été tenu compte des conseils de Géoconcept pour son positionnement et particulièrement pour la distance de l'ouvrage à la côte. En effet, le diamètre initial du Géotube ® était prévu de 1.80 m, alors celui livré sur le chantier avait un diamètre de 3.20 m. Face à cette nouvelle donnée, les deux partenaires (CSME et Prodirég) ont modifié, sans tenir compte des règles de l'art, le positionnement de l'ouvrage. Celui-ci a été implanté à 120 m de la ligne de rivage et la cote d'arase obtenue à la réalisation était proche de 0.00 C.M.. Je pense que malgré cette variation du diamètre du Géotube®, il aurait fallu conserver le positionnement initialement défini. Cela aurait assuré, in fine, une cote d'arase et une largeur de crête offrant une bonne efficacité à l'ouvrage expérimental. Ce ne fût malheureusement pas le cas ici comme nous le verrons par la suite.

Les Géotubes sont constitués par une enveloppe de géotextile tissé de haute résistance mécanique, inerte à l'eau de mer, traitée contre l'action des U.V. et remplie par des matériaux fins (sables) prélevés in situ. Les enveloppes sont réalisées en usine et remplies de sable prélevé sur place au moyen d'une pompe suceuse qui aspire et refoule le mélange eau + sédiments dans le Géotube ®. La texture du géotextile est telle que seule l'eau de mer en ressort et que le concentré (sables) remplit le Géotube ®. Après remplissage, la hauteur du géotube ® représente environ en théorie 80 % du diamètre initial du Géotube ®.

3.1.2 Caractéristiques du géotube ® installé entre les épis 5V' et 1S

Le géotube ®, de 80 m de long, mis en place au Salin de Giraud est constitué par un géotextile de type tissé, possédant 5 cheminées de remplissage disposées tous les 20 mètres (photo 1). Son diamètre est de 3.20 m. Une fois rempli, la hauteur maximale atteinte était de 1.70 m et ce pour une largeur maximale de 4.50 m. Ce géotube ® joue le rôle d'un brise-lames immergé à une cote proche du 0.00 C.M.. Il a été disposé à 120 m du rivage, c'est à dire un peu plus au large du musoir de l'épi 1S. A cette distance de la côte, des relevés bathymétriques réalisés peu de temps avant les travaux de pose, ont montré que la hauteur d'eau y était en moyenne de 1.80 m. La mise en place de ce géotube ® a été effectuée du 20 au 27 Juillet 1992. Elle a donc été réalisée à l'aplomb d'une des deux rides littorales existant le long de cette partie de la côte. Ces rides, présentes en permanence, sont modelées et migrent de façon très significative sous l'action des houles. Ce phénomène a été confirmé récemment sur le littoral sableux du Languedoc-Roussillon grâce à un suivi topographique précis, corrélé aux états de mer observés.

3.2 Evolution du littoral en arrière du géotube ®

L'évolution du littoral en arrière du géotube ® immergé est moins marquée et surtout moins spectaculaire que celle observée en arrière du brise-lames émergé en enrochements situé dans l'alvéole voisine. Ceci s'explique aisément par le fait que le brise-lames émergé joue le rôle d'une véritable barrière de protection, quasiment face à l'action des houles, alors que le Géotube ® immergé joue le rôle d'un simple atténuateur. Cet essai n'ayant pas tenu compte du positionnement et du dimensionnement définis par de l'étude préalable, il est très délicat de

