



Expérimentation du procédé Rebamb© sur la plage de Vaugrenier (Villeneuve-Loubet)

Pierre FARNOLE¹, Florian BREHIN¹, Claire POISSON², Anne-Marie MALLAVAN²

1. Biobamb sas, 40/54 avenue Sainte-Marguerite, 06200 Nice, France.
biobamb.sas@gmail.com
2. Département des Alpes-Maritimes, Service Etudes et Travaux neufs 1, Direction des Routes et des Infrastructures de Transport, 174 Bd du Mercantour, BP N°3007 - 06201 Nice, France. *c.poisson@departement06.fr ; ammallavan@departement06.fr*

Résumé :

Le Département des Alpes maritimes, la SAS BIOBAMB et le CNRS mènent le projet d'expérimentation du procédé REBAMB© dont l'objectif est d'atténuer l'effet des vagues lors des fortes tempêtes par l'immersion de plusieurs rangées de bambous au droit de la plage de Vaugrenier à Villeneuve Loubet. L'expérimentation est décomposée en quatre (4) phases résumées ci-dessous :

- a) La phase 0 nommée "Etude de faisabilité" ;
- b) La phase 1 nommée "Dossiers réglementaires" ;
- c) La phase 2 nommée "Travaux" ;
- d) La phase 3 nommée "Suivi".

Nous présentons dans cette publication le cheminement qui a conduit Pierre Farnole à inventer et concevoir le procédé Rebamb© dans un objectif de développer une technique "souple" et "écologique" de protection du littoral contre le phénomène d'érosion et l'aléa de submersion marine des zones urbaines. Après avoir présenté le concept et son application, nous présenterons les différentes composantes du suivi scientifique qui doit se poursuivre sur 3 années :

- e) Suivi de l'aléa de submersion de la RD 6098 et du phénomène d'érosion ;
- f) Suivi morphologique du trait de côte ;
- g) Suivi de sédimentologique de la plage ;
- h) Suivi de la colonisation du récif par la faune et la flore.

Les attentes du Département en matière de protection à l'aide du procédé Rebamb sont de réduire les coupures périodiques de la RD 6098 à une seule coupure par an au lieu de 5 à 6 actuellement. Bien évidemment, il s'agit de l'objectif minimum recherché. L'expérimentation doit démontrer son efficacité à la fois par une faible atténuation de la houle lors des tempêtes mais aussi favoriser la construction de barres d'avant-côte favorables au déferlement des plus fortes houles lors des tempêtes avant que celles-ci n'atteignent le rivage.

Mots-clés : Innovation technologique, Protection contre l'érosion littorale, Génie côtier, Aléa de submersion, Hydraulique maritime, Morphologie, Sédimentologie.

Thème 7 – Risques côtiers

1. Introduction

Les lignes directrices OSPAR sur les récifs artificiels (référence 2012-03) mentionne en annexe N°11 que parmi les applications étudiées par la communauté scientifique se trouvent la lutte contre les inondations et l'érosion du littoral.

Outre le fait d'avoir un impact sur le milieu vivant, les récifs artificiels sont susceptibles de modifier localement les conditions hydrodynamiques. En effet, la présence des récifs artificiels à faible profondeur modifie la rugosité du fond et peut avoir un impact significatif sur la propagation de la houle et des courants. Or, la dissipation de l'énergie de la houle et la diminution des courants au voisinage du récif aura une incidence sur la capacité de transport des sédiments. Les récifs artificiels peuvent donc avoir une double fonction : écologique en constituant un support favorable au développement de la faune et la flore, mais aussi, stabiliser les fonds marins pour lutter contre l'érosion.

Plusieurs techniques souples et innovantes ont été développées soit en intervenant directement sur la plage elle-même soit en intervenant sur l'avant-côte. On peut citer les boudins en géotextile installés généralement parallèlement au rivage pour constituer une butée de pied (exemple de Cannes-Croisette) ou bien des systèmes de drains enfouis sous le sable pour accroître l'effet de tassement dans la zone de jet de rive ou bien encore le procédé qui consiste à cimenter le sable à l'aide d'un support métallique (cathode) enfouie aussi sous le sable. L'ensemble de ces procédés sont susceptibles de stabiliser la plage soit en modifiant le substrat ou bien en créant des obstacles pour atténuer ou tout au moins tenter de stabiliser la plage.

