



**UFR Géographie et Aménagement
Université Michel de Montaigne Bordeaux 3
Master 2 Territoires, développement et cultures**

L'évolution morpho-bathymétrique des passes du Bassin d'Arcachon de 2000 à 2010 - Conséquences et enjeux.



MANCIET Bruno

**Enseignant référent
Mme. Solange PUPIER-DAUCHEZ**

**Stage effectué du 1 Mars au 31 Mai 2010
Au sein du Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon
Sous la direction de Mr. Pierre VEDRINE, chef de l'Unité de Gestion de l'Espace
Maritime et Littoral au sein de la Direction Départementale de la Terre et de la Mer de
la Gironde**

Remerciements

Je tiens à remercier Pierre Vedrine, Sabine Jeandenand et Solange Pupier-Dauchez qui ont accepté de me renouveler leur confiance et sans qui ce stage et ce mémoire n'auraient pu être réalisés.

Je remercie les agents du Service des Etudes du Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon à savoir Christelle Lamarque, Franck Coëffard, Vincent Téhoueyres et Igor Schirr-Bonnans pour leur accueil chaleureux et leur aide cette année encore ainsi que de m'avoir fait participer à la formation pour la prise en main du logiciel de bathymétrie.

Je remercie également Sylvie De Caro et Laurent Courgeon pour leur sympathie ainsi que Pierre Bouyé et Alain Doré de la Subdivision Territoriale et Maritime du Bassin d'Arcachon avec qui j'ai passé de bons moments, pour toutes les informations qu'ils m'ont apporté et les nombreuses sorties en bateaux dans le bassin et dans les passes avec Jean-Louis Castaing pour apprécier le travail que nécessitent les opérations de sondages bathymétriques.

Merci à Jean-Marie Froidefond de l'UMR Epec Bordeaux 1 pour les entretiens qu'il m'a accordé, son aide et les documents qu'il m'a transmis. Je remercie par la même occasion Cyril Mallet du BRGM, Christophe Le Noc de la SEPANSO, Vincent Mazeiraud de la SOGREAH et Jean-Pierre Tastet professeur honoraire à l'université Bordeaux 1 pour avoir répondu à plusieurs de mes interrogations.

Sommaire

Remerciements	3
Sommaire	5
Introduction générale.....	7
Préambule : Maîtriser l'évolution des passes, enjeux et débats depuis la fin du 18ième siècle	9
Partie 1 : Présentation du secteur et de la gestion des passes du Bassin d'Arcachon et contexte du stage.....	13
I - Présentation de la zone d'étude	13
II – Le balisage, un dispositif dynamique en constante adaptation à l'évolution des passes	21
III – Réalisation d'un état des lieux de l'évolution des passes de 2000 à 2010.....	27
Partie 2 : La mise à profit des levés bathymétriques pour l'analyse des tendances évolutives des passes.....	31
I - La bathymétrie : méthodes d'acquisition et de traitement.....	31
II – Les passes intérieures évoluant dans un cadre « fixé »	33
III – L'évolution libre des passes extérieures.....	56
Partie 3 : Conclusion et perspective sur l'évolution des passes.....	71
I – L'extrapolation à court terme de l'évolution des passes au regard des phénomènes mis en évidence	71
II - Les limites des méthodes et outils disponibles pour appréhender ce secteur instable	80
III – Un bilan du stage positif.....	84
Conclusion générale	87
Bibliographie	89
Annexes	93
Table des sigles	107
Table des documents	109
Table des annexes.....	113
Table des matières	115

Introduction générale

Situé sur la côte aquitaine, le Bassin d'Arcachon, lagune de forme triangulaire d'environ 20 km de côté communiquant par un système de passes, interrompt le littoral atlantique au Sud du département de la Gironde. Il est limité à l'Ouest par un cordon dunaire, au Nord Ouest et au Sud par les formations des sables des Landes et à l'Est par le delta de la Leyre.

Le milieu sableux que constitue le Bassin d'Arcachon, mis à disposition de forces éoliennes et hydrauliques aussi vigoureuses en font un milieu très sensible et en constante évolution surtout au niveau du secteur des passes.

L'étude réalisée en Master 1 sur la gestion « dynamique » des sédiments sableux pour l'entretien des plages et des chenaux du Bassin d'Arcachon mettait en évidence la volonté et la capacité des différents acteurs prenant part à la gestion et à l'entretien du Domaine Public Maritime (DPM), d'accompagner l'action des processus naturels en substituant le couple dragage-remblaiement au couple érosion-sédimentation.

Pour la présente étude réalisée dans le cadre du stage de Master 2 au Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA), l'Etat, les collectivités locales et les riverains du DPM sont spectateurs des dynamiques agissant au niveau de l'embouchure du Bassin d'Arcachon et tentent de suivre et de comprendre ces évolutions et d'en gérer localement les conséquences.

L'objectif principal du stage est de mettre à profit les relevés bathymétriques réalisés par la Subdivision Territoriale et Maritime du Bassin d'Arcachon (STMBA) et le SIBA pour étudier de manière précise les tendances évolutives des passes mais également des fosses de la bordure littorale orientale du Cap Ferret ainsi que les abords du wharf de la Salie, exutoire du réseau d'assainissement du Bassin d'Arcachon.

Il s'agira d'analyser ensuite à la vue des évolutions récentes des passes quels sont les conséquences et les enjeux actuels et futurs, en matière de politique de gestion et de validité des outils et des méthodes utilisés pour appréhender et gérer ce secteur caractérisé par son instabilité.

Le préambule qui suit permet, avant de traiter en détail l'évolution des passes, de se rendre compte de la volonté des chercheurs, ingénieurs ou responsables de comprendre et maîtriser un tel secteur mais également des craintes qu'il suscite quant à la navigation et à l'efficacité des actions anthropiques.

Préambule : Maîtriser l'évolution des passes, enjeux et débats depuis la fin du 18^{ième} siècle

Le géographe Elysée Reclus écrivait à propos du Bassin d'Arcachon en 1863 dans la Revue des Deux Mondes : « En fixant les rivages, on aura déjà rendu la direction des courants moins incertaine et facilité la navigation dans le chenal de l'entrée. Grâce au commerce, qui ne peut manquer de s'accroître en même temps que la population riveraine du bassin et la richesse des habitants, d'autres améliorations se réaliseront successivement : les dangers du passage seront balisés d'une manière plus complète. La barre d'Arcachon cessera d'être un épouvantail ; les marins étrangers apprendront à la braver [...] et tôt ou tard on verra les près salés de la Teste transformés en docks. La France serait coupable, comme nation, si elle ne trouvait pas le moyen d'utiliser cet admirable bassin qui pourrait donner asile à des milliers de navires. »

Quant à Ch. Duffart, secrétaire adjoint de la Société de Géographie Commerciale de Bordeaux, il expliquait en 1895 qu'« abandonné à lui-même, le bassin d'Arcachon peut se fermer à la suite d'une série de gros temps, tandis qu'amélioré et rendu praticable à l'entrée, il peut, au contraire, être d'un grand secours pour le commerce et pour la défense nationale. »

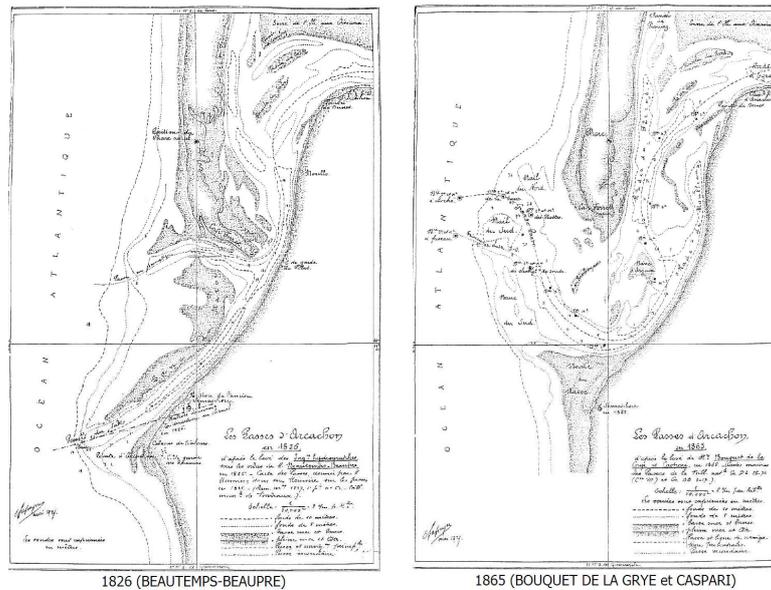
Même s'il est vrai que le balisage et les moyens de surveillance se sont accrus au cours du temps, les passes d'Arcachon restent un obstacle dangereux pour la navigation entre la lagune et l'océan et ont empêché le Bassin d'Arcachon d'accueillir un port de guerre ou de commerce et obligé à contenir les bateaux de plaisance à l'intérieur de la lagune.

Cependant ce souhait a animé jusque dans les années 1990 de nombreux responsables et ingénieurs désireux de trouver le moyen de fixer et sécuriser une passe entre l'océan et le bassin.

En effet J-M Bouchet, ancien directeur de recherche CNRS – Ifremer Arcachon, a répertorié entre 1831 et 1845 quinze navires avec 174 marins qui ont sombré dans les passes. Le passage dès 1860 aux gros chalutiers à vapeur n'y fait rien, pas moins de six navires sombrent entre 1863 et 1922 (Bouchet, 1997).

De nos jours les passes restent périlleuses, en 2004 le bateau de pêche « Patriot-2 » chavire à l'entrée de la passe Sud mais les marins sont heureusement secourus (Sud-Ouest, 5 Avril 2004).

Les grands projets de fixation des passes voient le jour à partir de la seconde moitié du 18^{ième} siècle, et jusque dans les années 1990 nous pouvions observer un débat entre faire face à l'instabilité du littoral par des moyens lourds et à l'inverse accepter l'incapacité de fixer ce secteur et adapter les activités et les déplacements humains en conséquence.



Document 1 : Cartographie des passes par Beautemps-Beaupré en 1826 et par Bouquet de la Grye et Caspari en 1865. Source : IFREMER, 1997

Cependant la tâche est ardue à l'image de la variabilité morphologique du secteur des passes sur des périodes relativement courtes (doc.1) qui trouve son paroxysme en 1826 où la flèche du Cap Ferret a connu sa plus forte progression vers le Sud. En à peine 40 ans la morphologie avait totalement changé ce qui rend compliqué les projets d'aménagement des passes. Cependant depuis 1768 une dizaine de projets d'aménagements hydrauliques ont été étudiés dont par exemple :

- Celui du baron Charlevoix de Villers qui en 1768 proposait de fermer les passes du Nord et du Sud, et de ne laisser subsister que la passe du Milieu.
- Le projet du baron d'Haussez en 1829 qui avait pour but de fermer l'entrée depuis le Cap Ferret jusqu'à la pointe du Sud, et d'en ouvrir une nouvelle au nord du cap, en face de Bernet, avec des épis pour défendre les berges, deux phares, des balises, etc. L'ingénieur Monnier refit la carte du bassin et affirma qu'**aucun travail d'art, aussi bien imaginé qu'il fût, ne pourrait avoir pour résultat la création d'une passe facile d'accès et encore moins la création d'un état permanent de cette passe** (Duffart, 1895).
- Celui de l'ingénieur M. Pairier qui en 1835 a présenté un nouveau projet de travaux afin de maintenir la passe dans sa configuration contemporaine en fixant d'une manière définitive les rivages de l'entrée avec 11 kilomètres de digues mais nécessitant un budget prohibitif (Reclus, 1863).
- Le projet de M. Caspari en 1872 qui proposait un dragage des passes afin de favoriser l'action érosive du jusant pour un auto-entretien des passes.

Aucun de ces projets n'a abouti en grande partie à cause des sommes exorbitantes qui étaient nécessaires pour entreprendre ces travaux et d'autre part du fait l'incertitude quant à leur pérennité. Cependant ces projets ne sont pas si éloignés des études récentes menées entre 1973 et 1996 (IFREMER, 1997) :

- Le Laboratoire Central d'Hydraulique de France (LCHF) étudie en 1973 sur modèle physique plusieurs solutions d'aménagement des passes comprenant un ensemble de longs épis perméables entre Arcachon et la Dune du Pyla, un important dragage de la

partie Ouest du Banc de Bernet avec dépôt dans le chenal du Moulleau-Pyla et la fixation d'une passe principale Nord entre le banc d'Arguin et le Cap Ferret par une digue longitudinale le long du Cap Ferret et une grande digue curviligne au Sud.

- La Société Grenobloise d'Aménagement Hydraulique (SOGREAH) consultée en 1990 (puis en 1995 pour une actualisation) sur la faisabilité du dragage de la passe Nord était arrivée à la conclusion que le dragage de l'extrémité de cette passe pour une configuration favorable à la navigation est une opération très délicate aux résultats aléatoires. D'une part les grosses dragues ont un tirant d'eau trop important pour s'approcher suffisamment de la barre et sont également contraintes par la durée de travail très courte entre deux périodes de houle ; d'autre part les dragages devraient être en rapport avec les mouvements sédimentaires agissant à cet endroit intéressant des volumes de plusieurs millions de m³.
- La SOGREAH et l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) en 1997 réalisent à la demande du Comité de Pilotage du SMVM une étude par modélisation mathématique des conséquences de divers aménagements susceptibles de favoriser l'écoulement des eaux dans le bassin et d'améliorer la navigation dans les passes (écrêtages d'estrans sablo-vaseux, dragages de chenaux). Il en ressort que les impacts sont importants sur le lieu des travaux mais réduits en dehors, notamment au niveau des passes (SMNG, 2004).

L'étude intégrée d'IFREMER conclut sur le fait que ces analyses sont unanimes quant à la difficulté issue de l'absence de terrains résistants sur lesquels appuyer les ouvrages pour aménager un tel milieu et de ce fait la pérennité de ceux-ci est aléatoire. « **Si aucun projet n'a abouti, c'est qu'il y a trop d'incertitude et trop de difficultés face à la puissance des forces naturelles en présences** ». Aucun des projets du 20^{ième} siècle concernant spécifiquement les passes n'ont de ce fait été réalisés pour les mêmes raisons que les projets plus anciens. Les importants dragages dans les chenaux du bassin réalisés dans le cadre du Contrat de Plan Etat Région 2000 – 2006 concernant 2,7 millions de m³ n'ont pas eu d'incidences positives ou négatives sur l'évolution et le fonctionnement des passes conformément à l'étude SOGREAH-IFREMER de 1997 citée plus haut.

Le Schéma de Mise en Valeur de la Mer (SMVM) du Bassin d'Arcachon préconise donc la réalisation régulière de levés bathymétriques de la passe Nord (navigable) afin d'améliorer la sécurité de la navigation face à l'évolution rapide des fonds.

Alors en l'absence d'intervention humaine de grande ampleur, peut-on parler de « non-gestion » ? Gestion et action sont-ils deux termes indissociables ?

Ch. Clus-Auby (2003) définit la « non-gestion » par rapport à l'attitude de laisser faire qui prévalait jusqu'au milieu du 19^{ième} siècle face à la régression du rivage aquitain qui n'intéressait alors personne.

Dans le cas du Bassin d'Arcachon, leur évolution bien que libre, est _comme nous le verrons_ suivie avec attention, par la STMBA pour le balisage par convention avec les collectivités intéressées depuis 1994 et renouvelée le 27 mars 2006 (P.Vedrine).

Conjointement aux mouvements des passes, l'érosion de la pointe du Cap Ferret soulève de nombreuses polémiques. En effet au Nord du système des passes, l'extrémité de cette flèche sableuse qui apparaît de plus en plus en sursis face à l'érosion permanente qui agit sur sa

façade Est est caricaturale du débat entre accepter l'avancée de la mer sur les terres ou la contenir à tout prix.

Nous pouvons donc conclure ce préambule en étendant à l'ensemble du Bassin d'Arcachon la conclusion du communiqué de Ch. Duffart précédemment cité : « Enfin, une ville récente et florissante, Arcachon, dont les débuts promettaient un grand avenir et qui s'est imposé de gros sacrifices, se voit tout à coup, depuis quelques années, menacée dans sa propre existence. »

Nous traiterons donc dans une première partie des mécanismes régissant l'évolution des passes et la manière dont l'Etat assure le balisage de ce secteur en perpétuel mouvement. Cette première partie nous permettra également de présenter les organismes qui m'ont accueilli pour effectuer mon stage et leur rôle au sein du suivi des passes et du balisage.

La deuxième partie présentera les résultats issus de l'analyse des levés bathymétriques afin de dresser un constat d'évolution entre 2000 et 2010.

Dans la dernière partie nous aurons l'occasion de confronter ces résultats aux tendances cycliques admises dans les ouvrages de références sur ce sujet et tenter de décrire les perspectives d'évolution au regard des phénomènes observés dans le passé.

Avant d'analyser en détail les tendances évolutives des passes il convient de présenter les différents agents dynamiques et les mécanismes régissant l'évolution de ce secteur ainsi que la gestion de la signalisation maritime, seule aide à la navigation dans ce passage entre l'océan et la lagune. Il s'agira ensuite de présenter les organismes qui m'ont accueilli pour réaliser ce stage et la méthode de travail adoptée.

Partie 1 : Présentation du secteur et de la gestion des passes du Bassin d'Arcachon et contexte du stage

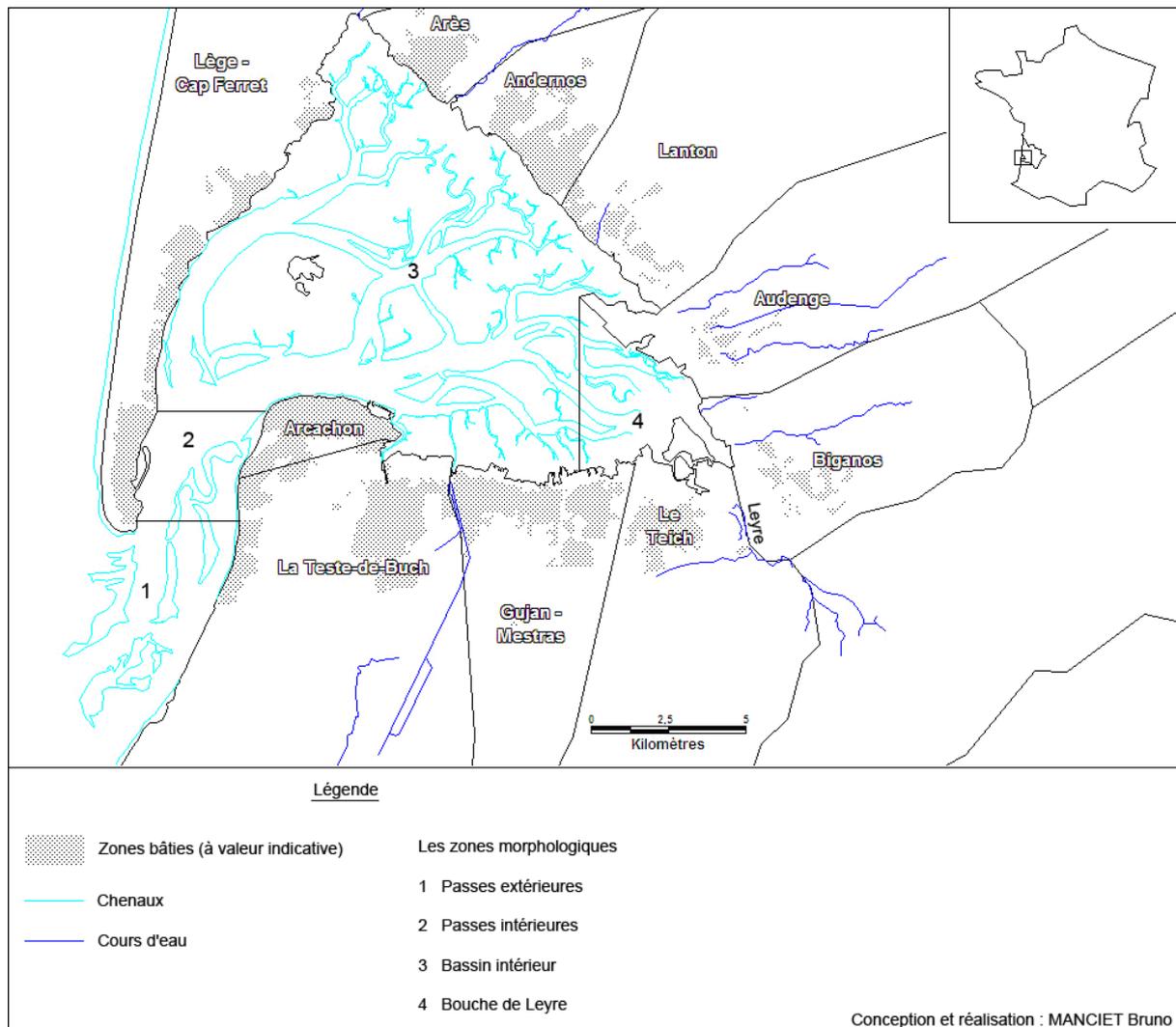
I - Présentation de la zone d'étude

1 - Le passage d'un delta à une lagune

Il y a encore 1000 ans l'estuaire de la Leyre s'ouvrait directement sur l'océan dans un axe orienté NW-SE. La rotation de l'axe d'écoulement de la Leyre accompagnant l'avancée progressive de la flèche sableuse du Cap Ferret vers le Sud a délimité le Bassin d'Arcachon en lui donnant sa forme triangulaire caractéristique.

Le Bassin présente plusieurs zones morphologiques à savoir (doc.2, SMNG, 2004) :

- le large,
- la côte girondine et landaise,
- les passes extérieures (variables dans le temps) où se situe le banc d'Arguin,
- les passes intérieures constituées d'un goulet de 2 à 3 kilomètres de large entre le Cap Ferret et le Pyla fixé par les riverains et occupé par le banc de Bernet,
- le bassin intérieur constitué de vastes estrans parcourus par un réseau digité de chenaux au Nord d'une ligne Bélisaire – Moulleau,
- les bouches de Leyre

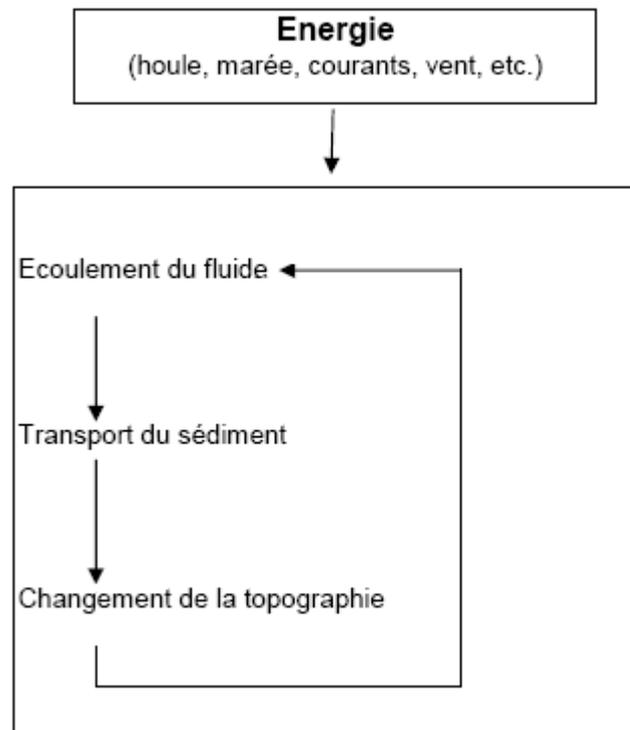


Document 2 : Les zones morphologiques du Bassin d'Arcachon. Source : SMNG,2004 ; IGN Scan 25.

Les Zones 1 et 2 représentent le cadre de cette étude que nous allons présenter plus en détail dans les prochains chapitres.

2 - Le littoral, un système complexe

F. Desmazes (2005) propose, dans sa thèse de doctorat en géologie marine sur la caractérisation des barres sableuses d'une plage de la côte aquitaine, de considérer les environnements littoraux comme des systèmes. Ces systèmes sont « ouverts » de part les entrées et les sorties de flux d'éléments et d'énergie qui le traversent et le lient à l'extérieur. Dans la thèse de doctorat en géologie marine de D. Michel (1997) relative à l'évolution morphodynamique d'un littoral sableux situé à l'aval d'une embouchure lagunaire, nous pouvons lire que « l'écoulement des fluides résulte de l'action du forçage d'agents dynamiques variés, courants induits par la houle, courants induits par la marée. Ces agents dynamiques sont eux-mêmes soumis à l'agent de forçage externe qu'est le vent. Le régime d'écoulement des fluides ne peut être considéré comme constant, l'équilibre n'est jamais atteint ». Cet écoulement « va entraîner le mouvement des particules qui va induire une topographie qui, par rétroaction, va agir à son tour sur l'écoulement des fluides ».



Document 3 : Système côtier morphodynamique. Source : Michel D., 1997 modifié.

Cette boucle de rétroaction morphodynamique (doc.3) permet de mettre en relief l'interaction entre les forçages du système, le transport sédimentaire et la morphologie.

Selon Gassiat (1989) dans sa thèse de doctorat en océanographie sur l'hydrodynamique et l'évolution sédimentaire d'un système lagune – flèche littorale, la complexité des phénomènes est liée à la diversité des agents dynamiques qui interviennent sur le site et à la rapidité de l'évolution morphologique qui en résulte.

En effet selon la géographe C. Meur-Férec (2006) un système se définit par un ensemble de variables dont les éléments sont interdépendants et interagissent les uns sur les autres. Il répond à trois idées clés : complexité, interactions, organisation. Il est plus que la somme de ses éléments car il a des caractéristiques propres émergeant de l'interaction de ses composantes.

Elle précise que la complexité, indissociablement liée à l'analyse géographique, existe dans tous les espaces anthropisés et en particulier sur le littoral en citant André Dauphiné : « Le littoral, lieu de rencontre entre l'atmosphère, la lithosphère, l'hydrosphère et la biosphère, et transformé par des hommes toujours plus entreprenants, est le type même d'interface dont la complexité est élevée ».

Dans le chapitre suivant nous verrons dans le cas des passes du Bassin d'Arcachon les rôles respectifs et combinés de ces agents dynamiques.

3 – Différents agents dynamiques qui interagissent entre eux

La diversité des milieux énergétiques du site (domaine lagunaire, domaine océanique) entraîne une grande complexité dans la répartition des zones d'action des agents dynamiques. En domaine lagunaire (zone des passes incluses) la marée est la principale responsable de l'hydrodynamisme, en domaine océanique c'est la houle, engendrée par les vents qui prédomine (Gassiat, 1989).

Les vents dominants soufflent de l'Ouest et la houle dominante de secteur NW engendre un courant de dérive littorale le long de la côte aquitaine pouvant atteindre 1,5 m/s (IFREMER, 1997).

La marée constitue un agent dynamique très important. Elle a différentes actions suivant l'environnement sur lequel elle agit. Dans la zone lagunaire comprenant le système des passes elle est responsable (Gassiat, 1989) :

- des courants alternatifs, très violents dans la zone des passes (le courant de jusant correspond au flux sortant, le courant de flot au flux entrant dans le bassin),
- du déplacement de la zone d'action des houles dans les passes.

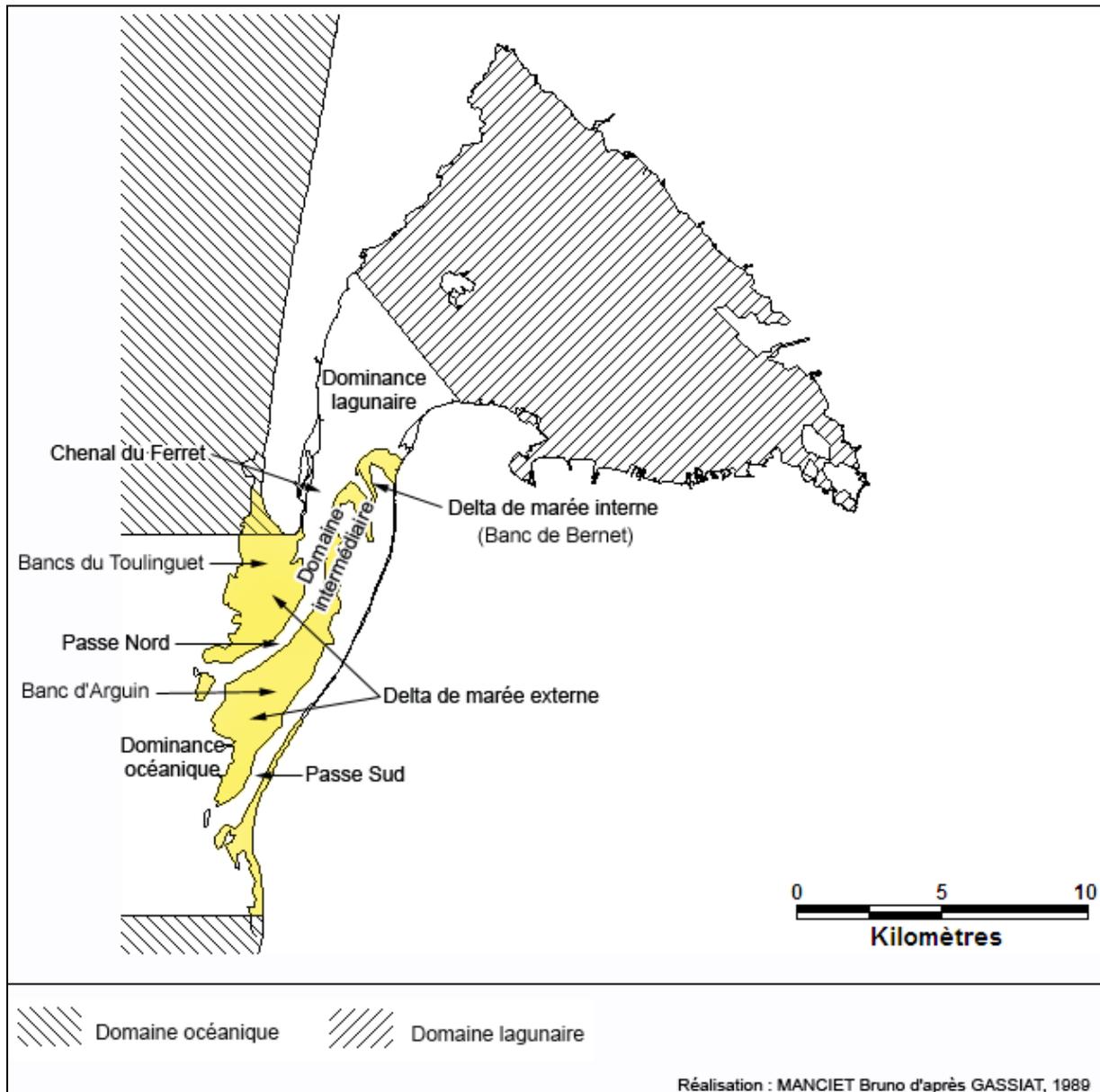
La houle est essentiellement responsable des processus de transits sédimentaires dans les zones littorales non abritées.

C'est un phénomène ondulatoire provoquant un mouvement orbital des molécules d'eau. Ces orbites s'amortissent avec la profondeur par friction interne. La profondeur limite d'action des houles est équivalente à la moitié de leur longueur d'onde. Au dessus de ce seuil la célérité de la crête de houle chute brusquement et l'eau s'écoule vers l'avant, c'est le déferlement (Gassiat, 1989).

Les influences spécifiques ou combinées de ces agents dynamiques déclinent le Bassin d'Arcachon en domaines en trois domaines hydrodynamiques :

- **le domaine lagunaire** est soumis à la marée. Celle-ci dépend de la marée océanique et de la résonance propre au Bassin. Les courants de marée résultants sont les principaux facteurs d'évolution de ce domaine,
- **le domaine intermédiaire** correspond à la zone des passes. Il est modelé par la houle et les courants de marée. On y trouve le delta de marée interne constitué par le banc de Bernet, à dominante lagunaire où le principal agent dynamique correspond aux courants de marée et le clapot induit par les vents agissant sur la côte.
Le delta de marée externe se présente sous la forme de plusieurs barres allongées et délimitées par les chenaux de marée d'axe NNE SSW (les passes), à dominance océanique et filtrant l'énergie de la houle. Les courants de marée y sont très actifs.
- **le domaine océanique** est soumis principalement à la houle et aux vents dominants de secteurs Ouest (doc.4, Gassiat, 1989).

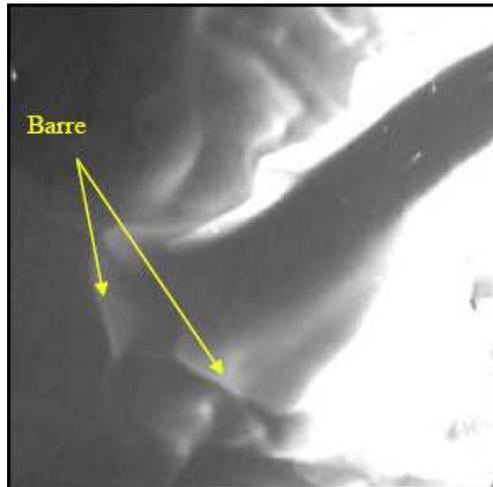
La flèche sableuse du Cap Ferret limite le domaine lagunaire vers l'Ouest et correspond à la zone où s'agencent les différents secteurs dynamiques.



Document 4 : Domaines hydrodynamiques des passes

L'action des fortes houles et du transit sédimentaire associé vient bouleverser l'équilibre hydraulique, en remaniant de manière brutale et désordonnée des volumes considérables de sable de plages, de bancs, de barres externes (les plus exposées au déferlement), ce qui se traduit par :

- l'édification de crochets barrant l'extrémité à l'océan des passes résultant du déferlement de la crête de houle qui entraîne la formation de ces barres (doc.5).
- l'accélération vraisemblable de la vitesse déplacement des passes vers le Sud (IFREMER, 1997).



Document 5 : Barre vue par SPOT le 9 Décembre 2006. Source : Froidefond, 2006.

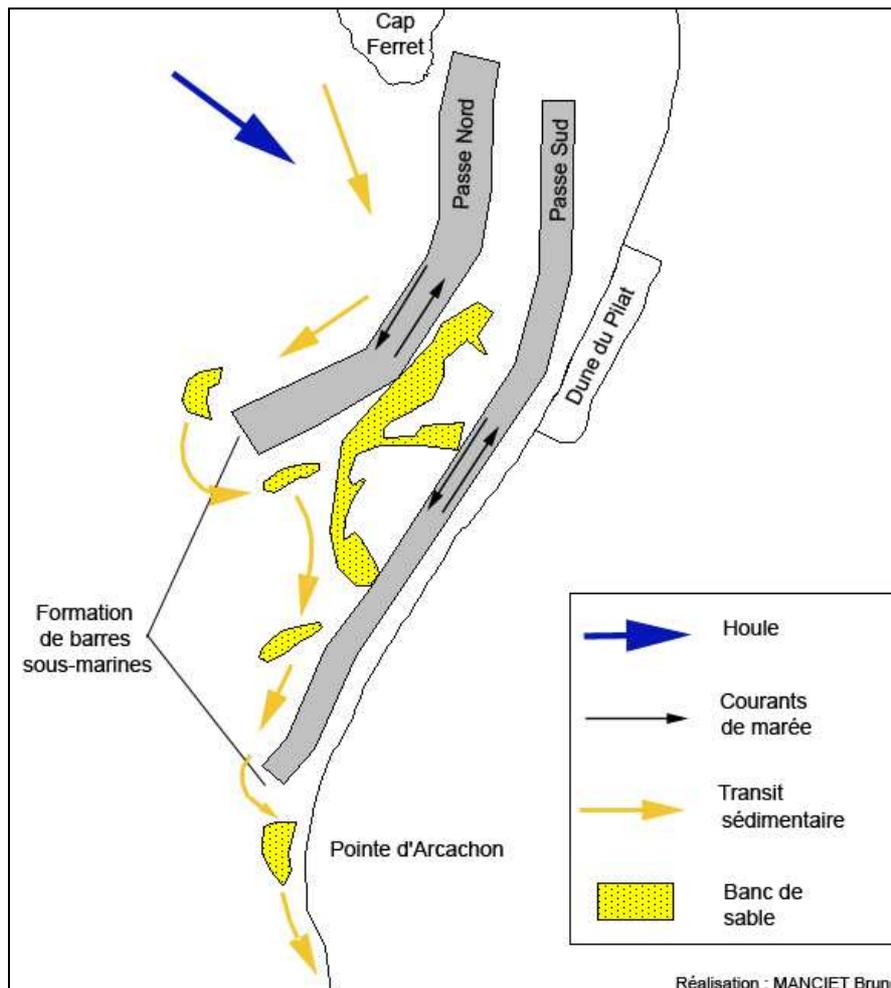
Ces agents dynamiques sont donc responsables de l'instabilité de ce secteur dont nous allons maintenant présenter les mécanismes et les grandes évolutions qui en découlent.

4 – Une tendance cyclique de l'évolution des passes

4 – 1 – Comment transite le sable au niveau des passes ?

L'effet des houles qui intervient au niveau de l'intensité de la dérive littorale fait transiter le sable du Nord vers le Sud le long du littoral aquitain entre la plage et les fonds d'environ 10 m (IFREMER, 1997).

Ce sable arrivé au niveau des passes, qui créent une interruption de la côte aquitaine, la double action de la houle et des courants de marée canalisés dans les chenaux, font transiter le sable des bancs du Toulinguet (doc.4) au versant Sud de la passe Nord en contournant le lobe terminale du chenal pour former un banc qui migre par les même mécanismes sur le versant Nord de la Passe Sud qu'il contourne pour s'accoler ensuite sur la plage de la Salie au Sud de la Pointe d'Arcachon (doc.6). On retrouve ensuite le transit littoral Nord Sud le long du littoral (Froidefond, 2005).



Ce contournement des lobes des passes Nord et Sud par le sable est à l'origine de barre sous-marine (doc.5) qui sont le premier obstacle pour entrer dans le bassin. La morphologie de ces barres évolue essentiellement en période hivernale par l'action conjuguée des houles de fortes amplitudes et des courants de jusant (flux sortant) en période de vives-eaux.

Une fois la barre franchie, la navigation peut être périlleuse par l'affrontement entre la houle et les courants pouvant former des vagues dangereuses.

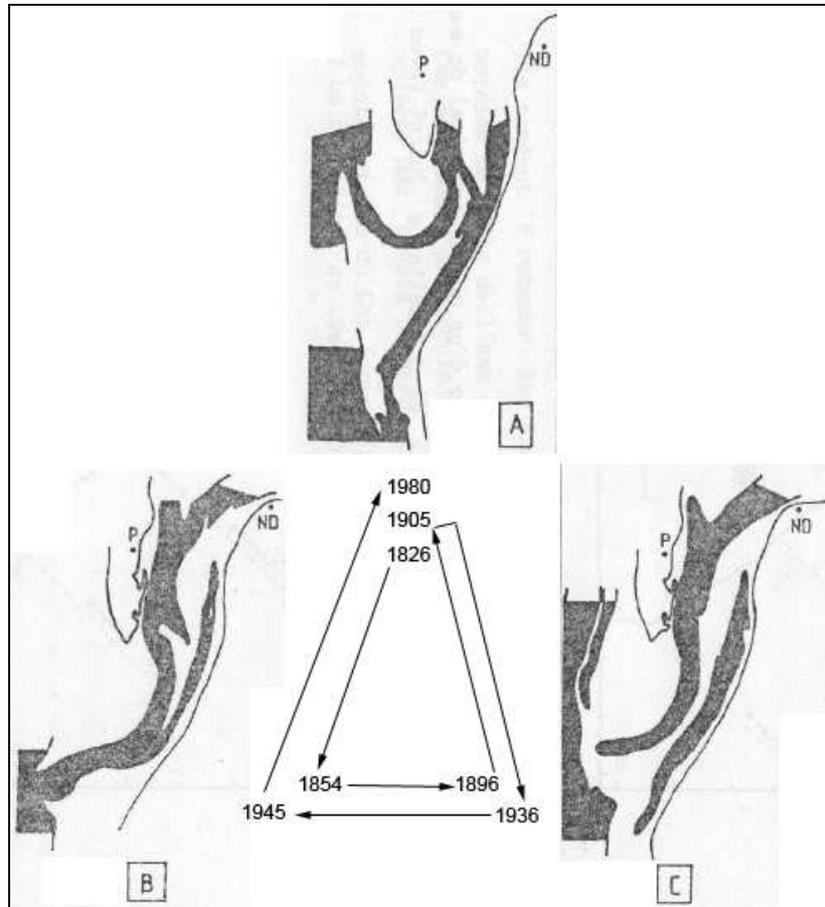
On a donc un agent dynamique, la houle, qui contribue à isoler la lagune de l'océan par l'édification de nombreux bancs dans les passes mais à l'inverse les courants de marée érodent ces bancs maintenant ainsi l'ouverture de la lagune sur l'océan avec comme nous allons le voir, une tendance cyclique.

4 – 2 – Le « cycle » des passes

Les travaux du Laboratoire Central d'Hydraulique de France (LCHF) en 1974 ainsi que les recherches menées entre autres par Gassiat (1989), Michel (1997) mettent en relief un schéma classique de l'évolution de ces passes selon un cycle évalué à 80 ans avec (doc.7) :

- une lente et continue migration de la pointe du Cap Ferret,

- la migration de la passe principale vers le Sud sous l'effet de la dérive littorale Nord Sud, s'éloignant progressivement du bassin interne avec une diminution de l'intensité des courants de marée de part l'allongement du trajet à parcourir,
- l'ouverture d'un chenal Nord à la pointe du Cap Ferret qui migre également vers le Sud devenant passe principale, navigable et balisée en conséquence,
- la jonction entre cette passe principale et la passe Sud.



