

**Atelier des 27 et 28 septembre
2005, de Villeneuve-lès-
Maguelone à Sète**



Villeneuve-lès-Maguelone : la mer, le lido et l'étang

Septembre 2005



Hugues HEURTEFEUX et Paul DURAND

**Entente interdépartementale pour la démoustication
du littoral méditerranéen**

Le lido de Villeneuve-lès-Maguelone et le site des Aresquiers

- A. Impact de l'élévation du niveau marin sur l'évolution future d'un cordon littoral lagunaire : une méthode d'évaluation. Exemple des étangs de Vic et de Pierre-Blanche (littoral méditerranéen, France).
Article accepté par la revue Zeitschrift für Geomorphologie
- B. Travaux prévus sur le site de Villeneuve-lès-Maguelone. Différents scénarios envisagés
- C. L'application de la loi littoral sur la bande des 100 mètres, mise en parallèle avec le repli stratégique. Poster.

**IMPACT DE L'ELEVATION DU NIVEAU MARIN SUR L'EVOLUTION FUTURE
D'UN CORDON LITTORAL LAGUNAIRE : UNE METHODE D'EVALUATION
Exemple des étangs de Vic et de Pierre Blanche (littoral méditerranéen, France)¹**

par

Paul Durand et Hugues Heurtefeux

Avec 8 figures et 1 tableau

Résumé

Une cartographie prévisionnelle de l'évolution du système cordon littoral – lagune de Vic et de Pierre Blanche a été réalisée dans le cadre d'un programme lancé par le Conservatoire du Littoral. Elle a reposé sur un scénario d'élévation du niveau marin de + 22 cm d'ici 2050. L'originalité de la démarche employée tient dans l'association de deux types d'approche. D'une part, sur la face externe du lido, la position future de la ligne de rivage a été extrapolée par régression linéaire à partir des données d'évolution historique du trait de côte depuis 1937, obtenues par photo-interprétation. D'autre part, sur la face interne du lido, les pertes en surfaces qu'entraînerait une simple élévation statique du plan d'eau lagunaire de 22 cm ont été simulées au moyen d'un logiciel de S.I.G, à partir de levés topographiques de précision infra-centimétrique réalisés au GPS différentiel. En dépit des incertitudes inhérentes à toute démarche de ce type, il ressort de notre étude que le lido subirait très probablement des pertes en surface non négligeables (estimées à 15 ha) sur sa face interne et que, parallèlement, il reculerait en roulant sur lui-même de plusieurs dizaines de mètres (jusqu'à 70 m dans sa partie centrale). Il poursuivrait en cela une évolution entamée depuis plusieurs siècles, et observée sur des littoraux similaires dans un contexte d'élévation rapide du niveau de la mer. En outre, il serait de plus en plus souvent morcelé par l'ouverture de brèches lors des tempêtes et risquerait de se transformer à terme en îles-barrières, séparées les unes des autres par des passes permanentes reliant la mer aux étangs situés en arrière.

**An evaluation method of the impact of relative sea-level rise on a barrier-lagoon system.
Example of the Vic and Pierre-Blanche area (Hérault, France).**

Assuming a 22 cm sea level rise by 2050, a map was elaborated, which shows the expected changes which probably will affect the barrier-lagoon system in the Vic and Pierre-Blanche area. The research was supported by the French Conservatoire du littoral and the Procter and Gamble Foundation. According to the linear regression method and using aerial photographs dating back to 1937, the shoreline position in 2050 was predicted. The barrier surface loss due to a 22 cm elevation of the lagoon water level was calculated using a SIG software and accurate topographic data supplied by a GPS survey with sub-centimetric precision. As a result, it is forecasted -within the limits inherent to the methods which were used- that a landward migration of the shoreline over a distance up to 70 m will occur by 2050 as well as a loss of the barrier surface of about 15,76 hectares. Such an evolution which started several centuries ago is likely to be enhanced by the expected sea level rise. The present continuous barrier probably would be transformed in a string of islands through inlet opening.

¹ Article accepté par la revue Zeitschrift für Geomorphologie

Auswirkungen des relativen Meeresspiegelanstieges auf die zukünftigen Entwicklung der Nehrung einer Lagune. Eine Bewertungsmethode am Beispiel des Ortes von Vic und Pierre-Blanche (Hérault, France)

Eine vorausschauende Kartographie der Entwicklung der Küstenlinie – der Lagunen von Vic und von Pierre Blancches – ist im Rahmen eines Programms verwirklicht worden, das durch die Küstenschutzinstitution (le Conservatoire du Littoral) angeregt wurde. Sie beruht auf einem Szenario der Erhöhung des Meeresspiegels von 22 cm innerhalb der nächsten 50 Jahre bis 2050. Die Originalität des angewandten Vorgehens besteht in der Verbindung von zwei verschiedenen Konzepten. Einerseits ist auf der Seeseite des Lido die künftige Position der Uferlinie durch linearen Rückgang anhand der von Daten der historischen Entwicklung des Küstenzuges seit 1937 extrapoliert worden, die durch Photointerpretation erhalten wurden. Andererseits sind auf der Binnenseite des Lido die Oberflächenverluste, die eine einfache statische Erhöhung der Lagunenwasserfläche von 22 cm bewirken würde mit Hilfe einer GIS-Software simuliert worden, ausgehend von topographischen Aufnahmen von einer Genauigkeit von weniger als 1 cm Abweichung, die mit einem differentiellen GPS verwirklicht wurden. Ungeachtet der Unsicherheiten, die jedem Vorgehen diesen Typs inhärent sind, geht aus unserer Studie hervor, dass der Lido sehr wahrscheinlich nicht unerhebliche Flächenverluste von schätzungsweise 15,76 ha auf seiner Lagunenseite erfahren würde und dass er parallel zurückgehen würde, indem er sich selbst über etliche Meter verlagern würde (bis zu 70 m in seinem zentralen Teil). Er würde damit eine Entwicklung durchlaufen, die vor mehreren Jahrhunderten begonnen hat und die in den USA bei vergleichbaren Küstenstreifen im Rahmen einer schnellen Erhöhung des Meeresspiegels beobachtet wurde. Außerdem besteht die Gefahr, dass der Lido durch die Öffnung zusätzlicher Breschen bei Stürmen unterbrochen wird und sich mit der Zeit in einem von mehreren beständigen Tidedurchlässen durchbrochen Barriersystem umwandelt.

Introduction

L'élévation actuelle du niveau marin, estimée à 13-15 cm en moyenne au cours du 20^e siècle, et sa possible accélération au cours du 21^e siècle en liaison avec le réchauffement climatique (I.P.C.C., 2001), est un phénomène qui préoccupe de plus en plus les gestionnaires en charge des espaces littoraux. Ce phénomène se traduirait en effet probablement par un accroissement des risques de submersion et d'érosion sur les espaces littoraux bas (PASKOFF, 1998 et 2001, I.P.C.C., 2001).

Ainsi en France, le Conservatoire du Littoral, organisme public qui a pour vocation de mener une politique foncière de sauvegarde de l'espace littoral et de respect des sites naturels, a lancé au début de l'année 2003, en coopération avec la *fondation Procter et Gamble*, un vaste programme d'analyse prévisionnelle des impacts de l'élévation future du niveau de la mer sur les terrains dont il est propriétaire (CHENAT, 2003). Dans cette optique, dix sites pilotes ont été sélectionnés pour faire l'objet d'une cartographie prévisionnelle de la position du trait de côte et des espaces susceptibles d'être submergés de manière permanente en arrière d'elle à échéance de l'année 2050. La valeur d'élévation du niveau de la mer à prendre en compte dans les prévisions a été fixée par le Conservatoire à + 22 cm, ce qui correspond au haut de la fourchette des estimations proposées dans le dernier rapport du I.P.C.C. (I.P.C.C., 2001) pour 2050 (fourchette d'estimations de 0,05 à 0,32 m).

Le site des étangs de Vic et de Pierre-Blanche est un de ces dix sites pilotes. Il couvre un linéaire côtier de 7300 mètres, entre les Aresquiers et l'île de Maguelonne, où le Conservatoire possède 1354 ha. Situés à une dizaine de kilomètres au sud de Montpellier (fig. 1), ces étangs littoraux font partie du complexe lagunaire palavasien, qui comprend schématiquement deux lignes d'étangs séparés par le Canal du Rhône à Sète. L'étang de Pierre Blanche, dit de première ligne, a une forme allongée et n'est isolé de la mer que par un mince cordon littoral de quelques dizaines de mètres de large ; l'étang de Vic, quant à lui, est dit de seconde ligne et se situe au nord du précédent. La formation de ces étangs remonte à la fin de la transgression holocène (vers 5500 B.P. dans la région), le rattachement à la terre de l'île de Maguelone s'étant même fait ultérieurement, au cours de l'antiquité. Ces deux étangs ont une tranche d'eau faible vis-à-vis de leur superficie : la bathymétrie est de quelques décimètres et n'excède que très rarement le mètre. Ce sont donc des lagunes qui ont été gagnées sur la mer par la construction progressive d'un lido meuble.

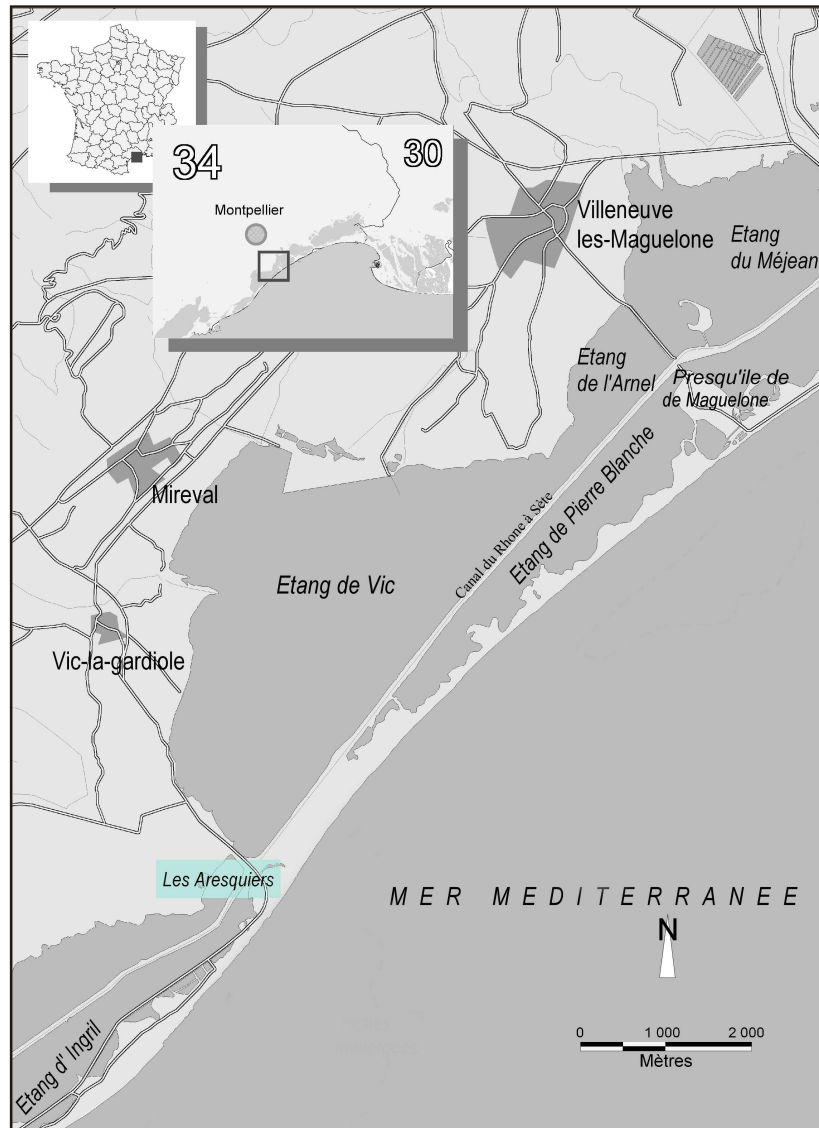


Fig. 1 Localisation du secteur étudié
 Fig. 1 Location of the study area

Sur ce site, le travail d'analyse prévisionnelle a comporté deux étapes. D'une part, il s'est appuyé les données d'évolution passée du rivage au cours des dernières décennies, qui ont été extrapolées dans le futur selon la méthode de la régression linéaire, la plus fréquemment utilisée dans ce type d'approche et considérée comme la moins aléatoire (LEVOY & LARSONNEUR, 1993 ; WRAY et al, 1995 ; CROWELL et al, 1997 ; SALOMON & PRAT, 1997 ; DOUGLAS et al, 1998 ; DOUGLAS & CROWELL, 2000 ; DURAND, 1999, 2001 ; FENSTER et al, 2001 ; SABATIER, 2001). D'autre part, les prévisions ont tenu compte de l'élévation statique du plan d'eau lagunaire qui serait induite par la hausse du niveau marin : les pertes en surface sur la face interne du lido ont été simulées, selon le principe de la submersion passive, grâce à l'exploitation sous un logiciel de S.I.G. d'environ 8000 levés topographiques de haute précision, réalisés au moyen d'un GPS différentiel.

