
Phénomènes d'érosion côtière : instabilité et consolidation de talus littoraux sur la façade est du cap Ferret (Gironde)

Nédélec Yves¹, Revel Jérôme²

¹ Cerema, Direction Territoriale Sud-Ouest, Département Laboratoire de Bordeaux,
24 rue Carton, CS 41635, 33073 Bordeaux Cedex, yves.nedelec@cerema.fr

² Cerema, Direction Territoriale Sud-Ouest, Département Laboratoire de Bordeaux,
24 rue Carton, CS 41635, 33073 Bordeaux Cedex, jerome.revel@cerema.fr

RÉSUMÉ. Le phénomène d'érosion des côtes peut résulter de facteurs comme les courants ou l'action de l'homme. Il s'agit ici d'étudier cette forme d'altération de la stabilité du rivage, à travers l'exemple de désordres qui se manifestent sur le site du cap Ferret, une bande de sable d'origine naturelle qui sépare l'entrée du bassin d'Arcachon (département de la Gironde), de l'océan Atlantique.

Depuis de nombreuses années, la façade est du cap Ferret subit des glissements du rivage sableux et des affouillements problématiques, contre lesquels les riverains luttent en continu. Le présent travail, qui rassemble l'analyse des processus d'érosion concernés, l'historique et les aspects géotechniques de la défense du rivage, a reposé sur une observation visuelle des talus émergés, une revue des situations similaires rencontrées à l'étranger et une étude bibliographique des modèles adaptés aux processus en jeu. Il met en évidence l'influence des ouvrages sur la stabilité des talus, sans toutefois la quantifier car elle s'est établie progressivement, en parallèle avec des évolutions naturelles très lentes.

ABSTRACT. Coastal erosion concerns may arise from strong currents actions as well as from human activities. The present work addresses this kind of disorders in shore stability, as can be studied on the cap Ferret, a natural sand spit dividing the outlet of the so-called Bassin d'Arcachon (Department of Gironde) from the Atlantic Ocean.

For many years, the South-Eastern side of the cap Ferret, has known problems with recurrent and dangerous slumps, together with deepening scour holes. Against this, the riparian stakeholders dump rip-rap material almost continuously. This case study has looked simultaneously on the erosion processes involved, the historical and the geotechnical aspects of shore defence, by mean of a visual monitoring of emerged embankments, a review of similar cases abroad, and bibliographic investigations on relevant models. The bases of the interaction between shore stability and defence structures can be drawn out from the study, but cannot be quantified, because of its strongly progressive setting up, along with very long term natural changes.

MOTS-CLÉS : affouillement, courant, enrochement, flèche sableuse.

KEY WORDS: scouring, currents, rip-rap, sand spit.

1. Introduction

Le phénomène d'érosion des côtes, associé aux dégradations par les tempêtes hivernales, évoque une agression continue ou répétitive du continent au contact de la mer. Cependant, les désordres ponctuels ou progressifs, s'ils affectent le littoral sous l'action des eaux marines, ne se manifestent pas qu'à l'occasion des événements météorologiques majeurs. Ils résultent parfois d'une instabilité qui s'établit par l'effet d'autres facteurs, comme les courants et déplacements de masses d'eau ou encore l'action de l'homme. Nous présentons et analysons ici un ensemble d'instabilités intimement liées aux courants de marée qui touchent le cap Ferret.

Le cap Ferret est une bande de sable d'origine naturelle, qui sépare l'entrée du bassin d'Arcachon de l'océan Atlantique. Le bassin d'Arcachon est une lagune qui se remplit et se vide au cours de chaque cycle de marée, à travers un passage orienté nord-sud, d'une largeur d'environ 4 km. Son fonctionnement lagunaire, pour une superficie d'environ 174 km², en fait un élément remarquable du paysage côtier français.