Document 7 : Cycle d'évolution des passes du Bassin d'Arcachon. Source : Gassiat, 1989 modifié.

Cependant Babin (1990) dans sa thèse de doctorat en géologie relative à la morphologie, la sédimentologie et aux processus dynamiques des passes intérieures du bassin d'Arcachon émet des réserves quant à l'utilisation du terme « cycle » qui fait référence à plusieurs stades revenants à intervalles réguliers. Les différents stades A B et C peuvent montrer des irrégularités dans leur enchaînement : suivre le schéma A – B – C entre 1826 et 1896 et A – C – B entre 1905 et 1980, avec des variations de temps entre les différents stades. On peut donc plutôt parler de « tendance cyclique ».

Les passes sont creusées dans du sable fin avec quelques poches de graviers et une fraction calcaire d'origine biologique. D'après le LCHF le courant de marée aurait tendance, en permanence, à modeler un profil de chenal stable bien que subissant une dérive d'ensemble lente vers le Sud. La houle, au contraire, interviendrait par « pulsions » aléatoires pour détruire cet équilibre : elle déplace l'extrémité de la passe en délivrant des « wagons sédimentaires » provenant du transit littoral (IFREMER, 1997).

Le maintien de la communication dépend du rapport de force existant entre la dérive littorale Nord Sud le long de la côte girondine avec un transport annuel moyen de 625000 m³ de sable, et le pouvoir de chasse du volume liquide oscillant à chaque marée entre le Bassin d'Arcachon et l'océan de 384 millions de m³ pour une marée moyenne de coefficient 70 (IFREMER, 1997).

L'action des différents agents dynamiques provoque donc une instabilité permanente des passes du Bassin d'Arcachon. Le principal danger pour la navigation réside dans le déplacement rapide de bancs de sable formant comme nous l'avons vu des barres à l'entrée des passes gênant l'accès entre l'océan et la lagune.

Afin d'assurer une relative sécurité pour la navigation dans les passes caractérisées par leur instabilité, le balisage reste la solution la plus adaptée « sur cette côte plate, sablonneuse, peu contrastée où les repères sont inexistantes, où le paysage se confond souvent avec les embruns » (Bouchet, 1997).

II – Le balisage, un dispositif dynamique en constante adaptation à l'évolution des passes

1 – La signalisation maritime des premiers sémaphores en 1815 au balisage actuel

La construction de sémaphores débute aux alentours de 1815 au Cap Ferret et à la Pointe d'Arcachon mais disparaissent rapidement en 1835. Un second sémaphore est construit à la pointe d'Arcachon en 1855 puis sombre dans le chenal en 1899.

L'actuel sémaphore, sous la responsabilité de la Marine nationale, situé sur la pointe du Cap Ferret a été construit en 1895. Doté d'une vigie il est efficace pour la surveillance de la passe Nord et l'équipe de quart peut être consultée en VHF par les navires.

Autre équipement indispensable à la navigation, le phare du Cap Ferret a été construit vers 1835 et mis en service en 1855. Il est à éclat rouge d'une hauteur de feu de 53 mètres et d'une portée de 27 miles (1 mile = 1,852 km).

Parallèlement à la mise en service du phare, le balisage par bouée est mis en place (Bouchet, 1997).

2 – Le balisage, une mission de l'Etat renforcée par la mutualisation des moyens du SIBA et du Conseil Général de la Gironde

L'Etat est responsable de la signalisation maritime et le Service Maritime et Eau assume, avec les moyens de la Subdivision des phares et balises du Verdon et du pôle maritime de la Subdivision Territoriale et Maritime du Bassin d'Arcachon (STMBA), le balisage d'une seule passe d'accès au Bassin d'Arcachon conformément aux engagements pris par le secrétaire d'Etat à la mer Jean Yves Le Drian par courrier du 31 Mars 1992 (annexe 1).

En effet depuis les années 1950 jusqu'à 1997, la passe Sud était le seul accès navigable pour circuler entre le bassin et l'océan et donc balisée en conséquence. L'amorce de la passe Nord, permettant une alternative à celle du Sud pour la navigation, a été balisée en 1990 pour les pêcheurs à la charge des collectivités locales via le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA) du fait de son intérêt local et (à cette époque) de sa pérennité non établie. La passe Sud n'est plus considérée comme navigable depuis le 14 Mai 1997 annonçant la fin de son balisage au profit de la passe Nord.

Par une volonté de renforcer les moyens, une convention, définissant la répartition des dépenses et l'organisation des opérations de sondage et de balisage, a été passée en 1994 entre l'Etat, le SIBA et le département de la Gironde, renouvelée en 1997 puis en 2006 pour la période 2006 – 2010 avec l'association de la région Aquitaine qui prend part au financement du suivi des passes par imagerie satellite Spot (DDE SME, 2009).

Le balisage n'est pas statique mais doit suivre l'évolution des bancs, évolution qui est analysée par des opérations régulières de sondage :

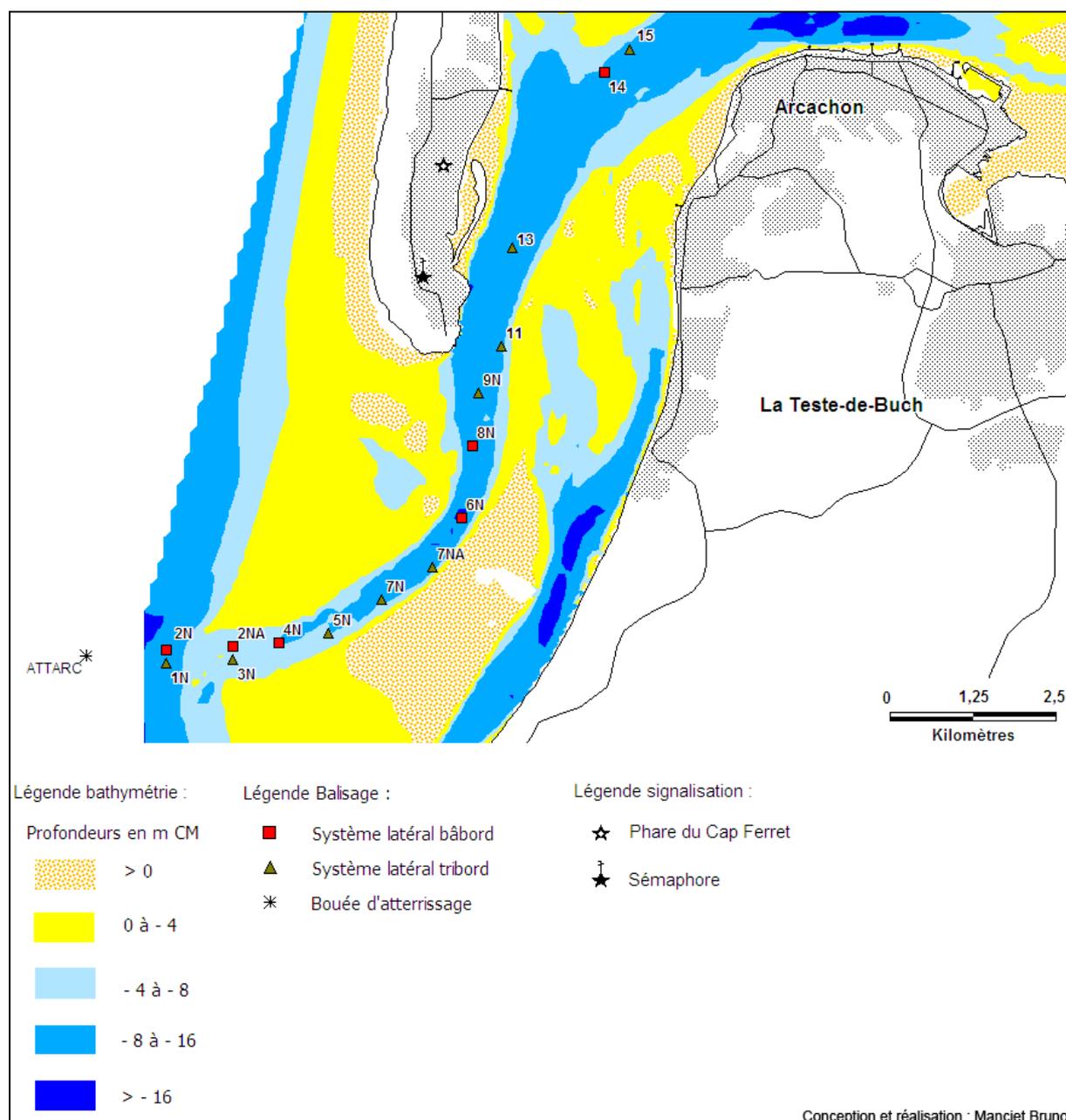
- l'Etat assure la maintenance des 16 bouées passives du balisage de la passe navigable sur 19 km entre le Port d'Arcachon et l'océan,
- le SIBA met à disposition 10 bouées lui appartenant,
- le SIBA et le département de la Gironde fournissent le matériel de sondage et les moyens nautiques nécessaires aux réalisations cartographiques de reconnaissance de la passe.

Le dispositif actuel du balisage est composé de:

- la bouée d'atterrissage d'Arcachon (ATTARC) lumineuse,
- 6 bouées dotées du caractère latéral bâbord,
- 9 bouées dotées du caractère latéral tribord (doc. 8, 9).



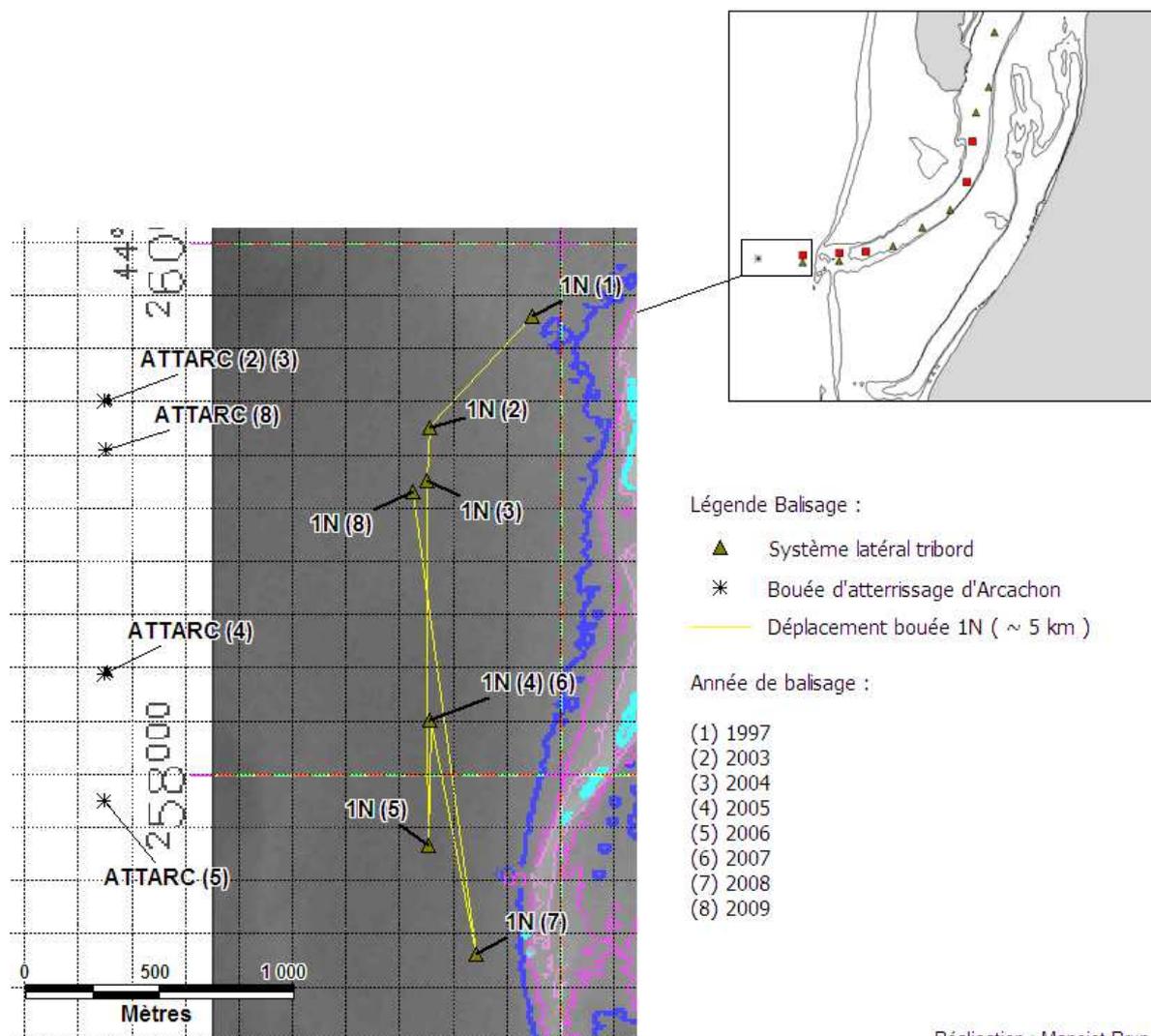
Document 8 : Bouée 11 tribord. Cliché : Manciet Bruno



Document 9 : Le balisage de la passe de navigation. Source : Bathymétrie 2001 – 2002 SMNG, Balisage 2003 STMBA.

3 – La procédure de balisage, de multiples étapes pour une adaptation rapide aux dynamiques des passes

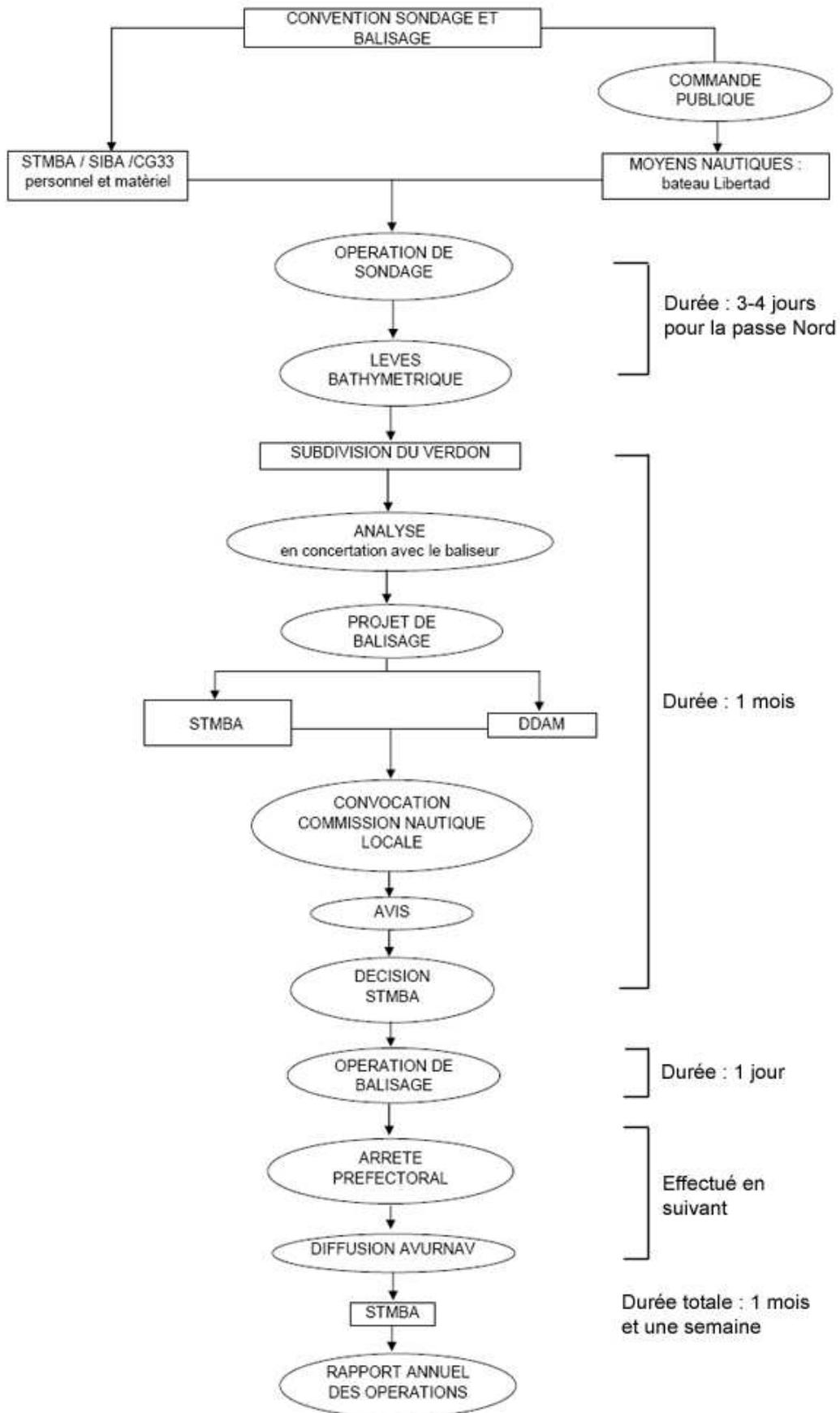
Face à l'évolution rapide et constante des fonds une procédure réactive de modification de la signalisation maritime avec réponse rapide a été mise en application pour être plus adaptée au besoin de suivi des passes (avis de la commission des phares du 27/11/02 et décision de la Direction des Affaires Maritimes correspondantes du 18/12/02) (DDE SME 33, 2009).



Document 10 : Déplacement de la bouée ATTARC et 1N entre 1997 et 2009. Sources : Positions bouées STMBA, hypsométrie 2008 UMR EPOC Bordeaux 1.

Le positionnement des balises entre 1997 et 2009 est représentatif de l'évolution constante et d'une ampleur non négligeable des fonds au niveau de l'entrée des passes. Le balisage suit un déplacement Nord – Sud ou Sud – Nord, mis en relief avec par exemple la balise 1N qui a été déplacée d'environ 5 km depuis 1997 ou la balise ATTARC d'un kilomètre entre 2003 et 2005 seulement (doc.10 et annexe 2).

Entre la réalisation des sondages bathymétriques et les modifications du balisage plusieurs étapes sont nécessaires. Cette procédure peut être effectuée plusieurs fois par an suivant l'évolution des fonds et des besoins de modification du balisage que cela implique (doc 11).



Conception et réalisation : MANCIET Bruno

Document 11 : Schéma de la procédure de balisage. Source : STMBA

Les différents organismes signataires de la convention de sondage et balisage mutualisent leurs moyens afin d'assurer chaque année trois sondages de la passe navigable (mars, septembre et décembre) et un sondage complet des passes intérieures et extérieures (Juin). Ces sondages sont réalisés par la STMBA afin de fournir un document cartographique représentant la bathymétrie des passes, donnée de base pour la construction d'un projet de balisage présenté lors des Commissions Nautiques Locales (CNL). Ces CNL sont convoquées par la Direction Départementale des Affaires Maritimes de la Gironde (DDAM) et la STMBA réunissant les « usagers pratiques » (professionnels de la mer etc.) et composées en fonction des sujets abordés (navigation, périmètres portuaires). Après avis de la CNL la décision revient à la STMBA.

Le déplacement des bouées est assuré par le baliseur océanique « Gascogne » affecté et armé en 2006 au service des Phares et Balises du Verdon.

Au titre de la sécurité maritime ses principales missions sont de mettre en place et d'entretenir la signalisation maritime flottante, de dépanner et remorquer des bouées et de participer à la lutte anti-pollution (POLMAR) et incendie.

Une fois les travaux effectués un arrêté préfectoral portant sur la modification de la signalisation maritime est signé et un avis urgent aux navigateur (AVURNAV) de réalisation est diffusé. Suivant l'évolution des passes et la nécessité de modifier le positionnement de certaines bouées, il peut être convoqué plusieurs CNL chaque année avec autant de travaux de balisage et de diffusions d'AVURNAV signalant les nouvelles positions des bouées déplacées.

Les opérations annuelles de sondage et balisage sont estimées à 111 250 euros financées à hauteur de 76 % par l'Etat, le reste étant assuré par le département de la Gironde et le SIBA à part égale (annexe 3). Les moyens financiers du Siba sont assurés par la contribution des communes membres du Syndicat aux charges syndicales en fonction de la population de leur commune.

La location de la vedette hydrographique « Libertad » est de l'ordre de 1335 euros par jour pour un budget annuel de 18 750 euros assuré par le SIBA et le département de la Gironde. Le coût du personnel est du même ordre mais pris en charge par l'Etat.

Les opérations de balisage étant de nature régaliennne, les frais sont à la charge intégrale de l'Etat.

Le coût du baliseur est de 1400 euros l'heure ce qui fait un total d'environ 50 000 euros annuel. Les dépenses peuvent varier en fonction de l'ampleur des déplacements à effectuer compte tenu de l'évolution parfois importante de la morphologie des passes.

L'étude de l'évolution des passes par imagerie satellite est couplée avec cette convention à l'initiative du SIBA. Le coût de ce suivi est évalué à 15 600 euros réparti à parts égales entre le SIBA, le Conseil Général de la Gironde et le Conseil Régional d'Aquitaine.

Les levés bathymétriques ainsi que les images satellites seront les données de bases pour l'analyse de l'évolution morpho-bathymétrique de cette étude.

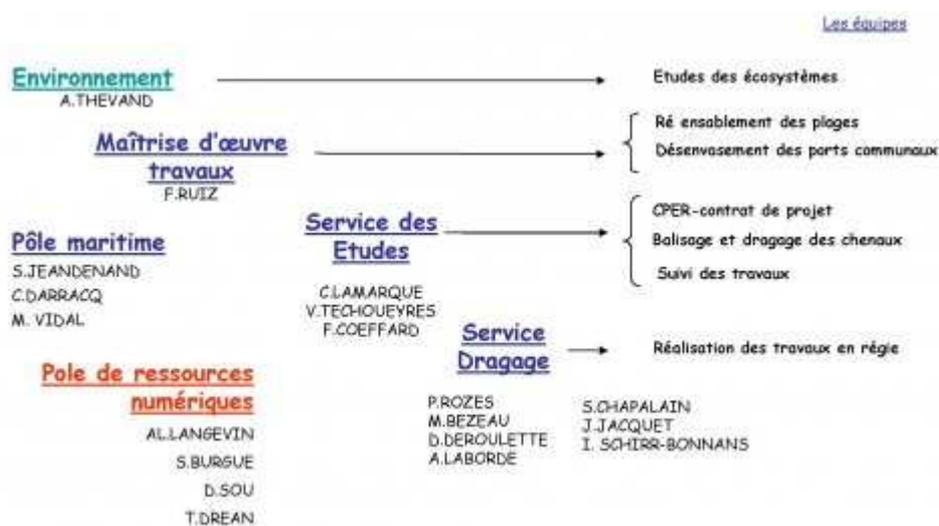
L'objectif du stage (du 1^{er} Mars 2010 au 31 Mai 2010) était d'étudier l'évolution des passes du Bassin d'Arcachon sur la période récente (2000 – 2010) essentiellement à partir des levés de sondages effectués par la STMBA. Il s'agissait ensuite de déterminer les probables perspectives évolutives. Pierre Vedrine, chef de l'Unité de Gestion de l'Espace Maritime et

Littoral (UGEML) au sein de la Direction Départementale de la Terre et de la Mer de la Gironde (DDTM 33) est à l'origine de ce sujet et a renouvelé son rôle de maître de stage cette année encore.

III – Réalisation d'un état des lieux de l'évolution des passes de 2000 à 2010

1 - Le SIBA et la STMB, deux acteurs importants dans le suivi des passes

Par commodités administratives et matérielles le stage a été financé par le SIBA et s'est effectué à son pôle maritime au Service des Etudes où je pouvais disposer de données bibliographiques, bathymétriques ainsi que des logiciels Mapinfo© et Hypack©. En effet le SIBA via son pôle maritime (doc.12) prend part au sondage des passes en collaboration avec la STMB dans le cadre de la convention sondage et balisage les unissant (cf. chapitre balisage).



Document 12 : Organigramme du Pôle maritime du SIBA. Source : SIBA

Depuis le 1er janvier 2010, dans le cadre de la Révision générale des politiques publiques (RGPP), les directions départementales des territoires et de la mer (DDTM) font partie des nouveaux services déconcentrés de l'Etat à compétence interministérielle. Ils relèvent du Premier ministre et sont placés sous l'autorité du préfet de département. Les DDTM reprennent les compétences des directions départementales de l'équipement (DDE), des directions départementales de l'agriculture et de la forêt (DDAF) et des directions départementales des affaires maritimes (DDAM) rejointes par le bureau de l'environnement de la préfecture.

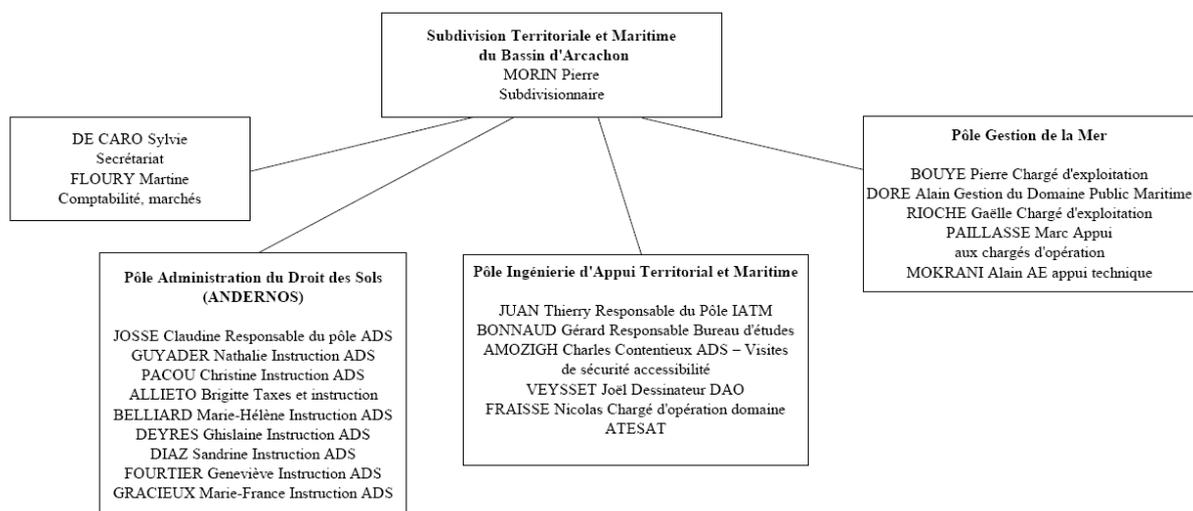
L'enjeu des DDTM (annexe 4) est de mettre en œuvre les engagements du Grenelle de l'Environnement et d'incarner de manière plus cohérente les politiques de l'Etat en faveur du développement durable du territoire.¹

La Subdivision Territoriale et Maritime du Bassin d'Arcachon qui dépend de la DDTM 33 (doc.13) m'a ouvert ses portes afin d'accéder aux informations sur le balisage, à des données de sondage et m'amener lors de leur opérations de sondage.

¹ http://www.gironde.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/DDTM_250x360recto_verso_cle0d2c8e.pdf

La STMBA a pour compétence territoriale le Bassin d'Arcachon, ce qui représente 80 km de côte à l'intérieur du Bassin, et partage la côte atlantique jusqu'au Verdon soit 120 km de côte avec la Subdivision du Médoc à Lesparre.

Elle assure la gestion du Domaine Public Maritime (DPM) hors cultures marines, les mouillages sur corps-mort, les cabanes ostréicoles, etc. et la délivrance d'autorisation d'occupations temporaires (AOT). Elle réalise également le suivi bathymétrique des passes du Bassin d'Arcachon.



Document 13 : Organigramme de la Subdivision Territoriale et Maritime du Bassin d'Arcachon. Source : STMBA

Parallèlement à l'étude de l'évolution des passes de 2000 à 2010 j'ai eu également pour mission d'apprendre les bases du logiciel de bathymétrie Hypack© utilisé par le SIBA afin d'aider le personnel de la STMBA chargé de réaliser les sondages des passes à se familiariser avec ce logiciel. Le personnel du SIBA m'a appris les bases de ce logiciel, et m'a permis de suivre une formation assurée par la société ACTHYD destinée aux agents du SIBA et de la STMBA.

Mon rôle fut ensuite d'accompagner les agents de la STMBA dans leurs opérations de sondage et de les aider dans le traitement des données et la réalisation cartographique. L'engagement du SIBA et de la STMBA ainsi que mon rôle de lien entre les deux organismes ont permis d'autonomiser la STMBA pour l'acquisition et le traitement de données bathymétriques.

2 - Comment appréhender l'évolution des passes ?

Différents outils et méthodes se sont succédés afin d'observer et comprendre les mécanismes entrant en jeu dans ce secteur et de prévoir les évolutions à venir ; leurs limites seront précisées dans la partie 3.

- Le modèle physique LCHF, 1973

Il fut une pièce maîtresse du programme d'ensemble des recherches d'amélioration des passes et d'aménagement du bassin intérieur mené dans les années 1967-1973 par le Service Maritime de Navigation de la Gironde puis relayé par la Mission Interministérielle à l'Aménagement de la Côte Aquitaine (MIACA). Le modèle était destiné à la recherche de la reproduction de phénomènes hydrauliques purs sous l'effet de divers dragages et aménagements (IFREMER, 1997)

- Le modèle mathématique SOGREAH, IFREMER

La Société Grenobloise d'Aménagement Hydraulique (SOGREAH) développe en 1991 à la demande du SIBA un modèle numérique du bassin afin d'apprécier les effets de l'évolution des passes sur la dispersion des effluents de la Salie. L'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) en 1995 développe également un modèle numérique utilisé comme un outil de gestion permettant de fournir une description synthétique de la plupart des mécanismes physiques du bassin.

- L'utilisation de l'imagerie satellite spot 5 (annexe 7a)

Le 20 Mai 1999, le SIBA a signé une convention avec l'ADERA (Association pour le Développement de l'Enseignement et des Recherches auprès des Université, Centre de Recherche et des Entreprises d'Aquitaine), fixant les modalités de réalisation des analyses et interprétation de la surveillance des passes par la mise en place d'un programme utilisant l'imagerie satellite SPOT afin d'établir une cartographie de l'entrée du Bassin d'Arcachon permettant de suivre le déplacement des passes et des bancs de sable. Il s'agit également, par la calibration des luminances SPOT à partir des données de sondages de la STMBA et l'analyse des données de turbidité de l'eau, d'établir l'hypsométrie SPOT des zones intertidales et subtidales des passes, qui correspond à une « bathymétrie spatiale » (Froidfond, 2009).

3 - Méthode adoptée dans le cadre de cette étude

L'analyse de l'évolution morpho-bathymétrique d'un secteur donné nécessite la possibilité de superposer et de croiser des informations afin de représenter et quantifier ces évolutions.

Les données brutes de sondage préalablement traitées par les agents du Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA) constituent la base de travail de mon analyse.

Afin de pouvoir exploiter ces données, le logiciel Mapinfo© dans sa version de base est inopérant ce qui m'a conduit à devoir utiliser le logiciel de bathymétrie Hypack©. Il permet d'acquérir les données lors des sondages, de les traiter et de réaliser, entre autre, à partir des données de sondages des cartes bathymétriques à un instant donné ou entre deux périodes permettant de suivre l'évolution.

Description de la démarche :

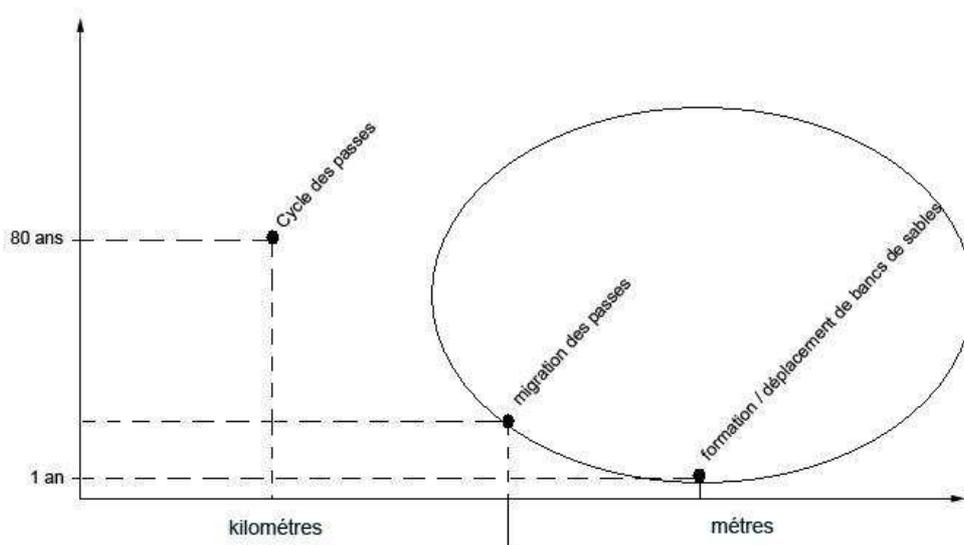
- relevé bathymétrique d'un secteur donné à un instant t
- relevé bathymétrique du même secteur à un instant t+1
- comparaison entre t et t+1
- mise en évidence des tendances évolutives
- recherche des interactions entre les différents secteurs

En ce qui concerne les bancs de sables émergents ou les petits fonds qui ne sont pas accessible par les vedettes bathymétriques, il est intéressant d'utiliser les images Spot. Pour ces comparaisons le logiciel Mapinfo est utile pour superposer les contours des bancs aux différentes années choisies et mettre en relief les grandes évolutions.

Du fait de la durée du stage de 3 mois et des données disponibles, l'analyse se borne de l'année 2000 à 2010.

L'évolution cyclique des passes s'insère dans des périodes plus étendues que celle adoptée dans le cadre de cette étude mais elle est suffisante pour tenter d'établir un schéma de fonctionnement de cette zone à court terme (doc.14). Les déplacements observés qui feront

l'objet de la partie 2 sont suffisamment significatifs pour les comparer avec des périodes plus anciennes et les confronter aux différentes hypothèses émises concernant la tendance cyclique des passes.



Document 14 : Echelles spatiales et temporelles de l'évolution des passes

Il est possible de se référer notamment à l'Etude Intégrée d'IFREMER (1997), aux thèses de Babin (1990), Gassiat (1989) et Michel (1997) pour une analyse à une échelle de temps plus vaste.

La mise en application de cette méthode et les résultats qui en ressortent feront l'objet de la partie suivante.

La partie 2 présentera les résultats de l'analyse de l'évolution morpho-bathymétrique des passes intérieures et extérieures. Il convient, avant de présenter les résultats, d'expliquer la méthode et le matériel permettant l'acquisition de relevés bathymétriques qui sont au cœur de cette étude.

Partie 2 : La mise à profit des levés bathymétriques pour l'analyse des tendances évolutives des passes.

I - La bathymétrie : méthodes d'acquisition et de traitement

1 – La méthode d'acquisition par sondeur monofaisceau

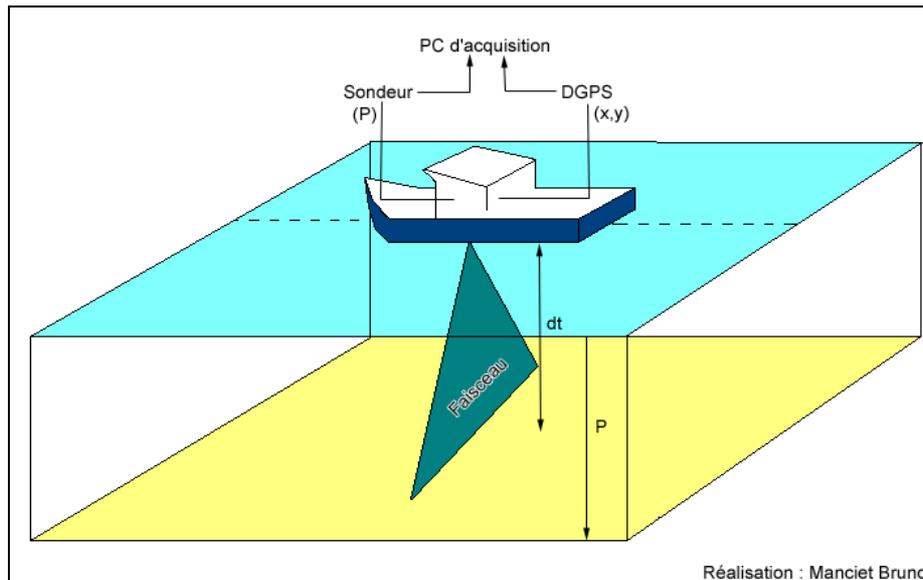
Le matériel de bathymétrie de la STMBA (doc.15) est composé d'un écho sondeur acoustique monofaisceau et d'un GPS différentiel. Ce matériel est relié à un ordinateur pour permettre l'acquisition des données via le logiciel de bathymétrie Hypack©. Le logiciel permet d'assigner à chaque point de sonde sa position en latitude (y) et longitude (x).



Document 15 : Matériel de bathymétrie de la STMBA. Clichés : Manciet Bruno.

Le principe du sondeur monofaisceau (doc.16) est de déterminer la profondeur en émettant une impulsion sonore au travers d'un faisceau dirigé selon la verticale du navire puis en mesurant le temps nécessaire au signal pour parcourir le trajet navire/fond/navire. La célérité du son dans l'eau est dépendante de la température, la pression et la salinité de l'eau. La profondeur (P) est ensuite déterminée par le produit de la célérité et de la durée du parcours du signal (dt) le tout divisée par 2 (le parcours du signal faisant un aller – retour)².

² http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_acquisition/smf/principe.htm



Document 16 : Principe de la bathymétrie monofaisceau.

Le barreur doit suivre des profils théoriques sur la zone à sonder déterminés à l'avance qu'il visualise sur le PC d'acquisition. Plus le cap du bateau est proche du profil théorique, plus la qualité du relevé final sera meilleure. L'espacement inter-profil choisi dépend de la précision du relevé désiré et de la taille de la zone à sonder. Pour le sondage de la bordure littorale Est du Cap Ferret (zone d'environ 1km²) l'espacement entre deux profils est de 50 mètres ; pour le secteur des passes qui est beaucoup plus étendu, l'espacement est de 200 mètres. Cet espacement influera donc sur la précision de l'interpolation des différents points de sondes permettant de calculer les profondeurs sur l'ensemble de la zone sondée via ces données ponctuelles.

2 – Correction des données et incertitude de la bathymétrie

Une fois l'acquisition effectuée il est nécessaire de procéder à l'étape de traitement des données brutes enregistrées. Cette étape consiste dans un premier temps à corriger les valeurs de la profondeur en renseignant au logiciel les variations de la hauteur du plan d'eau du fait de la marée via les données acquises par le marégraphe du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) situé à la jetée d'Eyrac à Arcachon. Il est également nécessaire d'entrer la valeur de la célérité du son dans l'eau, déterminée soit à partir de la sonde de célérité du SIBA soit à partir d'un logiciel en entrant la température de l'eau à différentes profondeurs.

Le logiciel corrige les données brutes en fonction de ces nouveaux paramètres pour donner la profondeur réelle au niveau des points de sondes par rapport au zéro des cartes marines (CM) situés pour Arcachon à - 1.98 m du zéro du nivellement général de la France (NGF).

Cependant à ce stade il est possible de distinguer des aberrations (« fausses sondes ») sur les profils. En effet la vedette bathymétrique est, suivant les conditions météorologiques, soumise au tangage (inclinaison du bateau vers l'avant puis vers l'arrière autour de sa position d'équilibre, l'assiette), au roulis (inclinaison du bateau sur bâbord puis tribord autour de son axe longitudinal) et au pilonnement (mouvement de haut en bas de la coque).

Lors de ces mouvements il peut arriver que le transducteur (élément du dispositif qui émet et reçoit le signal acoustique) sorte de l'eau ou que le faisceau aille rebondir loin de la verticale

du bateau. La sensibilité du sondeur peut aussi être à l'origine d'incohérence c'est pourquoi elle est parfois réglée en direct lors du sondage notamment lorsque la zone présente des écarts de fond importants. Dans ces cas là les données ne correspondent pas à la réalité et il convient de les corriger manuellement via le logiciel en régularisant le profil.

Cette étape présente une certaine dose de subjectivité plus ou moins négligeable selon la précision désirée. Il en va de même si l'on décide de trier les points de sondes permettant de lisser les isobathes pour un meilleur rendu visuel.

Comme il a été précisé précédemment, le logiciel procède ensuite à une triangulation à partir des points de sonde pour interpoler la bathymétrie sur l'ensemble de la zone couverte par les profils effectués.

Lors de ces différentes étapes nous avons donc plusieurs sources d'incertitude dues au matériel d'une part et aux conditions météorologiques d'autre part :

- l'échosondeur a une marge d'erreur de 10cm
- la précision du GPS est de 3m
- le décalage de la marée c'est à dire la hauteur d'eau au niveau du lieu de sondage par rapport à celle au niveau du marégraphe qui peut également être affectée par des surcotes ou décotes suivant le vent et la pression.
- la vitesse de navigation lors de la mesure
- le tangage, le roulis et le pilonnement

Cette marge d'erreur reste cependant négligeable pour l'étude de l'évolution des passes où les évolutions sont de l'ordre du mètre donc très supérieures à la marge d'incertitude.