L'association de ces deux méthodes constitue l'originalité de la démarche employée ici, mais elle pose un certain nombre de problèmes qui tiennent à la fois aux limites de l'extrapolation par régression linéaire et à la difficulté de combiner ces résultats avec les simulations réalisées à partir des levés topographiques. En conséquence, le présent article insiste tout particulièrement sur les aspects méthodologiques liés à l'analyse prévisionnelle. Il est organisé en quatre temps : (1) une présentation morphosédimentaire du site ; (2) une analyse par photo-interprétation de l'évolution du rivage au cours du 20^{ème} siècle, afin de dégager des valeurs précises d'évolution pouvant être extrapolées dans le futur ; (3) une présentation critique des méthodes prévisionnelles retenues, régression linéaire et submersion passive ; (4) une mise en parallèle des résultats obtenus avec les réponses face à l'élévation du niveau marin observées dans le passé sur des littoraux similaires.

1. Présentation morphosédimentaire du site

1.1. Morphologie et granulométrie du cordon littoral

Le lido des étangs de Vic et de Pierre-Blanche est formé d'une étroite langue de sable de faible altitude (fig. 2). Ainsi, la largeur du lido n'excède pas 320 m et elle est seulement de 70 m dans sa partie la plus étroite. Les altitudes sont faibles, au maximum de 2,5 m NGF ; la partie haute du cordon ne comporte pas d'avant-dune mais est souvent occupée par des nebkas buissonnantes couvertes d'oyats (*Ammophila arenaria*, fig. 3).

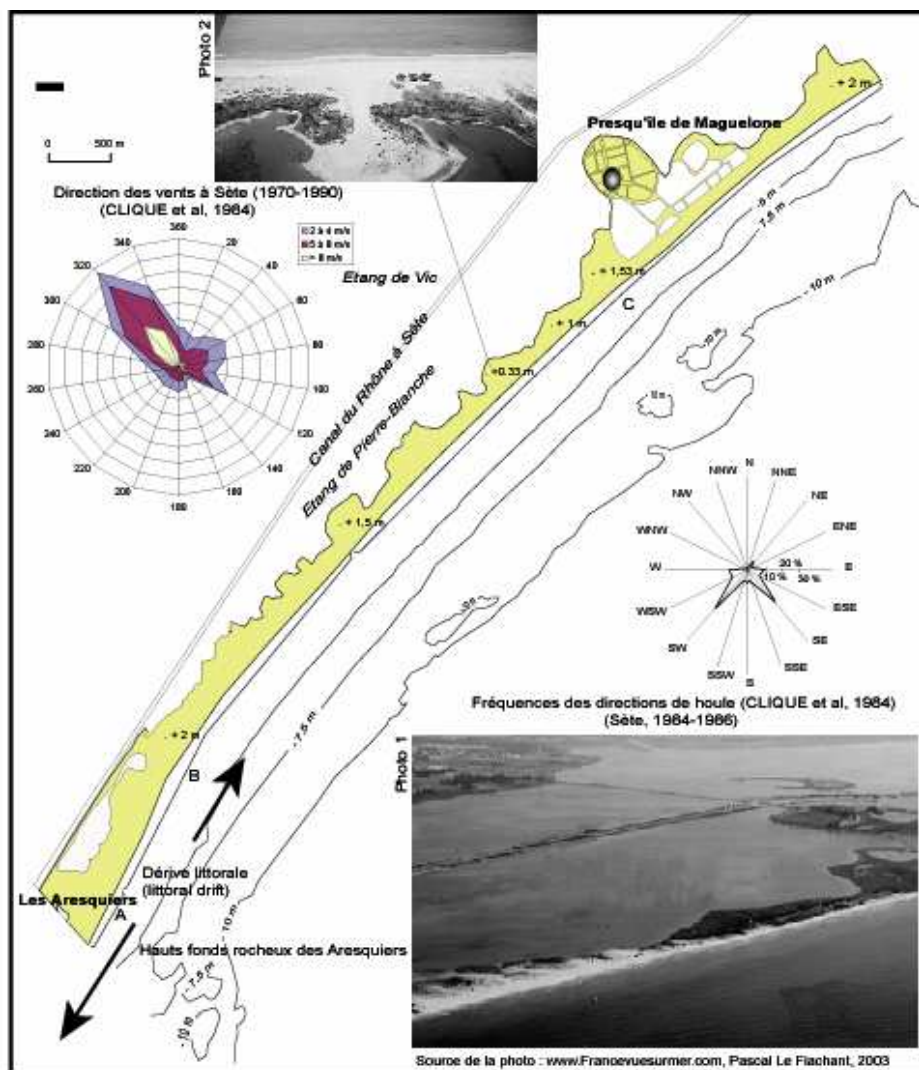


Fig. 2 Présentation morphologique du cordon littoral
A. galets prédominants ; B. mélange galets-sables ; C. sables prédominants ; photo 1. partie orientale du lido, entre les profils n°1 et 30 (source : www. Francevuesurmer.com, Pascal Le Fichant, 2003) ; photo 2. secteur du lido où une brèche a été ouverte lors des tempêtes de l'hiver 2002-2003, entre les profils n°30 et 35 (source : EID Méditerranée, avril 2003)

Fig. 2 Morphology of the beach barrier
A.. mainly pebbles ; B. pebbles and sand mixed; C. mainly sands; photo 1. oriental part of the beach barrier, between the profiles 1 and 30 (source : www. Francevuesurmer.com, Pascal Le Fichant, 2003) ; photo 2. beach barrier area where a breach was opened by storms during the winter 2002-2003, between the profiles 30 and 35 (source : EID Méditerranée, avril 2003)

1.2.2. L'impact des tempêtes sur l'évolution du lido

Les tempêtes peuvent avoir un impact morphogénique très important sur le lido. Ainsi, la tempête cinquantennale de novembre 1982, célèbre pour avoir engendrée un recul spectaculaire des plages de la Camargue (BLANC, 1985 ; BRUZZI, 1998), a provoqué un recul de 20 à 30 m du cordon en certains endroits (RUEDA, 1986). Lors de cet épisode exceptionnel, plusieurs brèches auraient également été ouvertes, en particulier une énorme brèche de plusieurs dizaines de mètres de large dans le secteur central du lido. Cette brèche aurait mis plusieurs mois à se refermer, mais elle a été ré-ouverte lors des fortes tempêtes des années suivantes (en 1987 et 1989). Le secteur restant très fragilisé, une digue de 450 m de long et positionnée à environ 70 à 80 m du trait de côte a été édifée entre septembre 1989 et avril 1990 pour protéger le lido. Par la suite, de nouvelles brèches ont été ouvertes dans d'autres endroits lors de l'hiver 1995-1996 (7 tempêtes), en décembre 1997, novembre 1999, et, plus récemment, lors du dernier hiver, dans le secteur le plus bas du lido, situé à moins de 1 mètre NGF (photo 2 sur la fig. 2).

Comme l'ont constaté plusieurs auteurs sur des littoraux similaires (MURTY & FLATHER, 1994 ; MORTON., 1994 ; BRUZZI, 1998), cette ouverture épisodique de brèches lors des tempêtes a un impact morphogénique essentiel. En effet, si le phénomène devient plus fréquent, en raison d'une accélération de l'élévation du niveau marin et d'un renforcement des tempêtes, le risque de morcellement du lido est réel. En outre, les pertes de matériel sédimentaire pour la plage augmenteront, dans la mesure où, lors d'une tempête, une grande partie des matériaux déplacés par les vagues dans les étangs par submersion ou par ouverture d'une brèche, ne peut être récupérée par la suite. Tout ceci constitue un facteur d'accélération du recul de la plage.

1.2.3. Les variations récentes du niveau marin relatif dans la région

L'élévation récente du niveau de la mer dans la région est connue à partir des données obtenues par le marégraphe de Sète, situé à 10 km au SW du secteur étudié. Elle aurait été en moyenne de 0,3 mm par an sur la période 1888-1961² (PIRAZZOLI, 1986), ce qui est nettement inférieur à la moyenne mondiale pour le 20^e siècle (1,3 à 1,5 mm par an). Mais ces données présentent peut-être quelques incertitudes car elles sont issues d'un marégraphe non référé au niveau hydrographique français, et elles couvrent une période qui n'intègre pas les dernières décennies, au cours desquelles le réchauffement climatique a été le plus marqué (IPCC, 2001). Les marégraphes référés au niveau hydrographique français les plus proches sont, d'une part celui du port de Marseille qui révèle une élévation du niveau marin de 1,3 mm par an sur la période 1885-1978 (PIRAZZOLI, 1986 ; BLANC & FAURE, 1990), d'autre part celui du Grau de la Dent, situé dans le delta du Rhône, et qui montre une élévation de 2,1 mm par an sur la période 1905-1997, en raison de la subsidence qui affecte ce secteur (SUANEZ et al, 1997).

2. Evolution du littoral au cours de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle

2.1. Méthodologie

D'après les données issues de la comparaison de cartes anciennes (CLIQUE et al., 1984 ; RUEDA, 1986), le lido des étangs de Pierre Blanche et de Vic est en recul avéré depuis le 19^e siècle, le cordon littoral reculant en roulant sur lui-même à une vitesse moyenne de 0,5 m par an. Ces données sont toutefois insuffisantes pour servir de base à une démarche d'analyse prévisionnelle, qui ne peut se fonder que sur des valeurs précises d'évolution passées relevées à la hauteur de profils rapprochés sur le cordon littoral.

Dans cette optique, l'évolution du rivage a été analysée à échelle mi-séculaire, grâce à la comparaison de six missions aériennes IGN (1937, 1954, 1971, 1986, 1995 et 2001), complétées,

² Les données du nouveau marégraphe de Sète, opérationnel depuis 1987, ne couvrent pas encore une période assez longue pour pouvoir être exploitées, puisqu'il faut au moins 30 ans d'enregistrements en continu des niveaux marégraphiques pour pouvoir dégager une tendance évolutive significative du niveau marin (PIRAZZOLI, 1986).

pour 2002, par des levés de la position du trait de côte réalisés au moyen d'un GPS différentiel (D-GPS). Les photographies de chaque mission ont été corrigées et géoréférencées sur une carte topographique IGN au 1/25000^e, selon une méthodologie classiquement employée en photo-interprétation littorale (DOLAN et al, 1991 ; CROWELL et al, 1991, 1993 ; THIELER & DANFORTH, 1994 ; JIMENEZ et al, 1997 ; DURAND, 1999, 2000, 2001 ; MOORE, 2000 ; SABATIER & SUANEZ, 2003). Cette méthode repose sur l'application de modèles de correction polynomiaux calculés à partir d'amers (points invariables tels que des croisements de routes, bâtiments, jetées, digues) communs aux différents clichés et au document de référence.

Les photographies ont été corrigées et géoréférencées grâce au logiciel de traitement d'image *Ermapper*. Une fois ce travail achevé, les mesures d'évolution ont été effectuées sous le SIG *Mapinfo* à partir de 136 profils levés au D-GPS sur le cordon en juillet-août 2002 et espacés de 50 m le long des 7300 m du linéaire côtier. Les profils ont été superposés l'un après l'autre aux différentes photographies, ce qui a permis de comparer la position du trait de côte levée sur le terrain en 2002 avec la position du rivage sur chaque cliché. Toutes les mesures ont été converties en variations métriques par rapport à 1937, considérée comme l'année de référence (année zéro). Pour chaque mesure, la limite choisie pour représenter le trait de côte a été la ligne de rivage instantanée, c'est-à-dire l'interface plan d'eau/terre visible sur chaque photographie. Il s'agit de la limite généralement retenue pour les études portant sur des côtes en régime microtidal à très faible marnage (GRENIER & DUBOIS, 1990 ; ROBIN, 2002), comme c'est le cas ici (marnage maximum de 35 cm).

La marge d'erreur de la méthode est ici estimée à +/- 8,5 m au maximum lors de la comparaison de la position du trait de côte entre deux clichés (tab. 1). Elle résulte de la conjonction des quatre types d'erreurs inhérentes à toute méthode de ce type (DOLAN et al, 1991 ; CROWELL et al, 1991, 1993 ; THIELER & DANFORTH, 1994 ; DURAND, 1999, 2000 et 2001)³.

Type d'erreur	Estimation en m
Erreur dans le repérage des amers	+/- 1 pixel par photo soit +/- 2 m entre deux photos
Erreur résiduelle de calcul (R.M.S erreur)	+/- 1 pixel par photo soit +/- 2 m entre deux photos
Erreur de mesure sur les photos corrigées	+/- 1 pixel par photo soit +/- 2 m entre deux photos
Erreur liée à la limite choisie pour représenter le trait de côte	+/- 2.5 m entre deux photos
Marge d'erreur entre deux photos corrigées	+/- 8.5 m

Tableau 1 Récapitulatif des erreurs inhérentes à la correction des photographies
Table 1 Errors due to the aerial photographs correction process

2.2 . Résultats : évolution du trait de côte entre 1937 et 2002

Sur la période 1937 à 2002, le recul du lido est généralisé (fig.4). Toutefois, son ampleur est inégale, à la fois dans le temps et dans l'espace.