Le procédé Rebamb© (FARNOLE *et al.*, 2012 ; ERAMM, 2012) repose sur un nouveau concept qui ne vise ni à "casser la houle" ni à modifier la nature du substrat sédimentaire, mais à amortir faiblement les houles les plus fortes pour diminuer le franchissement et l'érosion des zones côtières urbanisées mais aussi favoriser la sédimentation dans des zones dépourvues de barre d'avant-côte. L'objectif à atteindre est de créer un banc de sable entre le rivage et le récif de sorte à provoquer un prédéferlement des houles avant que celles-ci n'atteignent le rivage.

La mise en œuvre du procédé Rebamb sur la plage de Vaugrenier est l'aboutissement de plusieurs années d'études qui ont été concrétisées par l'obtention des autorisations nécessaires à l'expérimentation (figure 1). Le concept mis en œuvre s'appuie sur les résultats des essais en canal à houle menées en 2012 et 2013 au sein du laboratoire de recherche LOMC (Laboratoire Ondes et Milieux Complexes - Université du Havre) (FARNOLE *et al.*, 2013). Il privilégie la structure haie mobile beaucoup plus souples d'utilisation que des structures rigides qui sont lourdes, complexes à mettre en œuvre et difficilement réversibles.

Notre choix s'est porté sur le bambou qui est un matériau léger et très résistant et une architecture ayant la forme d'une haie mobile.

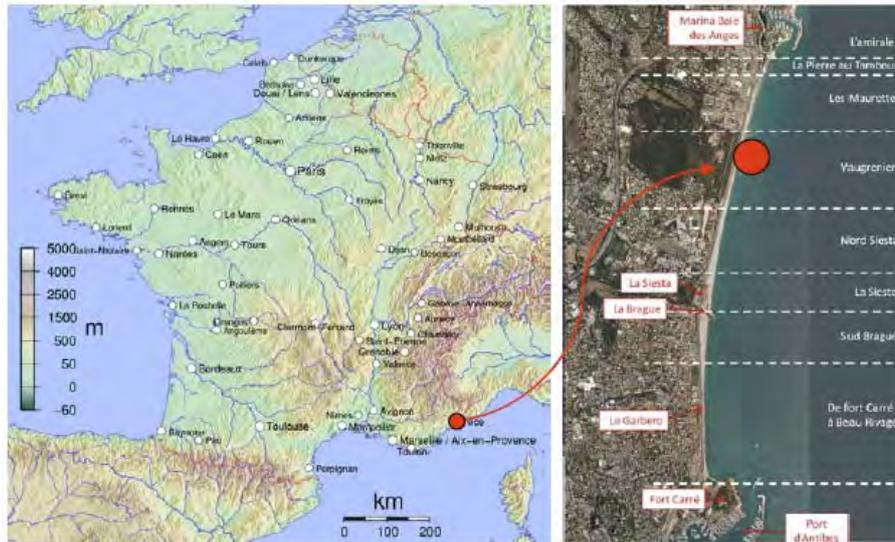


Figure 1. Localisation du site expérimental : Plage de Vaugrenier.

2. Rappel des résultats des essais en canal à houle

Les essais se sont déroulés au LOMC de l'université du Havre dans un canal dont les dimensions sont 35 m de long, 0,9 m de large et 1,20 m de haut (FARNOLE *et al.*, 2012 ; ERAMM, 2012 & 2013). Les tests ont été effectués sur fond mobile (sable 100 μm) à l'échelle du modèle 1/7. Plusieurs réseaux de haies ont été testées (3,4,5 et 6) avec mesure du rapport entre la houle incidente et la houle transmise mais aussi mesure de par rayon laser de la variation bathymétrique au cours de l'expérimentation.