Les relevés depuis 2000 mis à ma disposition me permettront d'étudier en détail l'évolution du secteur des passes du Bassin d'Arcachon dont les résultats sont présentés des les chapitres suivants.

Le deuxième chapitre traitera des passes intérieures dont le cadre est fixé par les ouvrages de défense contre l'érosion à l'initiative des riverains à l'inverse des passes extérieures évoluant dans un cadre « libre » qui feront l'objet de la troisième partie.

II – Les passes intérieures évoluant dans un cadre « fixé »

La limite Nord des passes intérieures se situe au niveau de la confluence entre le chenal du Teychan et de Piquey, sur un axe reliant Bélisaire à l'Ouest à l'église Notre Dame d'Arcachon à l'Est (doc.2). Au Sud elles sont limitées par les conditions hydrodynamiques à dominance lagunaire définies par Gassiat (1989), mais également sédimentaires selon Babin (1990) au niveau de la latitude 264000Y correspondant à un axe horizontal entre la pointe du Cap Ferret et le Pyla.

Milieu charnière, de 3,5 km en largeur et 4 km en longueur, entre deux dynamiques sédimentaires différentes (houle / courants de marée), les passes intérieures constituent un secteur morphologiquement instable (Babin, 1990).

A la différence des passes extérieures la côte est ici défendue par des ouvrages de protection. Au Moulleau, plusieurs générations de perrés en bois sont réalisées entre 1911 et 1950 pour laisser place à des perrés en maçonnerie à partir de 1973 (Garros, 2007). Le littoral du Pyla, au Sud, suit avec un certain décalage cette même logique où des perrés sont construits durant l'entre deux guerres puis en 1994 avec la réalisation du musoir de la Corniche (doc.66) au Nord de la Dune du Pilat (IFREMER, 1997). Le Bassin d'Arcachon représente le second

ensemble d'importants ouvrages de défense de la côte girondine après Le Verdon afin de répondre à l'urbanisation balnéaire du rivage (Mallet, 2008).

Les passes intérieures sont encombrées par de nombreux corps sableux constituant le delta de marée interne. A l'Ouest se situe le chenal du Ferret concentrant la plus grande partie des écoulements lors du jusant.

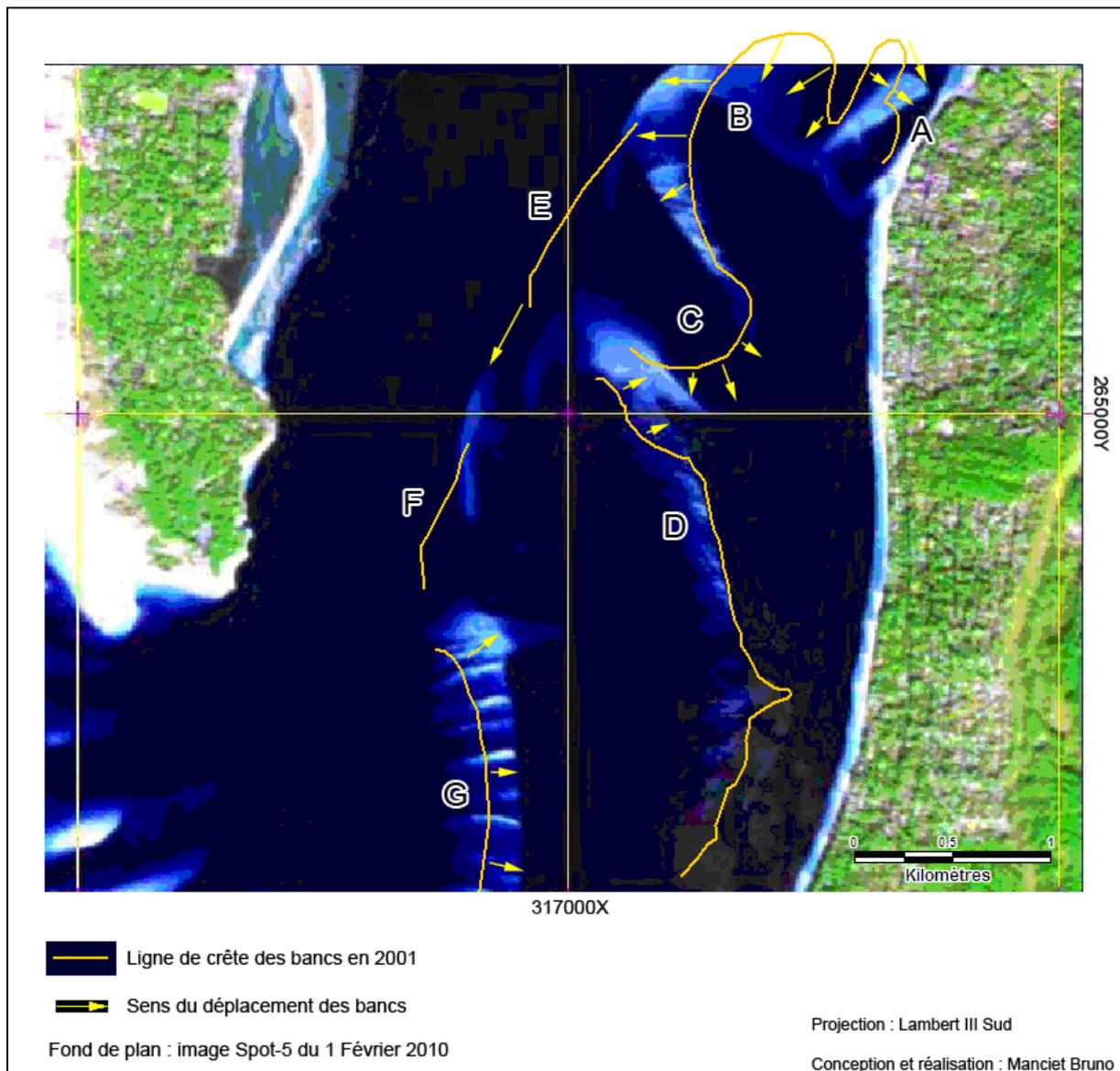
1 – Le delta de marée interne : un équilibre sédimentaire mais une instabilité morphologique

1 – 1 – Les évolutions morphologiques du banc de Bernet

La morphologie du banc de Bernet résulte de l'action des courants de flot mais il est également modelé sur son flanc Ouest par le jusant empruntant essentiellement le chenal du Ferret. Il constitue avec le banc du Moulleau le delta de marée interne. Ces bancs se déplacent uniquement sous l'effet des courants de marée formant un agencement de lobes de jusant ou de flot (Babin, 1990, Thauront, 1994).

La carte ci-dessous (doc.17) représente l'évolution morphologique observée du delta de marée interne à partir des images satellites Spot du 15 Mai 2001 et du 1 Février 2010.

Nous observons une morphologie relativement stable malgré un élargissement des différents lobes de jusant et de flot. Les données bathymétriques disponibles ne couvrent pas totalement ce secteur ce qui empêche de quantifier l'évolution du stock sédimentaire.

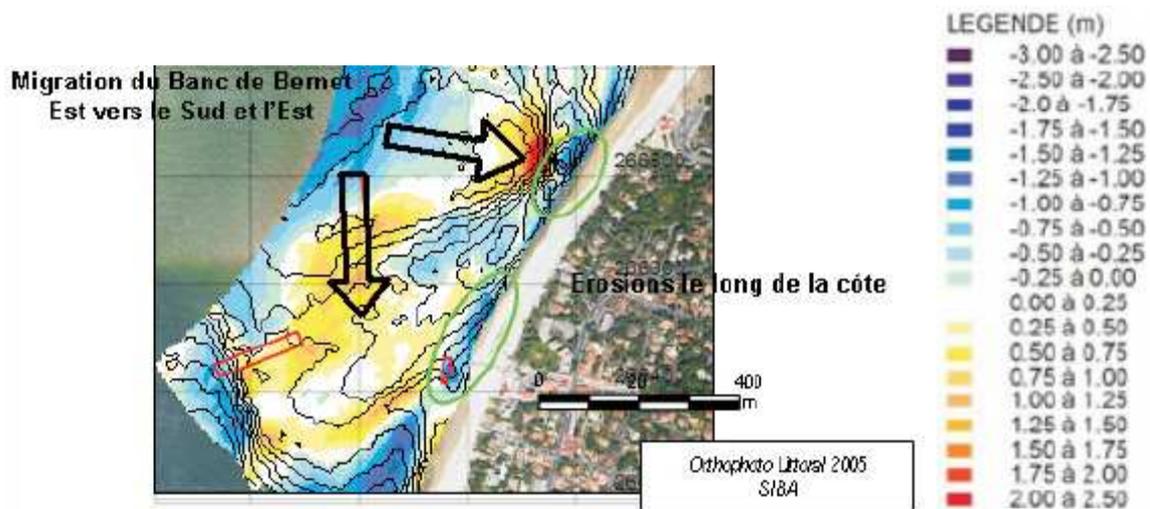


Document 17 : Evolution morphologique du delta de marée interne entre 2001 et 2010.

Source : image Spot du 15 Mai 2001 et du 1 Février 2010 ©CNES

Nous analyserons point par point les déplacements des différents bancs de sable constituant le delta de marée interne repérés par des lettres sur la carte ci-dessus.

A : le chenal longeant la plage des Abatilles jusqu'à la jetée du Moulleau s'est fortement réduit entraînant une érosion localisée de la plage du Moulleau (doc.18) et un ensablement du secteur notamment autour de la jetée nécessitant annuellement des opérations de dragage pour faciliter l'accès à cette jetée et réensabler la plage.



B : ce lobe de flot s'est déplacé vers le Sud Ouest pour sa partie Nord, et vers l'Ouest pour sa partie Ouest.

C et D : le lobe de jusant « C » s'est allongé et a progressé vers le Sud Est pour rencontrer le lobe D dont sa partie Nord a migré légèrement vers le Nord Est, formant un banc émergeant à marée basse. Le reste de ce banc ne semble pas avoir bougé d'autant plus qu'il sert de zone de prélèvement tous les deux ans pour réensabler les plages du Pyla.

E : On observe une translation de ce banc vers le Sud Ouest formant un banc émergeant à marée basse.

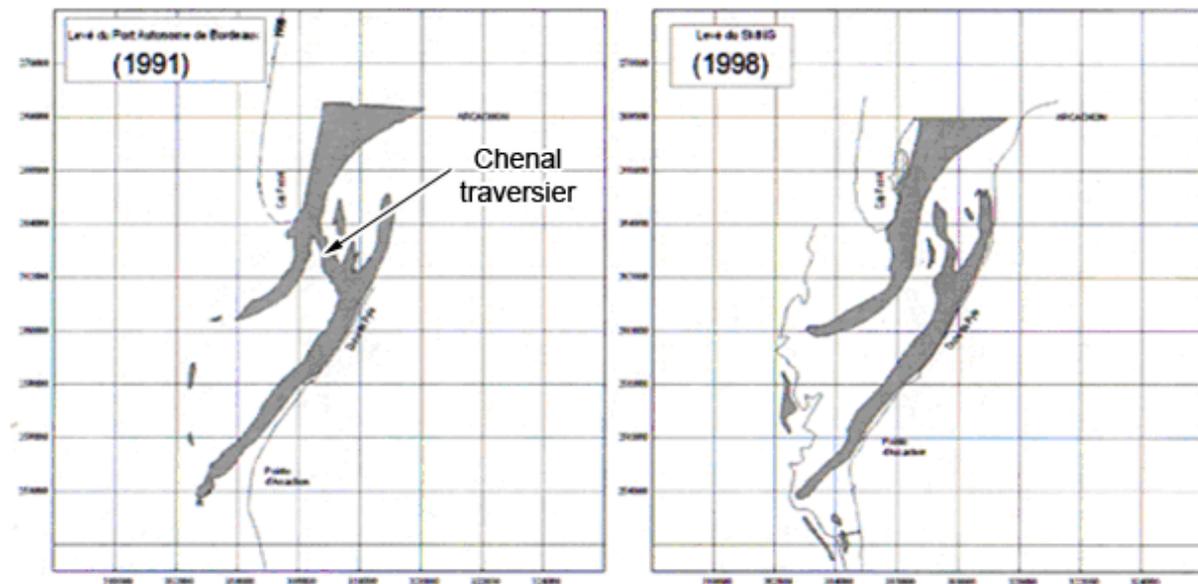
F : Ce banc s'était déplacé vers le Sud Est de 300m entre 1999 et 2003 (Froidefond, 2003) ce qui avait fermé le chenal traversier. En 2010 ce banc a disparu et l'on observe à nouveau l'ouverture toute relative du chenal traversier. Ce banc est désormais remplacé par celui dénommé ici « E ».

G : La partie Nord du banc du Chien montre un déplacement vers l'Est lié à l'alignement Nord Sud de la passe Nord avec le chenal du Ferret.

Comme nous le verrons plus en détail dans la partie 3, le bilan sédimentaire des passes intérieures est stable selon Babin (1990). De ce fait les déplacements observés sont, si cette stabilité sédimentaire est toujours valable, une redistribution du stock sédimentaire à l'origine de zones d'accrétion et d'érosion.

1 – 2 – Vers une réouverture du chenal traversier ?

Le chenal traversier (doc.19) assurait la jonction dès 1947 de la passe unique en position Sud avec le chenal du Ferret et a subsisté malgré l'ouverture de la passe Nord au début des années 1980. En 1987 ce chenal avait des fonds supérieurs à 11m ce qui permettait aux écoulements issus du chenal du Ferret d'emprunter la passe Nord mais également ce chenal pour rejoindre la passe Sud (Froidefond, 2001).

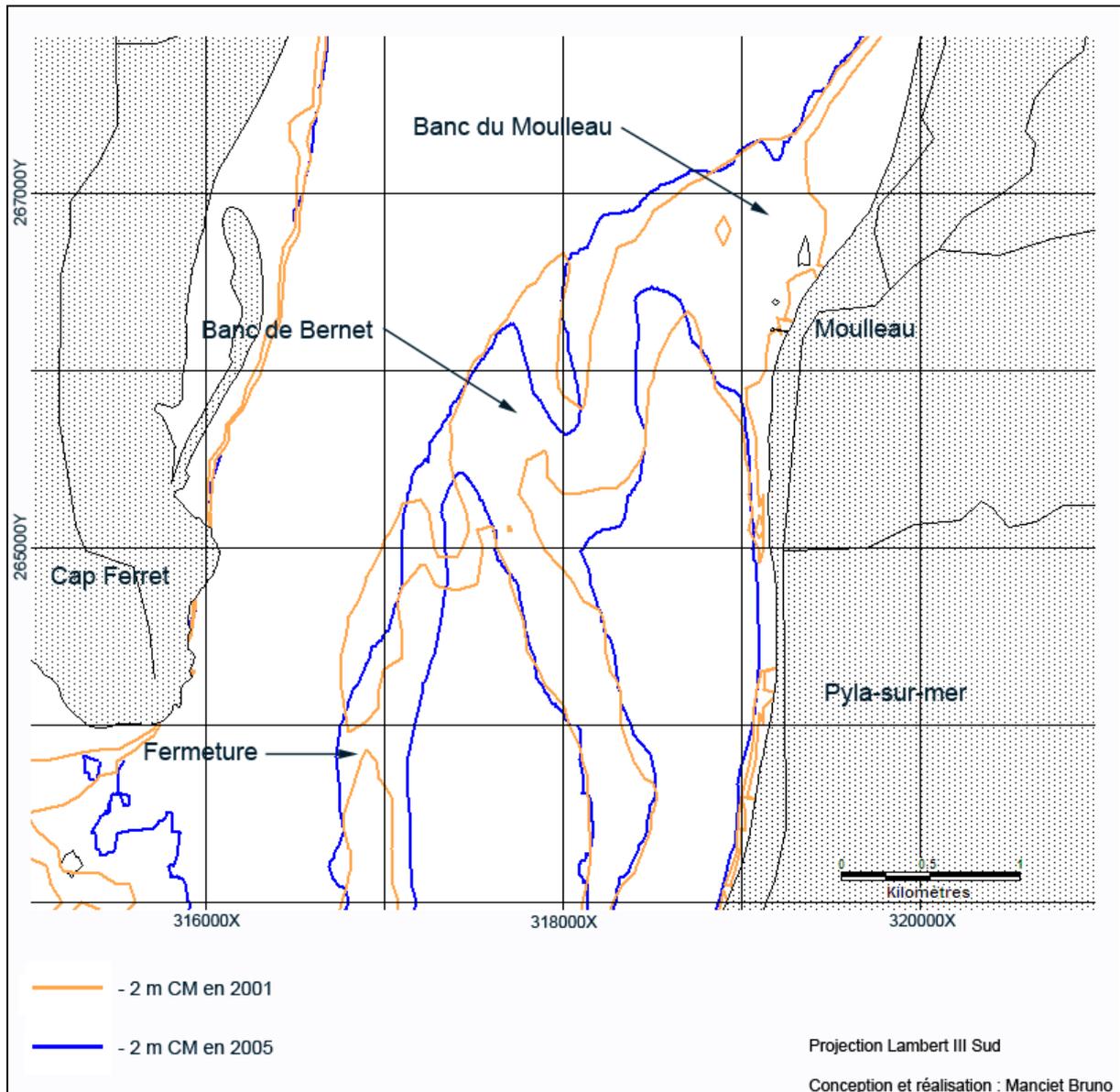


Document 19 : Fonds supérieures au – 5 m CM des passes du Bassin d'Arcachon. Source : Mallet, 2008.

L'observation de l'isobathe – 5 m CM entre les levés du Port Autonome de Bordeaux (PAB) de 1991 et du Service Maritime et de Navigation de la Gironde (SMNG) de 1998 (doc.19) montre la disparition du chenal traversier (Mallet, 2008). En effet en 1998 les fonds sont passés à – 3,5 m CM. Cet exhaussement résulte du développement de la passe Nord et l'isole de la passe Sud en renforçant son rôle prépondérant d'axe hydraulique (Froidefond, 2001).

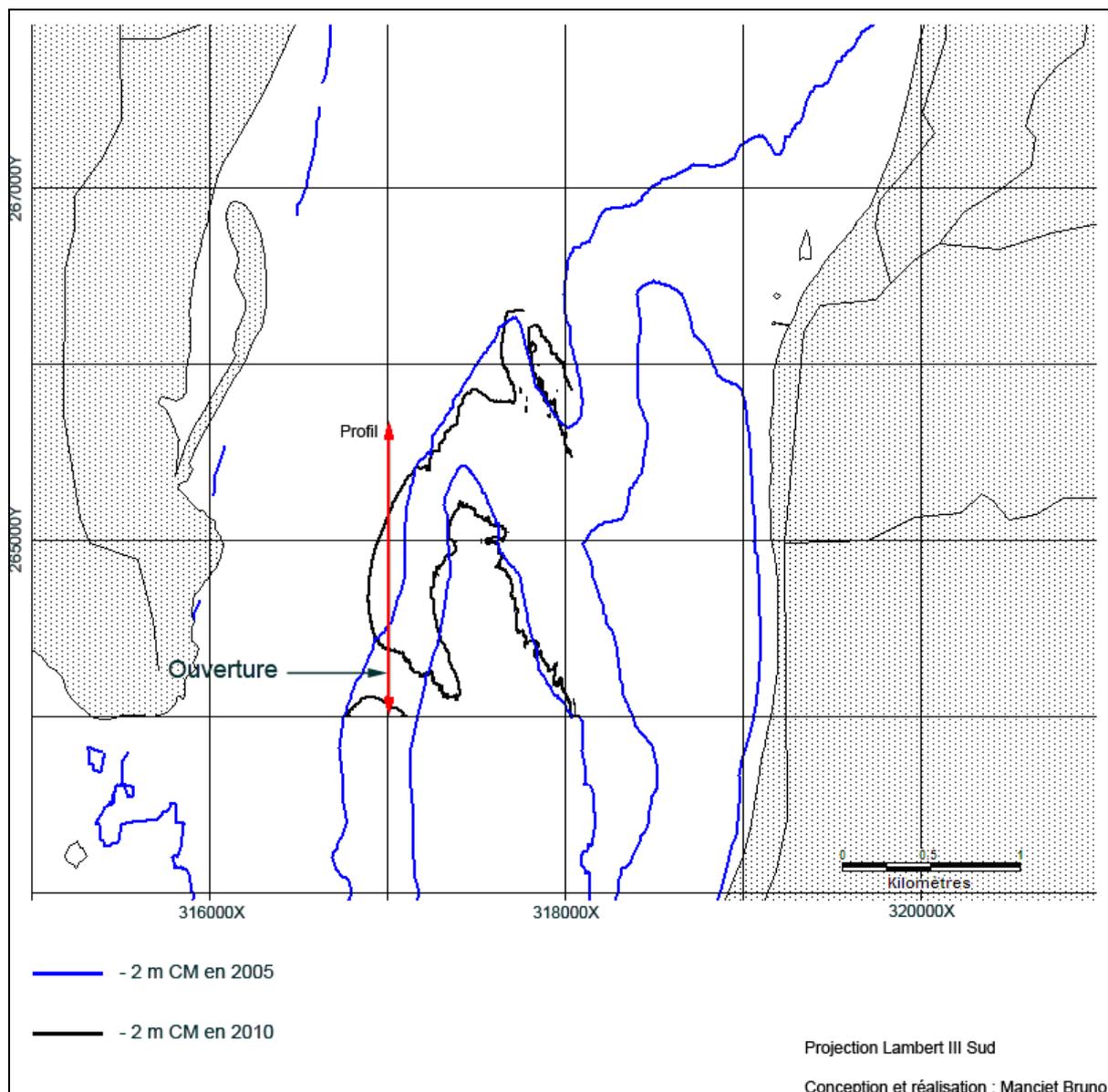
Pour étudier l'évolution de ce secteur entre 2001 et 2010 nous comparerons l'isobathe – 2 m CM qui selon Babin est représentatif des jonctions ou séparations de bancs. Cela permet de représenter le contour du banc de Bernet en 2001, 2005 et 2010 et de visualiser l'évolution de sa morphologie ainsi que les ouvertures ou fermetures de brèches, à la profondeur -2m CM. Pour une meilleure compréhension, la carte bathymétrique de ce secteur réalisée en Avril 2010 est disponible à l'annexe 5.

L'observation entre 2001 et 2005 (doc.20) montre bien le prolongement vers le Sud du banc de Bernet qui finit de fermer ce chenal en 2005 en rejoignant l'extrémité Nord du Banc d'Arguin.



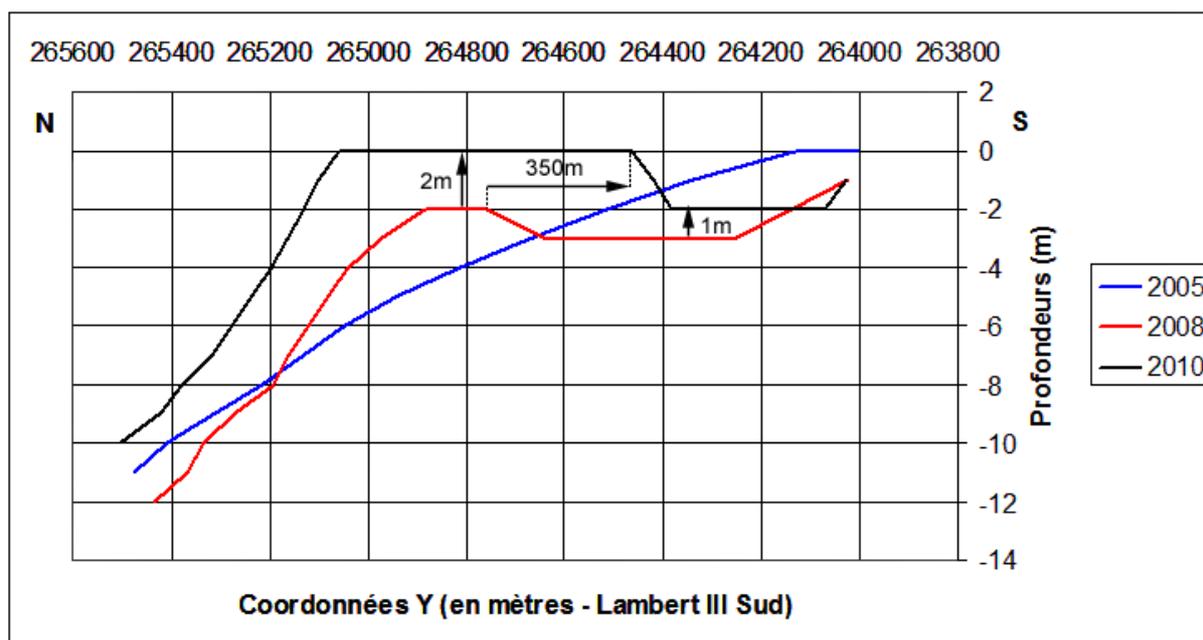
Document 20 : Comparaison de l'isobathe – 2 m CM du banc de Bernet entre 2001 et 2005.
Source : STMBA

Cependant la comparaison entre 2005 et 2010 (doc. 21) révèle une brèche résultant, à la vue de la direction des isobathes, des écoulements du chenal du Ferret où l'on note des profondeurs de – 3 m CM (annexe 5).



Entre 2008 et 2010 le haut du talus Nord de cette ouverture s'est déplacé d'environ 350 m vers le Sud avec une légère baisse de la profondeur nous faisant émettre des doutes au sujet du maintien de ce chenal dans le temps.

La comparaison de l'isobathe – 2 m CM permet donc de bien visualiser la jonction ou la séparation des bancs. Il est cependant difficile de se prononcer sur les causes de ce jeu de fermeture puis d'ouverture de ce chenal sur un pas de 10 ans et savoir s'il s'agit d'un phénomène épisodique ou bien la conséquence d'un ajustement hydro-sédimentaire du système des passes.



Document 22 : Profil en long du chenal traversier en 2005, 2008 et 2010.

Le profil en long (doc.21, doc.22) selon l'axe 317000X entre les latitudes 264000Y et 265600Y indique bien l'absence d'ouverture en 2005 (bleu) puis une brèche qui apparaît en 2008 (mais déjà visible en 2007) avec une profondeur de - 3 m CM. En 2010 on observe sa translation vers le Sud probablement sous la contrainte d'un banc de sable qui se déplace vers le Sud Ouest (banc « E » cf. doc.17) réduisant le chenal du Ferret au droit d'Hortense (265000Y) d'environ 190m.

Nous pouvons nous poser la question de l'influence de ce rétrécissement du chenal du Ferret par l'Est, du fait du déplacement de certains bancs de sable, sur la direction des courants de jusant buttant sur la façade Est du Cap Ferret dont un des résultats de l'action conjuguée de ces différentes dynamiques serait l'ouverture de ce chenal traversier.

2 – La pointe du Cap Ferret en proie avec l'érosion marine

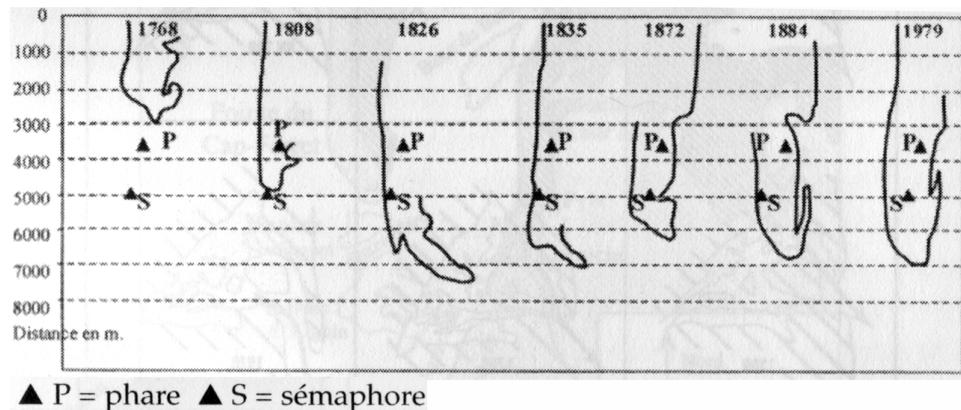
2 – 1 – L'extrémité Sud de la Pointe du Cap Ferret en phase de recul depuis 1973

La pointe du Cap Ferret constituée par un littoral sableux délimitant le domaine lagunaire vers l'Ouest, est la zone où s'agencent les différents secteurs dynamiques. Son évolution est fortement liée aux modalités d'évolution des passes d'entrée du Bassin d'Arcachon et en particulier de la Passe Nord.

L'évolution de la flèche de 1768 à 1988 montre deux phases de progradation alternant avec deux phases de régression (Gassiat, 1989) :

- de 1768 à 1826 la flèche a progressé vers le Sud sur environ 5km avec une vitesse de la progradation atteignant jusqu'à 185 m/an,
- de 1826 à 1894 s'en suit une situation d'équilibre avec un recul de 1770 m et un élargissement de 700 m,
- de 1894 à 1964 la flèche s'allonge de 70 m pour se situer à 1770 m au Sud du sémaphore alors que la rive interne s'érode,

- depuis 1973 il est observé un recul constant de la flèche vers le nord du fait de l'érosion qui continue actuellement (doc.23).



Document 23 : Evolution de la flèche du Cap Ferret de 1768 à 1979. Source : Clus-Auby, 2003 d'après Gassiat (1989) modifié.

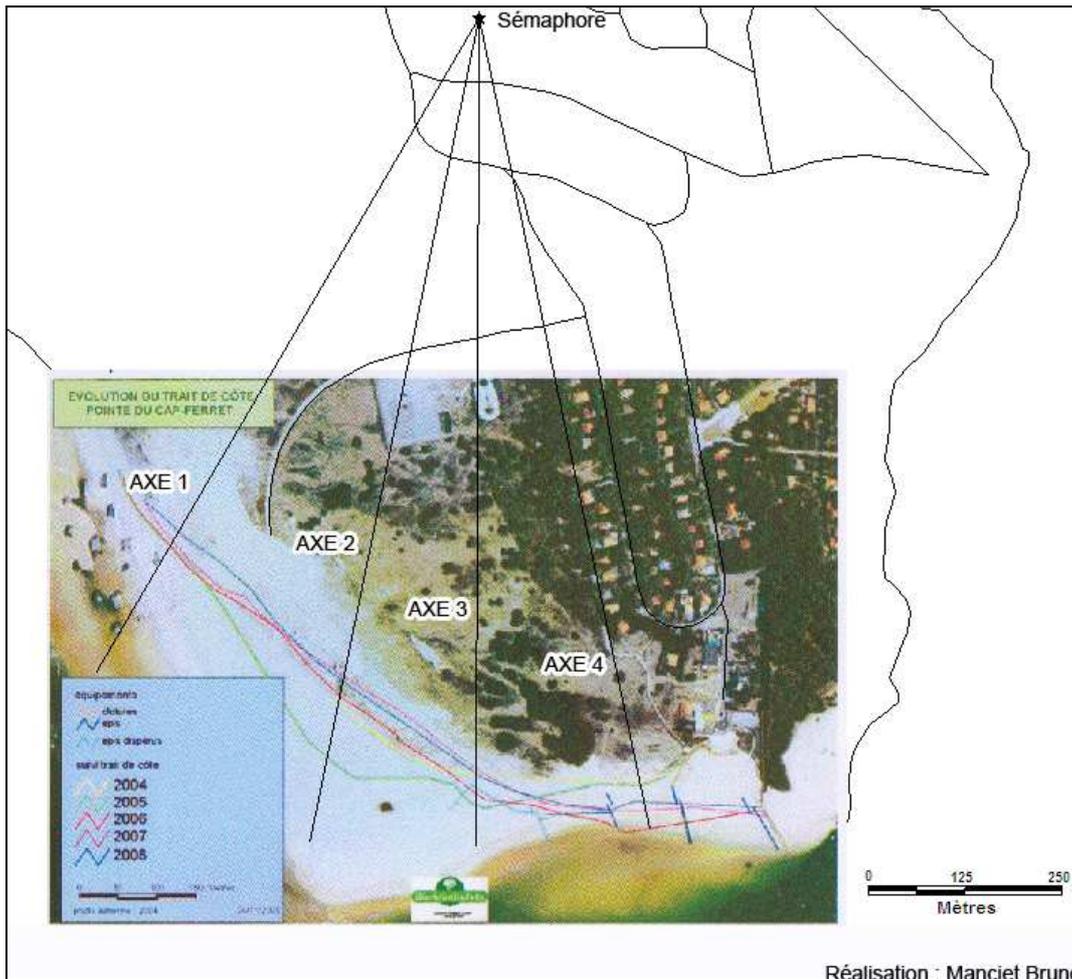
La passe Nord actuelle qui s'est formée au début des années 80 a amorcé un nouveau recul de la pointe. De 1985 à 1995 le taux de recul était de 9 m/an en moyenne. D'après l'étude réalisée pour le Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) du Cap Ferret (SOGREAH-LARAG, 1995), l'érosion maximum serait prévisible en 2015, date après laquelle succédera une phase d'avancée lorsque la passe Nord sera suffisamment éloignée de la Pointe, situation favorable à la pro gradation de la flèche par un meilleur maintien des apports sableux comme nous le verrons par la suite (SOGREAH, 2003).

Les relevés que j'ai à ma disposition du trait de côte au niveau de la pointe du cap Ferret permettent de réaliser un constat d'évolution à court terme, pour la décennie 2000 – 2010.

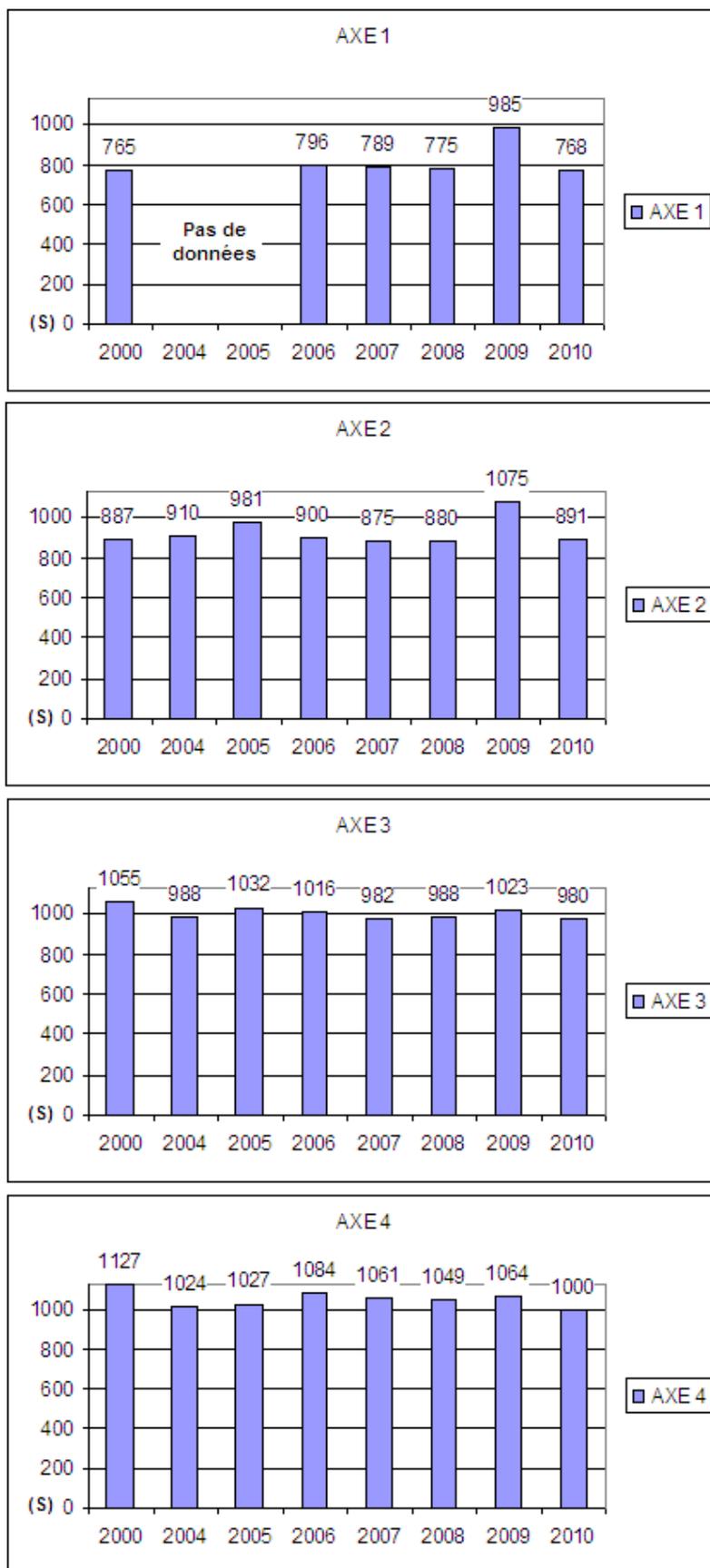
La définition du trait de côte retenue ici est la limite des plus hautes eaux correspondant au bas de falaise, ou pied de dune³. Le trait de côte de 2000 provient de la SOGREAH (SOGREAH, 2003) et de documents fournis par le conservatoire du littoral indiquant les traits de côte mesurés par l' Office National des Forêts (ONF) de 2004 à 2010.

Pour ce constat d'évolution nous pouvons calculer la distance entre un point fixe de référence, le sémaphore, et le trait de côte aux différentes années étudiées selon plusieurs axes pour prendre également en compte les différences spatiales (doc. 24, 25).

³ <http://littoral.aquitaine.fr/Le-Reseau-Littoral-ONF.html>



Document 24 : Localisation des profils pour l'étude de l'évolution du pied de dune de la pointe du Cap Ferret. Source : Trait de côte 2004 – 2008 ONF.



Document 25 : Evolution de la distance (en mètre) entre le sémaphore (noté S) et le trait de côte au niveau de la pointe du Cap Ferret entre 2000 et 2010. Réalisation : Manciet Bruno. Sources : relevés 2000 SOGREA, 2004 à 2010 ONF.

Nous remarquons des phases d'avancée et de recul du trait de côte fluctuant d'une année sur l'autre avec une relative stabilité générale même si dans le détail nous pouvons observer un léger recul (donc à l'érosion) pour l'extrême Sud de la pointe (axe 3 et 4).

Le long de la côte atlantique, la dérive littorale agit de manière maximale entre la plage et – 5 m CM de profondeur. Ce phénomène orienté vers le Sud est responsable d'un transit sédimentaire évalué par le Laboratoire Central d'Hydraulique de France (LCHF) en 1969 à 625 000 m³ par an à partir d'expériences par traçage radioactif des sédiments sableux sur le littoral océanique du Cap Ferret et calculé avec les formules théoriques classiques de transport littoral (IFREMER, 1997).

Des barres dont la racine est rattachée à l'estran se forment sur la côte Ouest s'étirent peu à peu vers le Sud pour former un banc parallèle à la côte ou un crochon (corps sédimentaire apparaissant en superstructure de bancs immergés résultant de masses sableuses transportées par les courants de houle. SOGREAH, 1997) qui peuvent soit être entraînés dans les passes, soit se rattacher à l'estran en remodelant le tracé de la côte.

Ce phénomène se produit essentiellement en période estivale lorsque la dérive littorale est très active (Gassiat, 1989) et l'extrémité Sud étant soumise au rapport de force entre la houle et les courants de marée, des crochons peuvent être formés comme en 1964 (doc.26).



Document 26 : Photographie aérienne de la pointe du Cap Ferret en 1964. Source : IGN

Cependant l'action de la houle provoque également la régularisation du profil de l'estran en détruisant les formes de dépôts essentiellement en période hivernale.

C'est pourquoi au niveau des axes 1 et 2 situés dans le domaine océanique côtier nous pouvons observer des évolutions plus marquées pouvant être de 200 m d'une année sur l'autre (2008/2009) du fait du rattachement puis de l'érosion de ces « wagons sédimentaires ».

L'engraissement de l'extrémité Sud de la Pointe par ces apports est toute fois limité par la trop grande proximité de la passe Nord concentrant les courants de jusant autour de la Pointe du Cap Ferret donc pour les axes 3 et 4 le recul est d'environ 60 m entre 2009 et 2010.

Indépendamment des évolutions à l'échelle du cycle des passes, la plage de l'extrémité Sud de la pointe présente également des variations saisonnières comme toutes les autres plages, à savoir des périodes d'érosion en hiver lors desquelles le sable migre de la dune vers la plage et de la plage vers la plage sous-marine ; et des périodes d'équilibre ou d'accrétion au

printemps par un transport du sable du large vers la plage voire la dune par transport éolien⁴. Il convient donc de ne pas confondre ces variations saisonnières de la plage avec l'évolution de l'ensemble de la pointe qui est soumise en grande partie à l'évolution des passes qui sera analysée par la suite et des apports de sédiments par la dérive littorale.

Même si les variations du trait de côte entre 2000 et 2010 paraissent limitées et d'autant plus si on les compare aux variations sur de longues périodes, **la proximité des habitations et commerces du rivage modifie l'échelle du risque où des reculs d'une dizaine de mètres peuvent avoir de sérieuses conséquences.**

La carte ci-dessous (doc.27) représente la comparaison du trait de côte pour les années 2000 et 2010.



Document 27 : Evolution du trait de côte de la pointe du Cap Ferret entre 2000 et 2010 où l'érosion prédomine. Sources : relevés 2000 SOGREA, 2010 ONF.

⁴ <http://littoral.aquitaine.fr/Les-transits-sedimentaires.html>

La comparaison ne prend donc pas en compte les variations qui sont survenues entre les deux dates mais on observe que par rapport à 2000 les reculs les plus importants du trait de côte, entre 50 et 150 mètres, se situent à l'extrémité de la pointe se rapprochant de ce fait de plus en plus des habitations et des commerces.