D'une part, l'érosion a été beaucoup plus faible entre 1937 et 1954 que lors des périodes suivantes (excepté pour 2001 à 2002), en particulier entre 1995 et 2001, où sont survenues de nombreuses tempêtes (DURAND, 1999) : onze tempêtes pendant l'hiver 1995-1996, tempête vingtennale en décembre 1997, décennale en novembre 1999.

D'autre part, l'évolution est inégale dans l'espace. Ainsi, dans les deux tiers orientaux du cordon (P10 à P82), le recul est pratiquement toujours supérieur à 60 m (0,9 m par an) ; dans la partie centrale de ce secteur (P30 à P60), il dépasse même largement 70 m (excepté au niveau des profils P48 à P50), avec jusqu'à 93 m de recul pour les profils P35 à P38, qui correspondent au secteur le plus bas du cordon, où des brèches sont régulièrement ouvertes lors des fortes tempêtes (photo 2 sur fig.2). En revanche, la partie occidentale du lido (P92 à P136) et son extrémité orientale (P1 à P5) apparaissent nettement moins fragiles : les reculs ont été beaucoup plus faibles, toujours inférieurs à

³ L'erreur potentiellement la plus importante, liée à la limite choisie pour représenter le trait de côte (DURAND, 2000), est ici minimisée en raison du faible marnage et par le fait que les différents clichés ont été réalisés dans des conditions identiques, en période estivale par temps anticyclonique. En outre, les plages de la région comportent en été, en bas de plage, un bourrelet marqué par une pente assez prononcée en direction de la mer (en moyenne 4%), ce qui minimise les impacts des écarts verticaux de hauteur du plan d'eau observés entre les différents clichés (au maximum 10 cm).

30 m, voire à 20 m pour plus de la moitié des profils. Sur environ 550 m de rivage (P125 à P 115), l'évolution a même été nulle. Or, cela correspond très exactement au seul secteur où la partie haute du cordon a été remodelée et protégée par des ganivelles ; dans ces conditions, on peut émettre l'hypothèse que ces infrastructures de protection légère ont renforcé la résistance du cordon, en permettant la formation d'une avant-dune embryonnaire (nebkas buissonnantes), qui joue un rôle protecteur lors des tempêtes.

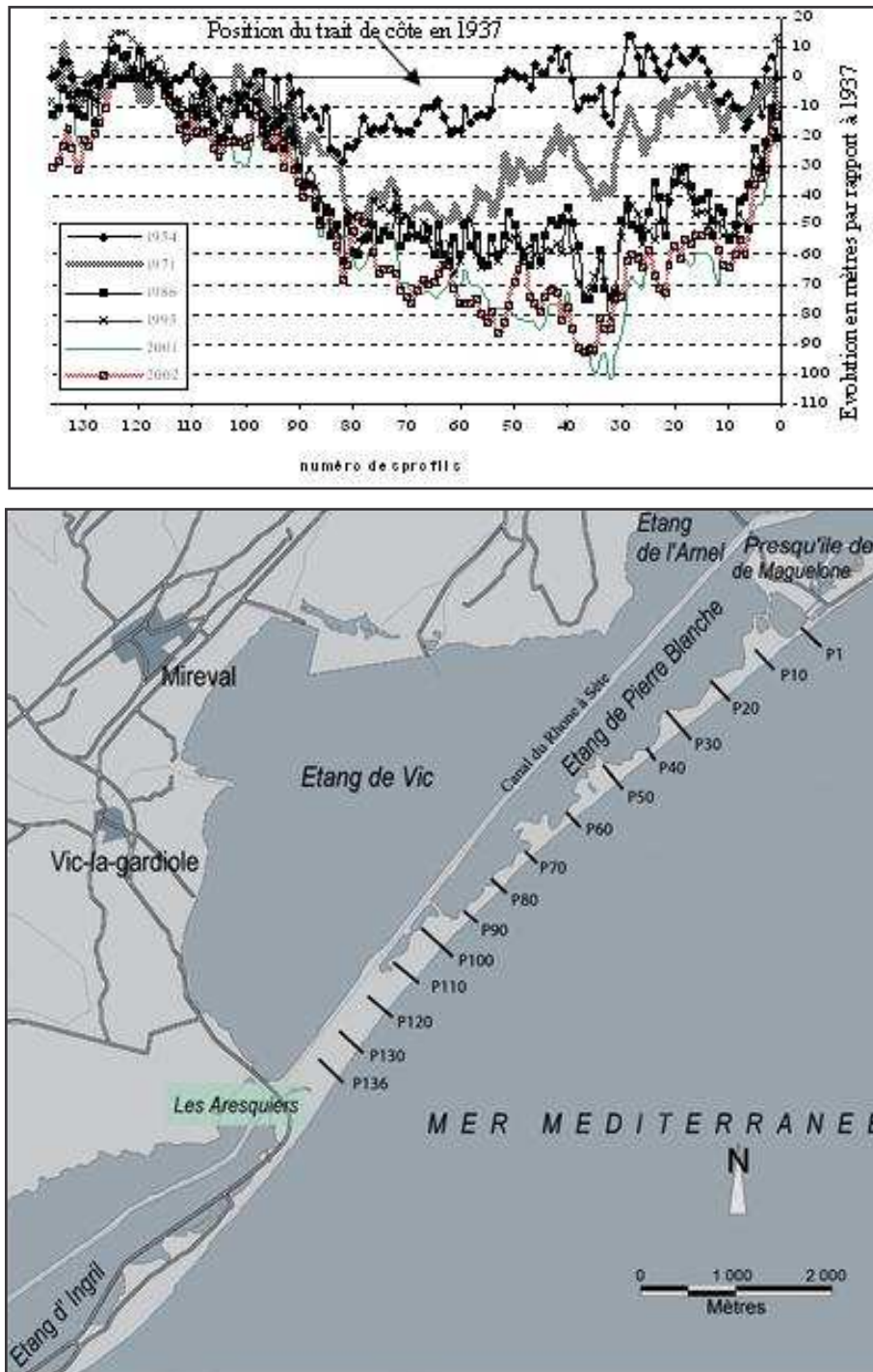


Fig. 4 Evolution du trait de côte de 1937 à 2002

Fig. 4 Shoreline evolution from 1937 to 2002

3. Méthodologie de l'analyse prévisionnelle

3.1. Les problèmes inhérents à l'analyse prévisionnelle

Plusieurs auteurs ont proposé des synthèses de l'état de la recherche en matière d'analyse prévisionnelle (BLANC & FROGET, 1981 ; PILKEY et al, 1994 ; CROWELL et al, 1997 ; DOUGLAS et al, 1998 ; DURAND, 1999, 2001 ; DOUGLAS & CROWELL, 2000 ; THIELER et al, 2000 ; SABATIER, 2001 ; DUBOIS, 2002). Ils ont en particulier souligné l'existence de quatre grandes limites inhérentes à toute méthode d'analyse prévisionnelle, qu'il s'agisse de méthodes d'approche historiques – prévision de l'évolution d'un rivage par extrapolation dans le futur des données de son évolution passée – ou de méthodes modélisatrices – modélisation des processus qui entrent en jeu dans l'évolution d'un littoral afin de prévoir son évolution future à partir de l'application d'un certain nombre d'équations et de formules plus ou moins complexes.

La première limite tient au manque de données généralement disponibles. Ainsi, en prenant l'exemple de la méthode d'extrapolation historique la plus fréquemment employée, la régression linéaire, on considère que, pour obtenir des prévisions d'une fiabilité acceptable, il faudrait théoriquement disposer d'un échantillon minimal de trente données d'évolution passée couvrant un laps de temps au moins deux fois supérieur à la durée de la prévision. En pratique, ces conditions ne sont jamais réunies.

La deuxième limite réside dans l'extrême complexité de modéliser la dynamique littorale. C'est la difficulté fondamentale à laquelle se heurtent les modèles mathématiques de prédiction. En effet, la dynamique littorale résulte de l'interaction de processus naturels extrêmement divers et complexes qui sont difficilement appréhendables par de simples formules et équations, aussi élaborées soient-elles. En conséquence, ces dernières sont fondées sur des hypothèses qui aboutissent souvent à une schématisation grossière des processus naturels. Pour cette raison, les modèles prévisionnels sont encore considérés aujourd'hui par de nombreux chercheurs comme peu fiables (PILKEY et al, 1993, 1994, 1996 ; YOUNG et al, 1995 ; THIELER et al, 2000 ; DUBOIS, 2002).

La troisième limite tient à l'absence de prise en compte des variations à court terme de la position du trait de côte. En effet, quel que soit le type d'approche employé, seule la tendance évolutive à long terme d'un rivage peut être prévue. Or l'évolution du littoral est caractérisée, par-delà une tendance à long terme, par des changements brutaux, sous l'impact de défluvations importantes et surtout de tempêtes, dont l'amplitude peut parfois dépasser l'amplitude des changements prévus à échéance de 100 ans (DOLAN et al, 1991).

Enfin, la prise en compte dans les prévisions du paramètre « élévation du niveau marin », comme c'est le cas ici, s'avère délicate. En effet, dans l'état actuel des connaissances, on reste la plupart du temps incapable de calculer avec précision le taux d'érosion qui serait induit par une élévation donnée du niveau marin (DUBOIS, 2002) : la seule méthode qui permet de le faire, le principe de BRUUN (BRUUN, 1962 et 1988), n'est applicable qu'à un nombre très restreint de plages (littorales sans transit sédimentaire longitudinal). D'autre part, on ignore l'impact du phénomène d'élévation sur les transferts sédimentaires, même si certains modèles suggèrent une augmentation du transit longitudinal. Enfin, on ne sait pas dans quelle mesure une élévation renforcerait l'impact des tempêtes (accroissement de la fréquence des phénomènes de submersion, ruptures des cordons littoraux plus fréquentes, etc.). Dans ces conditions, il est difficile de mettre en évidence l'impact de l'élévation du niveau marin sur l'évolution future d'un rivage, mis à part dans les secteurs où la dynamique sédimentaire est nulle ou faible. A cet égard, les faces internes des cordons littoraux barrant des zones lagunaires, comme c'est le cas sur le site de Vic et de Pierre-Blanche, sont des espaces où il est sans doute moins aléatoire de prévoir les effets d'un tel phénomène, pour peu que l'on dispose de données topographiques précises permettant d'examiner la conséquence d'une simple élévation des plans d'eau lagunaires (submersion passive, excluant toute considération dynamique).

La démarche d'analyse prévisionnelle retenue pour le site d'étude n'échappe pas à ces limites et est donc à considérer avec la plus grande prudence. Elle se déroule en trois temps : prévision des évolutions par une approche historique, la régression linéaire ; prévision des évolutions par submersion passive, en appliquant un modèle de submersion à partir des levés topographiques levés au D-GPS durant l'été 2002, selon le scénario d'élévation du niveau de la mer proposé par le Conservatoire d'ici 2050, soit + 22 cm ; combinaison des deux approches précédemment utilisées.

3.2. Démarche proposée pour le site des étangs de Vic et de Pierre-Blanche

3.2.1. Prévision de l'évolution du trait de côte par régression linéaire

Parmi les différentes méthodes d'approche historiques existantes, la méthode de la régression linéaire a été retenue car elle est considérée comme la moins aléatoire (CROWELL et al, 1997 ; FENSTER et al, 2001). Pour chacun des 136 profils disponibles, une régression a été calculée à partir de cinq dates d'évolution historique (1937, 1954, 1971, 1995 et 2002)⁴, couvrant une période de 66 ans. A chaque fois, la qualité de l'ajustement linéaire a été testée par le calcul du coefficient de détermination R² et une marge d'erreur estimée par le biais d'un intervalle de confiance à 80 %, défini à partir des écarts entre les valeurs réelles d'évolution passée et les valeurs calculées par le modèle linéaire pour l'ensemble des dates. Il faut toutefois garder à l'esprit qu'outre les limites propres à la régression linéaire (CROWELL et al, 1997 ; DOUGLAS et al, 1998 ; DURAND, 1999, 2001 ; SABATIER, 2001), l'échantillon de données utilisées est ici restreint et couvre une période inférieure à deux fois la durée de la prévision. Dans ces conditions, même si l'évolution historique du trait de côte entre 1937 et 2002 révèle une nette tendance à l'érosion, les prévisions peuvent potentiellement être affectées d'une marge d'erreur importante. Elles correspondent en quelque sorte à un scénario indicatif de l'évolution future de la ligne de rivage qui prend en compte le rythme d'élévation du niveau marin enregistré au cours du 20^e siècle, puisque celui-ci est intégré dans les évolutions historiques à partir desquelles ont été calculées les régressions, mais qui fait abstraction d'une accélération future de ce rythme d'élévation.