2.1 Effets sur l'atténuation de la houle

En 2013, les essais en canal à houle ont donné des résultats satisfaisants en termes d'atténuation de la houle incidente et dépôts sédimentaires en arrière du récif.

En effet les écarts entre la Hs transmise et la Hs incidente confirment l'effet d'amortissement par les réseaux de haies mobiles bien qu'en termes d'atténuation celle-ci soit plus faible pour les haies mobiles que pour les haies fixes dont la densité est supérieure. L'atténuation moyenne est calculée d'après le tracé des droites de régression linéaire réalisé sur chaque réseau de haies testées (figure 2) :

- 7,6% pour un réseau de 6 haies mobiles,
- 6,9% pour un réseau de 5 haies mobiles,
- 6,2% pour un réseau de 4 haies mobiles
- 6% pour un réseau de 3 haies mobiles.

Les résultats indiquent selon le nombre de rangées de haies une atténuation faible mais progressive de la houle incidente (figure 2). Ce résultat est inférieur en termes d'amortissement aux résultats obtenus avec les haies fixes ceci en raison d'une densité plus importante pour les haies fixes (0,4%) qui augmente de 5% l'atténuation par rapport aux haies mobiles.

Thème 7 – Risques côtiers

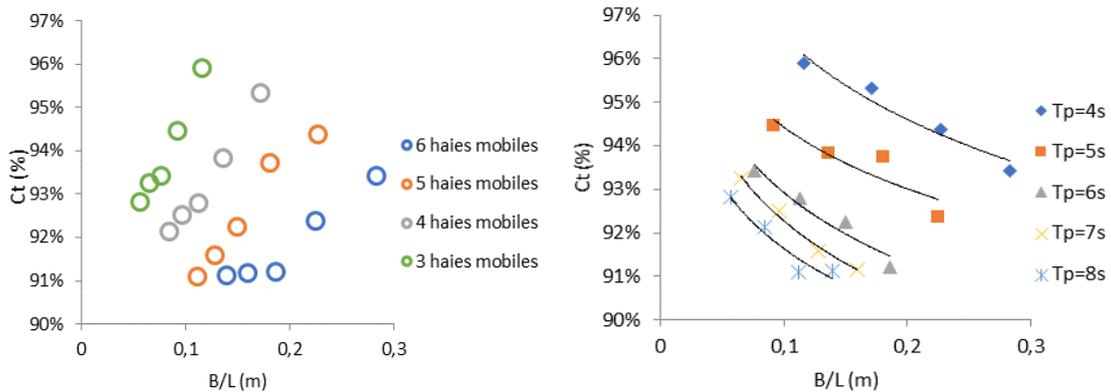


Figure 2. Coefficient de transmission en fonction du nombre de rangées de haies (in FARNOLE et al., 2012 et FARNOLE et al., 2013).

2.2 Effets morpho sédimentaires

Les résultats obtenus avec les réseaux de haies mobiles ont montré un effet nettement positif par rapport aux haies fixes quant à l'accrétion du fond sableux entre le récif et la plage (figure 3). C'est là un des principaux objectifs recherchés avec l'expérimentation qui est de favoriser la construction d'une barre d'avant-côte afin de créer des conditions favorables au déferlement des plus fortes houles avant qu'elles n'atteignent le rivage. Les essais réalisés en canal à houle sur un fond sableux confirment l'efficacité du réseau de haies mobiles. La figure 3 donne le volume déposé en m³ en aval du récif en fonction du réseau de haie et de la période de la houle. Le dépôt maximum de 190 m³ est atteint pour un réseau de 5 haies mobiles et une période pic de houle de 7 s. Pour la même période, on atteint 145 m³ avec 4 réseaux de haies mobiles.