Le secteur le plus à l'Ouest est quasiment identique pour les situations de 2000 et 2010 mais comme nous l'avons vu avec les histogrammes, les variations peuvent être très importantes d'une année sur l'autre, alors que pour la partie Sud elles sont plus modérées et indiquent bien un recul sensible durant la période étudiée.

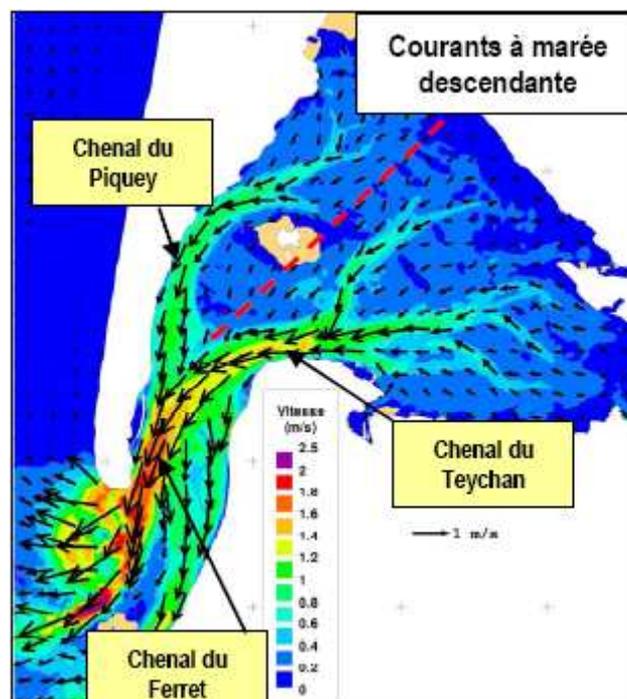
La réfraction de la houle autour du Cap Ferret fait transiter une partie des sédiments de la pointe vers le Nord dans le domaine lagunaire. La digue Carpe Diem (doc.27) vient interrompre en partie ce transit afin de maintenir une plage à son extrémité. Cependant le maintien de cette plage est précaire et les effondrements sont courants.

Cela nous amène donc à étudier la face interne du Cap Ferret où les riverains tentent de faire face à l'érosion.

2 – 2 – La façade orientale du Cap Ferret siège d'une érosion constante depuis 1950

La façade orientale de la flèche du Cap Ferret représente un linéaire de 3 km de la flèche du Mimbeau au Nord à l'extrémité du Cap Ferret au lieu dit « la Pointe » au Sud.

A chaque cycle de marée, deux fois par jour, ce sont entre 200 et 400 millions de m³ d'eau selon le coefficient de marée qui entrent et sortent du bassin drainés aux deux tiers par le chenal du Teychan et un tiers par le chenal de Piquey. La confluence de ces deux écoulements se fait essentiellement au niveau du chenal du Ferret où, lors du jusant, les vitesses sont maximum et dont la résultante est dirigée vers la façade Est du Cap Ferret (doc.28).



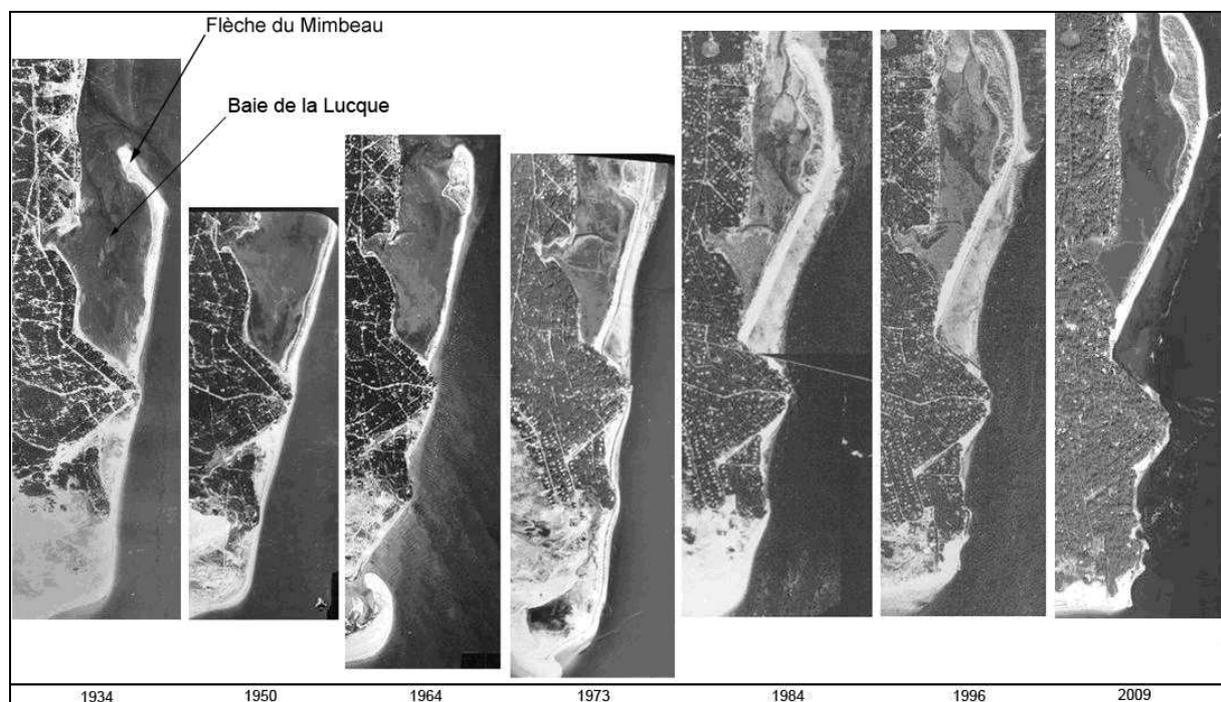
Document 28 : Intensité des courants de jusant maximal sur la façade Est du Cap Ferret.
Source : SOGREAH, 2008.

Ces mécanismes induisent une migration naturelle du chenal du Ferret vers l'Ouest qui est la principale cause du recul du littoral dans ce secteur et de la migration vers l'Ouest de la flèche du Mimbeau. La houle et le clapot contribuent également à l'érosion du haut de plage (SOGREAH, 2008).

Ce secteur du Cap Ferret peut être considéré comme la rive concave d'un fleuve à méandre, rive qui pour une telle géométrie fluviale est classiquement le siège de processus d'érosion (SOGREAH, 1997). Cette configuration se retrouve sur le littoral d'Arcachon qui constitue la rive concave du chenal du Teychan où l'on retrouve les profondeurs les plus importantes du Bassin notamment au niveau du trou Saint-Yves.

Les photographies aériennes de l'Institut Géographique National (IGN) (doc.29) illustrent bien l'érosion progressive du littoral.

Avant l'érosion croissante observée à partir de la fin des années 1960, la façade Est bénéficiait du rattachement des crochons qui se formaient sur la côté Ouest puis au niveau de la pointe permettant un apport sédimentaire par une dérive littorale Sud Nord du fait de la diffraction de la houle au niveau de la pointe.



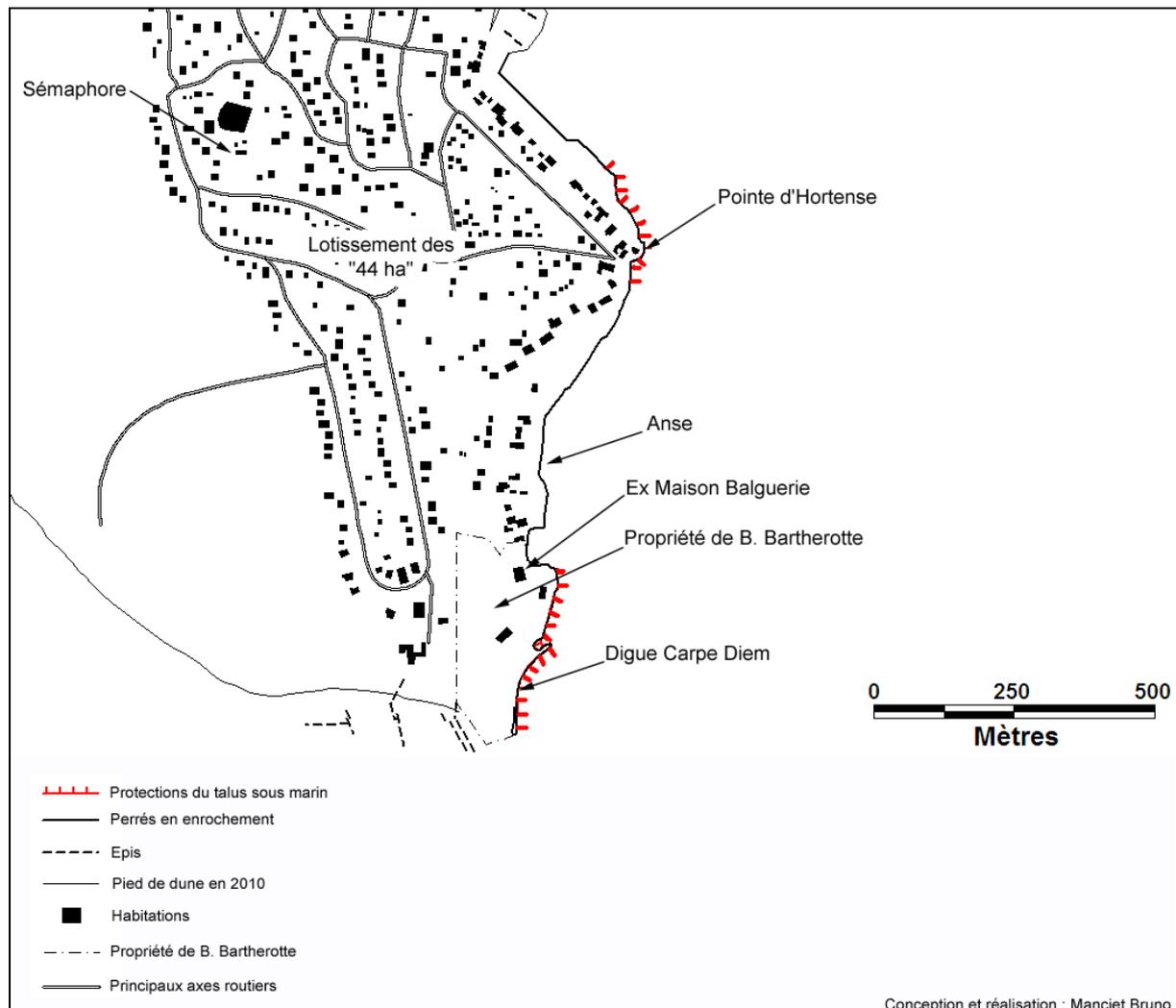
Document 29 : Evolution de la façade Est du Cap Ferret de 1934 à 2009 (Les échelles varient). Sources : IGN, Google Earth 2009.

La flèche du Mimbeau s'est formée aux alentours de 1880. En 1934 nous pouvions observer une plage sur la façade Est qui se prolongeait par la flèche du Mimbeau. Cette flèche était alimentée jusque dans les années 1950 par le sable transporté par la diffraction des houles autour de l'extrémité du Cap Ferret.

En 1950 les premières protections contre l'érosion marine sous la forme de perrés en enrochement sur le haut de plage au niveau d'Hortense (au Sud de l'enracinement du Mimbeau) ont interrompu l'alimentation de la flèche du Mimbeau. En 1964 la plage de la pointe jusqu'au Mimbeau avait quasiment disparu mais un crochon à l'extrémité de la pointe s'est rattaché à l'estran rengraissant temporairement ce secteur, visible en 1973 et disparaît par la suite.

Depuis 1996 le Mimbeau ne montre pas d'importantes modifications car la flèche s'est adaptée aux contraintes imposées par l'action des houles et clapots et son enracinement s'est vu protégé par des enrochements (SOGREAH, 2003). La tendance naturelle est à l'amaigrissement de l'enracinement qui est compensé par des opérations de réensablement par déblais et remblais sur site, du lobe de la flèche vers son enracinement par le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA) depuis 2004.

Au Sud de la flèche du Mimbeau se situe le lotissement des « 44 ha » dont la partie riveraine du domaine public maritime (DPM) représente un linéaire d'1,3 km (doc.30).



Document 30 : Plan de localisation de la pointe du Cap Ferret et des aménagements réalisés contre l'érosion marine. Sources : IGN Orthophoplan 2004, SOGREAH, 1997.

A partir de 1963 le rôle de l'avancée vers l'Ouest du flanc occidental du chenal du Ferret sur le déséquilibre de cette portion du littoral est entrevu et en réponse le déversement de matériaux sur le talus sous marin débute afin d'enrayer la translation du chenal (SOGREAH, 1997). Cependant comme nous le voyons clairement sur les photographies de l'IGN, cela a pour conséquence de réduire énormément l'estran voire de le supprimer comme en témoigne la photographie ci-dessous au niveau de la pointe d'Hortense (doc.31).



Document 31 : Pointe d'Hortense en Avril 2010. Cliché : Manciet Bruno

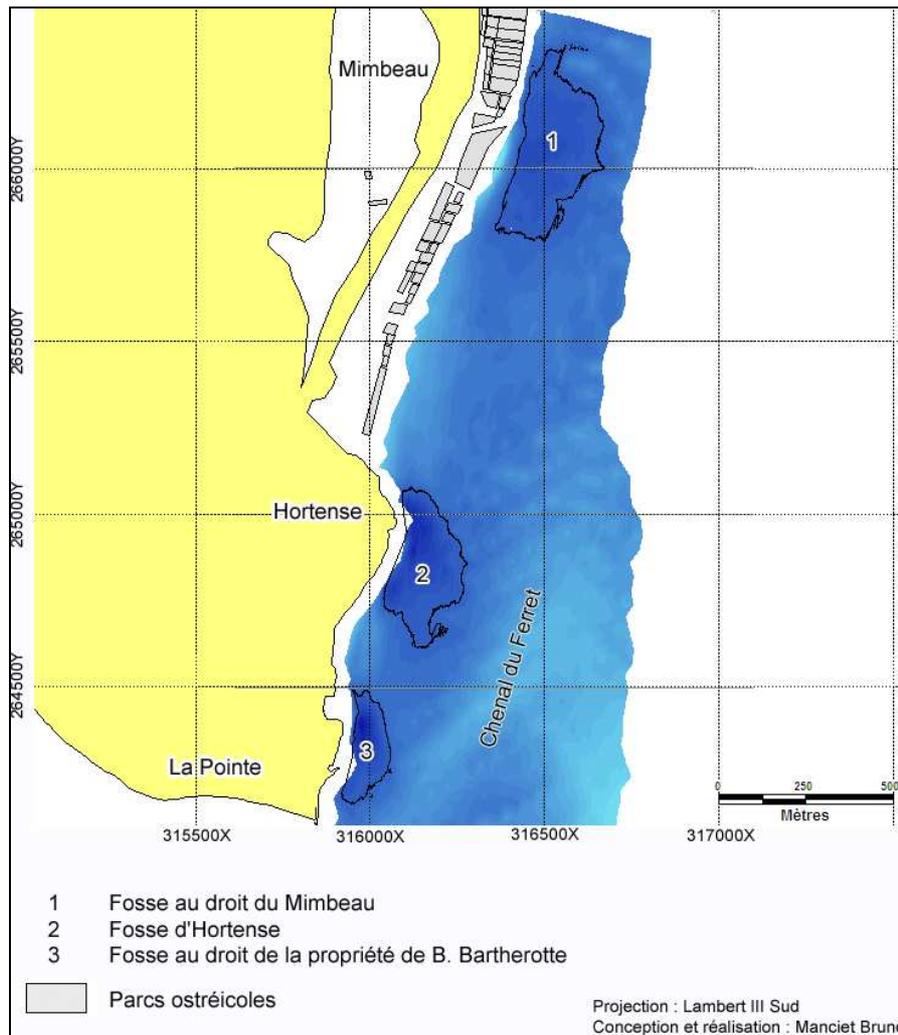
Au Sud d'Hortense plusieurs séries de courts épis furent construits sur l'estran entre 1950 et 1982 afin de retenir le sable transporté par la dérive littorale Sud Nord. Durant l'hiver 1985 l'érosion du littoral provoque la démolition d'une partie de l'ancienne maison Balguerie (doc.30) située dans la propriété de B. Bartherotte (annexe 7c). Cet évènement incite le propriétaire des lieux à entreprendre des travaux de protection qui se poursuivent toujours à l'heure actuelle.

De 1985 à 1987 il entreprend la construction d'un perré en enrochement pour la protection de la rive et la constitution d'un pavage du talus sous-marin par déversement de matériaux. En 1994 et 1995 il prolonge la protection vers le Sud par une jetée surnommée « digue Carpe Diem » (doc.32, annexe 7b) dont le musoir sert à déporter les courants de jusant vers le large (SOGREAH, 1997).



Document 32 : La Digue « Carpe Diem » construite par B. Barthertotte. Cliché Manciet Bruno.

Ainsi « protégées » la pointe d'Hortense et la propriété de B. Bartherotte constituent les points les plus avancés dans le chenal du Ferret où l'érosion induit un abaissement continu des fonds à l'origine de fosses (doc.33).



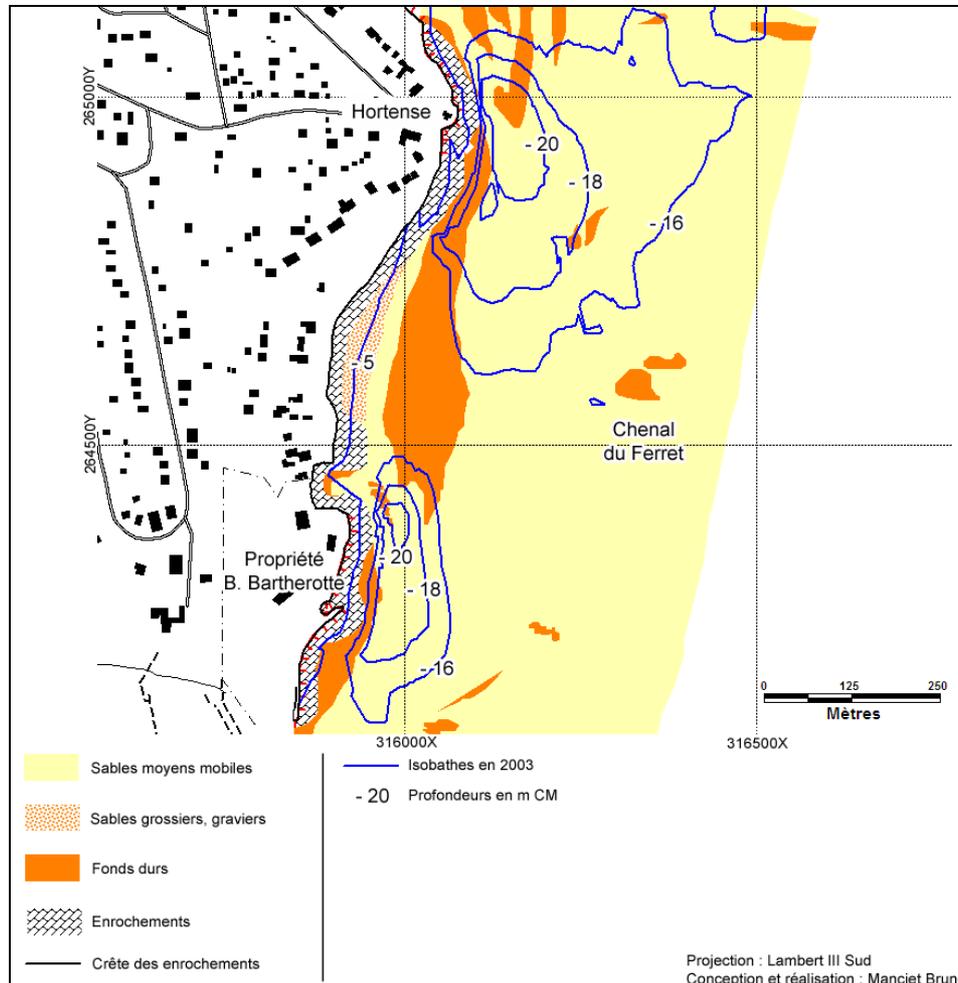
Document 33 : Localisation des trois fosses de la bordure littorale Est du Cap Ferret. Sources : Bathymétrie SIBA/STMBA Mars 2010, cadastre ostréicoles DDAM.

Les données bathymétriques concernant la fosse au droit du Mimbeau sont insuffisantes pour étudier son évolution. Elle est la plus large des trois fosses mais les fonds n'excèdent pas 20 mètres, cependant sa présence laisse penser qu'un point dur se situe au niveau du talus Ouest du chenal.

En effet l'érosion de son enracinement est palpable dès le début du 20^{ième} siècle car une cinquantaine de concessions ostréicoles furent englouties de 1911 à 1969. Ce phénomène d'érosion s'accompagne d'une avancée de la flèche vers le Nord par processus éolien mais également sous l'action des courants de marée. Cette avancée de la flèche est de plus favorisée par l'écoulement de jusant de direction Nord dans la baie ainsi créée (baie de la Lucque) qui fait transiter le sable du pourtour interne de la flèche vers son lobe terminal au Nord. Face cette fois à l'ensablement des parcs à huîtres, des tentatives de stabilisation de la flèche sont réalisées dès 1955 par des épis de brandes, de pignots (petits troncs d'arbre plantés dans le sable) et en moellons (Labrid, 1969).

La présence de ces parcs ainsi que des tentatives de stabilisation de la flèche sont peut être une des causes de la formation de cette fosse à ce niveau qui ne montre pas de modifications particulières entre 2009 et 2010.

En 2001 une reconnaissance des fonds de la bordure littorale orientale du Cap Ferret par sonar à balayage latéral a été réalisée par la société Créocéan à la demande du Service Maritime et de Navigation de la Gironde (Ex Service Maritime et Eau DDE 33) afin d'avoir une idée des différents faciès sédimentaires de ce secteur ainsi que la position des ouvrages de défense (CREOCEAN, 2001. doc.34).



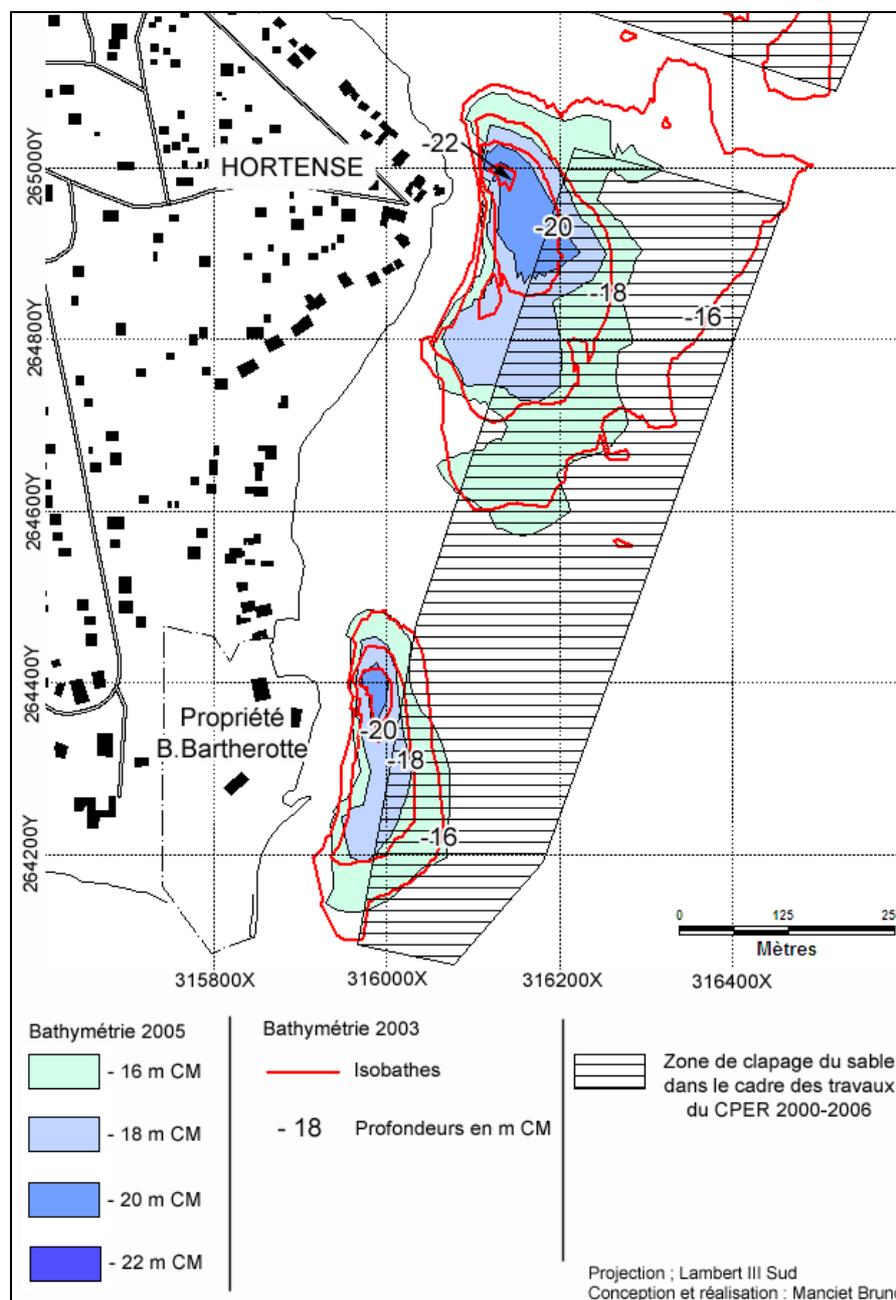
Document 34 : Faciès sédimentaires de la bordure littorale Est du Cap Ferret en 2001. Sources : CREOCEAN, 2001 ; bathymétrie 2003 SMNG.

Il en ressort que les sables moyens mobiles sont le faciès sédimentaire dominant dans ce secteur avec des zones où les fonds sont qualifiés de durs et d'aspect hétérogène sur lesquels reposent en partie les enrochements. En superposant les isobathes caractéristiques des fosses nous observons qu'elles se forment essentiellement aux niveaux des fonds constitués de sables moyens plus facilement mobilisables.

La fosse d'Hortense et celle au droit de la propriété de B. Bartherotte sont les plus préoccupantes en raison de la proximité des habitations. Les sondages bathymétriques de 2003 à 2010 sur ce secteur permettent d'apprécier leur évolution.

Entre 2003 et 2005, dans le cadre du Contrat de Plan Etat – Région (CPER) 2000-2006 d'importants travaux ont été réalisés en vue de favoriser l'écoulement des eaux et limiter les phénomènes d'érosion notamment au droit du Cap Ferret. Le dragage des bancs obstruant le chenal de Piquey de Novembre 2003 à Janvier 2004 et de Novembre 2004 à Janvier 2005

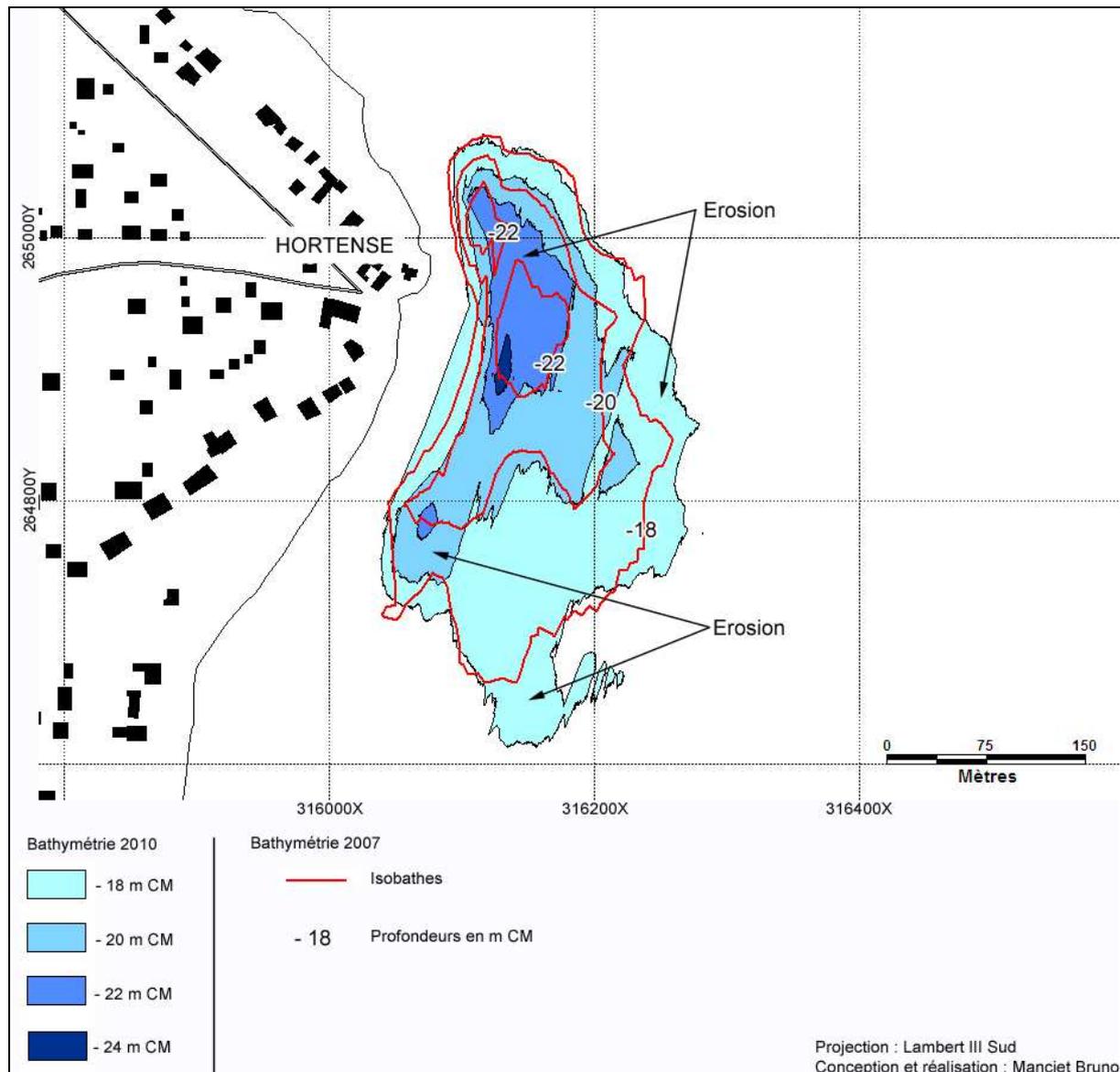
concernant 2 millions de m³ de sable ont été clapés au droit de la flèche du Mimbeau et de la pointe du Cap Ferret à plus de 150 mètres des ouvrages à la demande des riverains afin d'éviter tous risques de dommage sur les ouvrages de protection du talus sous-marin (doc.35).



Document 35 : Evolution des fosses de la bordure orientale du Cap Ferret entre 2003 et 2005. Sources : Bathymétrie 2003, 2005 SMNG. Localisation zone de dépôt de sable SOGREAH, 2002.

Les bathymétries de 2003 et 2005 (doc.35) permettent d'avoir un aperçu de l'effet des opérations de clapage du sable. La fosse d'Hortense en position plus avancée dans le chenal du Ferret a été partiellement comblée sur sa partie orientale visible nettement par la régression des isobathes – 16m et – 18m. Les effets sont moins remarquables pour la fosse au droit de la propriété de B. Bartherotte. Cependant le clapage n'ayant pu être réalisé près des enrochements où les profondeurs sont les plus importantes, les dépôts de sable n'ont pu répondre aux problèmes d'érosion du soubassement des enrochements.

Afin de savoir si cette érosion continue il est intéressant de comparer les bathymétries de 2007 et 2010. Si l'extension spatiale des fosses a peu varié durant cette période, les profondeurs augmentent en réponse au frein de la migration naturelle du chenal du Ferret vers l'Ouest.

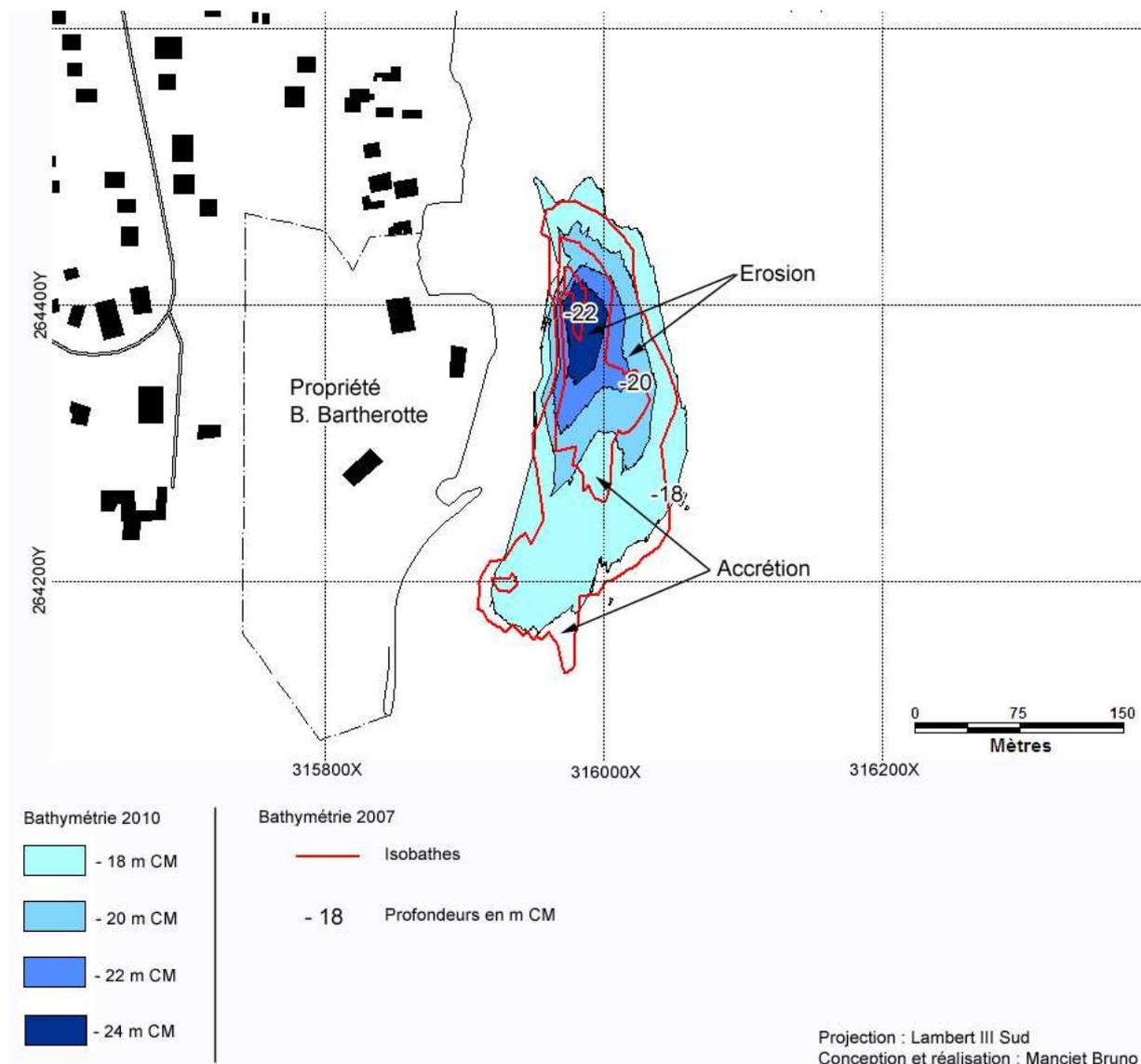


Document 36 : Evolution de la fosse de la pointe d'Hortense entre 2007 et 2010. Sources : Bathymétrie 2007, 2010 STMBA.

Pour la fosse d'Hortense (doc.36) nous remarquons une tendance à l'extension vers le Sud et l'Ouest de l'isobathe -18 m CM ainsi que la jonction des deux zones à - 22 m CM en 2007 en une seule en 2010, date à laquelle on observe des profondeurs atteignant - 24 m CM.

Au niveau du point le plus avancé de la pointe d'Hortense dans le chenal, seulement 260m sépare la crête des enrochements et l'isobathe - 18m CM ce qui indique un talus très accore.

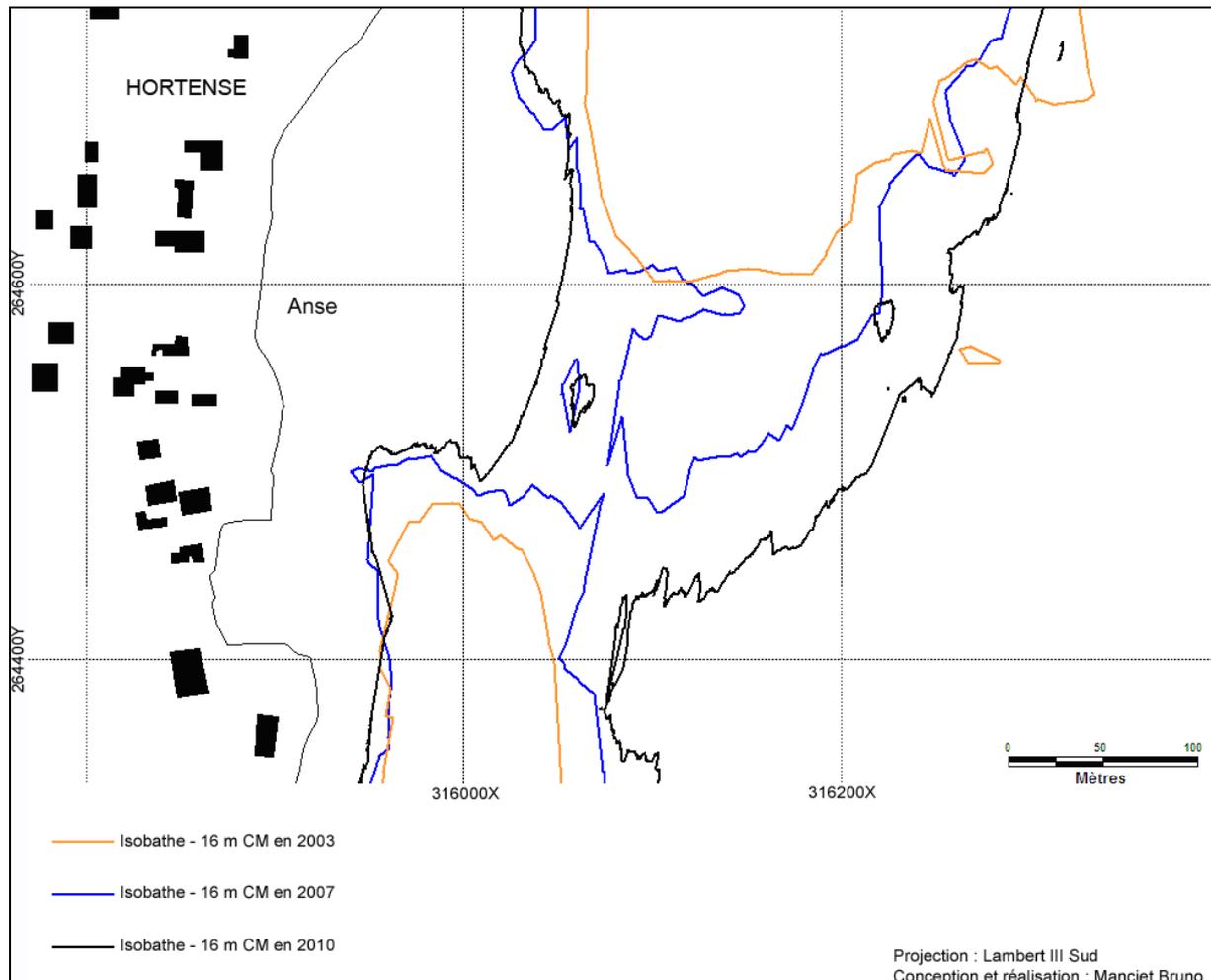
Le constat pour la fosse au droit de la propriété de B. Bartherotte est assez semblable (doc.37)



Document 37 : Evolution de la fosse au droit de la propriété de B. Bartherotte entre 2007 et 2010. Sources : Bathymétrie 2007, 2010 STMBA.

L'isobathe – 18 m CM ne montre pas de grands changements sinon une légère régression au Sud et une extension limitée au Nord et l'Ouest. Pour les plus grandes profondeurs nous observons une importante érosion. La surface délimitée par l'isobathe – 22 m CM en 2007 représentait 0,04 ha et 1,25ha en 2010 ; à ce niveau la bathymétrie de 2007 ne fait pas apparaître de profondeurs supérieures à – 22 m CM alors qu'en 2010 une large zone est à – 24 m CM indiquant une érosion très active à cet endroit. A la latitude 264400Y le dénivelé est important passant de valeurs au dessus du 0 m CM à la crête des enrochements à des profondeurs de – 24 m CM en seulement 500 m. C'est à ce niveau que la côte paraît la plus sujette à l'érosion et au déchaussement des ouvrages de protections comme en témoignent plusieurs effondrements comme en Janvier 1999, Décembre 2000 et Avril 2003.

Malgré le fait que, pour les isobathes pris en compte, l'extension des fosses est limitée, l'analyse de l'isobathe – 16 m CM depuis 2003 apporte un supplément d'information à l'évolution de ces fosses (doc.38).