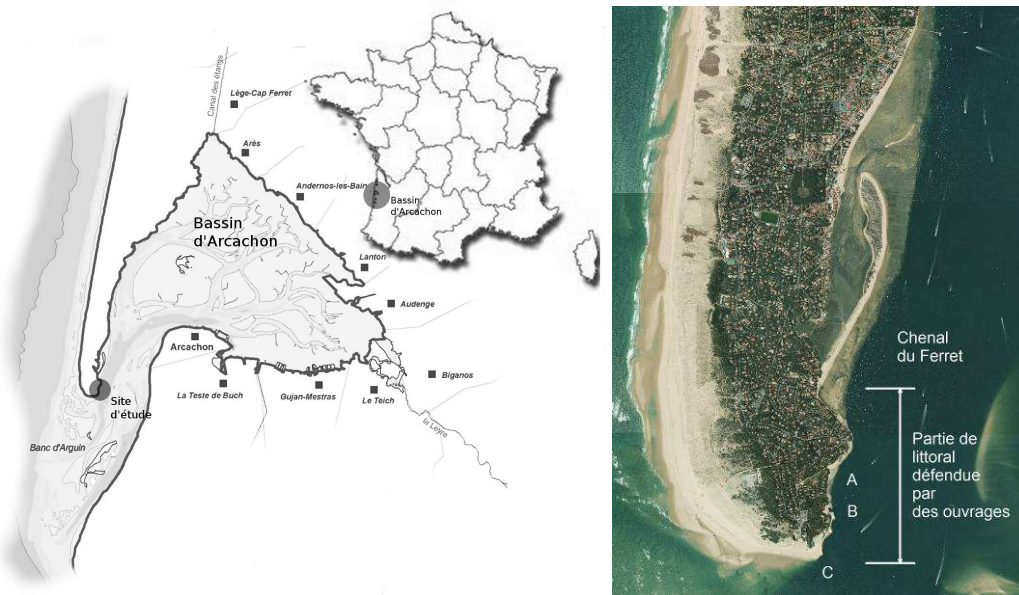


Figure 1. Localisation et vue aérienne du site d'étude, source IGN - Géoportail. A : plage du Tram, B : anse formée par un effondrement des défenses survenu en décembre 2000, C : plage bordant l'ouvrage formant l'extrémité sud des défenses de la façade est du cap Ferret.

Depuis de nombreuses années, la façade est du cap Ferret subit des glissements du rivage sableux. Les sédiments sont entraînés depuis les plages vers des chenaux et des fosses, creusés par des processus continus d'érosion et d'affouillement. La profondeur de ces fosses atteint actuellement 25 m et s'accroît d'année en année.

Les riverains ont lutté contre ces effondrements du rivage en y déposant régulièrement des matériaux divers. Ces dépôts forment des ouvrages très massifs et continus, dont l'ensemble, très hétérogène, a été conçu et est entretenu avec des moyens qui ne relèvent pas d'un projet public traditionnel d'ingénierie côtière. Malgré cela, les effondrements et les affouillements subsistent, entraînant parfois en partie les ouvrages eux-mêmes.

De nombreux travaux ont traité et traitent actuellement du fonctionnement hydrodynamique général du bassin et des mouvements particuliers des fonds en son entrée. Nous abordons ici trois aspects qui viennent en complément : le panorama des processus en relation avec l'équilibre des ouvrages de défense, des plages, et des fonds avoisinants, une approche géographique et historique de l'insertion progressive des matériaux rocheux au sein du rivage sableux du cap Ferret et une approche géotechnique de la stabilité des talus ainsi constitués.

L'analyse de ces trois aspects repose sur un recueil de l'histoire des ouvrages, une observation visuelle des talus émergés, une revue des situations similaires rencontrées à l'étranger et une étude bibliographique des modèles adaptés aux processus en jeu. Elle met en évidence l'influence des ouvrages sur la stabilité des talus, sans toutefois quantifier cette influence car elle s'est établie progressivement, en parallèle avec des évolutions naturelles que connaissent eux-mêmes la flèche sableuse du cap Ferret et le bassin d'Arcachon. Les conditions d'une mesure et d'une modélisation de cette influence ont été examinées.

2. Les défenses du cap Ferret et les processus affectant leur stabilité

La figure 1 présente la situation géographique de la zone concernée. Deux cartes y sont accompagnées d'une vue aérienne du cap Ferret sur laquelle ont été repérés les secteurs concernés par cette étude : d'une part la partie du littoral le long de laquelle des ouvrages de défense ont été édifiés et d'autre part, trois lieux affectés par des effondrements majeurs ou récurrents (lettres A, B et C).