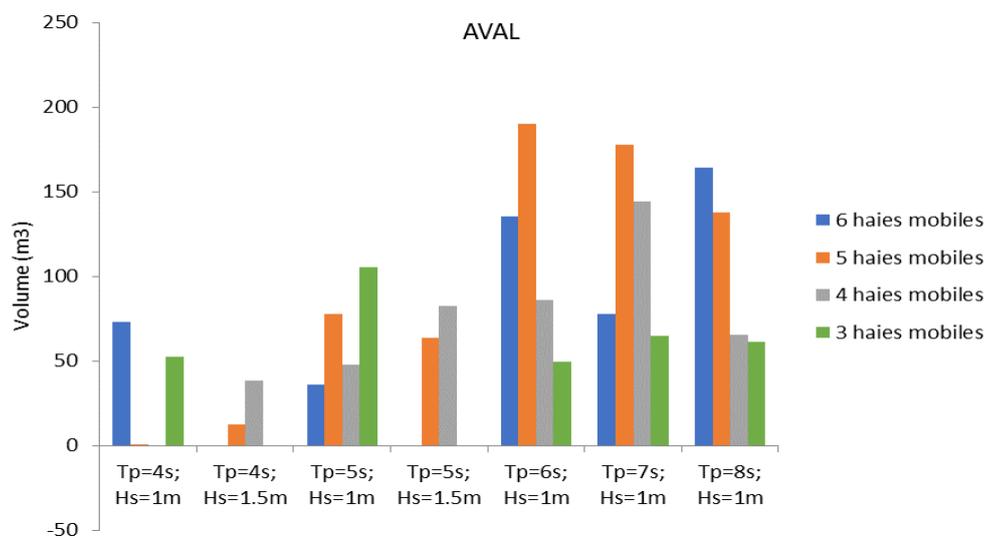


Figure 3. Volume sédimentaire déposé à l'aval du récif de haies mobiles en fonction de la période pic.

2.3 Porosité du récif

Ces évolutions sont à analyser en parallèle de la porosité relative de chaque type de récif. En effet, plus une structure sera poreuse moins elle affectera l'écoulement et donc aura une moindre incidence sur la transmission de la houle qui la traverse. Le calcul a donné une valeur de porosité de 98,8% pour une haie fixe, contre une porosité de 99,2% pour une haie mobile. Les haies fixes sont légèrement moins poreuses que les haies mobiles puisque cette différence est de 0,4%, Donc pour une différence de porosité 0,4%, on obtient une différence d'atténuation de houle de 5%. La porosité n'est probablement pas le seul facteur influençant cette différence d'efficacité à atténuer la houle.

2.4 Conclusion

A la suite des résultats concluants en modèle 2D, l'expérimentation en nature a pu être envisagée sur le site de Villeneuve-Loubet. Le prototype retenu est constitué de 4 réseaux de haies mobiles construites à partir de cannes sèches de bambous de grande dimension sur 100 m linéaire. L'effet escompté est d'abord un amortissement compris entre 5% et 10% de la houle incidente et la création d'un banc sous-marin qui a termes devrait permettre de provoquer un pré-déferlement des houles les plus fortes avant qu'elles n'atteignent le rivage, et constituer un stock sédimentaire permettant un engraissement naturel du littoral.

3. Expérimentation Rebamb© à Villeneuve-Loubet

3.1 Localisation et justification du choix du site

Le site expérimental est localisé sur la commune de Villeneuve-Loubet au droit de la RD6098 devant la plage de Vaugrenier (figure 1). Ce site correspond à la zone où la plage est la plus étroite et où le niveau de la chaussée est le plus bas. Il présente l'aléa de submersion le plus élevé pour les tempêtes d'Est à SE.

La synthèse des études en modèle hydrodynamiques ainsi que les mesures et observations sur site ont permis de délimiter les zones d'aléa fort vis-à-vis de la submersion marine. Deux zones sont identifiées (figure 5) :

- a) Fort Carré coté Antibes
- b) Plage Vaugrenier coté Villeneuve-Loubet

Sur Antibes, un cavalier en enrochements protège la route littorale dans la zone d'aléa fort. Cet ouvrage très réfléchissant crée des conditions d'agitation élevées non compatibles avec un test visant à la mise en œuvre d'une technique douce de protection. Sur Villeneuve Loubet, au droit du parc départemental de Vaugrenier, les conditions sont beaucoup plus appropriées avec dans la partie immergée des sédiments sableux présents en quantité puisque lors des forts coups de mer la plage est totalement recouverte de sable. Il existe donc une véritable dynamique littorale sableuse bien que