Document 38 : Evolution de l'isobathe – 16 m CM des fosses de la pointe du Cap Ferret en 2003, 2007 et 2010. Source : Bathymétrie 2003, 2007, 2010 STMBA.

En 2003 chacune des fosses pouvait être différenciée par l'isobathe – 16 m CM mais nous observons qu'en 2007 ces isobathes indiquaient une tendance au rapprochement surtout par l'extension vers le Sud de celui représentant la fosse d'Hortense et dans une moindre mesure de l'extension vers le Nord de celui représentant la fosse au droit de la propriété de B. Bartherotte. En 2010 nous constatons qu'ils se sont rejoints au niveau de l'anse accompagné d'un élargissement.

Ce phénomène laisse entrevoir la chenalisation des courants au plus proche de la côte tendant probablement vers la jonction des deux fosses. Nous remarquons sur les cartes précédentes que les isobathes – 18 m CM évoluent de la même manière mais plus lentement.

Cette érosion est de plus favorisée par l'axe hydraulique du Bassin qui devient Nord Sud (doc.28) en partie lié aux dynamiques des passes extérieures dont il est question dans le chapitre suivant.

Au sud d'une ligne horizontale passant au niveau de la Pointe du Cap Ferret se situe le domaine des passes extérieures avec une prédominance de l'action des houles et des vents dominants de secteurs Ouest. Les processus d'érosion et de sédimentation agissent ici librement sans interventions anthropiques. L'analyse s'effectuera du Nord vers le Sud pour une meilleure cohérence.

Pour reprendre la description de la zone d'étude de la partie 1, la zone des passes extérieures est constituée de deux unités : le delta de marée externe composé des bancs du Toulinguet et du banc d'Arguin, et les deux grands chenaux de marée nommés les passes.

Comme il a été précisé également, une tendance cyclique d'évolution a été mise en évidence par l'analyse des cartes bathymétriques depuis 1826 et a été observé à deux reprises.

Actuellement, selon le « cycle » proposé par Gassiat, la configuration des passes correspond au stade « C » (doc.7) comparable à celle de 1936 caractérisée par deux passes indépendantes.

Selon Bouchet, une passe est considérée comme ouverte quand le seuil d'entrée atteint une profondeur de -5 m CM sur la barre. Nous étudierons donc dans cette étude l'isobathe - 5 m CM pour déterminer l'évolution des passes car toujours selon Bouchet, cet isobathe retranscrit fidèlement les changements profonds de la lagune et correspond à la base commune des bancs de sable.

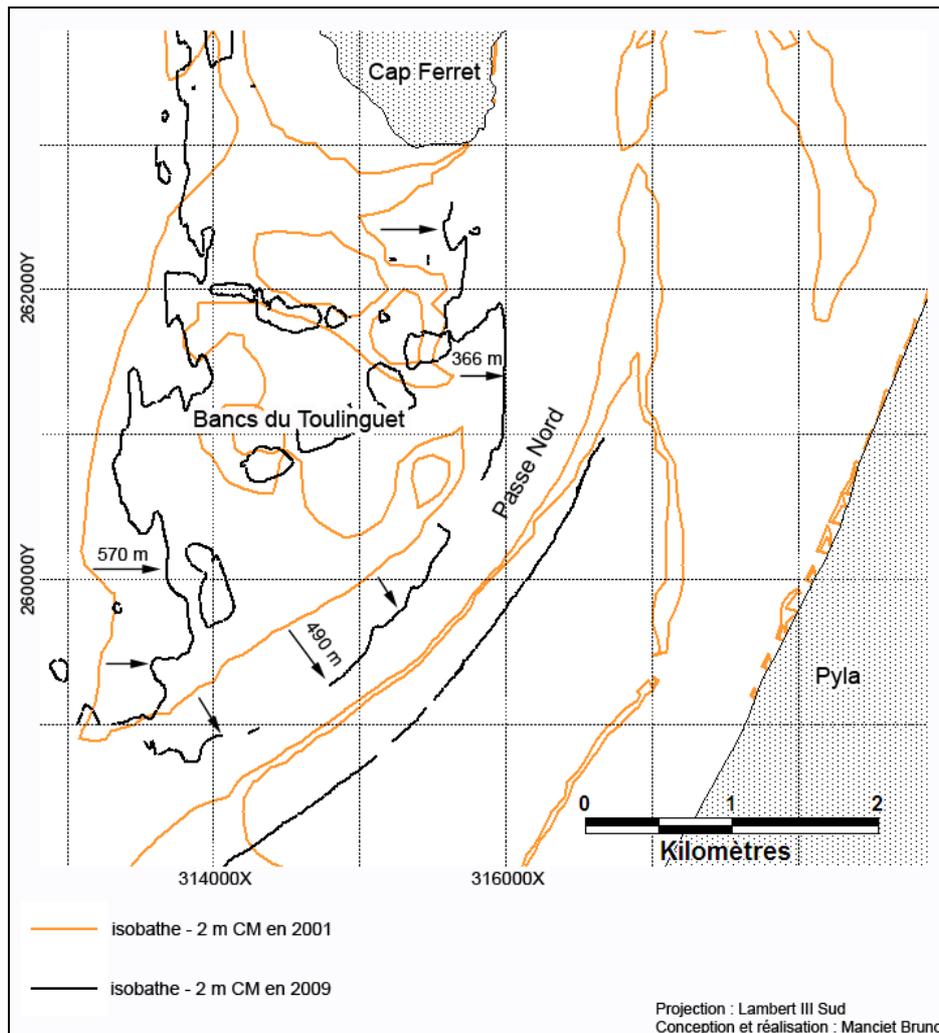
III – L'évolution libre des passes extérieures

1 – La migration des bancs du Toulinguet et de la passe Nord vers le Sud Est

1 – 1 – Les bancs du Toulinguet en migration vers le Sud et l'Est

Les bancs du Toulinguet prennent la forme de bancs de sable allongés modelés par les courants de marée. Les crochons qui se forment sur la côte Est de la flèche du Cap Ferret (cf. II) se détachent et viennent engraisser cet assemblage de bancs.

Du fait de la dérive littorale et de la houle dominante d'Ouest, ces bancs migrent, comme l'ensemble des éléments du système des passes, vers le Sud (doc.39).



Document 39 : Evolution des bancs du Toulinguet entre 2001 et 2009. Sources : Bathymétrie 2001, 2009 STMBA.

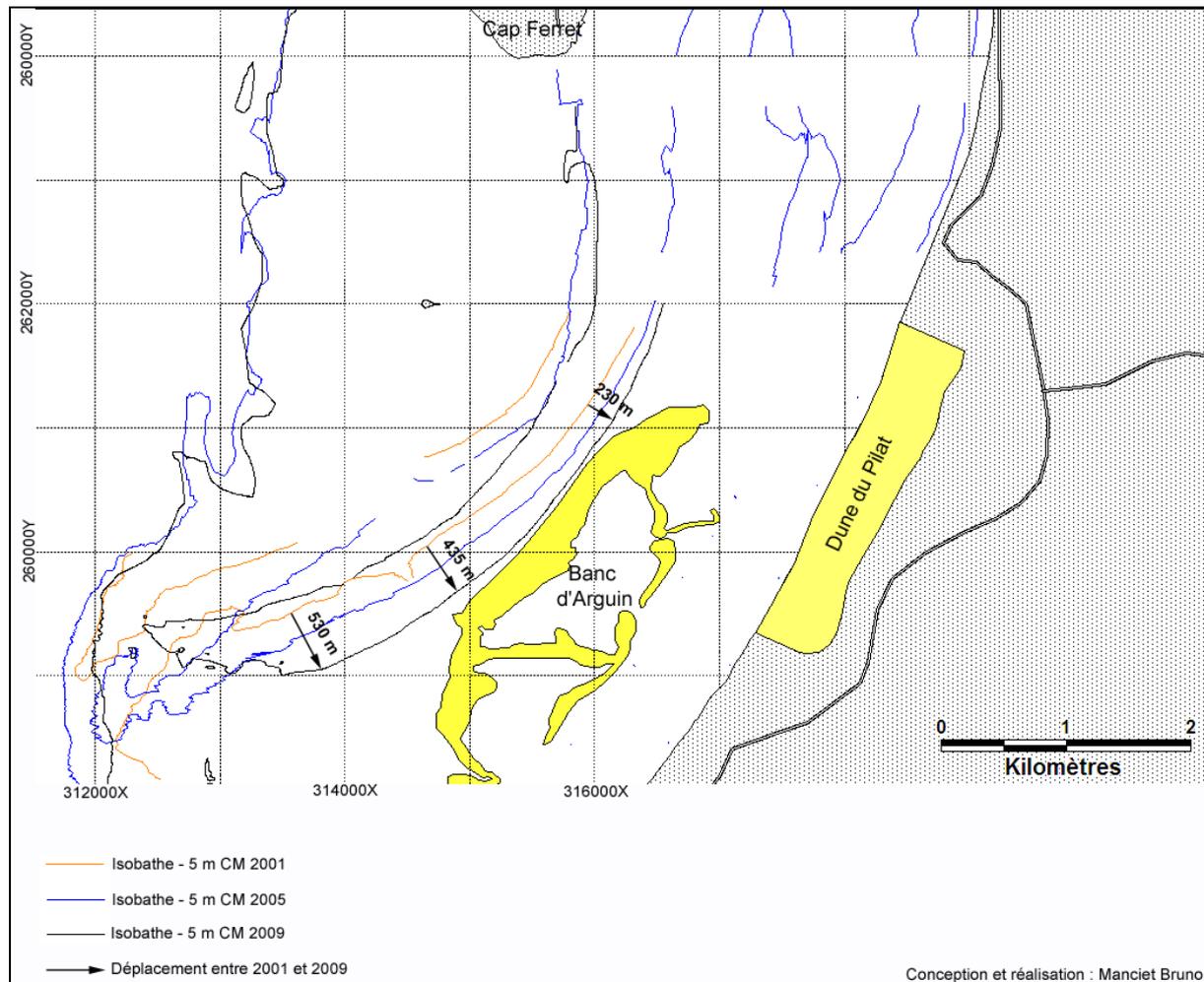
Comme il s'agit d'un banc de sable nous utiliserons dans ce cas, comme pour le banc de Bernet (cf. Partie 2 – II – 1), l'isobathe – 2 m CM pour décrire son évolution.

Nous observons sur la carte ci-dessus entre 2001 et 2009 le déplacement du banc vers le Sud Est contraignant comme nous allons le voir, la passe Nord à migrer également dans cette même direction. L'ensemble des bancs se déplacent aussi vers l'Est ce qui modifie l'axe amont de la passe Nord vers une direction Nord Sud.

1 – 2 – La passe Nord en constante migration

La passe Nord actuelle s'est amorcée au début des années 1980. De 1987 à 1998 elle a migré vers le Sud de 600 à 800 m avec une augmentation de sa section de 30% et d'un approfondissement sensible. Cependant il était observé un contraste entre la partie aval très mobile sous l'effet des houles et la partie amont relativement stable (Froidefond, 2001).

Dans le cadre de cette étude nous comparerons les situations de 2001, 2005 et 2009.



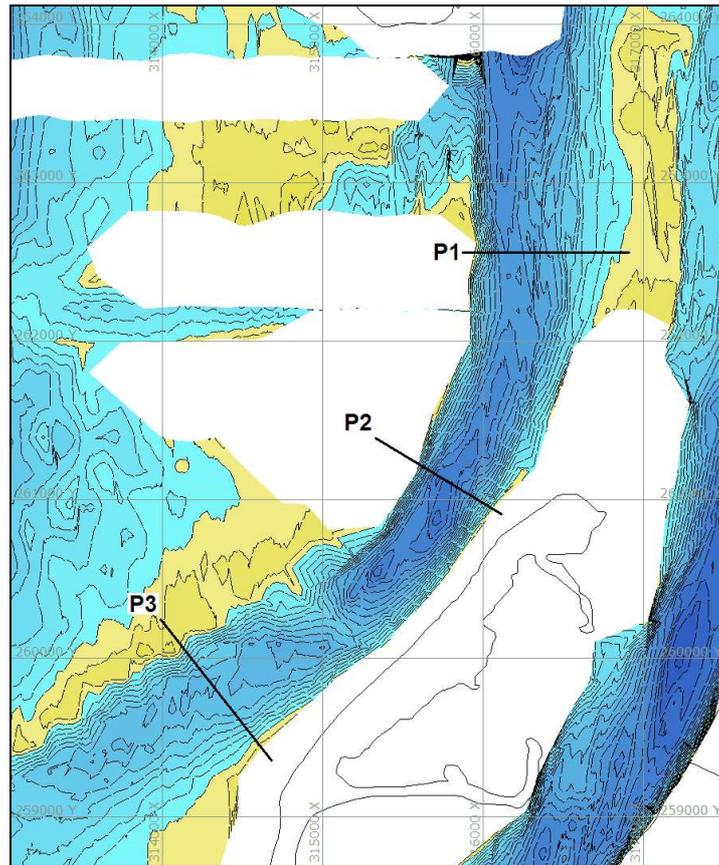
Document 40 : Evolution de la passe Nord entre 2001 et 2009. Sources : Bathymétrie 2001 SMNG ; 2005, 2009 STMBA.

Depuis 2001 nous pouvons constater un déplacement continu de la passe Nord vers le Sud Est majoritairement pour la moitié Sud (doc.40). Ce déplacement est croissant de l'amont vers l'aval de la passe avec des déplacements respectifs de 230m à 530m entre 2001 et 2009.

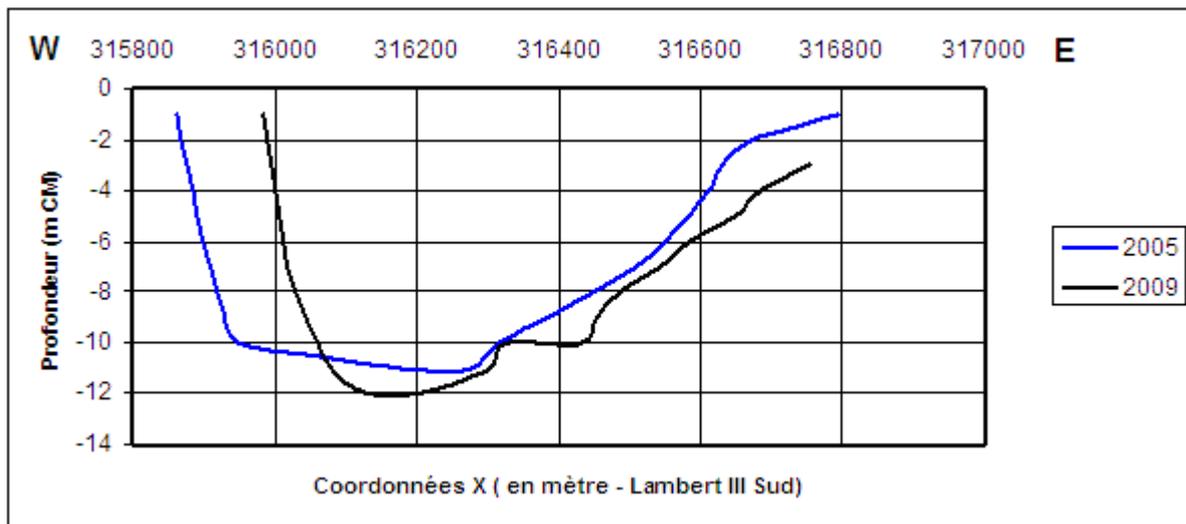
La vitesse de déplacement est de l'ordre de 60 à 66 m par an, résultat en accord avec celui de l'étude intégrée d'Ifremer (1997) qui donnait une moyenne de 70 m/an.

La partie Nord (aval) tend vers une position Nord-Sud dans le prolongement du chenal du Ferret mais reste relativement stable comme pour la période précédente (1987 – 1998).

Afin de compléter l'analyse, des profils en travers dans la partie amont, médiane, et aval permettront de mieux appréhender cette évolution et donnera des indications sur les sections d'écoulements pour chacune de ces zones de la passe Nord (doc.41). Les hauts fonds et bancs émergents étant dangereux pour la navigation lors des sondages, il est rare d'avoir le haut du talus des chenaux. Afin de pouvoir comparer les sections d'écoulement (surface de la section du chenal calculée à une profondeur donnée) pour les différents profils nous les calculerons sous la profondeur – 5 m CM, qui étant le seuil pour considérer un chenal de ce secteur comme une passe, est un choix cohérent.



Document 41 : Localisation des trois profils en travers au niveau de la passe Nord. Source : Bathymétrie 2007 STMBA.

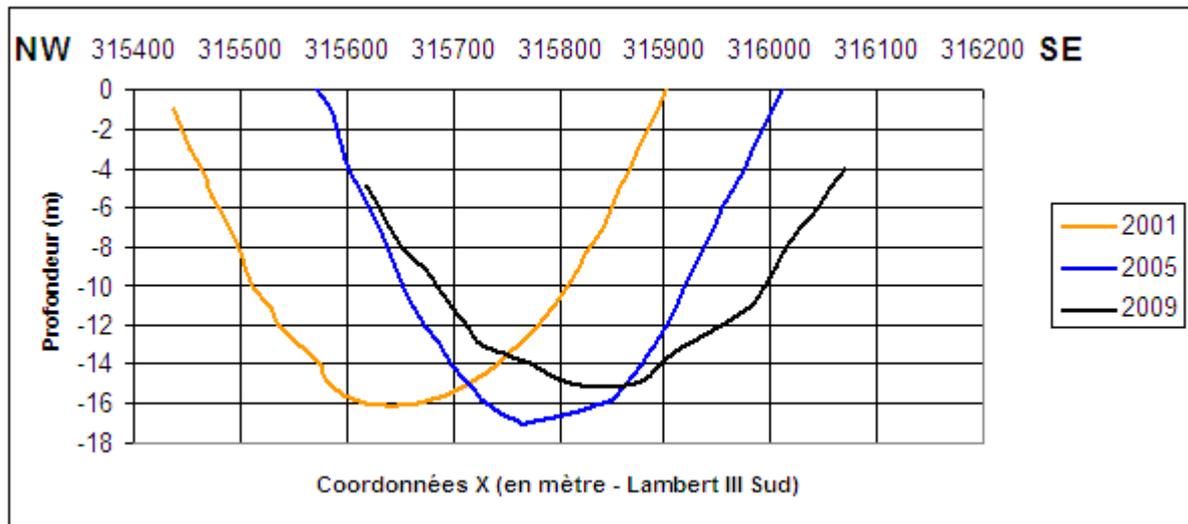


Document 42 : Evolution de la passe Nord entre 2005 et 2009 – Profil 1

Année	2005	2009
Section d'écoulement sous - 5m CM (m ²)	6579.5	6244.5

Document 43 : Evolution de la passe Nord entre 2005 et 2009 – Section d'écoulement pour le profil 1

Nous observons pour la partie amont de la passe une progression de la rive Ouest de la passe vers l'Est et une relative stabilité de la rive Est (doc.42). Nous n'avons pas de données précises en 2001 pour ce secteur cependant la section d'écoulement calculée sous la profondeur – 5 m CM diminue sensiblement entre 2005 et 2009 avec une augmentation de la profondeur d'environ 1 m (doc.43) mais une diminution de la largeur de 50m à -5 m CM entre 2005 et 2009.



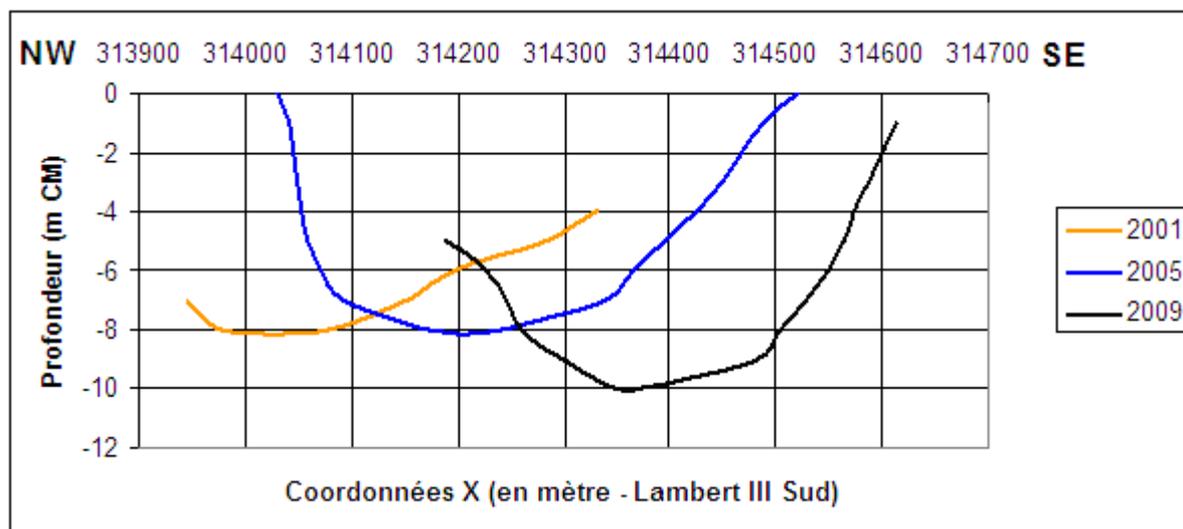
Document 44 : Evolution de la passe Nord entre 2001 et 2009 – Profil 2

Année	2001	2005	2009
Section d'écoulement sous – 5m CM (m ²)	4880.5	4594	5126

Document 45 : Evolution de la passe Nord entre 2001 et 2009 – Section d'écoulement pour le profil 2

La comparaison des profils à cet endroit illustre parfaitement la migration de la passe vers le Sud Est avec cependant un ralentissement entre 2005 et 2009 et une baisse de la profondeur d'environ deux mètres. Le talweg s'est déplacé vers le Sud Est de 205m entre 2001 et 2009 soit une vitesse d'environ 25m par an (doc.44).

La section de la passe calculée sous la profondeur – 5 m CM indique que malgré la diminution de la profondeur, la section est plus importante par une augmentation de la largeur passant, à -5 m Cm, de 353m en 2005 à 437m en 2009 (doc.45). Nous observons donc ici un élargissement plus qu'un approfondissement.



Document 46 : Evolution de la passe Nord entre 2001 et 2009 – Profil 3

Année	2005	2009
Section d'écoulement sous - 5m CM (m ²)	2555.5	3135

Document 47 : Evolution de la passe Nord entre 2001 et 2009 – Section d'écoulement pour le profil 3

Ce profil se situe au niveau de la passe où le déplacement est maximum. Il est de 295m pour le talweg entre 2001 et 2009 soit une vitesse de déplacement de 37 m par an (doc.46). Depuis 2005 la profondeur a augmenté de 2 mètres et la section d'écoulement sous la profondeur - 5 m CM d'environ 600 m² (doc.47) avec un élargissement de 40 mètres pour cette même profondeur.

La migration de la passe Nord s'accompagne donc d'une légère augmentation de sa section d'écoulement sous -5 m CM soit en gagnant en largeur, soit en profondeur. La Rive Ouest de la passe en amont se déplace vers l'Est pour venir dans l'axe du chenal du Ferret.

De l'autre côté de la passe Nord, au Sud, la passe est bordée en partie par le banc d'Arguin dont l'évolution morphologique est beaucoup plus rapide que celle des bancs du Toulinguet.

2 – Le banc d'Arguin en constante évolution morphologique

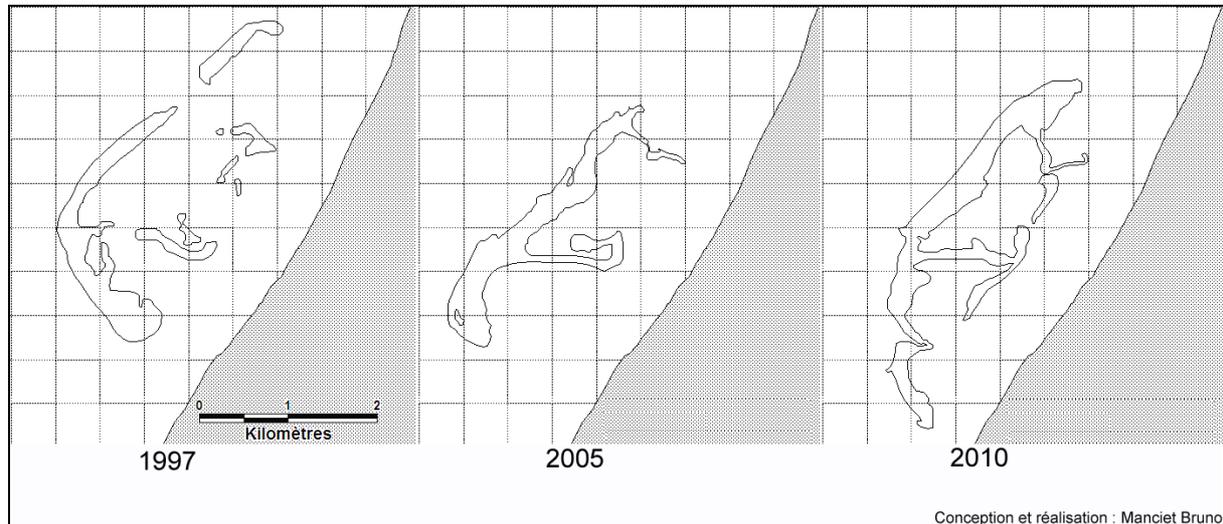
Le delta de marée externe constitué par le banc d'Arguin et les bancs du Toulinguet piège une partie des sables transitant vers le Sud sous l'action de la dérive littorale. Leur évolution est en grande partie induite par l'action des courants de marée même si la houle agit sur leur forme externe, côté Ouest (Observatoire de la côte Aquitaine, 2008).

L'évolution morphologique du banc d'Arguin induit une pression sur la passe Sud en diminuant sa section. Le secteur de la passe Sud concerné sera traité conjointement avec le banc d'Arguin pour une meilleure cohérence.

Le banc d'Arguin qui fait parti du delta de marée externe, situé en position d'interfluve entre la passe Nord et la passe Sud, a une morphologie très variable d'une année sur l'autre. Il se décolle de la pointe du Cap Ferret lors de l'ouverture d'une brèche et migre vers le Sud selon les mécanismes régissant ce secteur (cf. Partie1).

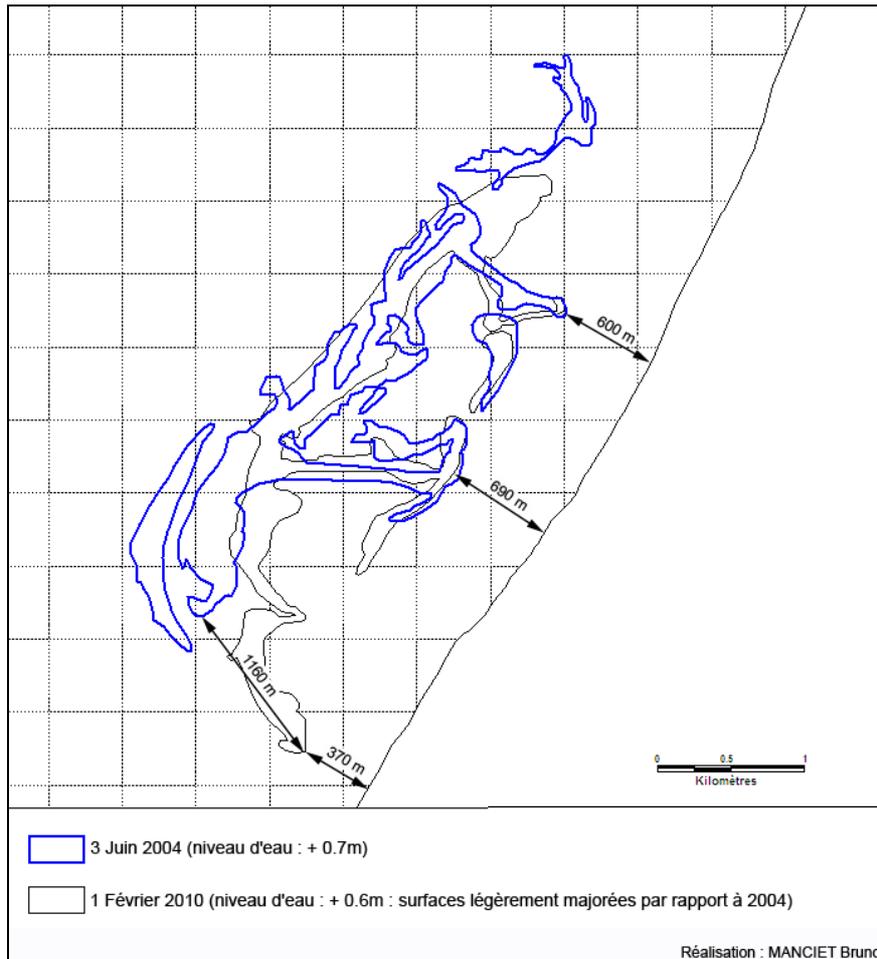
En 1950 il correspondait à un haut fond peu développé constitué de trois bancs situés à 1,85 km de la côte. Pendant les 30 années qui suivirent, il a migré vers le Sud pour n'être qu'à 550 m de la côte en 1984 (Gassiat, 1989).

Il est modelé par l'action conjuguée des courants de marée chenalisés dans les passes Nord et Sud ainsi que les houles. De 1997 à 2010 nous pouvons constater l'importance des modifications morphologiques accompagnées d'une augmentation de la surface du banc (doc.48).



Document 48 : Evolution morphologique du banc d'Arguin entre 1997 et 2010. Source : Images Spot ©CNES

Les contours du banc ci-dessous ont été réalisés par photo-interprétation des images Spot-5 du 3 Juin 2004 et du 1 Février 2010 avec une hauteur d'eau comparable permettant une comparaison correcte (doc.49). Le tracé isole les pixels ayant une forte intensité lumineuse, apparaissant en blanc sur l'image mais l'interprétation visuelle laisse une dose de subjectivité qui se doit d'être notée même si elle n'entache pas de manière importante la comparaison que l'on peut faire sur un pas de temps de 6 ans.



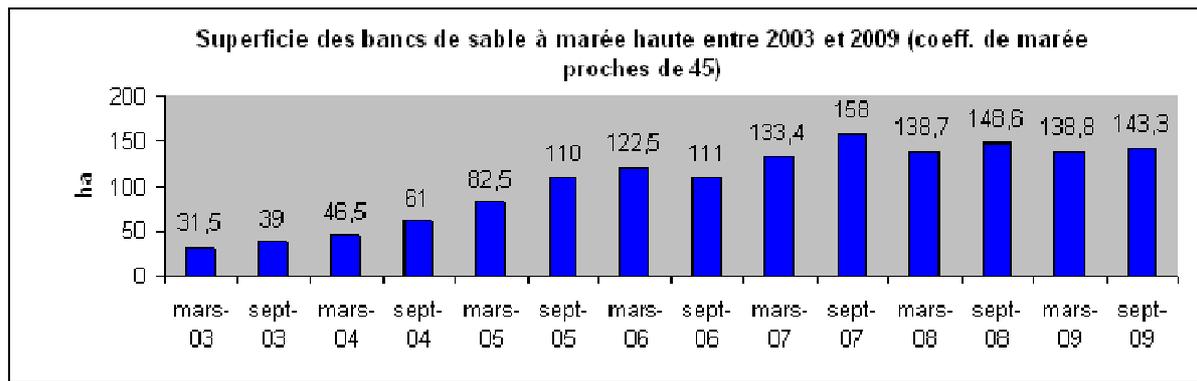
Document 49 : Evolution de la morphologie du banc d'Arguin entre 2004 et 2010. Source : Image Spot 5 2004, 2010 ©CNES.

En 2004 sa morphologie désordonnée se régularise dès 2005 pour conserver une forme assez semblable jusqu'à aujourd'hui. Il montre une tendance à l'allongement surtout pour sa partie Sud qui a migré d'environ 1160 m vers le Sud entre 2005 et 2010.

Cette évolution peut être précisée grâce aux levés par GPS différentiel réalisés par la Société pour l'Etude, la Protection et l'Aménagement de la Nature dans le Sud-Ouest (SEPANSO) (doc.50).

La réserve naturelle du banc d'Arguin a été créée par le décret ministériel de 1972 modifié en 1986 (n° 86-53 du 3 janvier 1986) délimitant son périmètre qui englobe tous les bancs de sable au niveau d'Arguin et 1 mille marin autour de ces bancs calculé à partir du niveau atteint par la mer par coefficient de 45.

La SEPANSO qui assure la gestion complète de la réserve pour le compte de l'État, réalise des relevés GPS du contour du banc d'Arguin à marée haute de coefficient proche de 45 au mois de mars pour avoir une vision du Banc d'Arguin à la sortie de l'hiver où il sort d'une période d'érosion intense puis en Septembre avant que la phase d'érosion ne reprenne. Ces levés nous offre des informations complémentaires sur l'évolution des zones émergées (pour un coefficient de 45) du banc.



Document 50 : Superficie en hectare du banc d'Arguin à marée haute entre 2003 et 2009 (par coefficient proche de 45). Source : SEPANSO

Nous observons en effet une variation annuelle entre la fin de la période hivernale et la fin de la période estivale où la superficie du banc est plus importante. Mais au-delà de ces variations annuelles, les données indiquent un engraissement du banc jusqu'en 2007 (158 ha) et fluctue depuis entre 138 et 148 ha à marée haute de coefficient 45.

D'après Michel (1997) dans une configuration à deux passes, les bancs constituant le delta de marée externe subissent un apport de sédiments externe transportés par les courants littoraux (dérive littorale) déviés au niveau de l'extrémité distale de la passe Nord. Ce contournement augmente le volume des bancs sableux entre les deux passes renforcé par l'existence d'une dérive littorale locale inverse par réfraction de la houle.

Nous pouvons cependant nous questionner sur le fait que la superficie du banc (à marée haute de coefficient 45) augmente alors que l'on tend vers l'unification des deux passes à l'endroit même du banc d'Arguin qui de ce fait devrait disparaître dans une trentaine d'années (cf. Partie 3). Michel (1997) montre que si les bancs de sable du delta de marée externe s'engraissent après l'ouverture d'une passe Nord, les variations observées entre la profondeur - 5 m CM et 0 m CM révèlent que la racine des bancs s'érode sous l'action des courants de marée induisant une accrétion verticale, au dessus de 0 m CM.

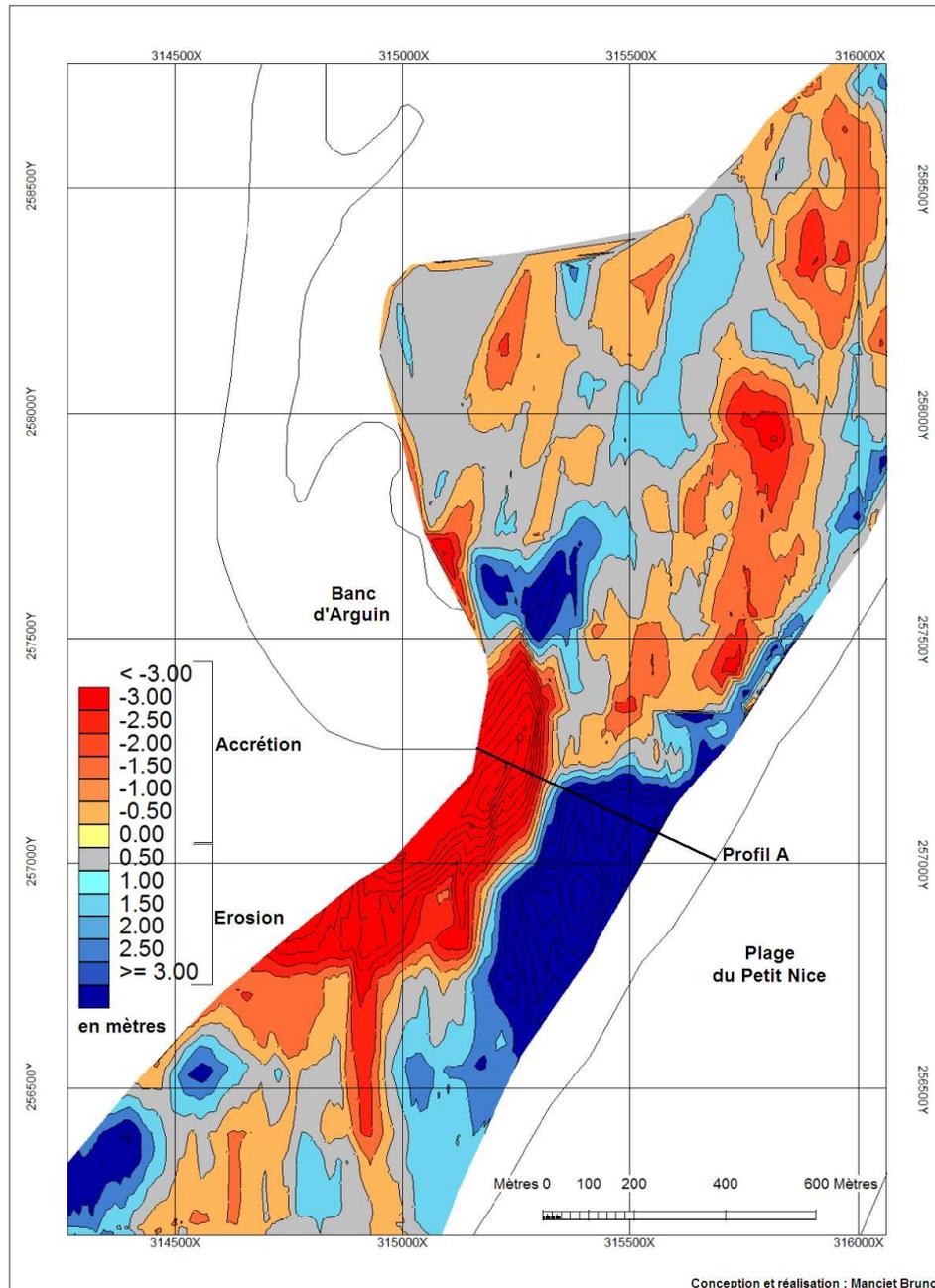
Il est donc probable que l'apparente augmentation de la surface émergée du banc peut cacher une érosion tout aussi active à sa racine mais les données bathymétriques disponibles ne nous permettent pas ici de quantifier cette possible érosion.

Si la moitié Nord du banc est relativement stable malgré l'allongement de l'extrémité Nord n'entraînant pas de modification de la section de la passe, la moitié Sud très mobile est responsable de l'étranglement de la passe avec une largeur au Sud du banc de 370m en 2010 (doc.49) contre 530m en 2005. Cela a pour effet d'augmenter la profondeur du chenal à cet endroit (-22m) et d'éroder le rivage à l'Est tout en conservant une section d'écoulement équivalente (doc.51).

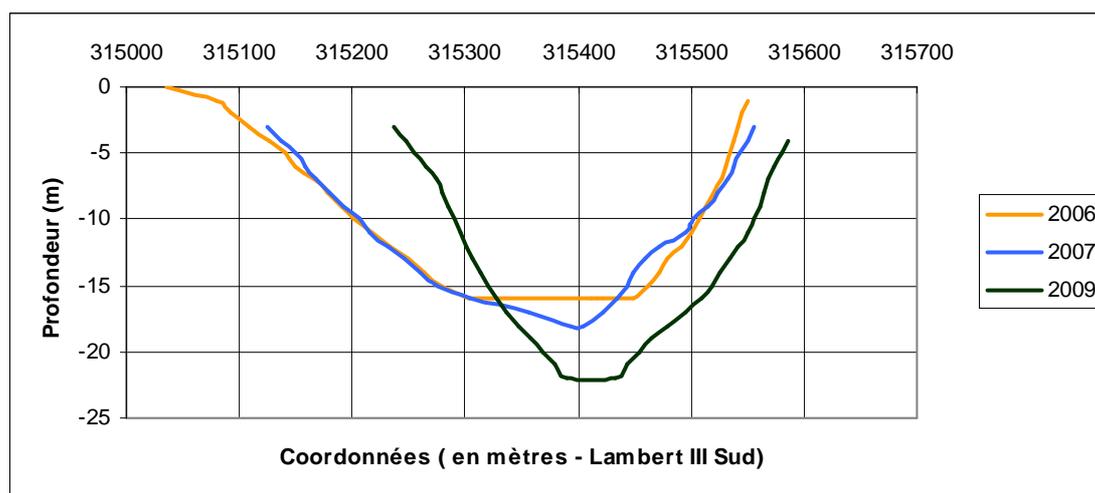
La comparaison bathymétrique de ce secteur entre 2007 et 2009 qui fait l'objet de la carte ci-dessous (doc.51) met en évidence les exhaussements des fonds représentés par des teintes chaudes et les approfondissements par des teintes froides, mesurés en mètres.

La comparaison se borne ici à représenter ces variations (en mètres) et non pas les quantifier du fait du caractère trop parcellaire des sondages pour une approche globale des variations de volumes et, dans le cas d'une zone restreinte, de la validité des limites spatiales à prendre en compte pour effectuer un calcul pertinent.

Cette comparaison montre clairement l'avancée de la pointe du banc vers le Sud (en rouge) provoquant l'approfondissement de la passe (en bleu).