3.2.2. Prévision de l'évolution de la face interne du lido par submersion passive

Ces prévisions reposent sur l'utilisation des données topographiques D-GPS acquises lors de la campagne de levés réalisée en juillet et août 2002 sur toute la largeur du cordon littoral, depuis l'avant-plage (-1 m de profondeur en mer) jusqu'aux berges de la lagune. Au total, la répartition est de un profil tous les 50 m sur les 7300 m de plage (soit 136 profils constitués chacun de 30 à 100 points de levés selon leur largeur), sauf aux extrémités du lido, où les profils sont espacés de 100 m. Les deux tiers des profils (P28 à 109) recoupent entièrement le cordon, depuis sa face externe à sa face interne, les autres (P1 à 27 et P110 à 136) concernant seulement la partie externe du cordon. L'appareillage qui est mis en œuvre est un système D-GPS de très haute précision (infra-centimétrique), parfaitement adapté à la connaissance des formes et relief des plages. L'altimétrie des levés topographiques est exprimée dans le système d'altitude IGN 1969. A partir des profils ainsi obtenus, la méthode utilisée pour évaluer l'évolution de la face interne du lido est la méthode de la « submersion passive » ; elle consiste simplement à simuler une translation de 22 cm du niveau de la mer et à cartographier les pertes en surface qui en résulteraient. La dynamique littorale étant peu active sur la face interne du lido, la démarche peut donner des résultats significatifs.

3.2.3. Combinaison des prévisions par régression linéaire et submersion passive

Il s'agit d'une tentative de combinaison, pour la face externe du cordon seulement, des valeurs obtenues par les deux approches, régression linéaire et submersion passive. Ainsi, pour un point X du cordon littoral, la prévision à l'échéance de l'année 2050 a été calculée par la formule suivante :

$$R = r + [(E21 - E20) / P]$$

Où

R = valeur de recul prévue en 2050 ;

r = valeur du recul prévu par la régression linéaire ;

E21 = valeur d'élévation du niveau marin prévue d'ici 2050 selon le scénario du Conservatoire, soit 22 cm ;

⁴ 2001 n'a pas été prise en compte dans le calcul de la régression car nous disposons avec 2002 déjà d'une date récente. Dans ces conditions, prendre en compte 2001 aurait donné artificiellement trop de poids aux dates les plus récentes dans le modèle linéaire.

E20 = valeur moyenne annuelle d'élévation du niveau marin au 20e siècle, soit 0,13 cm, multipliée par la durée de la prévision (48 ans) soit 6,24 cm (0,13 x 48) : cette valeur est à déduire car déjà prise en compte dans la prévision par la régression linéaire ;

P = pente du bas de plage et de la partie supérieure de l'avant-plage en %, depuis le haut de la berme jusqu'à la 1ère barre pré-littorale, située à environ – 1 m.

Par exemple, si en un point X du cordon littoral où la pente du bas de plage est de 5 % – grâce à la précision des levés DGPS, la pente de la plage a pu être calculée précisément pour chacun des 136 profils –, le recul moyen du rivage prévu par régression linéaire est de 40 m, le recul total, en ajoutant le paramètre submersion passive sera égal à :

R = 40 + [(22 – 6,24) / 5] soit 40 + 3,15 soit 43,15 m

Evidemment, une telle démarche reste très hypothétique puisqu'elle revient à ignorer totalement les effets dynamiques d'une accélération de la hausse du niveau marin (augmentation de la fréquence et de la force des tempêtes, modifications éventuelles des transits sédimentaires, du profil de la plage). En outre, elle souffre des imprécisions évoquées plus haut liées à la mise en œuvre de la méthode de la régression linéaire. Toutefois, elle a le mérite de permettre de prendre en compte dans la prévision à la fois l'évolution passée du rivage (grâce à la régression linéaire) et la hausse supplémentaire du plan d'eau induite par l'accélération du rythme d'élévation du niveau marin (grâce à la submersion passive).

4. L'évolution future du lido

4.1. Un recul quasi-généralisé

Les résultats sont présentés à la fois sous forme de graphiques (fig.5 et 6) et de deux cartes (fig. 7 et 8). La figure 5 fournit quelques exemples de calculs de régression : concrètement, les coefficients de détermination (R^2) s'échelonnent entre 0,2 (ajustement de mauvaise qualité) et 0,99 (très bonne qualité) ; 50 % des prévisions ont un R^2 supérieur à 0,9 et 75% un R^2 supérieur à 0,7. La figure 7 synthétise les prévisions par régression linéaire seule pour l'ensemble du lido : sur cette figure, il faut tenir compte, pour la position du trait de côte en 2050, d'une marge d'incertitude variant entre +/- 6 m et +/- 17 m selon les profils (intervalle de confiance à 80 %) ; évidemment, il ne s'agit pas ici de l'erreur réelle, qui est absolument impossible à déterminer, mais d'une simple incertitude statistique. Les figures 7 et 8 sont des cartes prévisionnelles élaborées à l'aide du SIG *Mapinfo* à partir du fond photographique 2001 (photos les plus récentes) ; elles représentent à la fois la position du rivage prévue en 2050 par la combinaison régression linéaire / submersion passive sur la face externe du cordon (cf. supra) et les pertes en surface prévues par application du seul principe de la submersion passive (simulation d'une translation du niveau de la mer de 22 cm) sur la face interne du lido – comme seuls les profils 28 à 109 recourent entièrement le cordon, de sa face externe à sa face interne, les pertes par submersion passive sur la façade lagunaire ne sont indiquées que pour ce secteur.

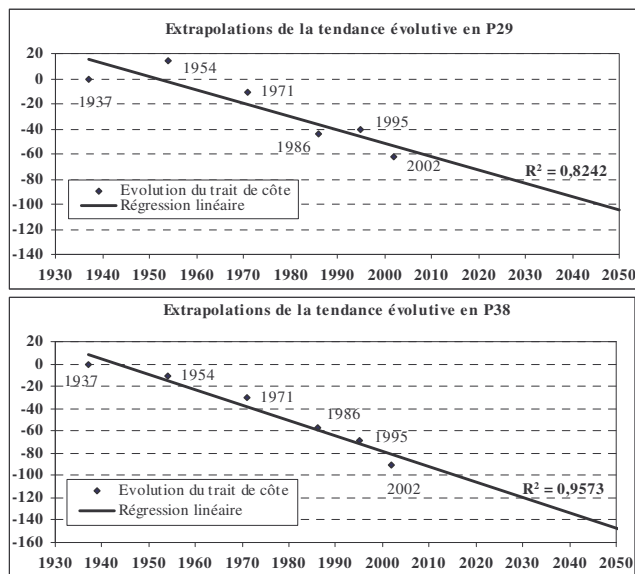


Fig. 5. Exemples de prévisions des évolutions par régression linéaire

Fig. 5 Examples of forecasts by linear regression

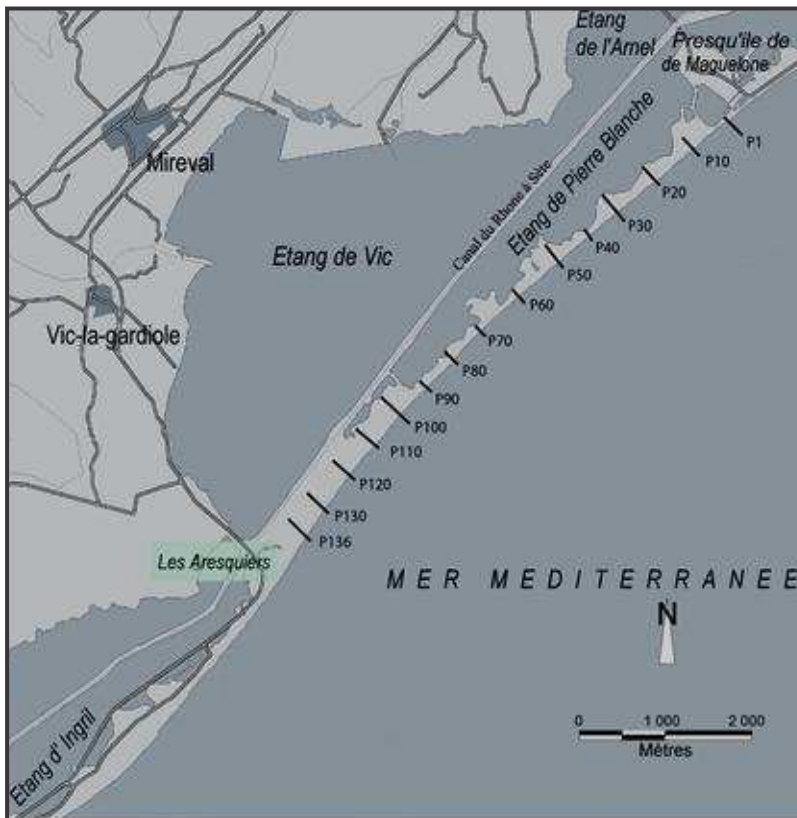


Fig. 6 Evolution du trait de côte de 1937 à 2002 et prévisions pour 2050
 1. position réelle du trait de côte en 2002 ;
 2. position du trait de côte en 2002 calculée par régression linéaire ;
 3. position du trait de côte en 2050 prévue par régression linéaire

Fig. 6 Shoreline evolution from 1937 to 2002 and forecasts for 2050
 1. Real shoreline position in 2002;
 2. shoreline position in 2002 calculated by linear regression;
 3. shoreline position in 2050 forecasted by linear regression



Fig. 7 Evolution future du système cordon littoral – lagune de Vic et de Pierre-Blanche d’ici l’année 2050 (entre les profils n°1 et n°70)

Fig. 7 Future evolution of the barrier-lagoon system of Vic and Pierre-Blanche by the year 2050 (between the profiles n°1 and n°70)

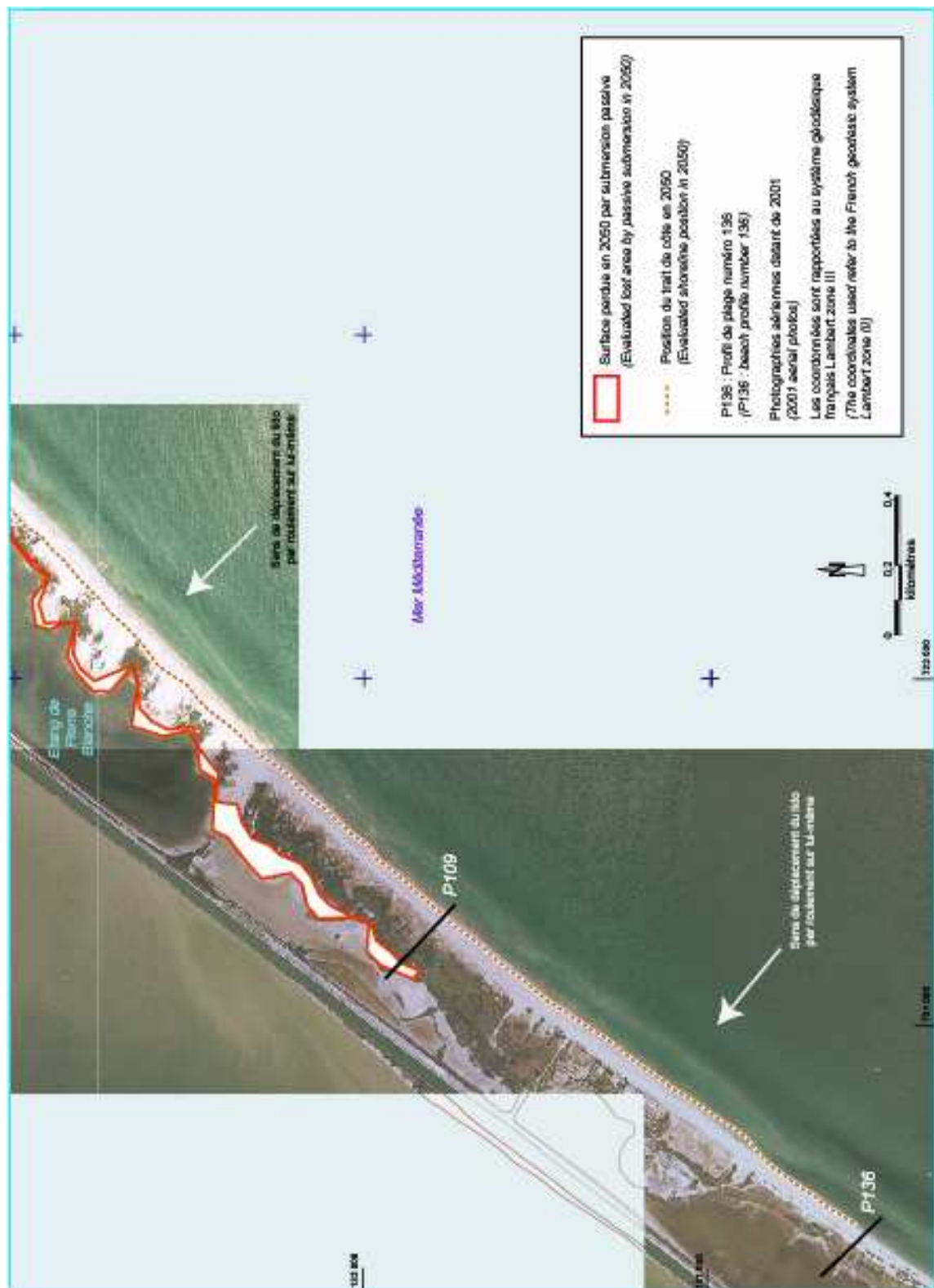


Fig. 8 Evolution future du système cordon littoral – lagune de Vic et de Pierre-Blanche d’ici l’année 2050 (entre les profils n°70 et n°136)