Thème 7 – Risques côtiers

l'estran soit constitué de sédiments grossiers (graviers et galets). C'est une plage naturelle qui est peu réfléchissante et parfaitement bien adaptée puisque non aménagée mais très étroite. On peut observer sur La zone concernée est en recul constant de plusieurs de près de 1 m par an. On peut observer sur la figure 4 le phénomène de submersion de la route littorale qui interdit toute circulation comme c'était le cas le 13 octobre 2016.

Ce phénomène se reproduit 5 à 7 fois par an avec des intensités variables et pose un réel problème de circulation entravée sur une route très fréquentée par les usagers.



Figure 4. Submersion de la RD 6098 à Villeneuve-Loubet (Plage Vaugrenier 13/10/2016).

3.2 Architecture du module

Le choix s'est porté sur une architecture d'assemblage de cannes sèches de bambous de grand diamètre ($\text{\O}120$ mm) et de grande longueur (4 m) (figure 6). La canne centrale supporte latéralement deux cannes de plus petite longueur (2 m) ce qui permet d'augmenter la surface qui interagit avec la houle incidente. Elle est fixée sur le fond sur une ancre à vis et assemblée par 2 à l'aide de 2 renforts latéraux en bambous. Le tout est immergé à 5 m de profondeur, conservant un tirant d'eau de 1 m. On souhaite ainsi atteindre l'effet d'amortissement mesuré in-situ lors des essais en canal à houle (figure 2). L'implantation du récif est localisée entre le PR28350 et le PR286450, sur un fond de sable fin ($D_{50}=150$ μm) avec une pente régulière et faible des fonds (2,5%) entre -5 m et -6 m (NGF). A noter la forte rupture de pente au-delà de -15 m, mais aussi entre 0 et -2 m (figure 7). Localisées à 100 m du trait de côte, les quatre lignes de bambous sont espacées de 10 m soit une emprise au sol dans le profil de 30 m soit une superficie de 3000 m^2 . Cet espacement est calculé de telle sorte que les lignes de bambous ne puissent interagir entre elles sous l'action des vagues mais aussi pour couvrir la longueur de la houle incidente la plus fréquente qui à cette profondeur est voisine de 30 m pour une période de 6 s.