La façade littorale à laquelle nous nous intéressons a actuellement une structure et une géométrie complexes, résultant d'évolutions passées. Débutant par une plage tournée vers le sud et s'étendant à l'ouest du point B, elle se poursuit vers le nord par la ligne des ouvrages de défense au contact du chenal, au tracé très irrégulier (alternance d'anses sableuses, d'anses rocheuses, et d'avancées rocheuses constituant des redents).

La plage dite « du Tram », située au point A sur la figure 1, a subi lors de l'hiver 2013-2014 un effondrement spectaculaire, malgré la présence d'une ligne de défense constituée de blocs rocheux. Le support sableux sous-jacent a brutalement glissé, emportant les blocs présents en bordure de plage. La paire d'images satellitaires, présentée à gauche sur la figure 2, montre la situation avant puis après cet effondrement.

La petite anse située au point B de la figure 1, est le résultat d'un effondrement survenu le 27 décembre 2000. Cet effondrement a créé une discontinuité des ouvrages en enrochement qui s'interrompent désormais de part et d'autre d'une courte portion de plage, à l'image du cas de la plage du Tram (figure 2 à droite).



Figure 2. Montages de 2 paires de vues aériennes avant et après effondrement ; à gauche : au point A, source : ©CNES 2013/2014, Distribution Astrium Services / Spot Images S.A., France, tous droits réservés, usage commercial interdit ; à droite : au point B, source : IGN ©BD Ortho.

La plage sud, au point C sur la figure 1, connaît quant à elle des effondrements récurrents au contact de l'extrémité du musoir extrême de la ligne de défense (Figure 3).



Figure 3. Vues d'effondrements de plage à l'extrémité sud du cap Ferret ; à gauche : effondrement survenu en 1992 ; à droite : effondrement survenu en 2007. Crédit photographique : B. Bartherotte.

Les fonds directement voisins de la plage sud et de la ligne de défense constituent le chenal du Ferret à l'est et la partie immergée du cap au sud. Le chenal du Ferret présente, face aux deux redents les plus proéminents de la ligne d'ouvrages, des approfondissements très marqués (Figure 4, vue de gauche). La profondeur des fosses atteint actuellement 25 m environ, au pied des points les plus avancés des défenses. Ce comportement, typique de jetées s'avancant dans des chenaux, est très similaire aux approfondissements observés au pied du phare de Barnegat, dans le New-Jersey ([HUG 03]), comme l'illustre la figure 4.

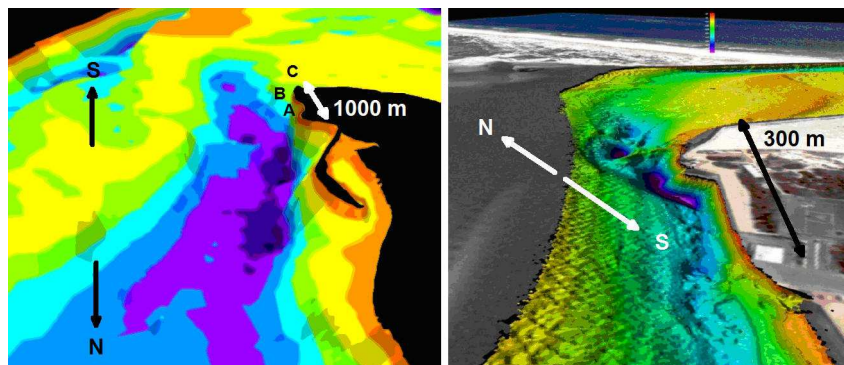


Figure 4. Analogie topographique entre les sites du cap Ferret (à gauche), et de phare de Barnegat (New Jersey, à droite). L'échelle des couleurs est commune aux deux vues, les échelles de distances différent. Les points A, B et C à gauche sont ceux de la figure 1.

Les processus mécaniques susceptibles d'être en lien avec l'instabilité qui affectent ces éléments du rivage sont décrits et modélisés dans la littérature. Ces processus peuvent être classés selon trois catégories différentes : (1) les contraintes internes au talus qui définissent son équilibre, notamment sous l'effet de la marée ([CHH 13]), (2) le comportement de l'eau libre à son contact, notamment l'organisation du courant et de l'agitation ([DIS 06]), (3) les interactions entre l'eau libre et les matériaux solides, notamment à travers les impacts et la pression sur les blocs rocheux, le dépôt ou la mise en suspension du sable ([HUG 03], [HRW 94]).