Document 51 : Comparaison bathymétrique entre 2007 et 2009 de la passe Sud à l'extrémité Sud du Banc d'Arguin. Source : Bathymétrie 2007, 2009 STMBA



Document 52 : Profil en travers de la passe Sud à l'extrémité Sud du banc d'Arguin

Année	2006	2007	2009
Section d'écoulement sous - 5m CM (m ²)	5192	5257	5159

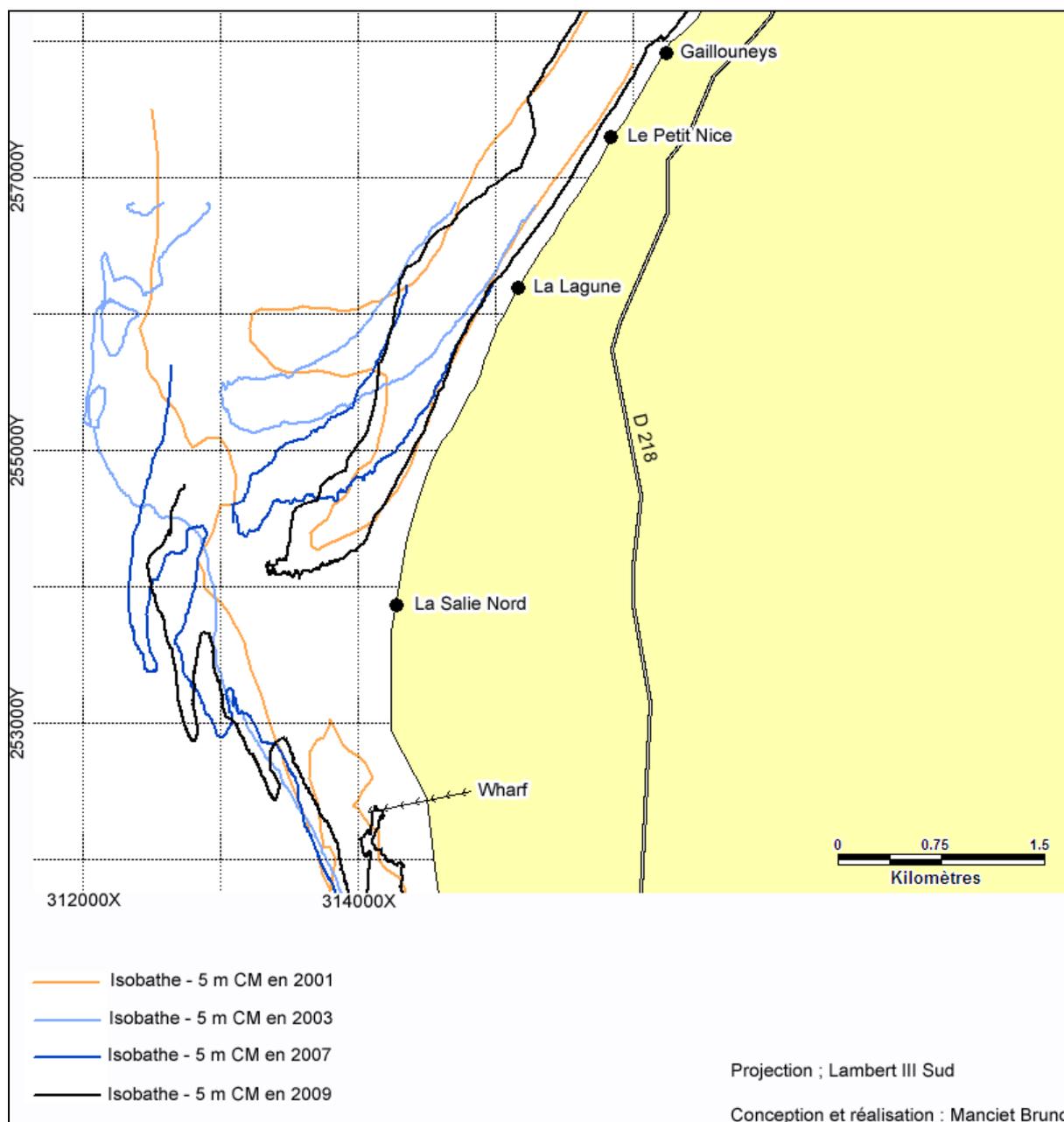
Document 53 : Evolution de la passe Sud entre 2006 et 2009 – Section d'écoulement au niveau du profil A.

Nous observons clairement à partir du profil en travers (doc.52) la réduction de la largeur de la passe, qui, à - 5 m CM est passée de 393m en 2007 à 325m en 2009 soit une diminution de 68m. Il convient de noter également que la passe continue sa migration vers l'Est bien visible entre 2007 et 2009 en érodant de ce fait la côte.

Cependant le calcul de la section d'écoulement sous -5 m CM montre une stabilité de celle-ci laissant penser que la passe Sud ne perd en rien de sa puissance hydraulique (doc.53).

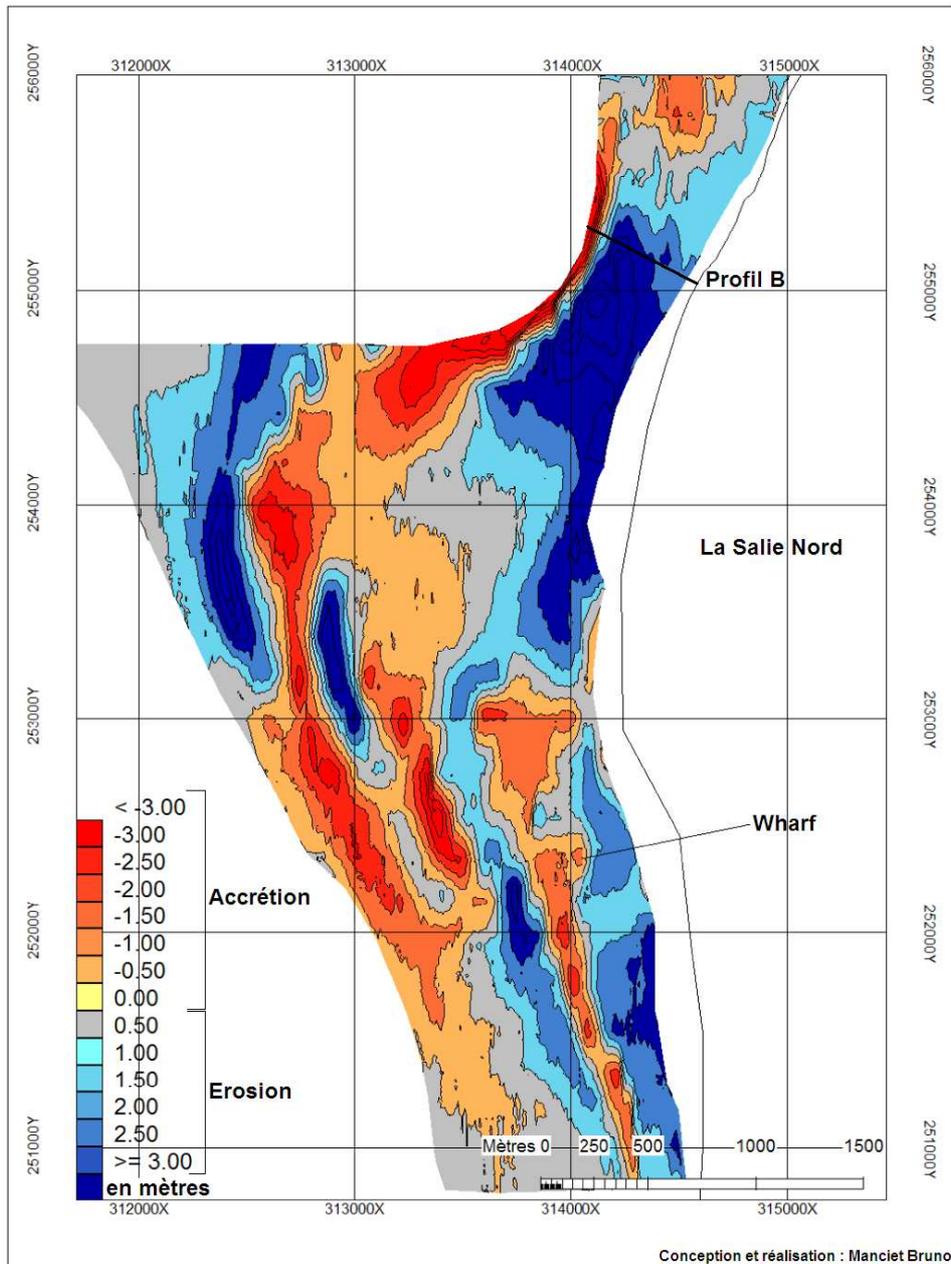
3 – La passe Sud contrainte de s'accoler toujours plus près de la côte

Les grandes évolutions pour la passe Sud hormis la réduction de sa section au niveau du banc d'Arguin se trouvent au niveau du lobe terminal. En 2001 deux lobes étaient présents mais seul celui de direction Est Ouest a subsisté et a dévié de 60° par rapport à 2001, se rapprochant de ce fait du rivage au niveau de la salie Nord (doc.54).

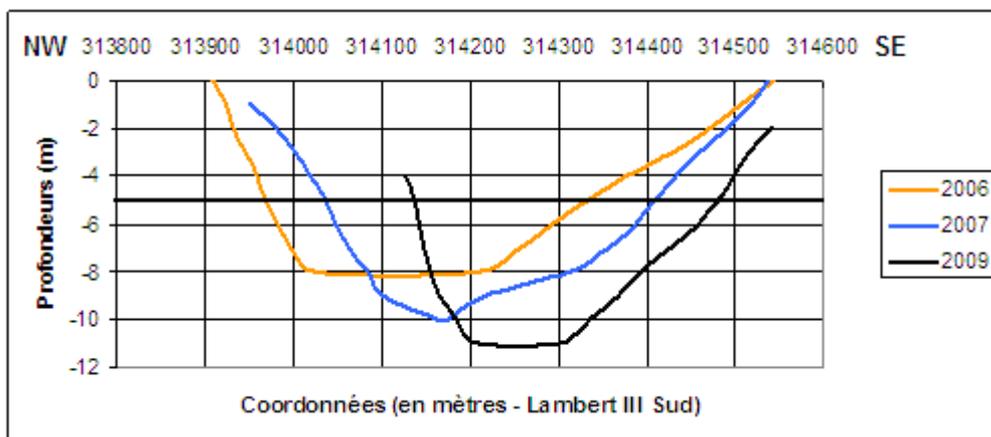


Document 54 : Evolution de la passe Sud entre 2001 et 2009. Sources : Bathymétrie 2001, 2003 SMNG ; 2007, 2009 STMBA.

Entre la Lagune et la Salie Nord, la rive Ouest de la passe a migré d'environ 400m vers le Sud Est s'accompagnant d'un approfondissement régulier. Des bancs de sables, par la dérive littorale contournent le lobe de la passe Sud et s'accolent au niveau de la plage de la Salie Nord ou se prolongent parallèlement au littoral. La comparaison bathymétrique entre 2007 et 2009 montre bien le contournement des bancs (en rouge symbolisant les exhaussements des fonds) comprimant la passe au niveau de la latitude 255000Y (doc.55).



Document 55 : Comparaison bathymétrique 2007 – 2009 du littoral de la Salie Nord. Sources : Bathymétrie 2007, 2009 STMBA

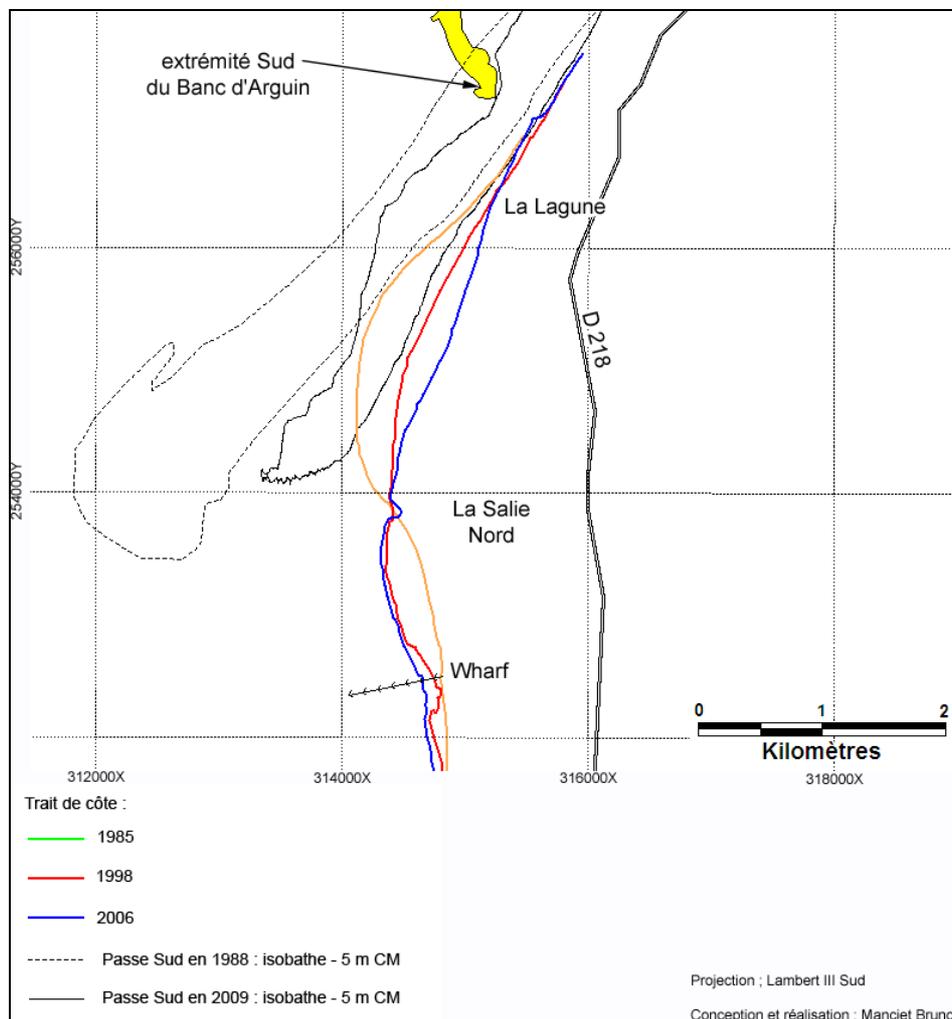


Document 56 : Profil B.

Année	2006	2007	2009
Section d'écoulement sous – 5m CM (m ²)	2873	3152	3221

Document 57 : Evolution de la passe Sud entre 2006 et 2009 – Section d'écoulement pour le profil B.

Nous constatons depuis 2006 une augmentation de 3 mètres de la profondeur passant de – 8 m CM à – 11 m CM (doc.56). Parallèlement à ce phénomène la section d'écoulement calculée sous la profondeur – 5 m CM a augmenté de 12% depuis 2006 (doc.57) mais la largeur tend à diminuer entre 2007 et 2009 passant de 376m à 347m (367m en 2006). Contrainte à migrer toujours plus vers la côte par les sables transitant depuis le Nord, la passe Sud à ce niveau compense sa diminution de largeur par un approfondissement d'environ 1m par an.

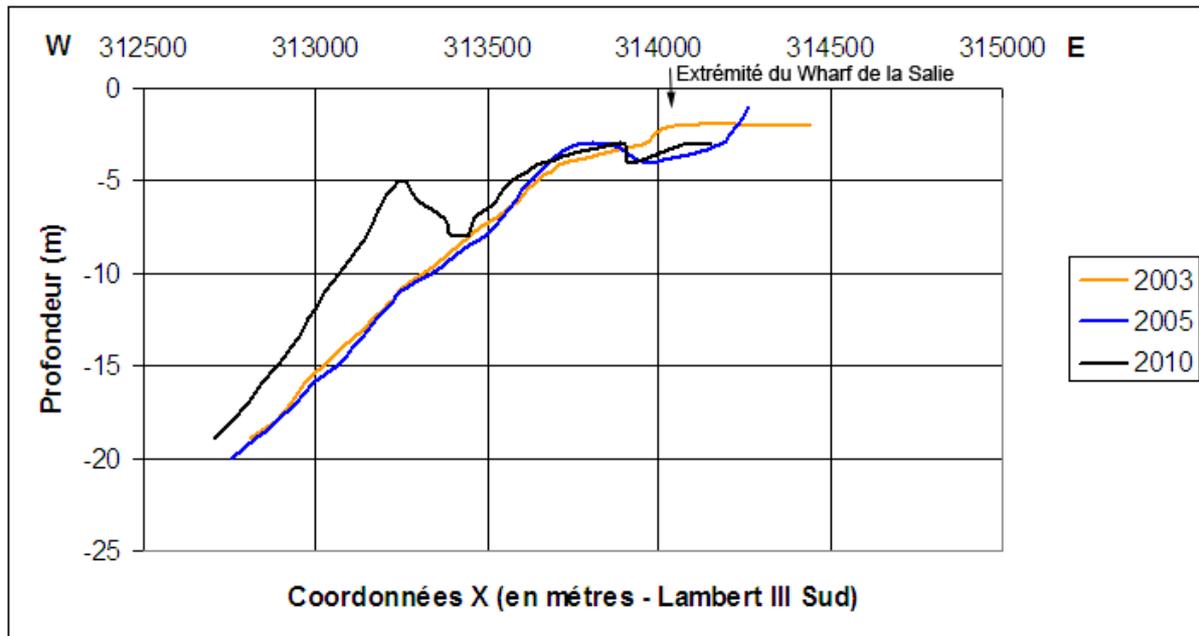


Document 58 : Evolution du trait de côte de la Pointe d'Arcachon au wharf de la Salie entre 1985 et 2006. Sources : Trait de côte 1985, 1998, 2006 : BRGM, 2008 ; bathymétrie 1988 : PAB ; bathymétrie 2009 : STMBA.

En 1985 la pointe d'Arcachon était encore visible (trait vert cf. doc. 58) du fait de la position de la passe Sud plus au Nord mais sa migration progressive vers la côte a entraîné une importante érosion entre les plages de la Lagune et de la Salie Nord.

La baisse progressive de la puissance hydraulique de la passe Sud au profit de la passe Nord qui s'est ouverte dans les années 1980, s'accompagne d'un retrait du lobe terminal de la passe Sud par rapport au large et une nette diminution de sa largeur. Comme nous l'avons constaté, le pivotement du lobe terminal continu d'éroder le littoral mais le contournement de ce lobe par les bancs de sables transitant depuis le Nord profite au secteur du Nord du Wharf qui s'engraisse entre 1985 et 2006.

Le profil ci-dessous (doc.59) représente l'évolution bathymétrique dans l'axe du wharf entre 2003, 2005 et 2010.



Document 59 : Profil en travers au droit du wharf de la Salie en 2003, 2005 et 2010. Source : Bathymétrie 2003, 2005, 2010 STMBA.

Cet engraissement est tout de même soumis à des fluctuations d'une année sur l'autre du fait du transit des wagons sédimentaires vers le Sud que nous pouvons observer clairement entre 2005 et 2010 à la longitude 313250X (doc.59)

Ensuite le littoral au Sud du wharf représente la zone de transition où l'influence de la passe Sud s'amointrit (Mallet, 2008).

Le secteur des passes extérieures est donc caractérisé par la migration continue de la passe Nord vers le Sud Est du fait de la pression des bancs du Toulinguet. Cette évolution dont la vitesse calculée de l'ordre de 60 à 66 m/an est en accord avec celle calculée par l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) laisse penser que la jonction avec la passe Sud devrait se produire dans les prochaines décennies et s'accompagner de diverses conséquences.

Pour les passes intérieures vues précédemment, l'attention se porte sur la façade Est du Cap Ferret où l'érosion qui paraît inexorable est accentuée par les ouvrages de défense statiques qui contrarient l'évolution naturelle.

La dernière partie a donc pour but d'extrapoler à court terme l'évolution de ce secteur au regard des phénomènes mis en évidence depuis 150 ans et d'évaluer les limites des outils et des méthodes disponibles pour appréhender et gérer ce secteur instable.

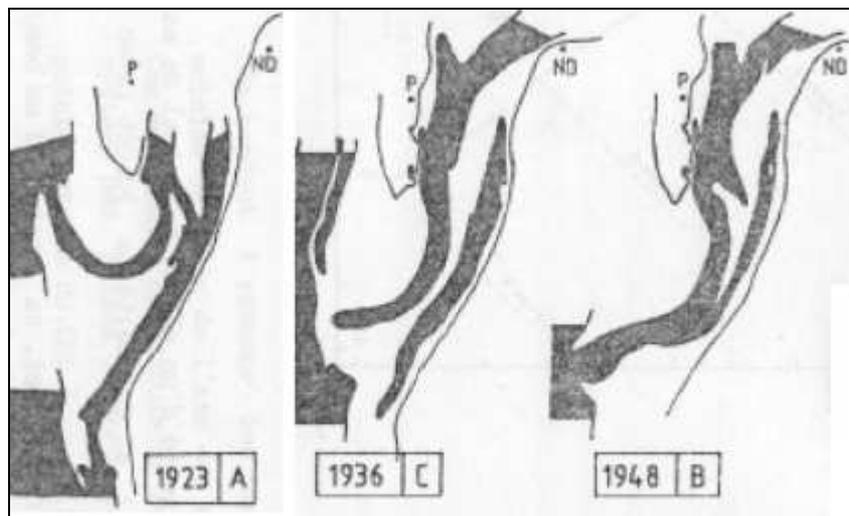
Les tendances cycliques des passes permettent au regard des évolutions passées une tentative d'extrapolation sur la base des phénomènes mis en évidence par cette étude. Cela permet de replacer les évolutions observées durant les dix dernières années dans un contexte plus général d'évolution des passes sans oublier que la complexité de ce système nous amène à être prudents quant aux perspectives prévisibles à l'échelle décennale car, en citant Paskoff (2007), « les variations brutales, dont l'ampleur est parfois considérable, ne peuvent être anticipées ».

Partie 3 : Conclusion et perspective sur l'évolution des passes

I – L'extrapolation à court terme de l'évolution des passes au regard des phénomènes mis en évidence

1 – Vers la jonction de la passe Nord et Sud ?

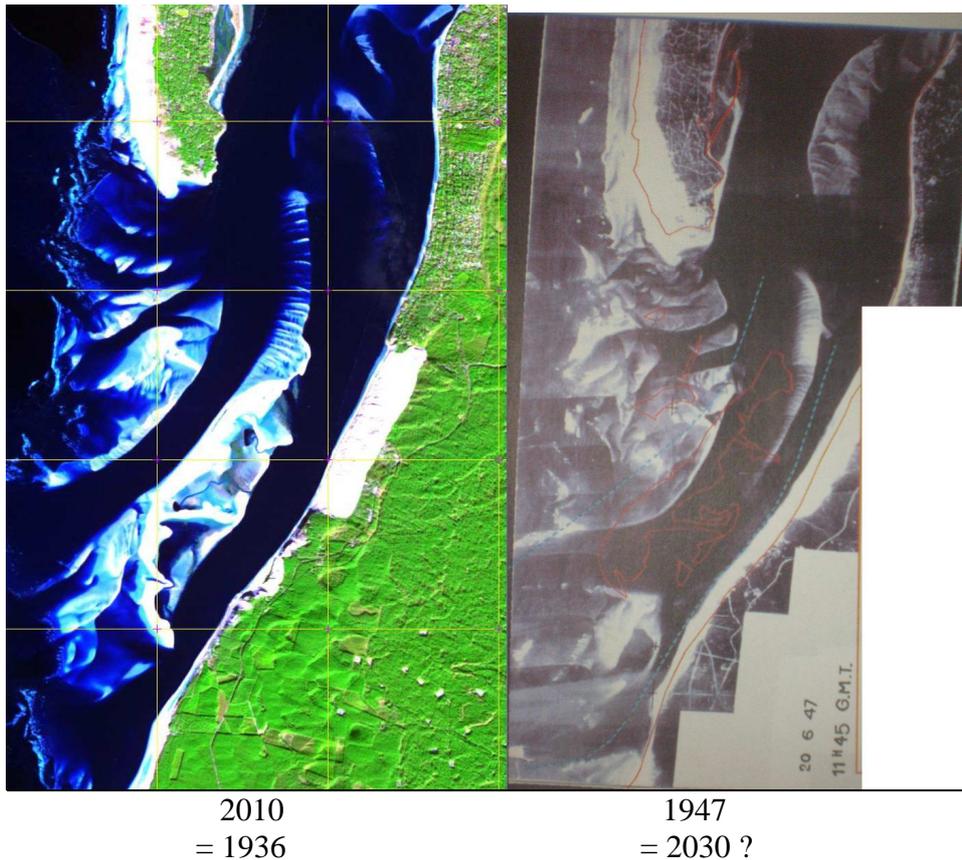
La configuration actuelle des passes est analogue à celle de 1936 (doc.60) où nous pouvons observer deux passes individualisées correspondant au stade C de Gassiat.



Document 60 : Configuration des passes en 1923, 1936, 1948 et stades correspondant selon le « cycle » établie par Gassiat. Source : Gassiat, 1989.

Selon la succession des cycles nous devrions tendre vers la configuration de 1947 correspondant au stade B de Gassiat, où la passe Nord vient à la rencontre de la passe Sud au niveau du banc d'Arguin actuel.

En considérant une évolution linéaire, sur la base d'une progression de la passe Nord d'environ 60 m/an, la jonction des isobathes – 5 m CM pourrait avoir lieu vers 2030 avec probablement, comme en 1947 (doc.61), les talwegs des passes Nord et Sud juxtaposés et non pas confondus étant donné que leur progression est plus lente.



Document 61 : Image Spot 5 des passes le 1 Février 2010, et photographie aérienne des passes en 1947. Sources : Image Spot 2010 ©CNES, Photographie aérienne IGN 1947.

Babin (1990) a mis en évidence une relation entre les stades d'évolution du « cycle » des passes extérieures identifiés par Gassiat (1989) et les différents stades d'évolution qu'il a identifié pour les passes intérieures où il observe une succession d'ouverture et fermeture du chenal traversier et d'une séparation ou non des bancs du delta de marée interne (cf. Partie 2). Les caractéristiques de ces deux stades sont représentées dans le tableau ci-dessous (doc.62).

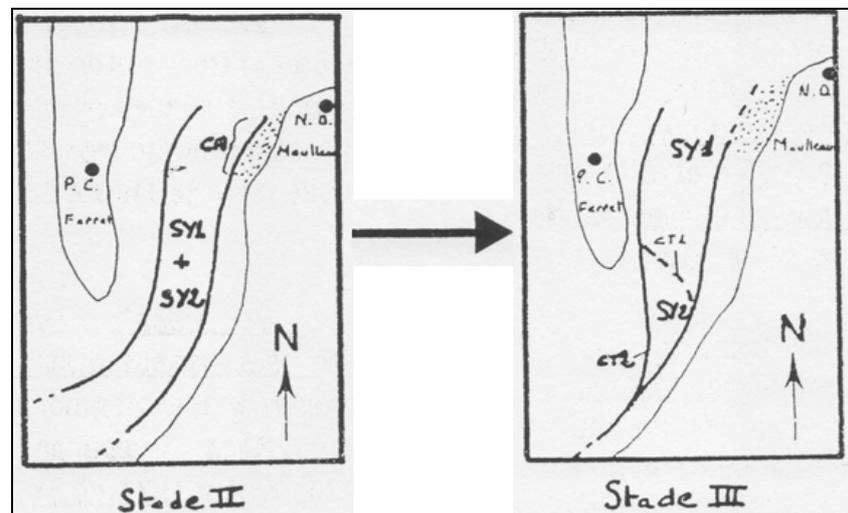
ANNEE	1 PASSE	2 PASSES communication		Chenal traversier	Courbure de l'axe des chenaux	Entités sédimentaires des passes intérieures	Stades des cycles	
		Avec	Sans				BABIN	GASSIAT
1905-1912 (1988)	NON	OUI		"OUI"			I et I'	A
1936 (2010)	NON		OUI	NON		Confondues	II	C
1947 (2030?)	OUI (2 talwegs juxtaposés)			NON	Axe NS : chenal du Ferret	Séparées	III	B

Document 62 : Caractéristiques des stades du « cycle » des passes selon Gassiat et Babin. Source : Babin, 1997 modifié.

Les passes intérieures en 1936, stade II de Babin (et donc stade C de Gassiat comme vu précédemment), étaient caractérisées par un delta de marée interne composé d'un unique banc, semblable à la situation actuelle.

La courbure du chenal du Ferret dans une position Nord Sud qui est une caractéristique du stade III identifié par Babin en 1947 s'observe actuellement (doc.62).

Il note également la séparation des entités sédimentaires des passes intérieures qui est peut être amorcée actuellement par la mise en évidence dans ce travail de l'ouverture récente d'un chenal à travers le banc de Bernet (cf. partie 2). Cependant si le « cycle » de Babin se vérifie, ce chenal n'évoluera pas à court terme en chenal traversier (« CT1 » cf. doc.62, 63).



Document 63 : Evolution morphologique des passes intérieures. Source : Babin, 1990.

Malgré cette instabilité visible à l'échelle décennale le système peut être considéré comme une embouchure en équilibre car la section mouillée (surface minimum de la section de l'embouchure en dessous du niveau moyen des mers) permettant la pénétration du prisme de marée (volume d'eau traversant l'embouchure lors des marées d'équinoxes) reste relativement constante, équilibre ne signifiant pas stabilité. (Michel, 1990).

D'après Cayocca (1996) les divers résultats du calcul de stabilité des passes permettent de conclure que depuis 150 ans les conditions de retour à l'équilibre qu'offre le Bassin d'Arcachon sont satisfaisantes et que cet équilibre n'est pas menacé. Elle en veut pour preuve la situation de 1826 où la flèche du Cap Ferret se trouvait à 500m du Pyla qui n'a pas réduit suffisamment la section d'écoulement pour provoquer la fermeture du Bassin (annexe 7a).

De même Babin (1990) s'est appuyé sur les cartes réalisées par le Port Autonome de Bordeaux de 1905 (date à partir de laquelle les erreurs causées par le manque de bons repères topographiques sont supprimées) à 1988 pour calculer le bilan sédimentaire des passes intérieures. Il a découpé ce secteur par 13 profils auxquels il attribue à chacun une largeur de 1 mètre afin de pouvoir effectuer des cubatures. Ce calcul est réalisé à partir du logiciel « Cubathy » élaboré par J-M Froidefond (Bordeaux 1) permettant de calculer et d'interpoler les sections verticales entre les profils et d'en extraire des variations de surface et de volume entre deux dates.

Il en ressort qu'entre 1905 et 1988 le bilan sédimentaire est stable. Les passes intérieures pourraient être assimilées à un système semi-clos où les entrées et les sorties seraient presque équivalentes. « De ce fait, les passes intérieures joueraient le rôle d'une zone passive où s'effectue le transit sédimentaire entre l'océan et la lagune ».

Le travail réalisé ici ne permet pas d'apporter de nouveaux éléments à ce sujet du fait du manque de sondage complet des passes ne permettant pas d'effectuer les mêmes calculs que dans les travaux des auteurs cités précédemment.

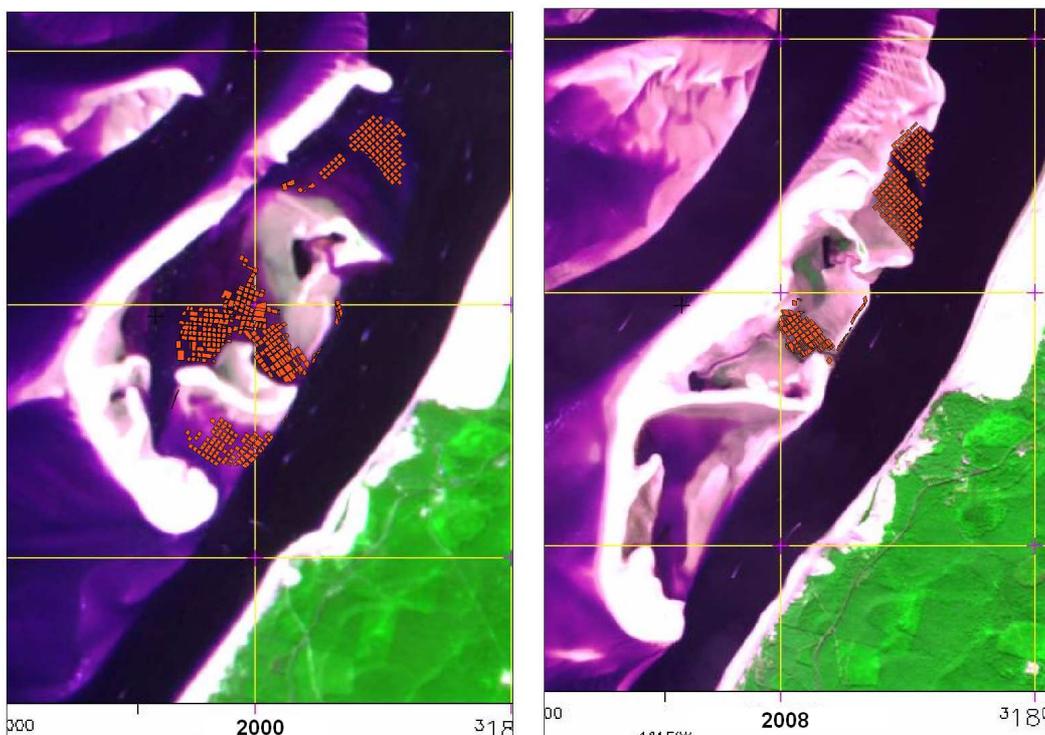
2 – La morphologie changeante du banc d'Arguin : quelles influences sur la gestion des parcs ostréicoles et le littoral ?

Comme nous l'avons vu dans la partie 2, le banc d'Arguin montre une évolution rapide de sa morphologie ainsi que de sa superficie.

L'introduction de l'huître creuse *C.gigas* en 1971 s'accompagne d'un nouveau mode de production avec l'élevage surélevé au détriment de la culture traditionnelle à plat. Cette technique a permis à l'ostréiculture arcachonnaise de prendre le risque de s'installer dans les zones proches de l'embouchure du Bassin, au banc d'Arguin, considéré comme des terrains de premiers choix (IFREMER, 2006). Cependant à l'inverse du bassin intérieur relativement stable, l'estran du banc d'Arguin ne cesse de se modifier d'une année sur l'autre.

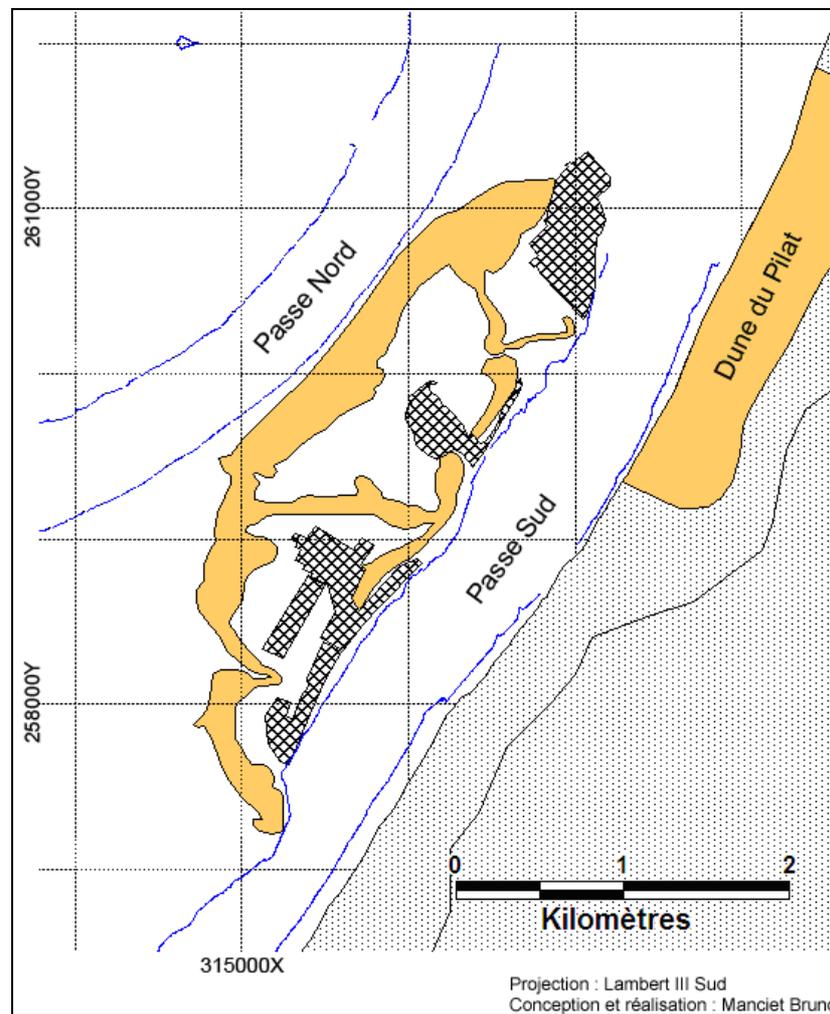
L'implantation de parcs ostréicoles au niveau du banc d'Arguin s'est faite progressivement aux alentours du début des années 1980. La gestion de ces parcs implantés sans autorisation officielle est assurée par la Section Régionale Conchylicole (SRC) assurant le lien avec les services de l'Etat. Les ostréiculteurs payent une redevance à la SRC de l'ordre de 5 euros par are ce qui permet de créer un fond pour le nettoyage des parcs.

En 2000 la configuration du banc d'Arguin permet l'implantation de trois zones ostréicoles concédées d'une surface totale de 61,3 hectares. L'accolement des différents bancs modifie cette configuration ne laissant subsister que deux zones ostréicoles avec une surface de 21,2 ha en 2008, soit une diminution d'environ un tiers de la surface concédée (doc.64).



Document 64 : Cadastre ostréicole au niveau de banc d'Arguin en 2000 et 2008. Sources : CNES Kalideos /Université BDX 1 – UMR EPOC, DDTM33/DML/UGELM

En 2010 la conche Sud, amorcée en 2008 permet la mise en place de nouvelles concessions (doc.65).



Document 65 : Cadastre ostréicoles au niveau du banc d'Arguin en 2010. Source : DDTM33/DML/UGELM

L'extrême variabilité des bancs de sable entraîne donc l'ensablement de parcs obligeant les ostréiculteurs à abandonner ou déplacer leur parcelle. A l'inverse comme nous le voyons en 2010 l'évolution du banc peut permettre la mise à profit de nouvelles zones de l'estran pour l'implantation de parcs (doc.65).

Le déplacement des parcelles est étudié par l'Unité de Gestion de l'Espace Maritime et Littoral (UGELM) de la DDTM 33 à partir de vues aériennes pour le compte de la SRC permettant un suivi annuel. Ce suivi est important car ces implantations sont situées dans la réserve naturelle du Banc d'Arguin où plusieurs usages d'ordre écologique, économique et touristique se pratiquent, ce qui rend nécessaire l'acquisition de données pour la concertation entre les différentes parties prenantes.

Quant à son évolution morphologique le banc d'Arguin devrait aller s'amenuisant au profit de la jonction entre la passe Nord et la passe Sud. La tendance actuelle à l'augmentation de sa surface émergée peut fournir un stock de sable relativement important exposé à l'érosion éolienne qui pourrait alimenter momentanément la dune du Pilat et celles plus au Sud.

Cette installation d'une passe unique en position centre Sud provoquera le dépérissement de l'ancienne passe Sud et, avec le remaniement du stock de sable que représente le banc d'Arguin, une importante quantité de sédiments devrait venir reengraisser la pointe d'Arcachon avant d'alimenter le littoral des Landes. Cette situation avait été observée en 1945 où le banc d'Arguin avait rejoint la côte Sud qu'il avait de ce fait engraisé de la Dune du Pilat à la pointe d'Arcachon (Mallet, 2008). Cet apport de sédiment serait bénéfique pour le littoral au niveau de la dune du Pilat qui est actuellement en phase d'érosion (doc.66).



Document 66 : Le musoir de la Corniche face à l'érosion du littoral du Pyla. Cliché : Manciet Bruno.

Cette érosion, comme nous le voyons sur la photographie ci-dessus (doc.66) pose des problèmes au niveau du musoir de la Corniche, ouvrage terminal de la ligne de défense statique de la côte Sud du Bassin qui tend à être contourné par la mer.

3 – La pointe du Cap Ferret menacée : Y a-t-il un bien fondée de la défense statique ?

3 – 1 – L'érosion de l'extrémité de la pointe du Cap Ferret difficilement contenable

Au niveau de l'extrémité de la pointe du Cap Ferret nous observons donc un jeu d'engraissement et d'érosion permanent très sensible aux conditions extrêmes des tempêtes hivernales et dépendant de l'évolution des bancs transitant le long de la côte Ouest rendant toute prévision à court terme hasardeuse ou tout du moins à relativiser.

En 2003 et 2004 deux ouvrages sous la forme d'épis perméables composés de rondins de pins perpendiculaires au trait de côte, à proximité de la propriété de Mr. Bartherotte, ont été implantés (doc.67) et accompagnés d'un rechargement de sable de 10000 m³ sur l'estran provenant du secteur occidental de la pointe. Emettre un avis sur l'efficacité de ces épis est délicat selon le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) (Mallet, 2008) car lors d'attaques marines majeures qui entraînent un abaissement général de l'estran, les pieux

situés en bas de plages sont déchaussés. Cependant ce système d'épis se révèle efficace pour piéger des sables suivant un processus éolien (Mallet, 2008).



Document 67 : La Pointe du Cap Ferret en Avril 2010. Cliché : Manciet Bruno.

Actuellement une grande partie de ces épis ont été déchaussés ou présentent une usure importante.