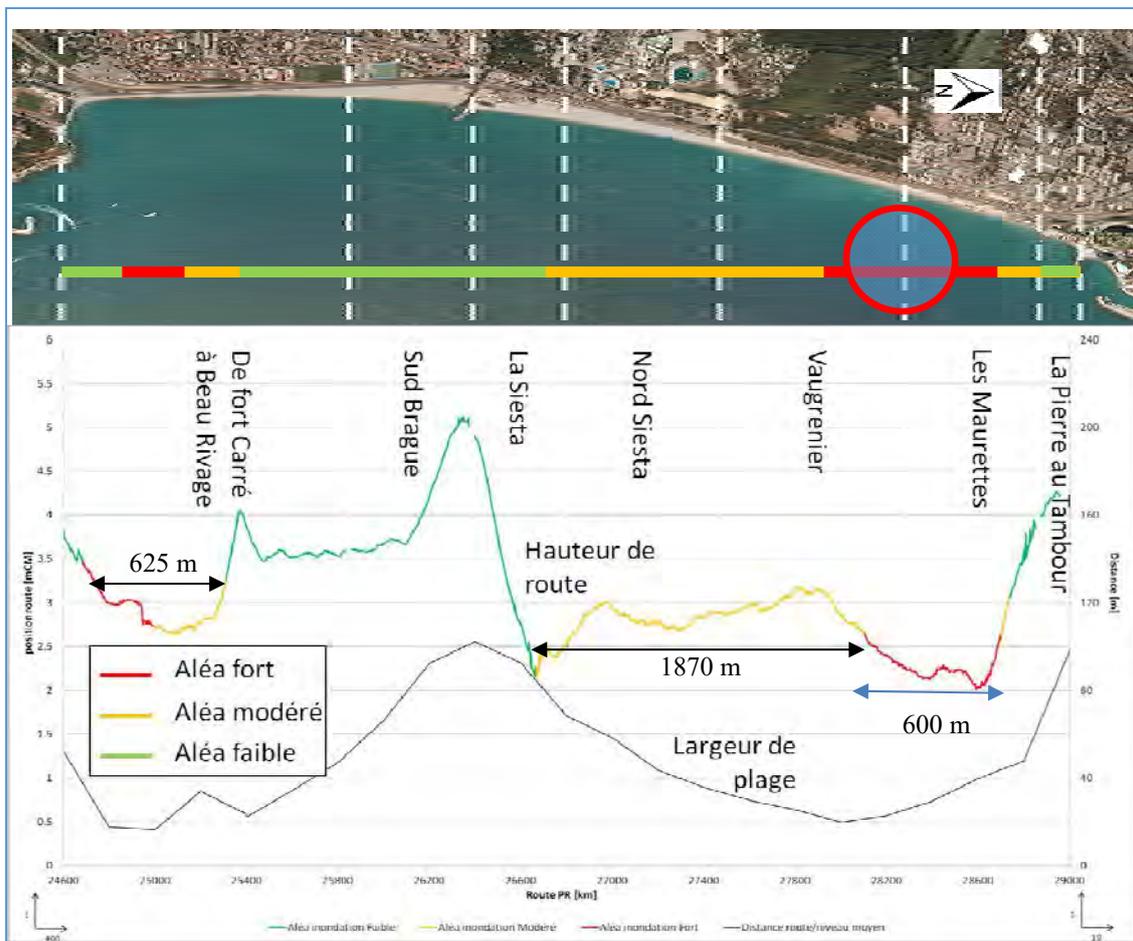


Figure 5. Aléa submersion pour la RD6098 secteur de Vaugrenier (ANTEA/ICTP/ERAMM 2015).