Fig. 8 Future evolution of the barrier-lagoon system of Vic and Pierre-Blanche by the year 2050 (between the profiles n°70 and n°136)

Sur la face interne du lido, les pertes prévues par submersion passive seraient de l'ordre de 157000 m² (15 ha) en 2050 pour les seuls profils P28 à P109 ; évidemment, si la totalité de la façade lagunaire avait été prise en compte, elles seraient probablement nettement supérieures. Sur la face externe du cordon, les prévisions font apparaître des reculs plus importants. Ainsi, le cordon littoral reculerait en roulant sur lui-même sur plusieurs dizaines de mètres, voire plus de 70 m par endroits. La surface de lido concernée par le phénomène serait de l'ordre de 260000 m² (26 ha) en 2050. Mais en fait, il ne s'agirait pas de réelles pertes en surface, car le lido se déplacerait parallèlement à lui-même : seule une étroite bande de rivage de quelques mètres de large à 15 m au maximum, là où la pente actuelle de la plage est très faible, serait réellement perdue – valeurs correspondant à la prise en compte du paramètre « submersion passive » en plus de la régression linéaire.

Si l'on examine maintenant en détail les prévisions, il apparaît que le recul prévu est très inégal selon les secteurs. On retrouve schématiquement la différenciation constatée lors de l'analyse de l'évolution du rivage depuis 1937, ce qui est normal puisque l'analyse prévisionnelle est fortement influencée par le traitement statistique des données d'évolution passée du rivage. Ainsi, les reculs les plus importants s'observeraient dans le secteur oriental et central du cordon (excepté l'extrémité orientale, entre P1 et P5), qui s'étend entre les P10 et P82, soit un linéaire côtier de 3800 m : le recul prévu d'ici 2050 y est toujours supérieur à 40 m et il dépasserait même 70 m entre les P31 et P37. Il est à noter qu'en deux endroits (P50 à P55 et P61 à P72), la partie haute du cordon est protégée par une digue en dur, ces ouvrages étant situés actuellement à une distance de la ligne de rivage comprise entre 60 et 80 m, soit une distance à peine supérieure au recul prévu pour 2050. En conséquence, il est probable que ces ouvrages seront atteints par la mer à moyen terme, d'où blocage pour le cordon de la possibilité de reculer parallèlement à lui-même, risque d'accélération de l'érosion de la plage en avant et en aval-dérive des ouvrages, et à terme, déchaussement des digues. Des évolutions de ce type ont d'ailleurs été observées dans un contexte similaire sur le littoral voisin du delta du Rhône (BLANC & POYDENOT, 1993 ; SUANEZ & BRUZZI, 1999 ; PICON & PROVANSAL, 2002).

En revanche, dans la partie occidentale du lido (P92 à P136), le recul prévu n'est jamais supérieur à 20 m pour 2050. Dans le secteur protégé par des ganivelles (P125 à P116), les prévisions se traduisent même par une légère progression du rivage (< 10 m).

4.2. Discussion

Les incertitudes liées à l'analyse de l'évolution historique du trait de côte, ajoutées aux incertitudes inhérentes aux méthodes d'analyse prévisionnelle utilisées, peuvent engendrer des erreurs de prévision importantes. Toutefois, les méthodes employées reposent sur des hypothèses plausibles qui permettent raisonnablement de prévoir une diminution en surface et un recul du lido dans les décennies à venir.

D'une part, sur la face lagunaire du lido, il est probable qu'une hausse importante du niveau de la mer se traduise par des pertes en surface, à moins que l'on suppose que le cordon puisse connaître une alimentation sédimentaire suffisante pour s'exhausser sur sa face interne à une vitesse équivalente à celle du relèvement du niveau de la mer. Seulement, comme la dynamique est faible sur la face interne du lido, pour que le matériel arrive jusque là (par transport éolien, par submersion lors des tempêtes), il faudrait que le cordon connaisse dans son ensemble une alimentation sédimentaire incomparablement plus importante qu'elle ne l'est aujourd'hui. Or, on a vu que le secteur est peu, voire pas du tout, alimenté par du matériel en provenance des secteurs adjacents, notamment en raison d'une divergence de la dérive littorale immédiatement au sud-ouest, à la hauteur des hauts-fonds des Aresquiers, qui induisent un phénomène de réfraction des houles dominantes de SE et SSE (fig. 2). Il est peu probable qu'une hausse de 22 cm du niveau de la mer modifie fondamentalement ces conditions dynamiques.

D'autre part, le lido semble évoluer dans un schéma assez semblable à celui qui a été observé, à l'échelle de plusieurs décennies, pour des îles- barrières situées aux Etats-Unis, dans le golfe du Mexique (TAYLOR & STONE, 1996 ; PENLAND et al, 1998), et, à court terme, suite à de fortes tempêtes, pour des flèches sableuses sur les littoraux des deltas du Rhône (SUANEZ & PROVANSAL, 1996) et de l'Ebre (GUILLEN & PALANQUES, 1997). En effet, il apparaît que ces formes littorales réagissent face à une élévation du niveau marin en reculant parallèlement à elles mêmes – elles roulent sur elles-mêmes en quelque sorte – tout en conservant souvent leur morphologie générale et leur profil. Or, l'analyse de l'évolution historique du lido des étangs de Vic et de Pierre-Blanche révèle bien une évolution de ce type. En outre, dans le contexte d'accélération de l'élévation du niveau marin, et compte tenu du renforcement possible de la fréquence et de l'intensité des tempêtes, le lido risque d'être de plus en plus fréquemment morcelé par l'ouverture de brèches,

qui auront de plus en plus de mal à être refermées. A terme, le lido risque donc de se transformer en îles-barrières, reliée aux étangs situés en arrière par des graus permanents. On se retrouverait alors dans un schéma très similaire à celui qui a été observé sur le long terme aux Etats-Unis. Dans ces conditions, la méthode de prévision historique par régression linéaire semble assez bien adaptée, car l'évolution s'inscrit alors dans un schéma assez simple.

Enfin, la faiblesse des dynamiques sédimentaires longitudinales dans le secteur rend la prise en compte dans les prévisions du paramètre « accélération de l'élévation du niveau marin » un peu moins incertaine. En effet, une des principales difficultés de l'intégration de ce paramètre dans un travail d'analyse prévisionnelle réside justement dans la prise en considération des modifications probables du transit sédimentaire. Ici, compte tenu de la faiblesse de ce transit, ce facteur aurait probablement peu d'influence. L'association des pertes par submersion passive aux prévisions par régression linéaire peut alors être considérée comme une manière « a minima » d'intégrer le paramètre d'accélération de la hausse du niveau marin. Evidemment, elle reste très critiquable puisqu'elle simplifie considérablement un phénomène très complexe, dont on ignore encore pratiquement tout des conséquences morphodynamiques. Toutefois, elle repose sur une hypothèse fondamentale, certes non vérifiable, mais qui correspond à un phénomène déjà observé par plusieurs chercheurs sur certaines plages en réponse à une élévation du niveau marin : un recul du lido parallèlement à lui-même avec conservation de la pente et du profil de la plage.

Conclusion

Le système cordon littoral-lagune de Vic et de Pierre-Blanche apparaît particulièrement vulnérable en cas d'accélération de la hausse du niveau marin. En effet, ce phénomène se traduirait très probablement par des pertes en surface non négligeables sur la face interne du lido. La largeur du cordon s'en trouverait donc réduite, ce qui le fragiliserait face aux tempêtes. Parallèlement, on peut émettre l'hypothèse que le lido reculerait en roulant sur lui-même de plusieurs dizaines de mètres, voire plus de 70 m par endroits, poursuivant en cela une évolution entamée depuis plusieurs siècles, et observée sur des littoraux similaires (TAYLOR & STONE, 1996 ; PENLAND et al, 1998 ; SUANEZ & PROVANSAL, 1996 ; GUILLEN & PALANQUES, 1997). Ce recul serait plus rapide dans la partie centrale du lido, d'où une accentuation de sa concavité générale. Il pourrait en outre s'accompagner d'une perte en surface sur la face externe, par simple phénomène de submersion passive. Mais, en admettant qu'il y ait conservation globale du profil lors du recul, ces pertes resteraient limitées (une quinzaine de mètres tout au plus), affectant par là même assez peu la largeur globale de la plage. En revanche, le recul s'accompagnerait probablement d'un morcellement du cordon en raison de l'ouverture de plus en plus fréquente de brèches lors des tempêtes, aboutissant à la mise en place de passes permanentes et à la transformation du lido en îles-barrières.

Dans ces conditions, il paraît totalement inutile et même dangereux de fixer le cordon par des ouvrages en dur, comme cela a été fait en certains endroits fragiles depuis la fin des années 1980. Ces ouvrages seront de toute manière rattrapés par le recul et ils risquent alors d'avoir des impacts très néfastes : disparition à terme de la plage située devant (par augmentation des phénomènes de réflexion), déstabilisation des secteurs situés en aval-dérive. Comme le recul du cordon parallèlement à lui-même paraît inéluctable, il nous semble vain de vouloir contrarier le phénomène. De plus, la principale infrastructure en arrière du cordon, le canal du Rhône à Sète, est située entre 370 m et 1000 m en arrière du trait de côte actuel : compte tenu des vitesses de recul prévisibles, cela laisse une marge d'environ 300 ans avant que l'ouvrage ne soit atteint. Tout juste peut-on essayer de ralentir un peu le recul du lido en adoptant des mesures de protection légères (ganivelles) qui pourraient permettre la constitution d'une avant-dune protectrice vis-à-vis des tempêtes. Certes, l'efficacité de telles mesures serait peut être limitée en raison de la faiblesse de l'alimentation sédimentaire (notamment en matériel fin) du secteur, mais des ouvrages de ce type ne risqueraient pas d'avoir d'impacts néfastes sur l'évolution.

Références

- BLANC, J.J. & FAURE, H. (1990) : La remontée récente du niveau de la mer. Exemples de Marseille, Gênes et Venise (Méditerranée). – Géologie Méditerranéenne, XVII, 2, 109-122.
- BLANC, J.J. & FROGET, C.H. (1981) : Mesure et méthode d'étude quantitative de l'érosion des littoraux meubles, exemple de la Camargue. – Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire, (18)-5, 47-52.