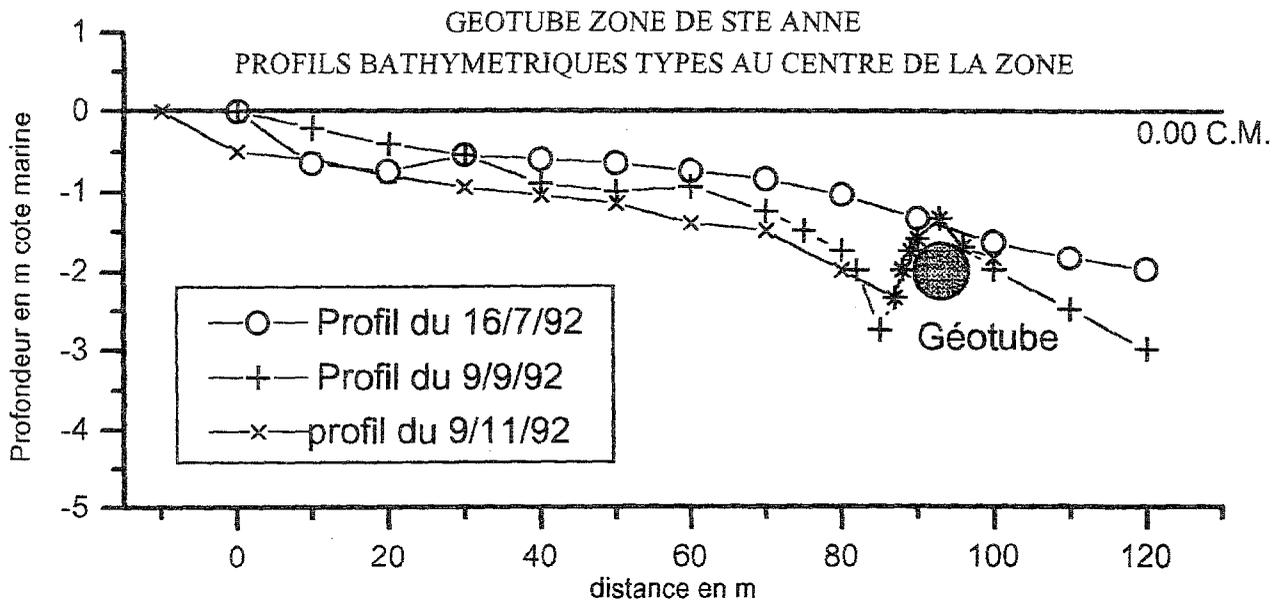


Figure 3 : Profils bathymétriques au droit de l'implantation du géotube, le 16/7/92, le 9/9/92 et le 9/11/92



Photo 1 : Mis en place du géotube à partir de la barge(20/07/92)

déterminer, par avance son effet sur les houles et donc sur l'érosion et sur la sédimentation de l'alvéole aménagée. Seul un suivi régulier de la bathymétrie de l'alvéole et de l'état du Géotube ® pouvait apporter une réponse. Nous avons donc réalisé ce suivi au cours des mois suivants.

3.3 Suivi de la morphologie de la plage dans l'alvéole 1S-5V'

L'analyse de l'évolution du littoral en arrière du Géotube ® a été réalisée à partir de profils bathymétriques. Ces derniers ayant été effectués avant et après la mise en place de l'ouvrage, leur comparaison permet de définir l'évolution des fonds opérée au cours des mois qui ont suivi la réalisation.

3.3.1 Analyse et interprétation

La comparaison des profils du 16/07/92 et du 09/09/92 + 9/11/92 (Figure 3), respectivement avant et après la mise en place de l'ouvrage, montre que le géotube ® a joué le rôle qui lui avait été assigné : sur la grande majorité des profils, on peut observer une remontée des petits fonds. Celle-ci semble d'ailleurs plus développée dans la partie Ouest de l'alvéole. Cette évolution peut être considérée comme la conséquence de l'influence du Géotube ® sur le coup de mer de provenance S.E du 31 août 1992. Globalement, en arrière de l'ouvrage, le bilan sédimentologique semble négatif dans la partie Est de l'alvéole alors que dans la partie Ouest le bilan semble plus en équilibre. Ces observations sont qualitatives et non quantitatives. D'autre part la bathymétrie a été très perturbée juste en arrière de l'ouvrage (coté terre) sur une dizaine de mètres de largeur. On observe une fosse d'érosion qui atteint la cote -2.30 CM. Cette érosion est due aux projections et courants turbulents qui se créent lors du déferlement sur l'ouvrage et de son franchissement par les lames. Les profils montrent également une augmentation de la profondeur au large de l'ouvrage due, cette fois, à son effet réflecteur. On peut faire ici une remarque sur la forme arrondie de l'ouvrage qui permet probablement une réduction de l'érosion en aval (côté plage) par rapport à un ouvrage classique en enrochements qui présentera des arêtes vives. De même, l'arrondi influencera peu l'aspect du fond en amont (côté large). L'ouvrage a donc bien joué le rôle d'écrêteur des fortes houles comme j'en ai fait l'observation visuelle lors de la tempête du 31/08, qui est le seul événement ayant pu entraîner de telles modifications morphologiques. Comme nous l'avons noté seuls les petits fonds ont alors progradés contrairement au schéma habituel des tempêtes qui ont tendance à faire migrer les sédiments de la plage aérienne et des petits fonds vers le large générant un recul de la ligne de rivage.