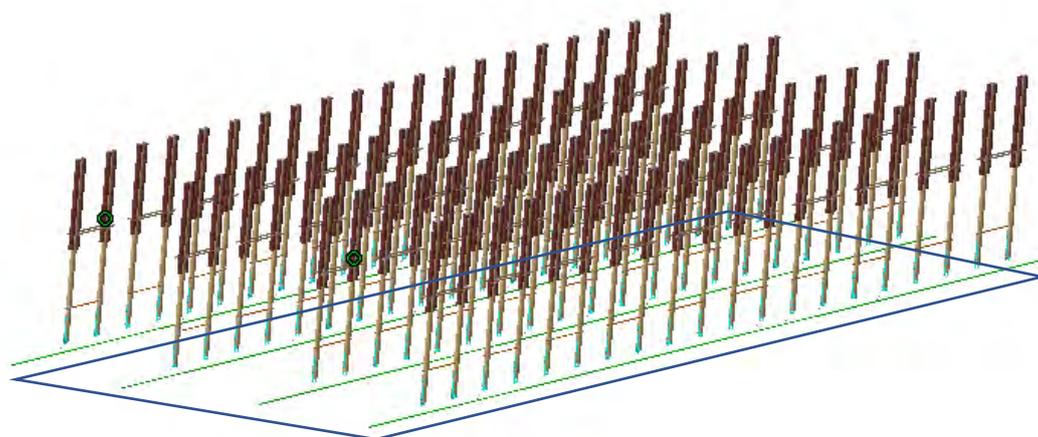
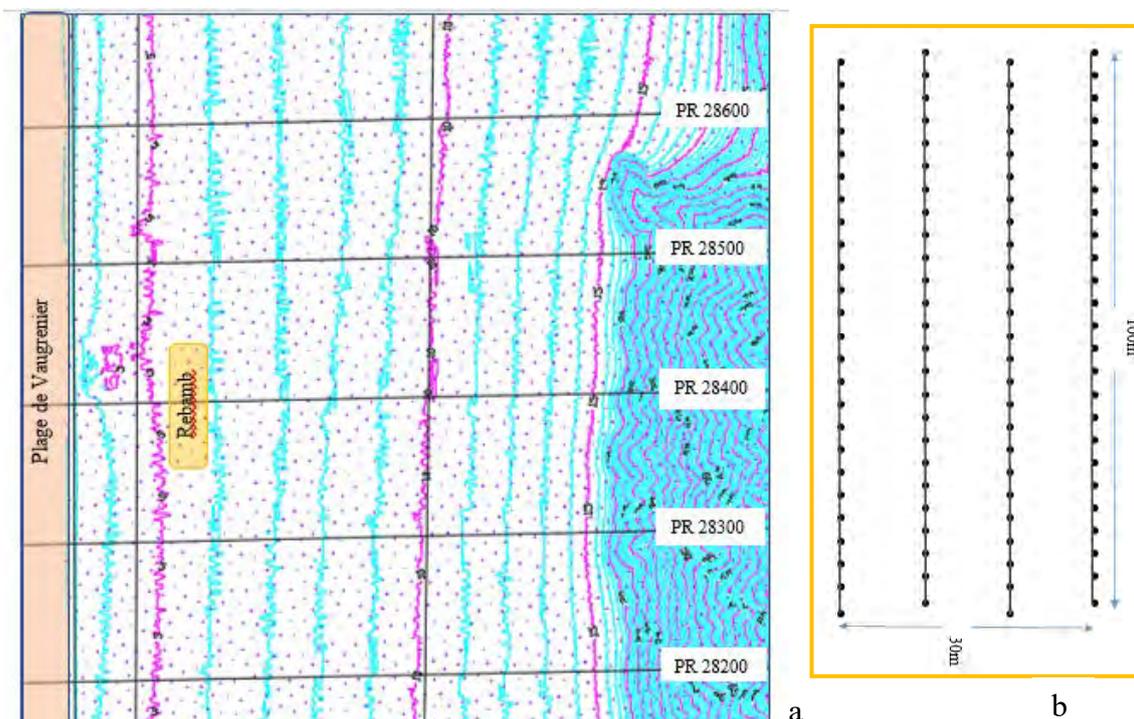


Figure 6. Vue 3D du récif Rebamb© sur Villeneuve-Loubet.

Thème 7 – Risques côtiers



4. Protocole de suivi

4.1 Equipe en charge du suivi

Le suivi scientifique est mis en œuvre conjointement par le Département des Alpes-Maritimes, de la SAS BIOBAMB et du CNRS (UMR Géoazur) conformément à la convention signée entre les parties.

Le suivi se déroulera sur une période de 3 ans, délai estimé pertinent pour suivre l'objectif de réduction du processus d'érosion et évaluer leur impact sur l'aléa de submersion marine. Les périodes de suivi seront concentrées sur l'automne-hiver et ajustées en fonction des événements qui se seront produits (tempêtes). Les autres saisons ne seront pas concernées sauf événements exceptionnels.

4.2 Les critères de suivi

- Évolution morphologique des fonds marins
- Évolution du trait de côte
- Évolution sédiment logique
- Impact des submersions marines sur la RD
- Mesures ponctuelles de la houle

4.3 État zéro

- Levé topographique et bathymétrique

XV^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil
La Rochelle, 29 au 31 mai 2018

- b) Levé sédimentologique
- c) Relevé de la limite supérieure des herbiers (cymodocées)

4.4 Planning du suivi

- a) T0 : avant immersion (réalisation de l'état des lieux initial)
- b) T1 : 3 mois après l'immersion
- c) T2 : 6 mois après l'immersion
- d) T3 : 12 mois après l'immersion
- e) T4 : 18 mois après l'immersion
- f) T5 : 24 mois après l'immersion
- g) T6 : 30 mois après l'immersion
- h) T7 : 36 mois après l'immersion (préparation du bilan de l'immersion)

Pour chaque semestre de référence du suivi, un bilan intermédiaire de la situation du récif est établi, sous la responsabilité du maître d'ouvrage. Ces bilans intermédiaires alimenteront le "bilan de l'immersion" qui sera réalisé *après la 4^{ème} année* suivant l'immersion. Les bilans intermédiaires couvrent l'ensemble des composantes arrêtées dans le programme de suivi du récif, et permettent une comparaison des situations intermédiaires entre elles. La fréquence du suivi peut être adaptée si des évolutions significatives sont observées lors des événements tempétueux.