Situé en bordure de la voie de passage des eaux entre l'océan et le bassin d'Arcachon, le rivage est en contact avec une masse d'eau libre fréquemment en mouvement, au rythme périodique des marées. La surface se déplace verticalement, tandis que des courants horizontaux atteignent des vitesses supérieures à 1 m/s à proximité du rivage. Des campagnes de mesures sur site ([BAL 07]) et des modèles hydrauliques du bassin d'Arcachon ([DIS 06]), montrent que ces courants horizontaux engendrent le long des ouvrages, des circulations tourbillonnaires pouvant favoriser le déplacement du sable et des blocs et notamment l'affouillement, comme pour un grand nombre de chenaux à marée ([HUG 03]).



Figure 5. Montage de 5 vues aériennes de la pointe sud du site d'Alsea Bay, Oregon, source Google - Earth.



Figure 6. Vue aérienne du site d'Alsea Bay, Oregon, source : marinas.com. La flèche pointe vers un effondrement du même type que ceux apparaissant sur le montage de vues aériennes.

Le transport de sable occasionné par la dérive littorale qui permet une alimentation du rivage depuis la façade océanique, est une cause d'accumulation ou de disparition potentielle de sédiments sur la partie intertidale des plages ([CAS 04]). Il est susceptible d'être affecté par la présence des ouvrages sur la partie haute des plages ([SOG 97]). La prédisposition à l'effondrement qui touche la plage sud n'est cependant pas nécessairement le

résultat d'un processus d'interaction entre l'eau, le sable et les blocs constituant l'ouvrage, comme le montre l'exemple de la flèche sableuse fermant Alsea Bay, dans l'Oregon. Les vues aériennes de la figure 5, accompagnées de la photographie de la figure 6, montrent la récurrence d'un effondrement de plage sableuse, au point de jonction entre le chenal directement exposé aux masses d'eau océaniques et la face interne de la flèche.

Les connaissances portant sur l'ensemble des processus influençant la stabilité du rivage, doivent ainsi, à l'examen des spécificités et de la complexité du cap Ferret, être complétées par des approches de modélisation, numérique ou physique, combinant les mécanismes entre catégories. Cela concerne ainsi la déformation des fonds qui joue sur la géométrie et la stabilité mécanique des ouvrages rocheux, la transition entre une plage et une accumulation de blocs, le déplacement de sédiments jouant sur la géométrie et la stabilité mécanique des plages. Les exemples de la littérature présentent des modélisations physiques, adaptées à des configurations et des constructions données, par exemple pour la protection par blocs du pied d'une pile de pont ([LIM 01]), ou pour la bordure par blocs d'un chenal à marée ([HUG 99]). L'adapter au cas du cap Ferret est d'autant plus nécessaire que son rivage présente, depuis quelques dizaines d'années, une structure en constante évolution.

3. Evolution progressive de l'insertion des matériaux rocheux au sein de la façade sableuse

Le cap Ferret, ainsi que les bancs et chenaux qui le bordent, sont caractérisés par une évolution morphologique complexe et rapide, accompagnant les profondes transformations de l'estuaire de la Leyre, par le jeu de l'action des houles et du transit sédimentaire littoral ([GAS 89]). La presqu'île se déforme ainsi suivant une dynamique dont l'échelle de temps est la centaine d'années. Des études reposant sur le recueil d'informations historiques mettent ainsi en évidence un déplacement de l'extrémité sud du cap dans un périmètre de l'ordre du kilomètre, entre 1873 et 1985 ([SOG 97]).

A partir des années 1950, les activités humaines sur le littoral du cap, la présence de constructions sur le rivage, conduisent à ériger des éléments de protection au droit de ces constructions. Cependant, dans le même temps, l'évolution morphologique de la presqu'île se poursuit et la portée des protections s'étend très progressivement, en fonction des portions de rivage menacées ou affectées par les dégradations (effondrements, départs de sable). Les volumes de ces protections augmentent également progressivement, car le renouvellement des matériaux se révèle chaque année plus important.