Après un mois et demi de fonctionnement le géotube ® s'est enfoui et enfoncé : sa cote d'arase proche du 0.00 CM lors de sa mise en place, est descendue à - 1.25 C.M. et cela est probablement à relier à l'action de la tempête du 31/08/1992. Je pense en effet que cet affaissement résulte du déplacement de la ride sur laquelle le géotube ® avait été initialement mise en place, celle-ci ayant migré sous l'action de la tempête. D'autre part, l'érosion générée en arrière de l'ouvrage, par le déferlement des lames sur cet obstacle, a également pris part à la déstabilisation du géotube ® qui a pu glisser vers la fosse d'érosion, entraînant l'abaissement de sa cote d'arase. D'après LALAUT, cette cote semble globalement plus favorable. En effet, par houles moyennes à fortes, un ouvrage arasé à la cote - 1.00 C.M. joue parfaitement son rôle d'atténuateur des grosses vagues, mais laisse passer les faibles houles qui, a priori, favorisent la remontée des sédiments vers les petits fonds. Les levés bathymétriques que j'ai ensuite réalisés, le 09/11/1992, montrent un amaigrissement généralisé des fonds sous-marins, seule la fosse d'érosion en arrière du géotube ® s'est partiellement comblée. Cette évolution s'intègre logiquement dans le schéma classique de variations saisonnières conduisant à un

amaigrissement hivernal. La position du géotube ® n'a pas subi de variation, notamment pour sa cote d'arase qui est restée à la cote -1.25 CM. J'ai réalisé une dernière inspection sous-marine de l'ouvrage au cours du mois de mai 1993 et ce, sans réaliser de profils bathymétriques. Le Géotube ® s'est ensouillé presque totalement et son sommet se situait à la cote -2.50 CM sur un fond à -3.00 CM. Il ne joue donc plus aucun rôle. Cette dernière observation confirme les mouvements très importants qui affectent les rides littorales et donc l'importance du positionnement de ce type d'ouvrage par rapport à ces rides.

3.3.2 Bilan après 10 mois

Rapidement et à l'occasion de la tempête du 31/08, l'ouvrage s'est ensouillé et sa cote d'arase est descendue à -1.25 CM. Puis au cours de l'hiver 92-93 cette situation s'est amplifiée la tête du Géotube® se situant à -2.50 CM en Mai 1993. Les observations concernant le géotextile lui-même ont montré sa bonne résistance. Il s'est couvert très rapidement d'une couche d'algues et n'a pas subi de dégradation apparente (déchirure ou abrasion).

4 Propositions et recommandations pour un système anti-affouillement

La nécessité d'un système anti-affouillement apparaît clairement dans le comportement du géotube mis en place à Salin de Giraud. Le procédé Longard ®, provenant d'une société danoise LONGARD AS, est très similaire au géotube en ce qui concerne le tube géotextile mais apporte en complément une solution tapis anti-affouillement associée aux conteneurs. Ce tapis est constitué d'une nappe géotextile de dimensions adaptées, bordée par des tubes de faible diamètre (250 mm) qui servent au lestage et à l'ancrage de la nappe. On peut également envisager de procéder au recouvrement de cette nappe anti-affouillement par des matériaux de granulométrie adaptée aux conditions hydrodynamiques, ce un lit anti-affouillement jouera le rôle de filtre granulaire afin d'éviter la contamination, voire la perte des éléments de la couche de blocs dans les matériaux naturels du site (sables, vases, limons ...). Le tube étant ensuite posé sur ce tapis "nappe + matériaux".