4.5 Moyens financiers

Le Département des Alpes-Maritimes assure le financement de la totalité de l'opération expérimentale qui s'élève à un montant de 500 K€ qui inclus la conception du projet expérimental, les dossiers d'autorisation, les travaux et le suivi sur une période de 3 ans.

5. Conclusion

L'érosion de la côte dans le Département des Alpes-Maritimes et plus particulièrement sur la grande plage entre Villeneuve-Loubet et Antibes qui longe la RD6098 est un constat avéré sans qu'il y ait eu jusqu'à présent de solution satisfaisante. Le recul est estimé à 1 m/an et la largeur de l'estran est réduite par endroit à quelques mètres augmentant de façon significative la fréquence du phénomène de submersion en particulier sur la plage de Vaugrenier à Villeneuve-Loubet. Les solutions proposées à ce jour beaucoup trop onéreuses et impactantes sur le littoral n'ont pas été retenues par le Département des Alpes-Maritimes. Le projet expérimental REBAMB© proposé par la société Biobamb a pour objet de tester une solution alternative "douce" et "réversible" pour limiter la submersion à 1 ou deux événements dans l'année au lieu des 5 à 7 observés actuellement. Le Département des Alpes-Maritimes a manifesté son intérêt pour ce procédé et s'est engagé dans cette démarche expérimentale qui s'inscrit dans le cadre des lignes directrices de la Commission OSPAR sur les récifs artificiels construits aux fins de protection du littoral contre l'érosion marine.

Thème 7 – Risques côtiers

Un protocole de suivi de l'expérimentation intégrant le traitement des données bathymétriques, des conditions de houle, de sédimentologie, de courants du site est réalisé sur une période de 3 ans avec l'appui scientifique du CNRS.

Au final, cette expérimentation pourrait être renouvelé ou bien adapter en fonction des résultats obtenus sur l'ensemble des plages de Villeneuve-Loubet de sorte à couvrir les zones soumises à l'aléa de submersion élevé.

Références bibliographiques

ANTEA/ICTP/ERAMM (2015). *Mission de maîtrise d'œuvre Protection du littoral et de la RD6098 entre Marina baie des Anges et le Fort Carré du Pr24+600 au Pr28+800.*

POLE MER/ DBS SERVICE/ ERAMM (2014). *Projet REMORA : lauréat de l'appel à idée lancée par l'Agence de l'Eau RMC pour l'implantation de récifs filiformes en mer au large d'un rejet de la station d'épuration (Sicié - Toulon) pour la restauration écologique des fonds marins (Maitre d'ouvrage : Financement Agence de l'eau et Fondation Veolia).*

FARNOLE P., AGEORGES E., LEBUNETEL J., PERRET G., BROSSARD J., BORDES-SUE D., PASQUERON DE FOMMERVAULT O. (2013). *2D Physical study of a submerged comb-shaped artificial reef.* Coastal Dynamics, paper n° 63.

COMMISSION OSPAR (Accord 2012-03) ; *Lignes directrices OSPAR sur les récifs artificiels construits aux fins des ressources marines vivantes.*

FARNOLE P., LEBUNETEL J., PERRET G., BROSSARD J., BORDES-SUE D. (2012). *Les récifs artificiels filiformes : une alternative innovante pour la protection côtière.* JST du CETMEF 2012.

ERAMM (2012). *Projet REBAMB© : Développement d'un projet R&D sur les récifs artificiels pour une protection "écologique" contre l'érosion marine : financement OSEO.*

BORDE-SUE, D. (2011). *Lutte contre l'érosion côtière, nouveau procédé : les structures haie, DBS-traitement report.*