- BLANC, J.J. & POYDENOT, F. (1993) : Le rivage de Faraman en Camargue (SE France) : un géosystème côtier en déséquilibre ; méthodes d'études, conséquences pratiques. – *Géologie Méditerranéenne*, XX, 2, 75-87.
- BRUUN P. (1962): Sea-level rise as a cause of shore erosion. – *Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of Waterways and Harbors Division*, 88: 117-130.
- (1988): The Bruun Rule of erosion by sea level rise : a discussion on large-scale two-and three-dimensional usages. – *Journal of Coastal Research*, 4 (4): 627-648.
- BRUZZI, C. (1998): Les tempêtes et l'évolution morphosédimentaire des plages orientales du delta du Rhône. – Thèse de Doctorat de Géographie, Université de Provence Aix-Marseille I, 325 p.
- CLIQUE, P.M. ; FEUILLET, J. ; COEFFE, Y. (1984): Catalogue sédimentologique des côtes françaises. – Côte de la Méditerranée, de la frontière espagnole à la frontière italienne. Partie A : de la frontière espagnole à Sète. – Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'EDF, Eyrolles, 9-105.
- CHENAT, V. (2003) : Programme « Impact du changement climatique sur l'intervention du Conservatoire du Littoral : recul du trait de côte et orientations stratégiques ». Termes de référence des études de cas. – Conservatoire du Littoral & Fondation Procter et Gamble, Rapport inédit, 6p.
- CROWELL, M., LEATHERMAN, S.P. & BUCKLEY, M.K. (1991): Historical shoreline change : error analysis and mapping accuracy. – *Journal of Coastal Research*, 7 (3): 839-852.
- (1993) : Erosion rate analysis : long term versus short term data. – *Shore and Beach*, 61 (2): 13-20.
- CROWELL, M. ; DOUGLAS, B.C. & LEATHERMAN, S.P. (1997): On forecasting future U.S. shoreline positions : a test of algorithms. – *Journal of Coastal Research*, 13 (4): 1245-1255.
- DOLAN, R., FENSTER, M.S. & HOLME, S.J. (1991): Temporal analysis of shoreline recession and accretion. – *Journal of Coastal Research*, 3 (1): 723-744.
- DOUGLAS, B.C ; CROWELL, M. & LEATHERMAN, S.P. (1998): Considerations for shoreline position and prediction. – *Journal of Coastal Research*, 14 (3): 1025-1033.
- DOUGLAS, B.C & CROWELL, M. (2000): Long-term shoreline position prediction and error propagation. – *Journal of Coastal Research*, 16 (1): 145-162.
- DUBOIS, R.N. (2002): How does a barrier shoreface respond to a sea-level rise ? – *Journal of Coastal Research*, 18 (2): Editorial, iii-v.
- DURAND, P. (1999): L'évolution des plages de l'ouest du golfe du Lion au 20^{ème} siècle. Cinématique du trait de côte, dynamique sédimentaire et analyse prévisionnelle. – Thèse de Doctorat, Université Lumière Lyon II, 2 vol., 461 p.
- (2000): Approche méthodologique pour l'analyse de l'évolution des littoraux sableux par photo-interprétation. Exemple des plages situées entre les embouchures de l'Aude et de l'Hérault (Languedoc, France). – *Photo-interprétation*, 1-2: 3- 52.
- (2001): Erosion et protection du littoral de Valras-Plage (Languedoc, France). Un exemple de déstabilisation anthropique d'un système sableux. – *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1: 55-68.
- FENSTER, M. ; DOLAN, R. & ELDER, J.R. (2001): A new method for predicting shoreline positions from historical data. – *Journal of Coastal Research*, 9 (1): 147-171.
- GRENIER, A. & DUBOIS, J.M.M. (1990): Evolution littorale récente par télédétection : synthèse méthodologique. – *Photo-Interprétation*, 6: 3-16.
- GUILLEN, J. ; PALANQUES, A. (1994) : Short-time evolution of a micro-tidal barrier-lagoon system affected by storm and overwashing : the Trabucador Bar (Ebro Delta, NW Mediterranean. – *Zeitschrift für Geomorphologie*, 38, 3, 267-281.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2001): Climate change 2001 : Impacts, adaptation and vulnerability. – Contribution of the working group to the third assessment report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, World Meteorological Organization, Genève, 124 p.
- JIMENEZ, J.A.; SANCHEZ-ARCILLA, A.; BOU, J. ; ORTIZ, M.A. (1997) : Analysing short-term shoreline changes along the Ebro delta using aerial photographs. – *Journal of Coastal Research*, 13 (4), 1256-1266.
- LEVOY, F. & LARSONNEUR, C. (1993): Etude globale concernant la défense contre la mer, rapport d'interprétation des mesures de terrain. – Conseil Général de la Manche, Université de Caen, 163 p.
- MOORE, L.J. (2000) : Shoreline mapping techniques. – *Journal of Coastal Research*, 16/1, 111-124.
- MORTON (1994) : Meso-scale transfer of sand during and after storm: implication for prediction of shoreline movement. – *Marine Geology*, 126, 161-179.
- MURTY & FLATHER (1994) : Impact of storm surges in the bay of Bengal.– *Journal of Coastal Research*, 12, 149-161.
- PASKOFF, R. (1998): Conséquences possibles sur les milieux littoraux de l'élévation du niveau de la mer pour les prochaines décennies. – *Annales de Géographie*, 600: 233-248.

- (2001): L'élévation du niveau marin et les espaces côtiers. Editions Institut Océanographique, 212 p.
- PENLAND, S.; BOYD, R. & SUTTER, J.R (1988): Transgressive depositional systems of the Mississippi delta plain : a model for barrier shoreline and shelf sand development – *Journal of Sedimentary Petrology*, 58 (6): 932-949.
- PICON, B. & PROVANSAL, M. (2002) : Faut-il se protéger de la mer ? Instabilité naturelle et politiques publiques dans le delta du Rhône. – *Faire Savoirs*, 2, 75-80.
- PILKEY, O.H. ; YOUNG, R.S. ; RIGGS, S.R. ; SMITH, A.W. ; WU, H. & PILKEY, W.D. (1993): The concept of shoreface profile of equilibrium : a critical review. – *Journal of Coastal Research*, 9: 255-278.
- PILKEY, O.H. ; YOUNG, R.S. ; BUSH, D.M. & THIELER, E.R. (1994): Predicting the behavior of beaches : alternatives to models. – *Littoral 94, Procs. Of the 2nd International Symposium*, Lisbon, Association EUROCOAST, Portugal: pp. 53-60.
- PILKEY, O.H. ; YOUNG, R.S. ; THIELER, E.R. ; JACOBS, B.S. ; KATUNA, M.P. ; LENNON, G. & MOELLER, M.E. (1996): Reply to HOUSTON, J.R., 1996, discussion of YOUNG and al, 1995, a discussion of the Generalized Model for Simulating Shoreline Change (GENESIS). – *Journal of Coastal Research*, 12: 1044-1050.
- PIRAZZOLI, P.A. (1986): Secular trends of relative sea-level (RSL) changes indicated by tide-gauge records. – *Journal of Coastal Research*, 1: 1-26.
- ROBIN, M (2002): Télédétection et modélisation du trait de côte et de sa cinématique. – In : *Le littoral : regards, pratiques et savoirs. Etudes offertes à Fernand Verger*. – Ed. ENS., Paris: 95-117.
- RUEDA, F. (1986) : Le littoral du Gard et de l'Hérault. – Rapport non publié, Service maritime et de navigation du Languedoc-Roussillon, 62 p.
- SABATIER, F. (2001) : Fonctionnement et dynamiques morpho-sédimentaires du littoral du delta du Rhône. Thèse de doctorat de géosciences de l'environnement, option géographie. Université Aix-Marseille III, 244 p.
- SABATIER, F. & SUANEZ, S. (2003) : Evolution of the Rhône Delta coast since the end of the 19th century. – *Géomorphologie: relief, processus et environnement*, 4, 283-300.
- SALOMON, J.N. & PRAT, M.C. (1997) : L'évolution récente du littoral charentais. Lignes de rivage et systèmes dunaires. – *Quaternaire*, 8 (1), 21-37.
- SUANEZ, S. & PROVANSAL, M. (1996): Morphosedimentary behaviour of the deltaic fringe in comparison to the relative sea-level rise on the Rhône delta. – *Quaternary Science Reviews*, 15, 811-818.
- SUANEZ, S.; PROSPER, V.; PROVANSAL, M. (1997): Variation relative du niveau marin dans le delta du Rhône. Implication climatique et/ou tectonique. – *C.R. Acad. Sci. Paris*, t234, série IIa, 639-646.
- SUANEZ, S. & BRUZZI, C. (1999) : Shoreline managements and its implications for the coastal processes on the eastern part of the Rhône delta. – *Journal of Coastal Conservation*, 5, 1-12.
- TAYLOR, M. & STONE, G.W (1996): Beaches ridges : a review. – *Journal of Coastal Research*, 12 (3): 612-621.
- THIELER, E.R. & DANFORTH, W.W. (1994): Historical shoreline mapping (I) : improving techniques and reducing positioning errors. – *Journal of Coastal Research*, 10 (3): 549-563.
- THIELER, E.R. ; PILKEY, O.H. ; YOUNG, R.S. ; BUSH, D.M. & CHAI, F. (2000): The use of mathematical models to predict beach behavior for U.S. coastal engineering : a critical review. – *Journal of Coastal Research*, 16 (1): 48-70.
- WRAY, R.D., LEATHERMAN, S.P. & NICHOLLS, R.J. (1995): Historic and future land loss for upland and marsh islands in the Chesapeake Bay, Maryland, U.S.A. – *Journal of Coastal Research*, 11 (4): 1195-1203.

Adresses des auteurs: Paul DURAND, Université Paris I Panthéon-Sorbonne, UMR 8591, 191 rue St-Jacques, 75005 Paris & Hugues HEURTEFEUX, E.I.D Méditerranée, 165 avenue P. Rimbaud, 34184 Montpellier Cédex 4.

TRAVAUX PREVUS SUR LE SITE DE VILLENEUVE-LES-MAGUELONE, DIFFERENTS SCENARIOS ENVISAGES

Dans le Courant de l'année 2004 le département de l'Hérault a engagé une étude générale ayant pour objectif une gestion intégrée de l'espace littoral situé entre les communes de Frontignan-La Peyrade et de Villeneuve-lès-Maguelone.

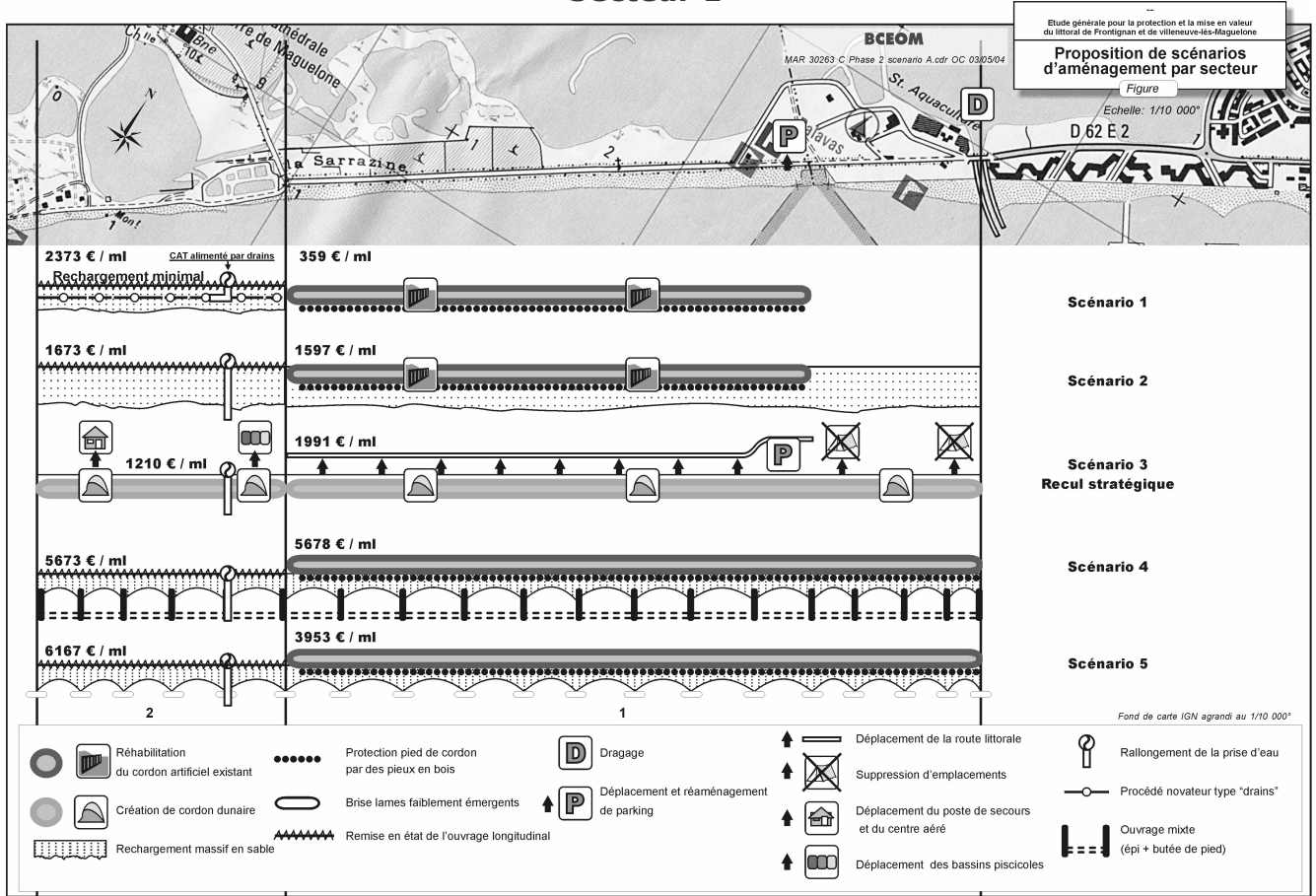
Cette étude s'est achevée en avril 2005 et des aménagements ont été retenus.

Les cartes et tableaux qui suivent présentent différents scénarii qui ont été envisagées et proposées par le bureau d'étude BCEOM lors des différents comités techniques et comités de pilotage.

Le scénario retenu sera présenté sur le site (vous pouvez vous amuser à le trouver, il figure parmi ceux évoqués ci après).

Le projet doit être finalisé au plus tard au second semestre 2006 et réalisé avant fin 2008 pour pouvoir bénéficier des crédits FEDER et des crédits de l'Etat (type DGIL : dotation de gestion intégrée du littoral).