Figure 7. Montage de 5 vues aériennes de la façade est du cap Ferret, source IGN - Géoportail.

La figure 7 montre, sous la forme d'un montage de vues aériennes ajustées sur une échelle commune, les modifications subies par la façade est du cap, à partir des premières années de défense du rivage. Entre les vues de 1959 et de 2009, le linéaire sableux recule très régulièrement, sous l'action des facteurs également à l'origine des évolutions morphologiques de la presqu'île. Dans le même temps, des portions de rivage connaissent une substitution progressive des sédiments, par des matériaux rocheux et durant cette période, des interactions telles qu'évoquées dans la partie précédente, naissent entre les facteurs influençant la morphologie sédimentaire et les ouvrages.

On voit se distinguer sur la vue de 1964 les points d'implantations des toutes premières structures de protection. Initialement insérés dans le linéaire de rivage sableux, ces points deviennent progressivement des points durs et proéminents de la côte (illustration par la figure 8, qui concerne le nord de la plage du Tram). Les vues de 2000 et 2009 laissent également apparaître des effondrements ponctuels.

Cette transformation progressive et finalement massive du rivage, doit donc être prise en compte dans une analyse des évolutions morphologiques du cap durant les 60 dernières années et dans l'élaboration de prévisions ou de règles de sécurité. Elle introduit en effet, au sein du processus d'érosion marine chronique, des contraintes supplémentaires pour l'écoulement des eaux marines, notamment en cas de situations hydromorphologiques particulières telles que montrées sur la figure 5 ou aux points de transition entre des ouvrages et un rivage sableux. Cette évolution introduit également un durcissement des frontières (effet sur la géométrie mais aussi sur le frottement et l'érodibilité), sur certaines portions dont le tracé varie dans le temps.

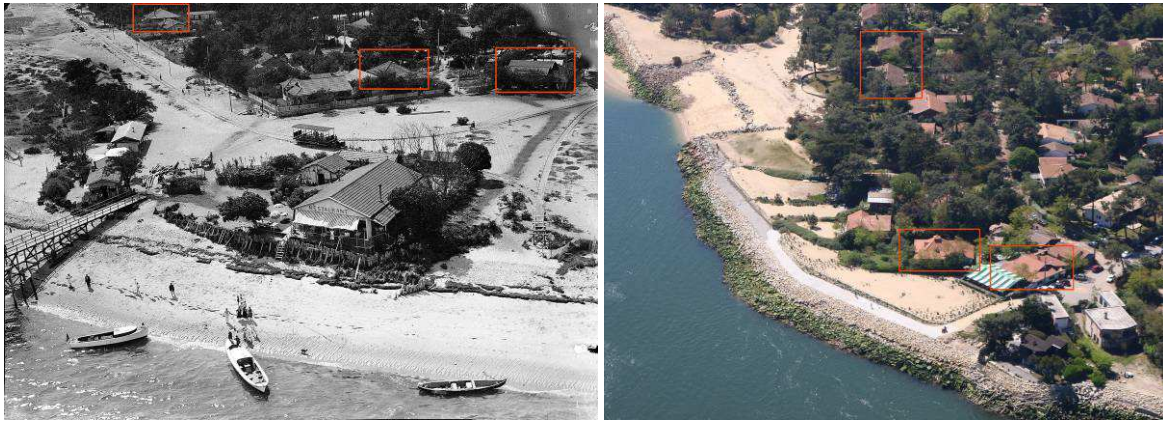


Figure 8. Protections du rivage de la façade est du cap Ferret ; à gauche : premières réalisations des années 1930-1945, source Sud-Ouest ; à droite : état actuel, source Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebais, ULM Sud-Bassin 2014. Les rectangles encadrent des emplacements de constructions communs aux deux prises de vue.

4. Approche géotechnique de la stabilité des talus

L'approche géotechnique s'est intéressée à l'examen qualitatif de l'état de stabilité actuel des enrochements, des plages attenantes et aux évolutions suivant une échelle de temps de l'ordre de l'année. Le recensement des ouvrages ([CET 12]) a notamment mis en évidence, à partir de critères de pente, d'état des matériaux, de qualité de la pose, la précarité de certaines défenses si les actions de continuelle maintenance ne sont pas pratiquées et l'importance de la surveillance à mener. Il s'est appuyé sur des profils tels que celui présenté en figure 9.