Selon la tendance cyclique des passes la pointe du Cap Ferret devrait tendre vers une phase de stabilisation puis s'allonger de nouveau lorsque nous nous trouverons dans une configuration de passe unique. Cependant cet allongement de l'extrémité Sud de la pointe ne devrait pas venir au secours de l'érosion qui agit sur sa face orientale.

3 – 2 – La face orientale de la pointe protégée à tout prix

Comme nous avons pu le constater, la passe Nord qui migre vers le Sud face à l'allongement des bancs du Toulinguet provoque un basculement de l'axe hydraulique du bassin qui devient Nord Sud favorisant l'érosion observée sur la face interne du Cap Ferret (Observatoire de la côte Aquitaine, 2008).

La jonction de l'isobathe – 16 m CM des fosses d'Hortense et de la Pointe entre 2003 et 2010 illustre ces phénomènes d'érosion qui peu à peu se généralisent à l'ensemble de la côte de ce secteur.

Le problème de l'érosion de la pointe du Cap Ferret qui apparaît donc de plus en plus en sursis est caricatural du débat entre accepter l'avancée de la mer sur les terres ou la contenir à tout prix.

Pour Paskoff (2003), « l'erreur originelle a été de permettre l'urbanisation de l'extrémité distale distale du Cap Ferret qui, par sa nature même, est une construction littorale éminemment mobile ». En effet après la première guerre mondiale, l'Etat permet à des particuliers d'acquérir des terres domaniales situées sur cette flèche sableuse. Cette opportunité est saisie par des hommes d'affaires parisiens qui créent des sociétés immobilières puis en 1914 font sortir de terre le lotissement des « 44ha » (Cassou-Mounat, 1997).

Le cercle vicieux érosion-défense commence dès 1950. Pour reprendre les mots de Jean Pierre Pinot (1998) traitant des côtes rocheuses et sableuses soumises au phénomène d'urbanisation : « la gestion des lieux est donc difficile puisqu'il y a incompatibilité de fait entre un substrat naturel fondamentalement instable, et un usage – récent et imprudent – qui exige la stabilité ».

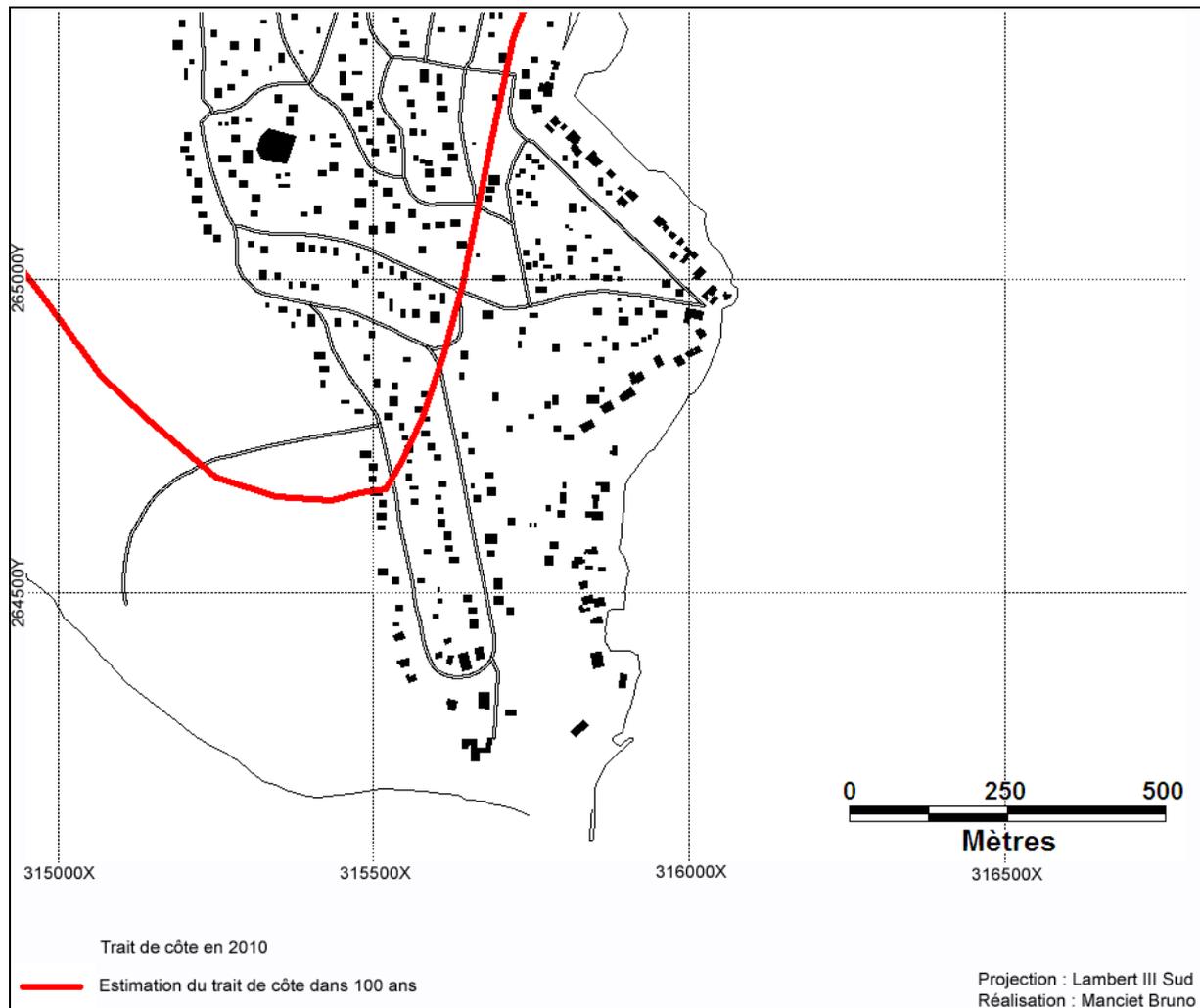
Cette stabilité toute relative se traduit par un enrochement constant de la part des riverains, réalisant des ouvrages improvisés sans autorisations domaniales ni environnementales (P. Vedrine).

Pour CH. Clus Auby (2003), outre la question de l'adaptation cohérente des ouvrages aux conditions locales qui doit reposer sur des études très sérieuses, la question principale est celle du bien fondé de cette défense forte. Cette problématique sur un type de raisonnement spécifique à l'appropriation du territoire souvent présentée comme ancestrale, traditionnelle, identitaire, conduit à une protection à tout prix (Meur-Férec, 2006). Le meilleur exemple est Benoît Bartherotte dont la propriété est en première ligne face à l'érosion de la côte : « [...] nous avons prix racine ici en y faisant, avec ma femme Zaza, sept enfants qui défendent à leur tour leur pays. On peut estimer, en valeur d'aujourd'hui, que j'ai mis à l'eau plus de 30 millions de francs en vingt ans. L'an dernier, on a déversé, avec d'autres riverains, plus de 50 000 tonnes dans le chenal pour consolider les digues »⁵.

L'étude SOGREAH/LARAG (1995) sur l'évolution prévisible du littoral de la Gironde par l'extrapolation des évolutions passées a été réalisée à la demande de la Préfecture de la Gironde dans le cadre de la prise en compte des risques littoraux dans la gestion de l'urbanisme. En application du principe de précaution l'étude n'a pas pris en compte dans l'estimation de l'évolution de l'évolution future du trait de côte les ouvrages de défense contre la mer (SMNG, 2004).

L'estimation à 100 ans de la position du trait de côte a servi de base pour la délimitation de la zone rouge, de ce fait inconstructible, du plan de prévention des risques littoraux est représentée ci-dessous correspondant à la zone entre le trait de côte actuel et le trait de côte estimé à 100 ans (doc.68).

⁵ http://www.objectif-aquitaine.com/parlerdeux.asp?sX_Menu_selectedID=&id=21&c=1



Document 68 : Estimation du trait de côte de la pointe du Cap Ferret à 100 ans. Source : SOGREAH/LARAG, 1995.

La question que l'on peut se poser est si cette défense, raisonnée ou non, n'amplifie pas la vulnérabilité de leur propriétés riveraines du domaine public maritime (DPM) par un rapport de force de plus en plus fort entre érosion et protection dont la rupture pourrait avoir des conséquences proportionnelles à ce rapport.

Nous avons vu que les dépôts de sable dans le chenal du Ferret lors des travaux du Contrat de Plan Etat – Région (CPER) 2000 – 2006 avait permis de combler la partie Est des fosses et de stabiliser cette zone. L'actualisation de l'étude Créocéan de 2001 serait nécessaire afin de dresser un état des lieux des enrochements couplé à une étude en concertation avec les riverains déterminant la possibilité de remblaiement des fosses sans causer le risque d'un effondrement des enrochements. Ces remblaiements pourraient être protégés par des dispositifs anti-affouillement comme des enrochements, des géotextiles (SOGREAH, 2008). Des réflexions sur des projets de dépôt dans les fosses de sédiments sableux extraits du banc de Bernet qui comme nous l'avons vu a tendance actuellement à venir réduire la largeur du chenal du Ferret ont vu le jour mais n'ont pas encore atteint le stade de la réalisation. Le BRGM a été chargé de réaliser une étude en mai 2007 sur l'hydrodynamisme du chenal du Ferret en vu d'un éventuel projet.

En conclusion nous devrions assister, sur la base des évolutions mises en évidence ces dix dernières années, à la jonction de la passe Nord avec la passe Sud provoquant vraisemblablement la disparition du banc d'Arguin dont le stock de sable qu'il constitue pourra être remanié pour reengraisser la côte.

La pression érosive au niveau de la façade Est du Cap Ferret devrait de poursuivre et rendre de plus en plus difficile la lutte contre l'érosion.

Il s'agit maintenant d'analyser le rôle et les limites des outils et des méthodes disponibles pour analyser et gérer ces évolutions et leurs conséquences.

Les mécanismes du système des passes comme nous l'avons vu dans la partie 1 sont nombreux et complexes nécessitant le perfectionnement ou la recherche d'outils pour appréhender toujours plus précisément ce système. Les conséquences de cette évolution, notamment l'érosion des côtes qu'elle implique est au centre de débats sur les politiques de gestion de ces phénomènes.

II - Les limites des méthodes et outils disponibles pour appréhender ce secteur instable

1 – La modélisation confrontée à la complexité et à l'imprévisibilité

Comme il a été présenté dans le premier chapitre, une embouchure tidale (soumise à la marée), comme celle du bassin d'Arcachon est un système complexe constitué de bancs de sables pouvant former des deltas de marée et des chenaux dont la dynamique est entre autre régie par un forçage en partie imprévisible comme le vent et la houle.

La difficulté d'appréhender un tel milieu tient du fait que ce qui est complexe n'est pas réductible par l'analyse à un simple ensemble d'éléments. Dans un système complexe, le « tout » est plus que la somme des parties, des propriétés qui ne peuvent être attribuées à un élément spécifique du système apparaissent, naissant de l'interaction entre les différents éléments (Halévy, 2005).

Les variations des agents dynamiques ainsi que les évolutions propres au site évoluent sur des échelles d'espace et de temps différents. La complexité de ce comportement et l'emboîtement des échelles à considérer en font un système particulièrement difficile à modéliser (Cayocca, 1996). Pour Michel (1997) la complexité des phénomènes naturels rendent difficiles mais non impossibles l'approche modélisatrice qui est selon lui l'approche ultime.

La modélisation est, selon Jean-Louis Le Moigne (1999), « l'action d'élaboration et de construction intentionnelle, par composition de symboles, de modèles susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu complexe, et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intervention délibérée au sein du phénomène ; raisonnement visant notamment à anticiper les conséquences de ses projets d'actions possibles ». Cayocca (1996) précise que de nos jours la plupart des phénomènes physiques complexes agissant dans les systèmes tidaux peuvent être modélisés et que de tels modèles permettent d'émettre et de vérifier des hypothèses, de prédire la réponse d'un système particulier à une modification naturelle ou humaine de l'environnement. Cependant la gamme d'échelle nécessaire pour appréhender les différents agents dynamiques empêche l'utilisation d'un modèle unique. « Un modèle particulier ne pourra décrire que les phénomènes relatifs à l'échelle pour laquelle il aura été conçu ».

Le problème qui se pose également réside dans l'imprévisibilité de certains phénomènes.

Les tempêtes constituent la principale menace de fermeture d'une embouchure et les processus qui interviennent résultent d'interactions complexes entre courants de marée, houle

et transport sédimentaire. Malgré de récents progrès dans la compréhension de ces mécanismes, il demeure impossible de prédire avec précision l'ajustement des passes à la nouvelle situation créée par la tempête. « L'observation de situations extrêmes à Arcachon montre bien que ce sont les tempêtes qui jouent un rôle déterminant dans l'évolution morphologique des passes » (Cayocca, 1996).

La simulation de l'évolution d'une hypothétique embouchure sans passe réalisée par Cayocca (1996) a permis de reconstituer la formation d'une passe et d'un système de bancs de morphologie comparable aux situations observées au cours des 200 dernières années. Par contre il n'a pas été possible de reproduire l'ouverture d'une passe Nord.

Un tel phénomène s'apparente à l'ouverture d'une brèche à la suite de conditions météorologiques extrêmes et ne peut être représenté à partir de conditions moyennes. Cette difficulté est commune à toutes les modélisations comportant des phénomènes aléatoires et spécialement dans les passes d'Arcachon, où les tempêtes jouent un rôle déterminant dans l'évolution morphologique (IFREMER, 1997).

2 – Les méthodes utilisées confrontées aux politiques de gestion

Le secteur étudié présente deux contextes où les politiques de gestion diffèrent. Les passes intérieures se trouvent dans un contexte de rivages d'embouchure fixée par des ouvrages de défense contre l'érosion marine et les passes extérieures sont dans un contexte de rivages d'embouchure libres. Les recommandations faites par l'IFREMER (Manaud, 2001) dans le cadre de l'outil de gestion prévisionnelle de la côte aquitaine sont d'une part d'entretenir les ouvrages de défense fixe dans la mesure où le coût se justifie par la conservation d'une ressource ou d'un patrimoine public ou privé, et d'autre part pour les rivages libres, prioritairement un investissement intellectuel en étudiant les différentes dynamiques y afférant.

2 - 1 – Une nécessaire acquisition de savoir

Sans remettre en cause l'utilité, la fiabilité et l'opérationnalité des modèles utilisés, Georges Rossi (1996) dans une étude sur le fleuve Mono sur la frontière Togo Bénin, met en évidence les contraintes et les limites de leur exploitation. Leur fiabilité repose sur le nombre, la qualité et la durée des observations in-situ. Il recommande donc un programme de suivi hydrologique et morpho-sédimentaire afin de préciser les évolutions pour réajuster périodiquement les prévisions modélisées. Il se pose le problème évident du financement de ces suivis qui sont cependant essentiels pour maximiser le savoir pour la compréhension et l'aide à la décision. C'est selon lui le meilleur moyen et le moins onéreux de gérer un futur incertain malgré les progrès en modélisation. Avant de prévoir, il faut savoir.

Froidefond, Castaing et Lafon chercheurs au sein de l'Unité Mixte de Recherche (UMR) EPOC Bordeaux 1 expliquent dans leurs travaux d'analyse d'images satellites Spot que pour comprendre et modéliser l'évolution morphologique de l'embouchure du bassin d'Arcachon l'obtention de cartes bathymétriques précises est indispensable. Comme les sondages hydrographiques au niveau des passes sont, par les contraintes de coûts et de sécurité, rares et partiels notamment dans les petits fonds dangereux pour la navigation, l'utilisation de l'imagerie satellitale SPOT est essentielle. Les cartes topographiques ainsi obtenues donnent une idée relativement précise de la morphologie de ces petits fonds jouxtant les bancs et constituent un bon complément aux cartes bathymétriques de la Subdivision Territoriale et Maritime du Bassin d'Arcachon (STMBA).

Cette méthode appelée hypsométrie permettant d'avoir une vue globale et instantanée des passes présente tout de même certaines limites. La turbidité de l'eau et l'agitation du plan d'eau au moment de la prise de vue peuvent nuire à la correspondance entre les luminances Spot et la profondeur de l'eau. Les profondeurs maxima pouvant être déterminées par cette méthode varient donc en fonction des conditions lors de la prise de vue et les comparaisons diachroniques peuvent être gênées par une différence trop importante du niveau d'eau lors des différentes prises de vue (Froidefond, 2000).

Malgré leurs limites respectives ces méthodes remplissent leur rôle dans la politique de gestion du secteur des passes. La mission de balisage des passes par les services de l'Etat nécessite seulement comme données de base les relevés bathymétriques effectués par la STMBA. Le suivi annuel des passes par imagerie satellite Spot réalisé par l'UMR EPOC Bordeaux 1 permet d'analyser précisément l'évolution des bancs de sables au niveau des passes. Ces données, avec celle de la STMBA sont de plus essentielles pour la création ou l'actualisation de modèle hydrodynamique ou sédimentaire pour lesquels le modelé des fonds joue un rôle important dans la modélisation de l'écoulement des flux ou du transport sédimentaire.

2 – 2 – Quelles modalités de gestion pour la façade Est du Cap Ferret ?

L'érosion observée sur la pointe du Cap Ferret, au centre de nombreux débats, amène à se questionner sur les outils de gestion pour un tel cas de figure.

L'érosion qui ne faiblit pas sur ce secteur comme nous l'avons constaté conforte les mesures prises dans le cadre du Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) interdisant toutes constructions sur le littoral.

En ce qui concerne les ouvrages de défense contre l'érosion marine, il se pose le problème évident de la réalisation d'ouvrage sur le DPM sans autorisation. La politique de l'Etat fut d'une part de proposer le comblement des fosses par le dépôt de sable par voie maritime, projet refusé par les riverains par crainte de la déstabilisation de leur ouvrage. D'autre part le rôle de l'Etat est de favoriser la constitution d'Associations Syndicales Autorisées (ASA) qui ont pour objectifs l'exécution et l'entretien d'un certain nombre de travaux dont la défense contre la mer (Clus Auby, 2003). Cependant la tentative de constitution d'une ASA pour les riverains du Cap Ferret en 2001 a échoué suite à un vote défavorable des riverains. Le préfet n'a pas voulu constituer une ASA « forcée » comme la loi le lui permettait, considérant que la situation d'urgence n'était pas clairement définie (Entretien P. Vedrine).

L'autorisation d'occupation temporaire (AOT), défini par l'article L.2124-5 du Code général de la propriété des personnes publiques (annexe 6) qui peut être accordée à des personnes publiques ou privées permet l'installation d'équipement sur le domaine public n'affectant pas de manière irréversible le site. La circulaire du 4 Juillet 1980 précise que l'emprise des constructions doit être limitée et que la technique de construction doit permettre une démolition effective au terme de l'autorisation dont la durée, qui sauf cas particulier, ne peut excéder 10 ans (Paskoff, 2007).

L'AOT n'est donc pas une modalité de gestion du DPM adaptée à des ouvrages importants et pérennes. Les enrochements réalisés par les riverains sortent de ce fait du cadre de l'AOT. Cependant plusieurs AOT ont été délivrées à des riverains afin de régulariser les occupations actuellement sans droit ni titre faute d'outil de gestion adapté. Cela permet de préciser les droits et obligations du titulaire notamment en matière de responsabilité des ouvrages.

Un projet de circulaire préconise une modalité du type « superposition d'affectation (ou de gestion) pour les maîtres d'ouvrages publics (art. L2123-7 du CGPP, cf. annexe 6).

2 – 3 – La complémentarité des actions menées

En accord avec les propos de Rossi, nous observons pour le Bassin d'Arcachon une complémentarité des moyens mis en œuvre par les différents organismes étudiant ce secteur. Les missions de sondage des passes de la STMBA servent de données de calibrage pour déterminer les profondeurs à partir des images Spot par l'UMR EPOC, données qui à leur tour peuvent être utilisées à des fins de recherches.

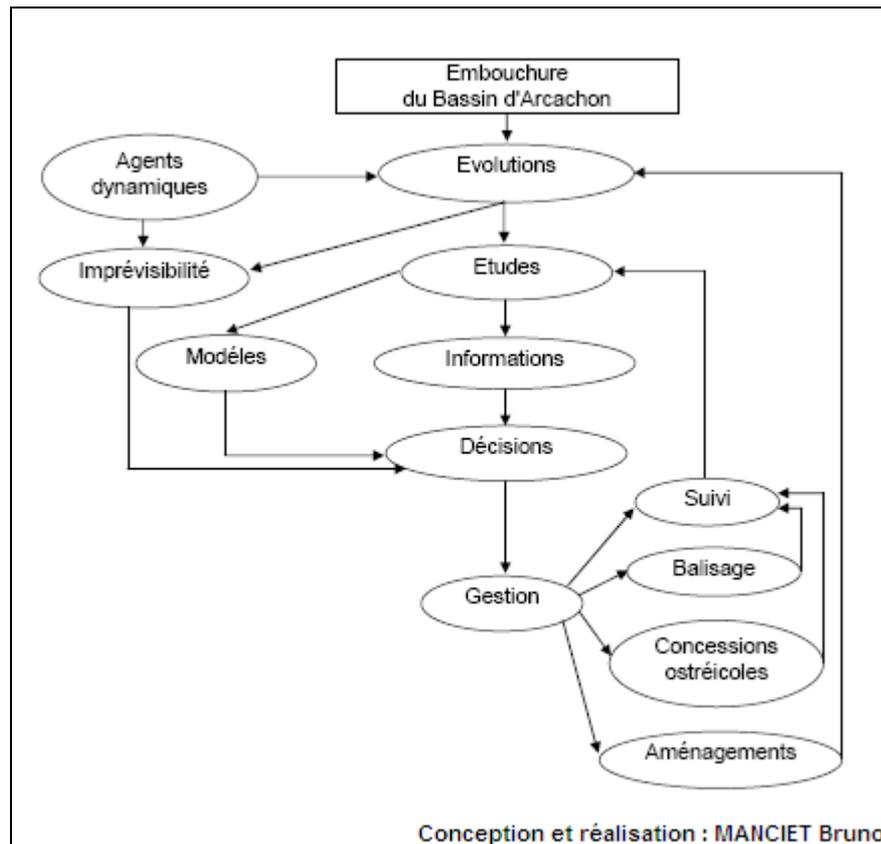
L'IFREMER réalise de nombreuses études et est à l'origine notamment de l'étude intégrée du Bassin d'Arcachon dont l'actualisation pourrait être intéressante pour un état des lieux des connaissances récentes en les confrontant aux perspectives émises en 1997.

De plus dans le cadre du CPER 2000-2006, l'Etat, le Conseil Régional, le BRGM et l'ONF se sont associés pour la mise en place de l'Observatoire de la Côte Aquitaine en partenariat avec l'Europe, l'Etat, les départements de la Gironde, des Landes et des Pyrénées Atlantiques et le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA). Cette convention est renouvelée dans le cadre du CPER 2007-2013.

Il vise à mettre à la disposition des gestionnaires du littoral un outil opérationnel d'aide à la gestion intégrée du littoral aquitain et réaliser des avis techniques à l'ensemble des collectivités du littoral aquitain sans versement de fonds de leur part. L'objectif est également d'opérer des suivis réguliers du littoral comme le « trait de côte », de fédérer la collecte d'informations environnementales locales spécifiques aux milieux littoraux et de porter à connaissance aux acteurs gestionnaires du littoral ce projet de gestion intégrée des zones côtières (Mallet, 2008).

Il convient de ne pas oublier les travaux universitaires, de troisièmes cycles notamment, permettant le croisement de ces différentes données pour vérifier ou critiquer des hypothèses, apporter des regards différents suivant les spécialités sur un milieu qui n'a pas fini de livrer tout ses secrets car pour reprendre les mots de Marc Halévy (2005) « rien n'est réellement prévisible : tout n'est, au mieux, que probable. Tout est incertain. »

Nous observons donc dans l'exemple des passes du Bassin d'Arcachon tout un processus d'aide à la décision en matière de gestion (doc.69) qui passe par des études spécifiques aux passes par modélisation ou par observation in situ.



Document 69 : La gestion de l'évolution des passes du Bassin d'Arcachon.

La politique de gestion de l'Etat et des collectivités locales sont explicitées dans le Schéma de Mise en Valeur de la Mer (SMVM) qui ne préconise pas d'aménagement de ce secteur mais un suivi bathymétrique, maintenant complété par un suivi par image satellite. Les seuls aménagements observables sont réalisés par les riverains du Cap Ferret et du Pyla par la construction et l'entretien des ouvrages de défense statique. Ces aménagements influent cependant sur les mécanismes naturels de ce système en les freinant ce qui implique une réponse du système par une érosion « verticale » par approfondissement plutôt que latérale.

Ce mémoire s'inscrit donc dans la chaîne d'aide à la décision en apportant un regard sur l'évolution récente de l'embouchure du Bassin d'Arcachon.

Le stage qui m'a permis de réaliser ce travail s'est effectué en terrain connu étant donné que le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA) m'avait ouvert ses portes pour le stage de Master 1. Les contacts établis à cette occasion ont répondu présent pour m'aider à mener à bien mon sujet d'étude.

III – Un bilan du stage positif

1 – L'acquisition de nouvelles connaissances et compétences

J'ai eu l'opportunité d'acquérir les bases du logiciel de bathymétrie Hypack qui m'apporte un complément dans mes compétences en informatique. Les nombreuses sorties sur le terrain pour effectuer des levés bathymétriques, une trentaine d'heures au total, m'ont permis de participer aux différentes étapes, de la préparation à l'acquisition jusqu'au traitement des données. Cela m'a également fait prendre conscience des contraintes qui y sont associées ainsi

que le travail réel que cela nécessite ; aspect que l'on ne mesure pas quand on travaille sur les données simplement récoltées.

Cet apprentissage a été d'autant plus efficace que j'ai pu porter assistance à la suite de la formation que nous avons suivie, aux agents de la STMBA en vue de leur autonomie désormais acquise pour la réalisation et le traitement de levés bathymétriques.

Le stage de Master 1 qui s'était étendu sur 5 mois m'avait permis de développer une certaine rigueur d'analyse et de synthèse d'informations. La connaissance du milieu que ce stage m'avait conféré a été très utile pour une mise au travail rapide même si la zone d'étude diffère du bassin intérieur par des évolutions plus rapides et importantes. J'ai de ce fait été plus indépendant dans l'organisation du stage et des moyens à mettre en œuvre pour traiter le sujet.

2 – Résultat de l'étude et difficultés rencontrées

Le présent mémoire avait pour but de réaliser un état des lieux de la décennie concernant l'évolution des passes avec d'une part un travail de cartographie et de calcul à partir des données de sondages alimenté par les connaissances issues des différents ouvrages et rapports traitant de ce thème. D'autre part il était intéressant d'apporter un regard géographique en dépassant l'aspect « physique » du sujet en abordant la gestion du secteur au travers du balisage, des concessions ostréicoles et des risques associés à l'évolution de ce secteur.

Le travail de collecte des sondages bathymétriques des passes depuis 2000 a permis également d'archiver la majorité des relevés effectués ce qui pourra faciliter si besoin leur utilisation pour d'autres études.

Les principales difficultés auxquelles j'ai été rencontré diffèrent légèrement de celles du précédent stage :

- la communication, qui reste encore une difficulté mais qui ne m'a cependant pas empêché de contacter et rencontrer les personnes susceptibles de m'aider,
- la compréhension des thèses traitant de la zone d'étude qui sont parfois difficiles à aborder par leur approche mathématique, physique ou géomorphologique. Cependant les entretiens avec les personnes compétentes sur ces sujets m'ont permis de palier aux erreurs d'interprétations que je pouvais commettre.

Des éléments de ce mémoire, concernant le Cap Ferret ont d'ores et déjà été transmis pour information au Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) et présentés succinctement lors d'une réunion organisée le 14 Juin 2010 par le Conservatoire du Littoral. Enfin plusieurs contacts que j'ai pu avoir lors de ce travail ont montré leur intérêt pour avoir une copie de ce mémoire.

Conclusion générale

L'embouchure du Bassin d'Arcachon illustre l'extrême complexité du littoral dans sa dimension naturelle par le nombre et la variété des éléments de ce système. S'y ajoute également des caractéristiques anthropiques qui viennent en interaction avec les éléments naturels impliquant des dangers et des coûts pour la société comme pour les particuliers.

L'incertitude induite du caractère instable du littoral dont toute action anthropique entraîne une réponse du système pose le problème de l'acquisition de savoir sur les mécanismes en jeu dans une situation jugée urgente par ceux qui y sont exposés. Comme nous l'avons vu, prévoir nécessite savoir et la précision sera d'autant plus grande que les observations seront nombreuses et sur un temps long sans pour autant être déconnectées des enjeux actuels.

Les nombreux suivis réalisés au niveau des passes et de la côte attestent de cette prise de recul face aux phénomènes naturels pour mieux envisager les moyens d'y répondre à plus ou moins longs termes.

A l'heure du « développement durable » où le respect de l'environnement prend une place de plus en plus importante, cette position doit être maintenue tout en garantissant une sécurité optimale des usagers et riverains du Domaine Public Maritime.

Bibliographie

BABIN P. *Morphologie, sédimentologie et processus dynamiques des passes intérieures du bassin d'Arcachon : un exemple d'évolution cyclique d'une communication lagune/océan*. Bordeaux, 1990. (Th. Doctorat : Géologie : Bordeaux 1 : 1990)

CASSOU – MOUNAT M. *La vie humaine sur le littoral des Landes de Gascogne*. Lille : Atelier de reproduction des thèses, 1977. (Th. Doctorat : Géographie : Bordeaux 3 : 1975)

CAYOCCA F. *Modélisation morphodynamique d'une embouchure tidale : application aux passes d'entrée du Bassin d'Arcachon*. Bordeaux, 1996. (Th. Doctorat : Océanographie : Bordeaux 1 : 1996)

CLUS-AUBY Ch. *La gestion de l'érosion des côtes : l'exemple aquitain*. PUB. Bordeaux, 2003.

CREOCEAN. *Reconnaissance des fonds de la bordure littorale orientale du Cap Ferret par sonar à balayage latéral*. Rapport d'expertise n°101003. Pour le compte de la Commune de Lège Cap Ferret. La Rochelle, Mars 2001.

FROIDEFOND JM., CASTAING P. *Surveillance des passes du Bassin d'Arcachon par imagerie satellitale. Analyse des scènes Spot de Juillet 1999 à Avril 2000*. Pour le compte du Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon. Arcachon, 2000.

FROIDEFOND JM., CASTAING P. *Surveillance des passes du Bassin d'Arcachon entre 1986 et 2001 par imagerie satellite Spot 5*. Pour le compte du Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon. Arcachon, 2001.

FROIDEFOND JM., CASTAING P. *Surveillance des passes du Bassin d'Arcachon en 2004 par imagerie satellite Spot 5. Evolution depuis 1947*. Pour le compte du Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon. Arcachon, 2005.

FROIDEFOND JM., CASTAING P. *Surveillance des passes du Bassin d'Arcachon en 2006 par imagerie satellite Spot 5*. Pour le compte du Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon. Arcachon, 2006.

FROIDEFOND JM., CASTAING P. *Surveillance des passes du Bassin d'Arcachon en 2009 par imagerie Spot 5*. Pour le compte du Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon. Arcachon, 2009.

GARROS M. *Histoire des perrés du Moulleau*. 2007.

GASSIAT L. *Hydrodynamique et évolution sédimentaire d'un système lagune – flèche littorale. Le Bassin d'Arcachon et la flèche du Cap Ferret*. Bordeaux, 1989. (Th. Doctorat : Océanographie : Bordeaux 1 : 1989)

HALEVY M. *L'Âge de la Connaissance – Principes et Réflexions sur la révolution noétique au 21^{ème} siècle*. Paris : MM2 Editions. 2005.

IFREMER. *Etude intégrée du Bassin d'Arcachon*. 1997.

IFREMER. *Historique de l'ostréiculture dans le Bassin d'Arcachon*. Juin 2006.

LABRID C. *L'ostréiculture et le Bassin d'Arcachon*. Feret et fils. Bordeaux. 1969.

MALLET C., AUBIE S. *Bilan des expertises réalisées entre 2002 et 2007 par l'Observatoire de la Côte Aquitaine*. Rapport final BRGM/RP-52883-FR. 2008.

MANAUD F. *et al. Elaboration d'un outil de gestion prévisionnelle de la côte Aquitaine. Phase 3 : diagnostic d'évolution et recommandations*. Contribution de l'IFREMER. Rapport IFREMER DEL-AR. Août 2001.

MICHEL D. *Evolution morphodynamique d'un littoral sableux situé à l'aval d'une embouchure lagunaire*. Bordeaux, 1997. (Th. Doctorat : Géologie marine : Bordeaux 1 : 1997)

OBSERVATOIRE DE LA COTE AQUITAINE. *Atlas de l'aléa érosion côtière du littoral sableux aquitain. De l'embouchure de la Gironde à l'estuaire de l'Adour*. Document provisoire. 20 Octobre 2008.

PASKOFF R. *Evolution actuelle de la pointe du Cap Ferret : Constatations et recommandations*. Compte rendu du comité scientifique pour le compte du Conservatoire du littoral. Réunion du 17 Mars 2003.

PASKOFF R., CLUS-AUBY Ch. *L'érosion des plages, les causes, les remèdes*. Institut océanographique. 2007.

PINOT J-P. *La gestion du littoral. Tome 1, Littoraux tempérés : Côtes rocheuses et sableuses*. Paris : Institut océanographique. 1998.

SERVICE MARITIME ET DE NAVIGATION DE LA GIRONDE. *Schéma de mise en valeur de la mer du Bassin d'Arcachon*. Août 2004.

SERVICE MARITIME ET EAU DDE 33 SUBDIVISION D'ARCACHON. *Convention relative aux opérations de sondage et balisage des passes du Bassin d'Arcachon et suivi de leur évolution*. 2006.

SOGREAH – LARAG. *Littoral de la Gironde. Evolution prévisible*. Rapport. Pour le compte de la Préfecture de la Gironde. Juin 1995

SOGREAH., PAB. *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*. Rapport n°511515. Pour le compte de la commune de Lège – Cap Ferret. Janvier 1997.

SOGREAH. *Bassin d'Arcachon. Amélioration de l'hydraulique*. Dossier d'Enquête Publique. Pour le compte du Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon. Mai 2002.

SOGREAH. *Face orientale du Cap Ferret. Actualisation de son évolution depuis 1996*. Rapport. Pour le compte de la commune de Lège – Cap Ferret. Juin 2003. (78)

Mémoire Master 2 : L'évolution morpho-bathymétrique des passes du Bassin d'Arcachon de 2000 à 2010 – Conséquences et enjeux.

THAURONT F. *Les transits sédimentaires subtidaux dans les passes internes du bassin d'Arcachon*. Bordeaux, 1994. (Th. Doctorat : Géologie marine : Bordeaux 1 : 1994)

Documents issus d'internet :

BOUCHET J-M. *Le bassin et les passes d'Arcachon*. Cols bleus, n°2392, 19 Avril 1997, [EN LIGNE], Disponible sur : <http://www.fxbodin.com/iboga/images/texte-bouchet-passes-1997.pdf>

DESMAZES F. *Caractérisation des barres sableuses d'une plage de la côte aquitaine. Exemple de la plage du Truc Vert*. Bordeaux, 2005. (Th. Doctorat : Géologie marine : Bordeaux 1 : 2005)

DUFFART C. *Le Bassin d'Arcachon – Géographie rétrospective du Bassin d'Arcachon, projets et essais d'amélioration des passes depuis un siècle, état actuel*. Communication faite au congrès des Sociétés françaises de Géographie. Bordeaux, 3 Août 1895, [EN LIGNE], Disponible sur : <http://shaapb.free.fr/articles.php?lng=fr&pg=424>

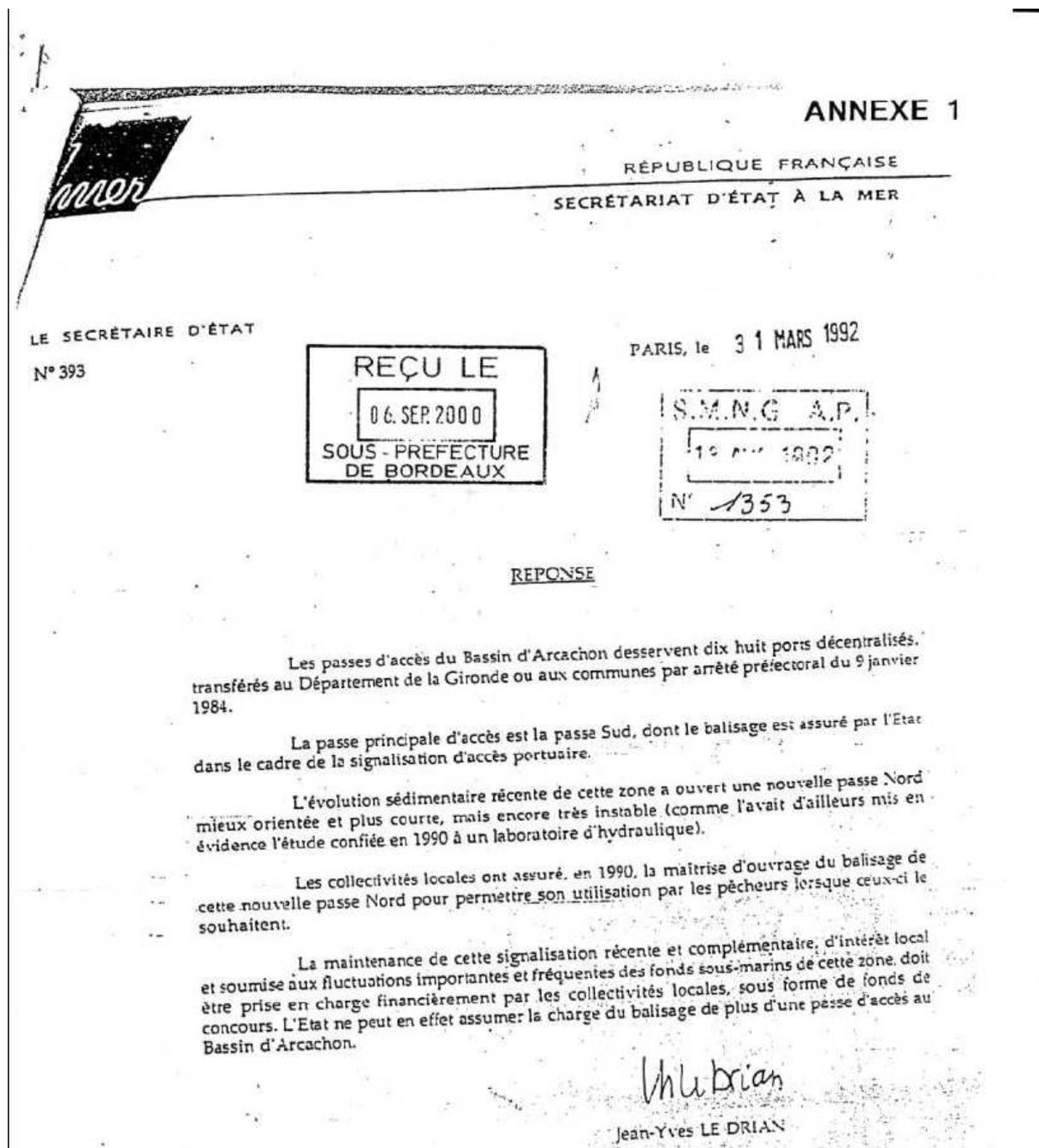
MEUR-FEREC Ch. *De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral : un itinéraire de géographe*. Nantes, 2006 (Volume 1 : essai inédit. Habilitation à Diriger des Recherches), [EN LIGNE], Disponible sur : http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/16/77/84/PDF/essai_inedit_Meur-Ferec.pdf

RECLUS E. *Le littoral de France*. Revue des Deux Mondes. 1863, [EN LIGNE], Disponible sur : http://leonc.free.fr/histoire/biblio/e_reclus_02.htm

ROSSI G. *l'impact des barrages de la vallée du Mono (Togo-Bénin). La gestion de l'incertitude*. Géomorphologie: relief, processus, environnement, 1996, [EN LIGNE], Disponible sur : http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/morfo_1266-5304_1996_num_2_2_878

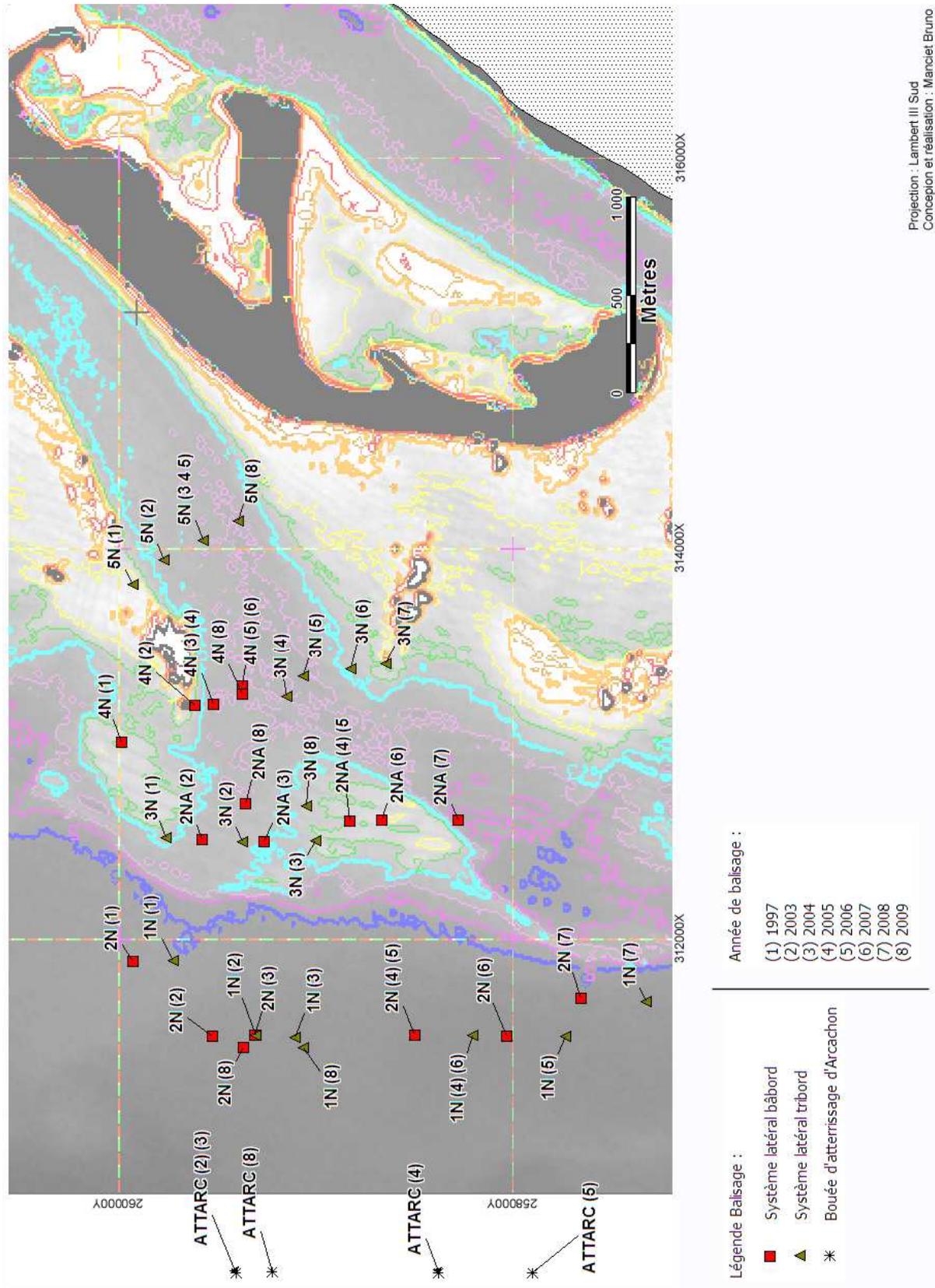
Annexes

Annexe 1 : Courrier du secrétaire d'Etat à la mer Jean-Yves Le Drian du 31 Mars 1992 relatif au balisage des passes du Bassin d'Arcachon.