Secteur 1



SECTEUR 1	Effets environnementaux et paysagers	Effets sur les usages
Scénario 1 : confortement du cordon artificiel	Pas d'impact sur le milieu naturel marin, sur l'étang du Prévost et ses marges intégration paysagère moyenne : aspect assez naturel de la protection	Accès à la plage et à Maguelone inchangé ; largeur de plage maintenu pas d'incidence sur les usages dans le Prévost Pas de modification de la route et du camping,
Scénario 2 : confortement du cordon artificiel et rechargement	Pas d'impact sur le milieu naturel marin, sur l'étang du Prévost et ses marges Incidence sur Pierre-Blanche si utilisation du sable lagunaire Amélioration de la capacité d'amortissement des houles par l'augmentation de la largeur de plage Paysage : impact positif	Capacité d'accueil supérieure sur la plage (élargie) Pas de déplacement des infrastructures
Scénario 3 : recul stratégique	Pas d'impact sur le milieu naturel marin Amélioration de la capacité d'amortissement des houles par augmentation de la largeur de plage, Création d'une route en bordure d'étang dans la zone humide Paysage : impact positif pour le lido (caractère plus naturel)	Capacité d'accueil supérieure sur la plage (élargie) CAT : déplacement des activités (cultures) Camping : réduction de sa surface (-270 emplacements) Parking : recul et réaménagement Route : recul ; protection meilleure en cas de tempête
Scénario 4 : ouvrages en mer épis avec butées de pied	Risque de confinement des eaux (baisse de qualité) Faible impact sur le milieu biologique (hors période de travaux) Pas d'impact sur l'arrière-plage et l'étang du Prévost Impact paysager fort : fermeture de la vision, cloisonnement, aspect artificiel des enrochements	Maintien de la plage pas d'incidence sur les usages dans le Prévost Pas de déplacement des infrastructures ; meilleure protection
Scénario 5 : ouvrages en mer brise-lames	Littoral : Impacts sur la dynamique sédimentaire Emprise des ouvrages sur le milieu marin Risque de confinement des eaux (baisse de qualité) Paysage : fermeture partielle de la vision vers le large , aspect artificiel des enrochements	Capacité d'accueil supérieure sur la plage (élargie) pas d'incidence sur les usages dans le Prévost Pas de déplacement des infrastructures ; protection accrue

Secteur 1

Grille d'évaluation :

<i>Thèmes</i>				
<i>technique</i>	<i>faible ou nul</i>	<i>moyen</i>	<i>bon</i>	<i>très bon</i>
<i>impacts</i>	<i>négalif fort</i>	<i>négalif faible</i>	<i>positif faible</i>	<i>positif fort</i>
<i>coûts investissements</i>	<i>>10M€</i>	<i>>5M€</i>	<i>>2M€</i>	<i><2M€</i>
<i>réponse aux risques</i>	<i>peu satisfaisant</i>	<i>satisfaisant</i>	<i>très satisfaisant</i>	
<i>compatibilité avec les contraintes réglementaire et foncière</i>	<i>incompatible</i>	<i>peu compatible</i>	<i>compatible</i>	

Croisement du niveau du risque EROSION pour les 2 types d'enjeux socio-économiques et patrimoniaux :

Socio-éco	faible	moyen	fort
Patrimoine			
Faible	faible	moyen	fort
Moyen	faible	moyen	fort
Fort	moyen	moyen	fort

Croisement du niveau du risque SUBMERSION pour les 2 types d'enjeux socio-économiques et patrimoniaux :

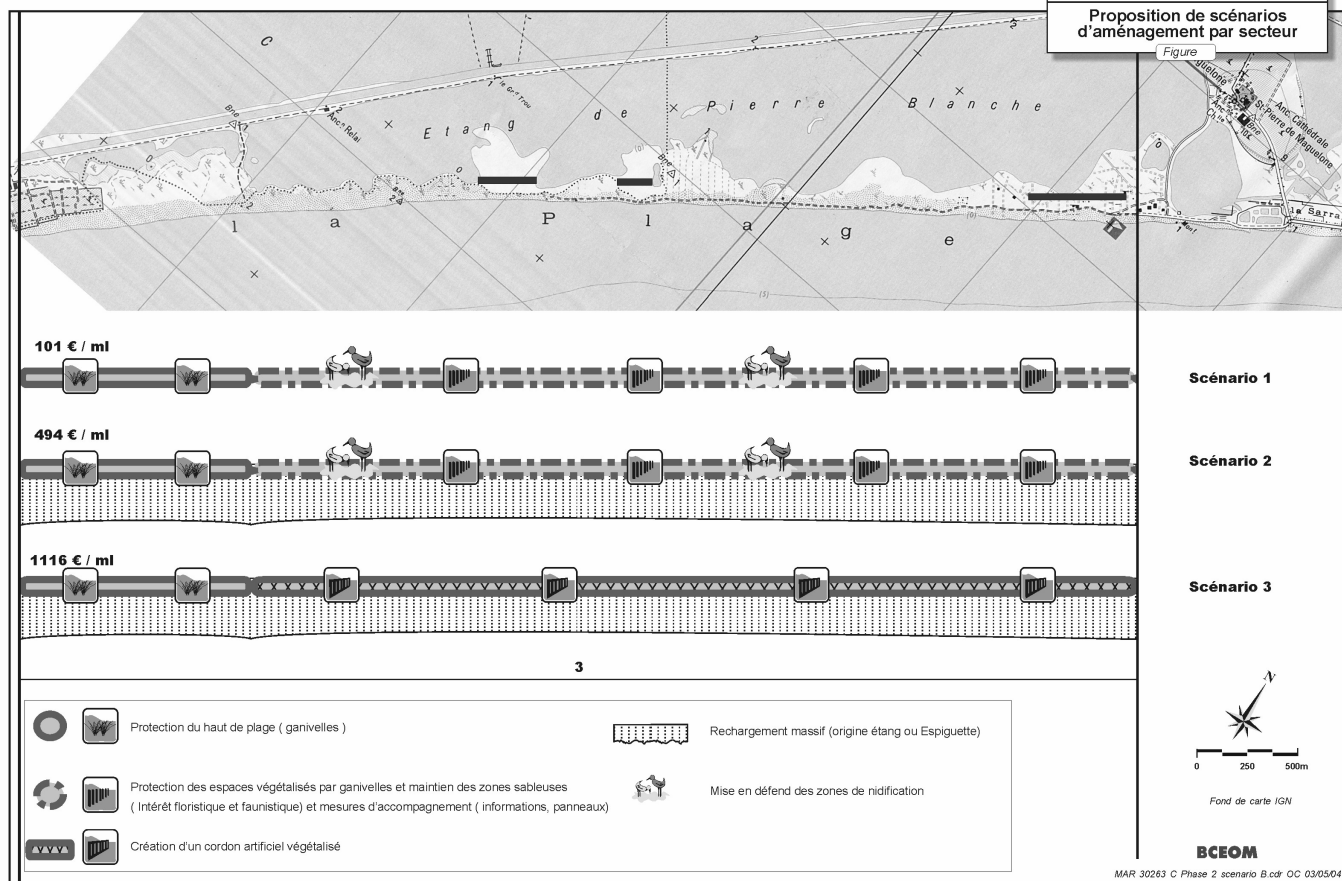
Socio-éco	faible	moyen	fort
Patrimoine			
Faible	faible	faible	moyen
Moyen	faible	moyen	fort
fort	moyen	moyen	fort

SECTEUR 1 PALAVAS	Critères	Scénario 1 cordon	Scénario 2 cordon + rechargement	Scénario 3 recul stratégique	Scénario 4 épis + butées de pied	Scénario 5 brise lames
ASPECTS TECHNIQUES	Performance/efficacité					
	Pérennité					
IMPACTS	Patrimoine naturel					
	Paysage (artificialisation)					
	Usages continentaux					
	Usages maritimes					
COUTS	Investissements*	1	2	3	5	4
	Fonctionnement					
*(coût croissant de 1 à 5)						
REPONSE AUX RISQUES	Erosion					
	Submersion					
COMPATIBILITE	Avec les orientations stratégiques	oui	oui	oui	non	non
	Avec le niveau de contraintes (réglementaires et fonciers)					

Secteur 2

Etude générale pour la protection et la mise en valeur du littoral de Frontignan et de villevieure-les-Maguelone

Proposition de scénarios d'aménagement par secteur



SECTEUR 2	Effets environnementaux et paysagers	Effets sur les usages
Scénario 1 : protection longitudinale + drains	Pas d'impact sur le milieu naturel marin Mise en place d'un pompage (couplé CAT et système de drains ?) avec rejet d'eau salée (dans la Sarrazine ou Pierre-Blanche ou bassins du CAT ou en mer) Impact visuel négatif des enrochements en haut de plage	Maintien voir élargissement de la plage Accès à la plage et à Maguelone inchangé : chemin sur le lido maintenu Activités du CAT maintenues
Scénario 2 : protection longitudinale + rechargement en sables	Pas d'impact sur le milieu naturel marin dynamique littorale : amélioration de la capacité d'amortissement des houles par l'augmentation de la largeur de plage, Zones humides au sud de Maguelone conservées Incidences sur Pierre-Blanche si utilisation du sable lagunaire Impact visuel négatif des enrochements	Capacité d'accueil supérieure (plage élargie) Accès à la plage et à Maguelone inchangé : chemin sur le lido maintenu Activités du CAT maintenues
Scénario 3 : recul stratégique	Pas d'impact sur le milieu naturel marin Amélioration de la capacité d'amortissement des houles par augmentation de la largeur de plage , Réduction de l'étang de la Sarrazine et des marais adjacents ; Pas d'incidence sur les étangs de Prévost et Pierre-Blanche Paysage : Amélioration, aspect plus naturel	Capacité d'accueil supérieure sur la plage (élargie) CAT ; déplacement de l'activité aquacole Centre aéré et habitation voisine : déplacement nécessaire contraintes : classement (site de Maguelone), terrains privés
Scénario 4 : ouvrages en mer épis + butée	Impacts sur la dynamique sédimentaire : modification du transit littoral Risque de confinement des eaux entre les épis (baisse de qualité) Impact paysager fort	Maintien de la plage Pas de déplacement des infrastructures Contraintes : classement (site classé de Maguelone) ; non conforme aux orientations stratégiques (mission Littoral)
Scénario 5 : ouvrages en mer brise-lames	modification des conditions hydrodynamiques ; création d'un tombolo en arrière des ouvrages modification locale du milieu naturel sur la zone d'emprise des ouvrages Incidences sur Pierre-Blanche si utilisation du sable lagunaire fermeture de la vision vers le large (atténué pour les brise-lames partiellement immergés), aspect artificiel des enrochements	Capacité d'accueil supérieure sur la plage (élargie) Pas de déplacement des infrastructures (CAT, centre aéré, poste de secours, chemin) Contraintes : classement ; non conforme aux orientations stratégiques (mission Littoral)

SECTEUR 2 MAGUELONE	Critères	Scénario 1 maintien des enrochements + drains	Scénario 2 maintien des enrochements + rechargement	Scénario 3 recul stratégique	Scénario 4 épis + butées de pied	Scénario 5 brise lames
ASPECTS TECHNIQUES	Performance/efficacité	■	■	■	■	■
	Pérennité	■	■	■	■	■
IMPACTS	Patrimoine naturel	■	■	■	■	■
	Paysage (artificialisation)	■	■	■	■	■
	Usages continentaux	■	■	■	■	■
	Usages maritimes	■	■	■	■	■
COUTS	Investissements	3	2	1	4	5
	Fonctionnement	■	■	■	■	■
*(coût croissant de 1 à 5)						
REPOSE AUX RISQUES	Erosion	■	■	■	■	■
	Submersion	■	■	■	■	■
COMPATIBILITE	Avec les orientations stratégiques	oui	oui	oui	non	non
	Avec les contraintes réglementaires et foncières	■	■	■	■	■

La plage des Aresquiers sur la commune de Frontignan (Hérault) est caractérisée par un fort recul. Les deux restaurants (Le May Flower et L'Escale) construits sur cette plage après la Seconde Guerre Mondiale ont été victimes de l'érosion. Comme aucun exemple de recul stratégique n'a encore été testé en Septimanie Languedoc-Roussillon, on va essayer d'imaginer ce qui serait advenu de ce site si en 1950 la décision d'un repli stratégique avait été prise. L'objectif est de démontrer que le repli stratégique à lui seul ne suffit pas mais qu'il faut l'entourer de mesures d'accompagnement permettant sa pérennité.