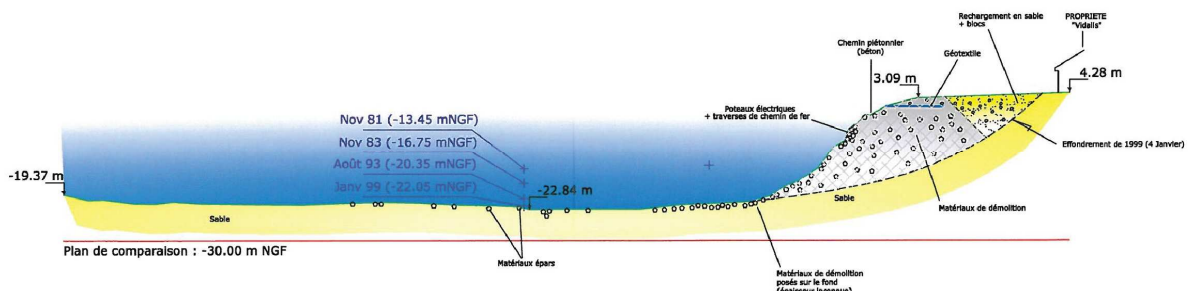


Figure 9. Exemple indicatif de profil en travers de portion de talus protégé, situé approximativement au centre de la vue de droite sur la figure 8, ratio horizontal/vertical de 1, extrait de [CET 12]

Il n'a pas été effectué de calcul des efforts mécaniques internes aux ouvrages, en raison de la complexité de leur structure et des liens entre les blocs. Ces liens peuvent être notamment renforcés par le recours à des résidus de construction en béton armé comprenant des éléments de ferrailage ou à des éléments de grande longueur, comme des poteaux électriques ou des traverses de chemin de fer en béton. Le type de bloc utilisé se comporte différemment en cas de mise en mouvement, sous l'effet des fortes houles ou sous l'effet du déplacement des sables sous-jacents. La variation de comportement des ouvrages peut être mise en évidence par l'observation régulière, depuis la rive, la mer ou encore les airs. Cette observation, qui doit porter sur un linéaire important de rivage, a été envisagée en particulier sous une forme qualitative, au moyen de vidéos acquises depuis une embarcation légère et très aisément manoeuvrable.

La figure 10 montre deux exemples d'observations depuis une embarcation. Des points de repère communs aux prises de vues sont marqués au moyen de flèches de couleur. On constate l'évolution de la structure des ouvrages : des blocs ont été déposés en extrémité d'ouvrage entre avril et août 2014, le bloc marqué d'une flèche violette, à gauche, est descendu, et l'ensemble des blocs évolue vers une structure moins tassée. Ils permettent également de constater les modifications du contact entre l'ouvrage et la plage adjacente. Un effondrement de plage, entre les visites de février et mars 2015, a intégralement découvert les blocs situés en dessous de la flèche bleue à droite. Il est impossible en revanche de déterminer si ces blocs se sont déplacés.



Figure 10. Montage chronologique de 4 vues des défenses ; à gauche : extrémité de l'ouvrage bordant le nord la plage du Tram suite à son effondrement ; à droite : ouvrage constituant l'extrémité sud de la défense de la façade est du cap Ferret. Les flèches repèrent des blocs communs aux prises de vue.

Les vues acquises depuis la mer à l'occasion de visites légères mais souples, donnent des éléments de comportement des ouvrages et plages adjacentes. En revanche, l'observation détaillée de l'accumulation des sédiments sur les parties sableuses du rivage ou les effondrements de plage eux-mêmes, doit se faire au moyen d'équipements de suivi permanent sur site. De tels équipements n'ont pas été mis en place à ce jour. Des images vidéo d'effondrement de plage, acquises depuis la rive, sont en revanche disponibles et peuvent venir compléter l'analyse.



Figure 11. Photographie de différentes formes de suintement de la plage sud, en situation saturée et de forte pente. Instabilité ponctuelle sur la photographie superposée du bas.