Je propose également de réaliser ce tapis anti-affouillement au moyen de nappes tridimensionnelles de type "Cofrabetex" remplies de matériaux sableux. Les nappes tridimensionnelles de type "Cofrabetex" sont réalisées en assemblant deux nappes de géotextile tissé par des coutures tous les 0.30 m à 0.50 m qui délimitent ainsi des tubes en cloisonnant la structure. Ces nappes peuvent ensuite être accrochées à un palonnier et remplies par le matériau choisi, du sable au béton. Le système permet une mise en oeuvre rapide et évite les problèmes liés aux manipulations et mise en place de nappes géotextile sous l'eau. Les dimensions de la protection anti-affouillement, notamment largeur en avant et en arrière de l'ouvrage, devront tenir compte des connaissances acquises sur la position et l'importance des érosions générées par les brise-lames émergés ou immergés. La thèse de LALAUT, grâce à la modélisation sédimentologique de ces érosions, apporte des informations très intéressantes même si tous les cas de figures ne sont pas traités. On notera par exemple que l'érosion en arrière d'un brise-lames immergé possédant une cote d'arase à (-1,00 CM) est plus importante que pour un même ouvrage arasé à la cote (0,00 CM) et inversement en ce qui concerne les abords de l'ouvrage. Les résultats du modèle réduit sédimentologique que j'ai réalisé pour la solution Géotube ® en butée de pied indiquent que la protection anti-affouillement doit avoir une largeur d'au moins 5 mètres de part et d'autre de l'ouvrage.

5 Conclusion

Malgré son mauvais positionnement initial, l'ouvrage a joué un rôle protecteur du trait de côte notamment au cours de la tempête du 31/08/92. Cependant l'absence de système anti-affouillement a contribué à l'ensablement total du Géotube ® en quelques mois. Il a alors perdu toute l'efficacité observée au cours des deux premiers mois. Des deux brise-lames réalisés, seul l'ouvrage classique a permis une protection par accrétion du littoral. La possibilité de comparer l'efficacité des deux concepts a été rendue caduque par l'ensoulement du Géotube®.

Cette réalisation expérimentale a donc permis de confirmer la relative facilité de mise en oeuvre de tels ouvrages pour un coût faible puisqu' inférieur à 3000 F / ml. Elle a également permis de vérifier la bonne résistance du géotextile soumis à des conditions hydrodynamiques fortes et à des conditions abrasives sévères. Ce type d'ouvrage pourra être utilisé avec succès si sa conception et son implantation sont réalisées selon les règles de l'art en prenant bien en compte qu'il est très défavorable de l'implanter sur une ride littorale mobile par essence. Il est également impératif d'y associer un système anti-affouillement qui assurera la stabilisation de la cote d'arase, paramètre essentiel à l'efficacité des brise-lames immergés.

Bibliographie :

BLANC J.. - Recherches de sédimentologie appliquée au littoral du delta du Rhône , de Fos au Grau du Roi . - CNEXO, 75/1193, 1977. - 69 p.

BRIAND O.. - L'utilisation des géotextiles dans les ouvrages de protection des littoraux - Nouvelle Thèse - Laboratoire de Géomorphologie - Université de PARIS-SUD, 1995.

BRIAND O. et BAUD PH.. - Etude hydrodynamique et sédimentologique du Golfe de Beauduc. Camargue -France - GEOCONCEPT, CSME, 1991.

LALAUT Y.. - Fonctionnement et efficacité des ouvrages statiques de protection des littoraux sableux. - Nouvelle Thèse, 3 tomes.- Laboratoire de Géomorphologie - Université de PARIS-SUD, 1992.

RADULESCU M. et al.. - Changements morphologiques à l'échelle pluriannuelle sur une côte à barres (Golfe du Lion, Mer Méditerranée, FRANCE). - Actes des 3 èmes journées nationales génie civil-génie cotier, thème II.- Sète : PARALIA et Presses Universitaires de Perpignan, Sept. 1994. - p. 95-103.

REY V., CESSÉLIN N., BELZONS M. - Interaction dynamiques ondes de gravité-fond constitué de sédiments en présence d'obstacles rectangulaires. - Actes des 3 èmes journées nationales génie civil-génie cotier, thème II.- Sète : PARALIA et Presses Universitaires de Perpignan, Sept. 1994. - p. 75-79.