Source : SERVICE MARITIME ET EAU DDE 33 SUBDIVISION D'ARCACHON. *Convention relative aux opérations de sondage et balisage des passes du Bassin d'Arcachon et suivi de leur évolution*. 2006.

Annexe 2 : Evolution du balisage de la passe Nord du Bassin d'Arcachon entre 1997 et 2009.



Sources : Positions bouées STMBA, hypsométrie 2008 UMR EPOC Bordeaux 1.

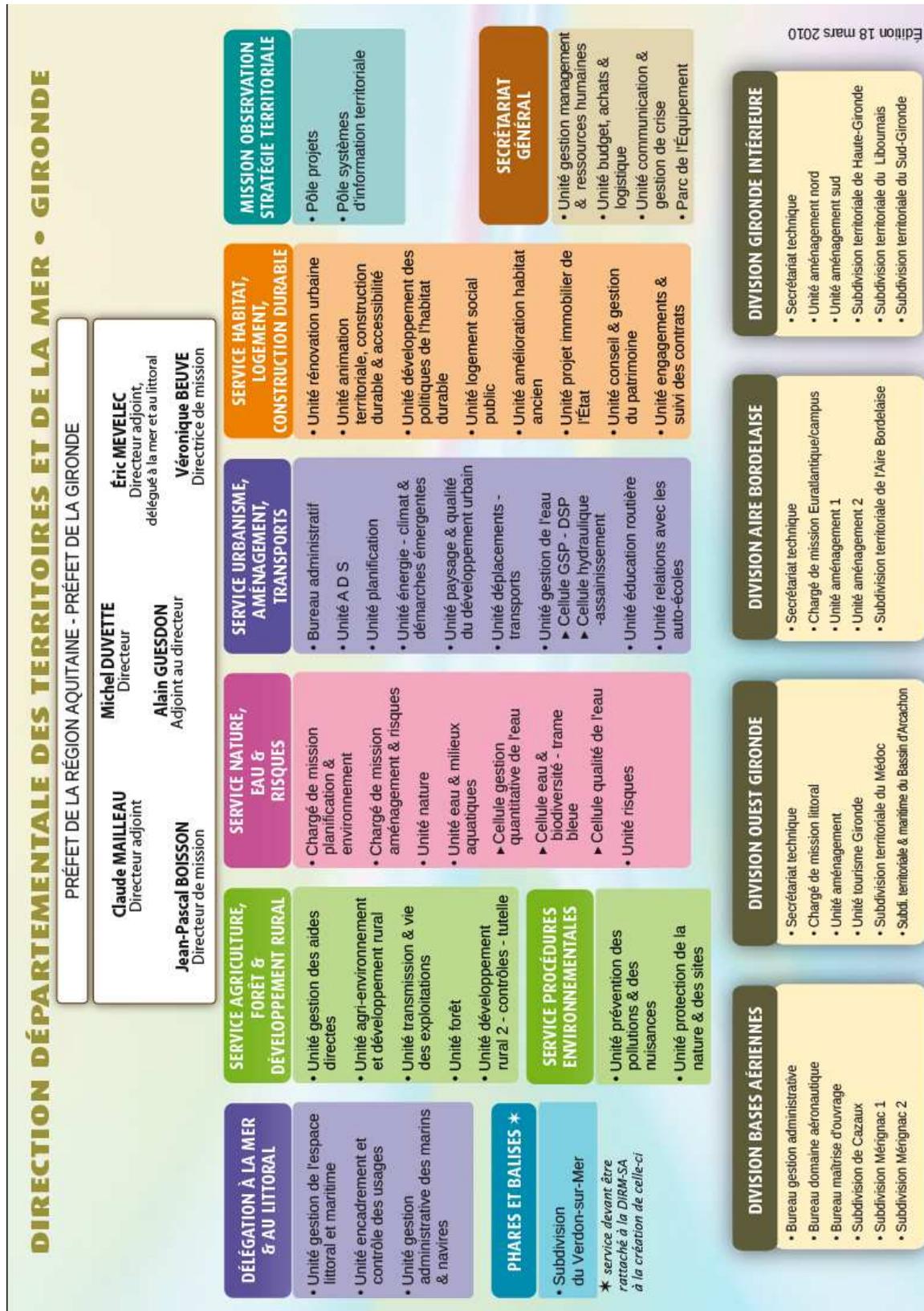
Annexe 3 : Répartition annuelle entre partenaires du coût des opérations de sondage et de balisage des passes du Bassin d'Arcachon.

**REPARTITION ANNUELLE
ENTRE PARTENAIRES**

	Etat	Département	Région	Syndicat	Totaux
SONDAGES / BALISAGE					
Sondages préalables					
- location vedette	-	9 375		9 375	18 750
- renouvellement du matériel	-	3 750		3 750	7 500
- personnel	18 500	-		-	18 500
- entretien/maintenance marégraphe	-	250		250	500
Balisage					
- baliseur	49 000	-		-	49 000
- maintenance des bouées	17 000	-		-	17 000
Sous Totaux	84 500 €	13 375 €		13 375 €	111 250 €
%	75,96	12,02		12,02	100
SUIVI PAR IMAGES SATELLITALES					
- acquisition	-	2 400	2 400	2 400	7 200
- interprétation	-	2 800	2 800	2 800	8 400
Sous Totaux	-	5 200 €	5 200	5 200 €	15 600 €
%	-	33,3	33,3	33,3	100
OPERATION GLOBALE					
Totaux	84 500 €	18 575 €	5 200	18 575 €	126 850 €
%	66,62	14,64	4,10	14,64	100

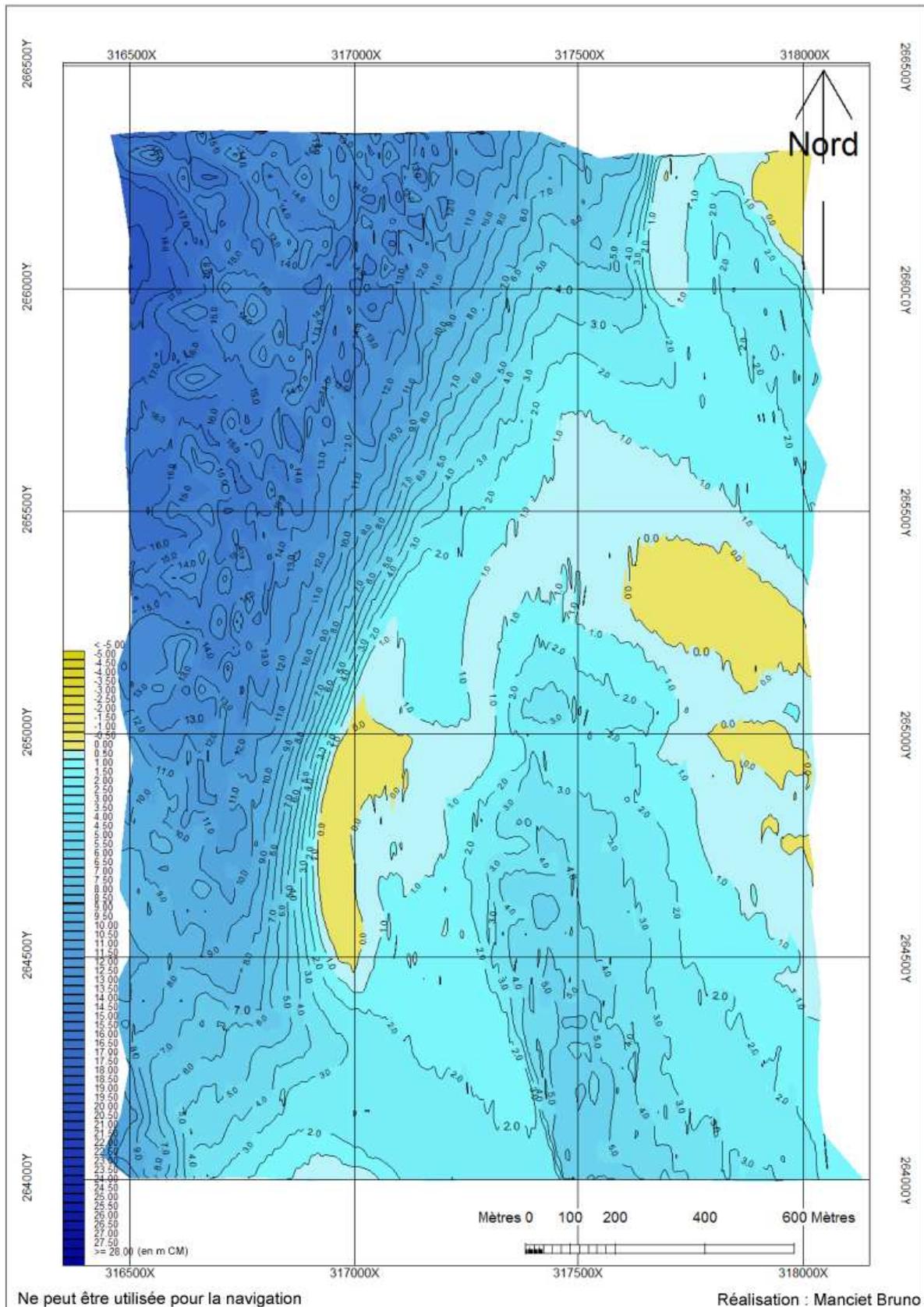
Source : SERVICE MARITIME ET EAU DDE 33 SUBDIVISION D'ARCACHON. *Convention relative aux opérations de sondage et balisage des passes du Bassin d'Arcachon et suivi de leur évolution.* 2006.

Annexe 4 : Organigramme de la Direction Départementale de la Terre et de la Mer de la Gironde.



Source : http://www.gironde.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/org_DDTM33_cle71982a.pdf

Annexe 5 : Bathymétrie partielle des passes intérieures en Avril 2010.



Source : STMBA

Annexe 6 : Articles importants des codes en vigueur en relation avec le sujet

Annexe 6a : Article L2124-5 du Code général de la propriété des personnes publiques

Code général de la propriété des personnes publiques

Partie législative

DEUXIÈME PARTIE : GESTION

LIVRE Ier : BIENS RELEVANT DU DOMAINE PUBLIC

TITRE II : UTILISATION DU DOMAINE PUBLIC

Chapitre IV : Dispositions particulières

Section 1 : Utilisation du domaine public maritime.

Article L2124-5

Des autorisations d'occupation temporaire du domaine public peuvent être accordées à des personnes publiques ou privées pour l'aménagement, l'organisation et la gestion de zones de mouillages et d'équipement léger lorsque les travaux et équipement réalisés ne sont pas de nature à entraîner l'affectation irréversible du site.

Ces autorisations sont accordées par priorité aux communes ou groupements de communes ou après leur avis si elles renoncent à leur priorité.

Source : <http://www.legifrance.gouv.fr>

Annexe 6b : Article L2123-7 du Code général de la propriété des personnes publiques

Code général de la propriété des personnes publiques

Partie législative

DEUXIÈME PARTIE : GESTION

LIVRE Ier : BIENS RELEVANT DU DOMAINE PUBLIC

TITRE II : UTILISATION DU DOMAINE PUBLIC

Chapitre III : Modalités de gestion

Section 4 : Superposition d'affectations.

Article L2123-7

Un immeuble dépendant du domaine public en raison de son affectation à un service public ou à l'usage du public peut, quelle que soit la personne publique propriétaire, faire l'objet d'une ou de plusieurs affectations supplémentaires relevant de la domanialité publique dans la mesure où celles-ci sont compatibles avec ladite affectation.

La superposition d'affectations donne lieu à l'établissement d'une convention pour régler les modalités techniques et financières de gestion de cet immeuble, en fonction de la nouvelle affectation.

Un décret en Conseil d'Etat détermine les conditions d'application du présent article.

Source : <http://www.legifrance.gouv.fr>

Annexe 7 : Revue de presse

Annexe 7a : Toujours un œil sur le Bassin. Sud Ouest, Samedi 14 Avril 2007

Annexe 7b : La digue a bel et bien contenu la tempête Xynthia. Sud Ouest, Samedi 3 Avril 2010

Annexe 7c : La villa Balguerie à nouveau touchée. Sud Ouest, Mardi 9 Avril 1985.

Annexe 7a :

BASSIN D'ARCACHON

2-6 - Sud Ouest
Samedi 14 avril 2007

Santé et environnement à Biscarrosse

Le cancérologue Dominique Belpomme anime une conférence consacrée à la santé et à l'environnement dimanche 15 avril, à 10 heures, au cinéma Atlantic de Biscarrosse-Plage. Une manifestation organisée en partenariat avec la coordination environnement du bassin d'Arcachon.

Actes de vandalisme au Barp

Le week-end dernier, des délinquants ont mis le feu au local réservé aux containers et aux vélos près la mairie. Cela fait suite à d'autres actes de vandalisme perpétrés il y a quelques semaines dans le nouveau centre scolaire. Les services de sécurité et de gendarmerie sont intervenus.

SCIENCES. Jean-Marie Froidefond est chercheur au CNRS. Il étudie le déplacement des passes, l'évolution des bancs avec la télédétection spatiale

Toujours un œil sur le Bassin

Tous les matins, Jean-Marie Froidefond quitte Gujan-Mestras et le bassin d'Arcachon en train pour aller travailler à Talence. Là-bas, au fond de son laboratoire de l'université Bordeaux I, c'est encore le Bassin qu'il retrouve pour une nouvelle journée de travail.

Jean-Marie Froidefond est chercheur au CNRS, spécialisé en télédétection spatiale. Chaque année, son laboratoire (EPOC : Environnements et Paléoenvironnements Océaniques) reçoit un financement de la part du Syndicat intercommunal du bassin d'Arcachon (SIBA) pour effectuer une cartographie des bancs de sable et du trait de côte du bassin d'Arcachon. Chaque année donc, Jean-Marie Froidefond observe, calcule et étudie scrupuleusement l'évolution des bancs de sable, le déplacement des passes et la position des chenaux par rapport à l'année précédente. Pour cela, le laboratoire utilise des clichés pris par des satellites d'observation, qui photographient la côte.

Et avec plusieurs années d'observation derrière lui, Jean-Marie Froidefond commence à connaître le Bassin. Et il trouve que ce lui-ci n'a pas tant changé que cela avec le temps. Le grand mouvement, c'est celui des passes, avec les bancs de sable qui se déplacent du nord vers le sud. Un mouvement perpétuel qui fait qu'une passe remplace une autre, et ceci de manière cyclique. Les bancs se déplacent donc vers le sud, de



Jean-Marie Froidefond

PHOTO PAULINE BOYER

même que la passe Nord descend d'environ 60 mètres par an. Le banc d'Arguin devrait donc aller en se rétrécissant, car la passe Sud, elle, ne rétrécit pas.

Pas en danger. Autre observation : le bassin d'Arcachon ne devrait pas se fermer. Les passionnés du coin se rangeront volontiers derrière l'avis du spécialiste qui avance plusieurs arguments : « Pour dire cela, on se base sur des cartes anciennes, datant du début du XVIII^e siècle. Le Bassin change de forme mais la structure reste globalement la même ». De même, le niveau de la mer a tendance à s'élever et la Leyre apporte continuellement un volume d'eau important dans le Bassin, une eau qui doit bien finir par s'écouler. Mais Jean-Marie Froidefond reconnaît que l'on a bien eu peur, à une époque, que le Bassin se referme sur lui-même. Dans les années 1825-26, la pointe du Cap-Ferret ne se trou-

vait plus qu'à... 500 mètres du Pyla ! Mais la mer a fini par reprendre ses droits. Dans le fond du Bassin, les scientifiques observent un envasement croissant, dû aux dépôts de sédimentation en raison de courants moins forts. Quant à la dune du Pilat, elle avance encore et toujours vers l'intérieur des terres, en moyenne de 3 à 5 mètres par an. Mais Jean-Marie Froidefond précise le mouvement : « Le sable est entraîné au-dessus de la dune et retombe de l'autre côté. En fait, il se recycle, ce qui fait que la dune n'a quasiment pas perdu d'altitude depuis plus de 100 ans. Ça fait un siècle qu'elle existe et on a l'impression qu'elle sera toujours là ». Dans trente ou quarante ans, c'est donc davantage la route qui devrait être en péril face à l'avancée de la dune.

Ce sont toutes ces complexités et diversités qui font du Bassin un lieu très riche. « C'est un milieu particulièrement intéres-

Un pôle océanographique

Le laboratoire EPOC est aujourd'hui réparti sur deux sites : la station marine à Arcachon et l'université Bordeaux I. 130 personnes en font partie, dont plus de 70 chercheurs. Dans environ trois ans, tout sera regroupé sur le site d'Arcachon pour former un pôle océanographique aquitain. Jean-Marie Froidefond s'en réjouit : « C'est très important pour nous tous, ce sera très bénéfique. Ça va nous permettre de mieux surveiller l'environnement, de former des jeunes ». Autre point primordial, un vrai réseau de recherche aquitain sera mis en place, avec le regroupement de tous les laboratoires.

sant car très varié. Il y a une forte pression de la part du tourisme, qui nécessite une surveillance accrue ». C'est peut-être pour cela que le CNES (Centre national d'études spatiales) a choisi le bassin d'Arcachon comme site de démonstration pour la télé-démonstration côtière, en septembre dernier. Dans quelques mois, les images satellites concernant le Bassin seront mises gratuitement à la disposition de tous les chercheurs. Ce projet, Kalideos, auquel participera Jean-Marie Froidefond, fera du Bassin une zone de référence. Et grâce à cela, de nouvelles études, pour toujours mieux connaître le Bassin et son évolution, devraient voir le jour.

Pauline Boyer

Annexe 7b :

La digue a bel et bien contenu la tempête Xynthia

TRAVAUX Benoît Bartherotte avait consolidé sa digue en prévision des grandes marées annoncées

Ici et là, quelques petits bouts sur le bord de la route sont partis. Trois fois rien, rien en fait. Le dimanche 28 février au petit matin, Xynthia a soufflé à plus de 100 km/heure et encore gonflé un coefficient de marée de 16. L'eau a submergé les digues charentaises et vendéennes, a débordé la Dordogne en Gironde et coulé le front de mer d'Andermos.

Mais au sud-est de la pointe du Cap Ferret, la digue érigée depuis plus de vingt ans par Benoît Bartherotte a bel et bien tenu le choc. « Et elle a ainsi protégé la pointe et une partie de ceux qui y habitent », assure le maître des lieux, persuadé

de la pertinence de sa digue construite à ses frais depuis 1985, après que les deux tiers de sa maison se sont effondrés dans l'eau sous les assauts de la mer.

Le voilà ce mardi marchant sur sa digue et recommençant pour la millième fois sa démonstration :

« Il n'y a que du sable ici et en face. L'urbanisation d'Arcachon a fixé la pointe du continent et dévié le cours du chenal du Teychan vers le sud du Cap Ferret. Deux fois par jour, les deux tiers des eaux du Bassin, 270 millions de mètres cube, viennent taper le bout, chez moi. »



La villa Balguerie se situe à la pointe est du Cap-Ferret.
PHOTO PHILIPPE TRAPÉ

D'accord, mais Xynthia ? On y vient, on y vient : « Quand en décembre, les éboueurs sont venus porter leur calendrier à la maison, on a bu le coup, et on a regardé les coefficients de marée. Et j'ai vu qu'il y avait ces grandes marées en février, bien plus fortes qu'en 2009. Voilà comment on fait... »

200 camions déchargés

Benoît Bartherotte n'a évidemment pas prévu Xynthia, il ne s'était préparé qu'aux grandes marées annoncées sur le calendrier.

« Depuis janvier, j'ai surélevé l'avant-digue de trois mètres. Et j'ai aussi renforcé le pied de la digue, sous l'eau. J'ai terminé ce chantier le soir de la tempête. » Plus de 200 camions de matériaux auraient ainsi été déchargés.

Après il a attendu. « Je ne devrais pas parler ainsi parce que cette

tempête a été dramatique, mais je l'ai attendue comme un athlète attend une épreuve sportive, pour voir si j'avais bien bossé. »

Au Nord, pas de dégât. Devant la villa Balguerie, rien non plus. Plus au Sud, entre la pointe et la dernière cabane en bois, la végétation est par endroits brûlée par le sel.

« Les vagues sont passées par-dessus la digue ici. Trois cailloux sont partis et puis c'est tout... »

Retour dans la cabane, Benoît Bartherotte montre des lettres écrites aux services de l'État et à ses représentants (dont le sous-préfet) : « La pointe s'érode par l'Ouest, sur le territoire du Conservatoire du littoral. J'ai écrit avant et après Xynthia pour autoriser à ce qu'on prenne du sable chez moi pour renflouer l'ouest de la pointe. On ne m'a toujours pas répondu. »

David Patsouris

Annexe 7c :



La partie centrale de la villa Balguerie a disparu dans le Bassin (Photo R. Peyras)

Lé maire, M. Cazalet, avait lancé un cri d'alarme en décembre; des riverains avaient renforcé la côte entre Chez Hortense et la Pointe.

Peine perdue. A la pointe du Cap-Ferret, lieu préoccupant depuis plusieurs mois, l'érosion a pris une nouvelle ampleur ces derniers jours, à tel point que l'on peut redouter, si les vents restent

encore orientés ainsi, qu'une cassure se fasse au lieu dit Balguerie. A cet endroit, la villa Balguerie ne tient plus qu'à un fil (voir notre édition du 24 novembre 1984). Dans la nuit de samedi à dimanche, l'eau a même pénétré, sous forme de chenal, à près de cinquante mètres dans les terres.

A Hortense (devant le restaurant), les efforts de plusieurs mois de lutte ont été démolis en quel-

ques heures, là encore l'eau creusant en forme d'entonnoir.

A l'extrême pointe du Cap-Ferret, l'océan est arrivé à la station du pétrole, côté ouest et au parking du restaurant Le Mirador, côté est.

Un peu plus au nord, dans le Ferret même, l'eau a traversé le boulevard de la plage du côté de la place de l'Eglise.

Encore plus spectaculaire, bien

plus au nord de la presqu'île au lieu dit Le Four, à Claouey, un perré a été éventré par les flots et il a fallu l'intervention des sapeurs-pompiers de Lège pour remettre les lieux en état et éviter des dégâts sur les embarcations voisines.

Voilà qui pose avec plus d'acuité le problème des travaux de protection. On sait que les proprié-

taires de la villa Balguerie ne s'en sont guère préoccupés ces dernières années. Plus bas, d'autres riverains songent à s'organiser. Ainsi M. Baumann propose-t-il à tous de se réunir en association syndicale, de manière à obtenir des subventions intéressantes.

Une idée qui mérite d'être examinée sérieusement, avant que la Pointe ne devienne une île.

Table des sigles

ADERA : Association pour le Développement de l'Enseignement et des Recherches auprès des Universités, Centre de Recherche et des Entreprises d'Aquitaine

AVURNAV : Avis Urgent aux Navigateurs

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CM : Carte Marine

CNL : Commission Nautique Locale

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

CPER : Contrat de Plan Etat – Région

DDAF : Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt

DDAM : Direction Départementale des Affaires Maritimes

DDE : Direction départementale de l'Équipement

DDEA : Directions départementale de l'Équipement et de l'Agriculture

DDTM : Direction Départementale de la Terre et de la Mer

DML : Délégation à la Mer et au Littoral

EPOC : Environnements et Paléoenvironnements Océaniques

GPS : Global Positioning System

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

IGN : Institut Géographique National

LCHF : Laboratoire Central d'Hydraulique de France

MIACA : Mission Interministérielle à l'Aménagement de la Côte Aquitaine

NGF : Nivellement Général de la France

ONF : Office National des Forêts

POLMAR : Plan Pollution Maritime

PPRL : Plan de Prévention des Risques Littoraux

RGPP : Révision Générale des Politiques Publiques

SEPANSO : Sociétés pour l'Etude, la Protection et l'Aménagement de la Nature dans le Sud-Ouest

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

SIBA : Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon

SME : Service Maritime et Eau

SMNG : Service Maritime et de Navigation de la Gironde

SMVM : Schéma de Mise en Valeur de la Mer

SRC : Section Régionale Conchylicole

SOGREAH : Société Grenobloise d'Aménagement Hydraulique

STMBA : Subdivision Territoriale et Maritime du Bassin d'Arcachon

UGELM : l'Unité de Gestion de l'Espace Maritime et Littoral

UMR : Unité Mixte de Recherche

Table des documents

Document 1 : Cartographie des passes par Beautemps-Beaupré en 1826 et par Bouquet de la Grye et Caspari en 1865. Source : IFREMER, 1997	10
Document 2 : Les zones morphologiques du Bassin d'Arcachon. Source : SMNG,2004 ; IGN Scan 25.	14
Document 3 : Système côtier morphodynamique. Source : Michel D., 1997 modifié.	15
Document 4 : Domaines hydrodynamiques des passes.....	17
Document 5 : Barre vue par SPOT le 9 Décembre 2006. Source : Froidefond, 2006.	18
Document 6 : Le transit sédimentaire au niveau des passes. D'après Froidefond, 2005.	19
Document 7 : Cycle d'évolution des passes du Bassin d'Arcachon. Source : Gassiat, 1989 modifié.	20
Document 8 : Bouée 11 tribord. Cliché : Manciet Bruno	22
Document 9 : Le balisage de la passe de navigation. Source : Bathymétrie 2001 – 2002 SMNG, Balisage 2003 STMBA.....	23
Document 10 : Déplacement de la bouée ATTARC et 1N entre 1997 et 2009. Sources : Positions bouées STMBA, hypsométrie 2008 UMR EPOC Bordeaux 1.....	24
Document 11 : Schéma de la procédure de balisage. Source : STMBA	25
Document 12 : Organigramme du Pôle maritime du SIBA. Source : SIBA.....	27
Document 13 : Organigramme de la Subdivision Territoriale et Maritime du Bassin d'Arcachon. Source : STMBA	28
Document 14 : Echelles spatiales et temporelles de l'évolution des passes	30
Document 15 : Matériel de bathymétrie de la STMBA. Clichés : Manciet Bruno.	31
Document 16 : Principe de la bathymétrie monofaisceau.....	32
Document 17 : Evolution morphologique du delta de marée interne entre 2001 et 2010. Source : image Spot du 15 Mai 2001 et du 1 Février 2010 ©CNES	35
Document 18 : Evolution du banc de Bernet Est au droit du Moulleau entre 2006 et 2008. Source : SOGREAH, 2008.....	36
Document 19 : Fonds supérieures au – 5 m CM des passes du Bassin d'Arcachon. Source : Mallet, 2008.	37
Document 20 : Comparaison de l'isobathe – 2 m CM du banc de Bernet entre 2001 et 2005. Source : STMBA.....	38
Document 21 : Comparaison de l'isobathe – 2 m CM du banc de Bernet entre 2005 et 2010. Source : STMBA.....	39
Document 22 : Profil en long du chenal traversier en 2005, 2008 et 2010.....	40
Document 23 : Evolution de la flèche du Cap Ferret de 1768 à 1979. Source : Clus-Auby, 2003 d'après Gassiat (1989) modifié.	41
Document 24 : Localisation des profils pour l'étude de l'évolution du pied de dune de la pointe du Cap Ferret. Source : Trait de côte 2004 – 2008 ONF.....	42
Document 25 : Evolution de la distance (en mètre) entre le sémaphore (noté S) et le trait de côte au niveau de la pointe du Cap Ferret entre 2000 et 2010. Réalisation : Manciet Bruno. Sources : relevés 2000 SOGREAH, 2004 à 2010 ONF.	43
Document 26 : Photographie aérienne de la pointe du Cap Ferret en 1964. Source : IGN.....	44
Document 27 : Evolution du trait de côte de la pointe du Cap Ferret entre 2000 et 2010 où l'érosion prédomine. Sources : relevés 2000 SOGREAH, 2010 ONF.....	45
Document 28 : Intensité des courants de jusant maximal sur la façade Est du Cap Ferret. Source : SOGREAH, 2008.....	46
Document 29 : Evolution de la façade Est du Cap Ferret de 1934 à 2009 (Les échelles varient). Sources : IGN, Google Earth 2009.	47

Document 30 : Plan de localisation de la pointe du Cap Ferret et des aménagements réalisés contre l'érosion marine. Sources : IGN Orthophoplan 2004, SOGREAH, 1997.....	48
Document 31 : Pointe d'Hortense en Avril 2010. Cliché : Manciet Bruno	49
Document 32 : La Digue « Carpe Diem » construite par B. Barthertotte. Cliché Manciet Bruno.....	49
Document 33 : Localisation des trois fosses de la bordure littorale Est du Cap Ferret. Sources : Bathymétrie SIBA/STMBA Mars 2010, cadastre ostréicoles DDAM.	50
Document 34 : Faciès sédimentaires de la bordure littorale Est du Cap Ferret en 2001. Sources : CREOCEAN, 2001 ; bathymétrie 2003 SMNG.....	51
Document 35 : Evolution des fosses de la bordure orientale du Cap Ferret entre 2003 et 2005. Sources : Bathymétrie 2003, 2005 SMNG. Localisation zone de dépôt de sable SOGREAH, 2002.....	52
Document 36 : Evolution de la fosse de la pointe d'Hortense entre 2007 et 2010. Sources : Bathymétrie 2007, 2010 STMBA.	53
Document 37 : Evolution de la fosse au droit de la propriété de B. Bartherotte entre 2007 et 2010. Sources : Bathymétrie 2007, 2010 STMBA.....	54
Document 38 : Evolution de l'isobathe – 16 m CM des fosses de la pointe du Cap Ferret en 2003, 2007 et 2010. Source : Bathymétrie 2003, 2007, 2010 STMBA.	55
Document 39 : Evolution des bancs du Toulinguet entre 2001 et 2009. Sources : Bathymétrie 2001, 2009 STMBA.	57
Document 40 : Evolution de la passe Nord entre 2001 et 2009. Sources : Bathymétrie 2001 SMNG ; 2005, 2009 STMBA.	58
Document 41 : Localisation des trois profils en travers au niveau de la passe Nord. Source : Bathymétrie 2007 STMBA.	59
Document 42 : Evolution de la passe Nord entre 2005 et 2009 – Profil 1.....	59
Document 43 : Evolution de la passe Nord entre 2005 et 2009 – Section d'écoulement pour le profil 1	59
Document 44 : Evolution de la passe Nord entre 2001 et 2009 – Profil 2.....	60
Document 45 : Evolution de la passe Nord entre 2001 et 2009 – Section d'écoulement pour le profil 2.....	60
Document 46 : Evolution de la passe Nord entre 2001 et 2009 – Profil 3.....	61
Document 47 : Evolution de la passe Nord entre 2001 et 2009 – Section d'écoulement pour le profil 3.....	61
Document 48 : Evolution morphologique du banc d'Arguin entre 1997 et 2010. Source : Images Spot ©CNES.....	62
Document 49 : Evolution de la morphologie du banc d'Arguin entre 2004 et 2010. Source : Image Spot 5 2004, 2010 ©CNES.	63
Document 50 : Superficie en hectare du banc d'Arguin à marée haute entre 2003 et 2009 (par coefficient proche de 45). Source : SEPANSO.....	64
Document 51 : Comparaison bathymétrique entre 2007 et 2009 de la passe Sud à l'extrémité Sud du Banc d'Arguin. Source : Bathymétrie 2007, 2009 STMBA	65
Document 52 : Profil en travers de la passe Sud à l'extrémité Sud du banc d'Arguin.....	66
Document 53 : Evolution de la passe Sud entre 2006 et 2009 – Section d'écoulement au niveau du profil A.	66
Document 54 : Evolution de la passe Sud entre 2001 et 2009. Sources : Bathymétrie 2001, 2003 SMNG ; 2007, 2009 STMBA.	67
Document 55 : Comparaison bathymétrique 2007 – 2009 du littoral de la Salie Nord. Sources : Bathymétrie 2007, 2009 STMBA.....	68
Document 56 : Profil B.	69

Document 57 : Evolution de la passe Sud entre 2006 et 2009 – Section d'écoulement pour le profil B.	69
Document 58 : Evolution du trait de côte de la Pointe d'Arcachon au wharf de la Salie entre 1985 et 2006. Sources : Trait de côte 1985, 1998, 2006 : BRGM, 2008 ; bathymétrie 1988 : PAB ; bathymétrie 2009 : STMBA.	69
Document 59 : Profil en travers au droit du wharf de la Salie en 2003, 2005 et 2010. Source : Bathymétrie 2003, 2005, 2010 STMBA.	70
Document 60 : Configuration des passes en 1923, 1936, 1948 et stades correspondant selon le « cycle » établie par Gassiat. Source : Gassiat, 1989.	71
Document 61 : Image Spot 5 des passes le 1 Février 2010, et photographie aérienne des passes en 1947. Sources : Image Spot 2010 ©CNES, Photographie aérienne IGN 1947.	72
Document 62 : Caractéristiques des stades du « cycle » des passes selon Gassiat et Babin. Source : Babin, 1997 modifié.	72
Document 63 : Evolution morphologique des passes intérieures. Source : Babin, 1990.	73
Document 64 : Cadastre ostréicole au niveau de banc d'Arguin en 2000 et 2008. Sources : CNES Kalideos /Université BDX 1 – UMR EPOC, DDTM33/DML/UGELM.	74
Document 65 : Cadastre ostréicoles au niveau du banc d'Arguin en 2010. Source : DDTM33/DML/UGELM.	75
Document 66 : Le musoir de la Corniche face à l'érosion du littoral du Pyla. Cliché : Manciet Bruno.	76
Cette érosion, comme nous le voyons sur la photographie ci-dessus (doc.66) pose des problèmes au niveau du musoir de la Corniche, ouvrage terminal de la ligne de défense statique de la côte Sud du Bassin qui tend à être contourné par la mer.	76
Document 67 : La Pointe du Cap Ferret en Avril 2010. Cliché : Manciet Bruno.	77
Document 68 : Estimation du trait de côte de la pointe du Cap Ferret à 100 ans. Source : SOGREAH/LARAG, 1995.	79
Document 69 : La gestion de l'évolution des passes du Bassin d'Arcachon.	84

Table des annexes

Annexe 1 : Courrier du secrétaire d'Etat à la mer Jean-Yves Le Drian du 31 Mars 1992 relatif au balisage des passes du Bassin d 'Arcachon.....	95
Annexe 2 : Evolution du balisage de la passe Nord du Bassin d 'Arcachon entre 1997 et 2009.	96
Annexe 3 : Répartition annuelle entre partenaires du coût des opérations de sondage et de balisage des passes du Bassin d' Arcachon.....	97
Annexe 4 : Organigramme de la Direction Départementale de la Terre et de la Mer de la Gironde.....	98
Annexe 5 : Bathymétrie partielle des passes intérieures en Avril 2010.....	99
Annexe 6 : Articles importants des codes en vigueur en relation avec le sujet.....	100
Annexe 7 : Revue de presse	103

Table des matières

Remerciements	3
Sommaire	5
Introduction générale.....	7
Préambule : Maîtriser l'évolution des passes, enjeux et débats depuis la fin du 18 ^{ième} siècle	9
Partie 1 : Présentation du secteur et de la gestion des passes du Bassin d'Arcachon et contexte du stage.....	13
I - Présentation de la zone d'étude.....	13
1 - Le passage d'un delta à une lagune.....	13
2 - Le littoral, un système complexe	14
3 – Différents agents dynamiques qui interagissent entre eux	15
4 – Une tendance cyclique de l'évolution des passes.....	18
4 – 1 – Comment transite le sable au niveau des passes ?	18
4 – 2 – Le « cycle » des passes.....	19
II – Le balisage, un dispositif dynamique en constante adaptation à l'évolution des passes.....	21
1 – La signalisation maritime des premiers sémaphores en 1815 au balisage actuel	21
2 – Le balisage, une mission de l'Etat renforcée par la mutualisation des moyens du SIBA et du Conseil Général de la Gironde	21
3 – La procédure de balisage, de multiples étapes pour une adaptation rapide aux dynamiques des passes	23
III – Réalisation d'un état des lieux de l'évolution des passes de 2000 à 2010	27
1 - Le SIBA et la STMBA, deux acteurs importants dans le suivi des passes.....	27
2 - Comment appréhender l'évolution des passes ?	28
3 - Méthode adoptée dans le cadre de cette étude	29
Partie 2 : La mise à profit des levés bathymétriques pour l'analyse des tendances évolutives des passes.....	31
I - La bathymétrie : méthodes d'acquisition et de traitement.....	31

1 – La méthode d'acquisition par sondeur monofaisceau	31
2 – Correction des données et incertitude de la bathymétrie.....	32
II – Les passes intérieures évoluant dans un cadre « fixé ».....	33
1 – Le delta de marée interne : un équilibre sédimentaire mais une instabilité morphologique	34
1 – 1 – Les évolutions morphologiques du banc de Bernet	34
1 – 2 – Vers une réouverture du chenal traversier ?.....	36
2 – La pointe du Cap Ferret en proie avec l'érosion marine	40
2 – 1 – L'extrémité Sud de la Pointe du Cap Ferret en phase de recul depuis 1973	40
2 – 2 – La façade orientale du Cap Ferret siège d'une érosion constante depuis 1950.....	46
III – L'évolution libre des passes extérieures	56
1 – La migration des bancs du Toulinguet et de la passe Nord vers le Sud Est.....	56
1 – 1 – Les bancs du Toulinguet en migration vers le Sud et l'Est.....	56
1 – 2 – La passe Nord en constante migration	57
2 – Le banc d'Arguin en constante évolution morphologique	61
3 – La passe Sud contrainte de s'accoler toujours plus près de la côte.....	66
Partie 3 : Conclusion et perspective sur l'évolution des passes.....	71
I – L'extrapolation à court terme de l'évolution des passes au regard des phénomènes mis en évidence	71
1 – Vers la jonction de la passe Nord et Sud ?.....	71
2 – La morphologie changeante du banc d'Arguin : quelles influences sur la gestion des parcs ostréicoles et le littoral ?.....	74
3 – La pointe du Cap Ferret menacée : Y a-t-il un bien fondée de la défense statique ?.....	76
3 – 1 – L'érosion de l'extrémité de la pointe du Cap Ferret difficilement contenable.....	76
3 – 2 – La face orientale de la pointe protégée à tout prix	77
II - Les limites des méthodes et outils disponibles pour appréhender ce secteur instable.....	80
1 – La modélisation confrontée à la complexité et à l'imprévisibilité	80
2 – Les méthodes utilisées confrontées aux politiques de gestion	81

2 - 1 – Une nécessaire acquisition de savoir	81
2 - 2 – Quelles modalités de gestion pour la façade Est du Cap Ferret ?	82
2 - 3 – La complémentarité des actions menées	83
III – Un bilan du stage positif.....	84
1 – L'acquisition de nouvelles connaissances et compétences	84
2 – Résultat de l'étude et difficultés rencontrées	85
Conclusion générale	87
Bibliographie	89
Annexes	93
Table des sigles	107
Table des documents	109
Table des annexes.....	113
Table des matières	115