La connaissance de l'accumulation du sable sur les plages affectées par les effondrements et plus généralement de la redistribution de ce sable sous l'influence de divers facteurs hydriques, nécessite également des investigations sous la forme d'une observation continue et permanente. En particulier, la présence d'eau interstitielle au sein de la plage conditionne largement le risque d'effondrement ([CHH 13]), ainsi que les conditions de suintement lors de la période de jusant qui prennent des formes très contrastées (figure 11).

Enfin, que l'établissement des couches de sédiment fasse suite à des mouvements du fond des chenaux, à une redistribution du sable lors d'un effondrement ou à des accumulations superficielles de sable, la rigidité de ces différentes couches constituant la plage, au même titre que celle des ouvrages rocheux, doit faire l'objet d'investigations qualitatives pour préciser la répartition des facteurs favorisant les mouvements de cette plage.

5. Conclusion

Ce travail s'est donné pour objectif de mettre en avant une approche de l'évolution de la côte du cap Ferret tournée vers le rôle des ouvrages de défense dans leur ensemble, en tant que structure géotechnique disposant d'une évolution propre, plus qu'en tant que facteur fixé et extérieur aux processus morphodynamiques. Le phasage dans le temps est ainsi jugé essentiel dans l'analyse.

Les questions sur la stabilité du rivage et son évolution, en vue d'une prévision des désordres ou de l'amélioration de la sécurité, sont toutefois loin d'être résolues et la modélisation appropriée n'est pas constituée de manière aboutie. La poursuite d'investigations spécifiques et la mise en place d'un modèle d'analyse adapté doivent compléter les diagnostics et surveillances engagés pour la prévention des risques côtiers sur ce site.

6. Références bibliographiques

- [BAL 07] BALOUIN Y., MALLET C., Hydrodynamique dans le chenal du cap Ferret – Rapport de campagne. Rapport d'étude N° BRGM/RP – 55550 – FR, 2007.
- [CAS 04] CASTELLE B. Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire au-dessus des barres sableuses soumises à l'action de la houle : application à la côte aquitaine. Thèse de doctorat, université de Bordeaux I, 2004, 282 p.
- [CET 12] CETE DU SUD-OUEST, Analyse des ouvrages de la façade Est de la pointe du cap Ferret – Synthèse et analyse de la stabilité des ouvrages, rapport d'étude, 2012.
- [CHH 13] CHHUN S., MARTINEZ J., DUPONT P., HUYNH T.S., « Simplified Method of Analysis of the Stability of River Banks Subjected to Tide Variation », *Proceedings of the 5th International Young Geotechnical Engineers' Conference*, Paris, 31 août- 1er septembre 2013.
- [DIS 06] LE DISSEZ A. Modélisation numérique des écoulements tidaux en milieux peu profonds. Application à l'étude de l'hydrodynamique du bassin d'Arcachon. Thèse de doctorat, université de Bordeaux I, 2006, 205 p.
- [GAS 89] GASSIAT L. Hydrodynamique et évolution sédimentaire d'un système lagune-flèche littorale. Le bassin d'Arcachon et la flèche du cap Ferret. Thèse de doctorat, université de Bordeaux I, 1989, 228 p.
- [HRW 94] HR WALLINGFORD LTD. Summary of Procedures for the Prediction of Burial of Isolated Objects. Report No. EX3023, 1994.
- [HUG 99] HUGUES S.A., SCHWICHTENBERG B.R., Physical Model of Current-induced Scour at Ventura Harbour, U.S. Army Engineer Research and Development Center, 1999.
- [HUG 03] HUGUES S.A., Scour Prediction and Protection at Inlets, Florida Shore and Beach Preservation Association, 4th Annual Technology-Transfer Workshop, 2003.
- [LIM 01] LIM F-H., CHIEW Y-M., « Parametric study of riprap failure around bridge piers », *Journal of Hydraulic Research* vol. 39, n° 1, 2004, p. 61-72.
- [SOG 97] SOGREAH INGENIERIE ET PORT AUTONOME DE BORDEAUX. Diagnostic de l'évolution du littoral sur la face orientale de la flèche du cap Ferret - Examen de la préfaisabilité de solutions de protection envisageables, 1997.