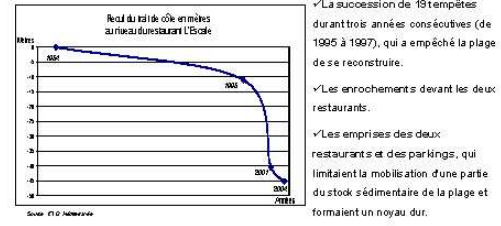
Chronologie des événements survenus sur la plage des Aresquiers

1978	Acquisition du site des Aresquiers par le Conservatoire du Littoral, qui autorise le maintien des deux établissements, gérés par les mêmes propriétaires.	1952	
Septembre 1997	Démolition de la partie du May Flower située sur le DPM (demande du S.M.N.L.R.). Violation d'une des clauses du bail (reconstruction de la partie arrière du May Flower).	1952	
Sept ans après l'acquisition du site, les habitants peuvent revenir à la plage sans construction en dur.		1951	
Juillet 1998	La commune de Frontignan entame une procédure d'immeuble menaçant ruine (Tribunal d'instance de Sète).	2000	
13 mars 2002	La rupture du bail du May Flower est prononcée par le Conservatoire du Littoral, dans l'objectif de le détruire. Début de la procédure de démolition. Procédure d'autant plus lourde que l'on est sur un site classé.	2003	
11 février 2003	La reconstruction de la terrasse de L'Escale emportée par la tempête de 2002 n'est pas autorisée (courrier du S.M.N.L.R. à destination des propriétaires).	2003	
23 mai 2003	Deux procès verbaux de contravention de grande voirie sont dressés pour occupation sans titre du DPM et pour obstacle à la libre circulation des usagers et à la continuité du service public (S.M.N.L.R.).	2003	
12 juin 2003	Arrêté de mise en demeure pour cause de dangers graves et imminents résultant d'accidents naturels, qui oblige la destruction du May Flower (Mairie de Frontignan).	2003	
4 novembre 2003	Le May Flower est démantelé.	2003	
Février 2004	Nouveau procès verbal pour le réaménagement de la terrasse de L'Escale suite aux tempêtes de 2003 (S.M.N.L.R.).	2003	
4 mars 2004	Commandement de quitter les lieux aux gérants délivré par le Conservatoire du Littoral. Rupture du bail de L'Escale.	2003	
8 juin 2004	Ordonnance d'expulsion envers les gérants de L'Escale (Tribunal de Grande Instance de Montpellier).	2004	
6 avril 2005	Démolition de L'Escale (sans indemnisation) et enlèvement des enrochements.	2005	

50 ans d'évolution du rivage



L'érosion s'est accélérée depuis 1995. Entre 1995 et 2001 le recul moyen du trait de côte par an était de 4 mètres au droit de L'Escale (il était inférieur à 0,3 m entre 1954 et 1995, et de 1,7 m entre 2001 et 2004). Localement, cette accélération de l'érosion peut s'expliquer par :



« La succession de 19 tempêtes durant trois années consécutives (de 1995 à 1997), qui a empêché la plage de se reconstruire.

« Les enrochements devant les deux restaurants.

« Les emprises des deux restaurants et des parkings, qui limitaient la mobilisation d'une partie du stock sédimentaire de la plage et formaient un noyau dur.



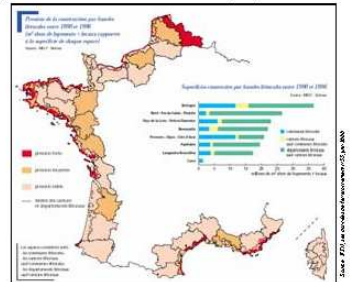
Quelle est la part du phénomène naturel dans la démolition de ces deux établissements par rapport aux actions judiciaires ?

Jusqu'où pouvons-nous reculer et à quel prix : Pistes de réflexion et éléments de réponse

La loi littoral a instauré une bande inconstructible de 100 mètres à partir de la limite haute du rivage en dehors des espaces urbanisés. Cette mesure peut aujourd'hui être considérée comme participant à la politique de repli stratégique face aux problèmes d'érosion.

Si nous considérons le taux annuel moyen d'érosion le plus fort au droit de L'Escale, la bande des 100m aurait été grignotée en 25 ans. Peut-on accepter de reculer des constructions pour une durée de 25 ans ? A travers le Plan local d'urbanisme, il est possible d'agrandir la largeur de cette bande si la sensibilité des milieux à l'érosion le justifie.

La consommation d'espaces induite par le repli stratégique dans des zones soumises à de fortes pressions (foncière et touristique) induit de nombreuses difficultés à sa mise en pratique.



Comme tout projet, le repli stratégique :

- ✓ nécessite une **volonté et une implication politique fortes**,
- ✓ exige des **études approfondies sur le taux d'érosion et son évolution dans le temps en fonction des scénarii proposés**,
- ✓ requiert une **campagne de communication et d'information** pour que la mesure soit acceptée par la population.

Comme tout projet, le repli stratégique ne se suffit pas forcément à lui-même. Il n'est vraiment efficace que si il est **associé à une restauration** des sites abandonnés, permettant :

- ✓ qu'**aucun impact négatif ne se propage sur les secteurs situés en aval** de la dérive,
- ✓ que le site retrouve une **qualité paysagère** tendant vers une re-naturalisation.

Mais le repli stratégique est surtout la solution la plus adaptée en ce qui concerne :

- ✓ la **garantie de l'efficacité**,
- ✓ la **pérennité**.

Si on avait mis en place le recul stratégique en 1950, il aurait fallu l'accompagner par des mesures d'entretien de la plage: par exemple des rechargements plantés coordonnés et suivi dans le temps.

Le lido de l'étang de Thau

D. Présentation générale du lido

E. Aménagements récents

F. Discours de Monsieur François Commeinhes, Maire de Sète, à l'occasion de l'inauguration de la plage de Villeroy

Le lido de l'étang de Thau (Paul DURAND)

I. Plan

1. Le contexte morpho-dynamique
 - a. Formation du lido
 - b. Morphologie du lido
 - c. Equipements et ouvrages de protection sur le lido
 - d. Modalités d'action des agents morpho-dynamiques
2. L'évolution du lido au 20^{ème} siècle
 - a. L'évolution à long terme
 - b. Les variations à court terme liées aux tempêtes
3. Perspectives d'évolution
 - a. Analyse prévisionnelle de l'évolution
 - b. Quelques pistes pour la protection du lido

II. Le contexte morpho-dynamique

II.1. Formation du lido

Le lido étroit qui barre l'étang de Thau s'étire sur environ 18 km de long entre le Cap d'Agde et Sète. Il s'enracine au Sud-Ouest sur les petites falaises basaltiques qui constituent la côte (sur 1 km environ) entre le cap et la plage du Môle et au Nord-Est sur le promontoire rocheux du Mont Saint-Clair. Ce lido s'est formé progressivement depuis la fin de la transgression holocène (5000 B.P environ). Entre cette époque et le haut Moyen-Age, un des trois bras du Rhône, le Rhône d'Albaron, coulait vers l'ouest jusqu'au bassin de Maugio – Thau – ces étangs ne formaient alors qu'un seul bassin qui devait communiquer avec la mer par l'intermédiaire de plusieurs graus – où il se déversait par " la bouche espagnole ". A partir du Haut Moyen Age, ce bras a été progressivement abandonné et les flèches littorales ont lentement évolué en lido, isolant plusieurs lagunes de la mer. L'achèvement du cordon qui barre l'étang de Thau ne serait intervenu qu'au XIV^{ème} siècle mais ce n'est qu'à partir du XVIII^{ème} qu'il a été accessible au transit entre Sète et Agde.

II.2. Morphologie du lido

A l'état naturel (fig. 1), le lido qui barre l'étang de Thau associe une avant-dune de 5 m de haut au maximum – mais qui a été le plus souvent tronquée voire complètement arasée – à une plage large de quelques dizaines de mètres environ, voire un peu plus dans la partie nord-est de la commune de Marseillan, et dont la granulométrie est assez fine (D50 variant de 0,2 à 0,5 mm). La plage sous-marine a une pente globalement assez faible (0,97 % en moyenne sur l'ensemble du lido), un caractère dissipatif assez prononcé (valeurs du paramètre ϵ assez fortes) et elle comporte seulement deux barres faiblement ondulées ou rectilignes. A l'extrémité orientale du secteur, à la hauteur de la plage de la Corniche à Sète, le système a même évolué, au cours de ces dernières années, vers un système à une seule barre dans la partie ouest de la plage et sans barre dans la partie est (BARUSSEAU *et al*, 1994).

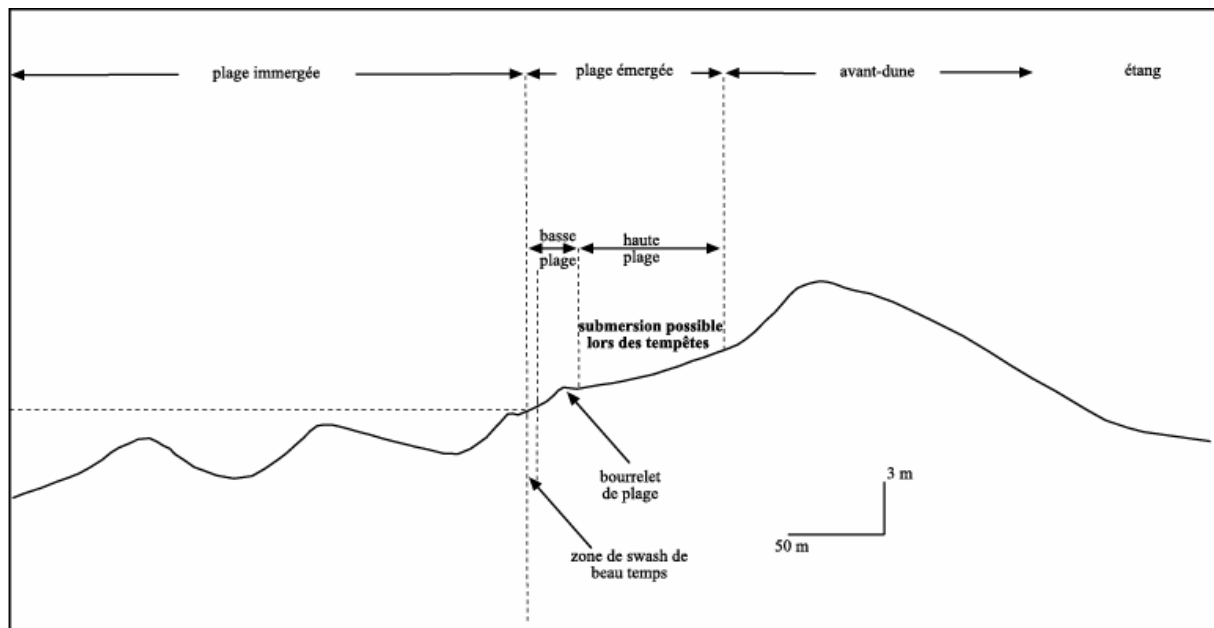


Fig. 1 Schématisation du profil du lido à l'état naturel

II.3. Equipements et ouvrages de protection sur le lido

Le lido est très dégradé car l'avant-dune est tronquée sur toute sa longueur par l'ancienne route nationale 112, construite dans les années 1920-1930 sur le haut du revers de la dune : la forme du bourrelet originel reste cependant encore discernable (photo 1) sauf à la hauteur de la plage de la Corniche à Sète.

Le cordon littoral est également largement protégé par des digues en enrochements associées à des épis et des brise-lames aux extrémités orientales et occidentales du secteur (photo 2) et à deux batteries de 3 épis situées respectivement à 3,5 et 4,5 km au sud-ouest de la plage de la Corniche, la deuxième batterie étant composée d'épis perméables en pieux mis en place à titre expérimental en 1993 (photo 3). La survie de ce cordon littoral est vitale d'un point de vue économique puisque, outre les aménagements touristiques de Marseillan et du Cap d'Agde, il supporte deux axes de communication majeurs, la voie ferrée Bordeaux-Sète et l'ancienne route nationale 112. C'est parce que cette dernière a été construite beaucoup trop près du trait de côte qu'on a finit par protéger, à partir des années 1970, une grande partie du linéaire côtier.



Photo 1 L'avant-dune est tronquée par la route, mais la forme du bourrelet dunaire reste discernable



**Photo 2 Vue aérienne des épis et brise-lames de la plage de la Corniche à Sète (cliché IGN, 1997)
La plage a disparu entre certains de ces ouvrages**



**Photo 3 Epis perméables en pieux, 3,5 km au sud-ouest de la plage de la Corniche
(cliché H. Heurtefeux, 1997)**

II.4. Modalités d'action des agents morpho-dynamiques

II.4.a. Les vents

Le littoral occidental du golfe du Lion est caractérisé par une nette prédominance des vents de terre sur les vents marins (fig. 2). Les vents de terre ont deux provenances principales :

- une provenance NNW (300 à 340°) : c'est la tramontane, qui représente un gros tiers des vents de terre à Sète (36 %). Sa vitesse moyenne est très élevée (10 m/s) ;
- une provenance NE : c'est le mistral, qui représente environ 15 % des vents de terre au Cap d'Agde et à Sète. S'il est moins violent que la tramontane, sa vitesse maximale peut tout de même approcher les 30m/s à Sète.

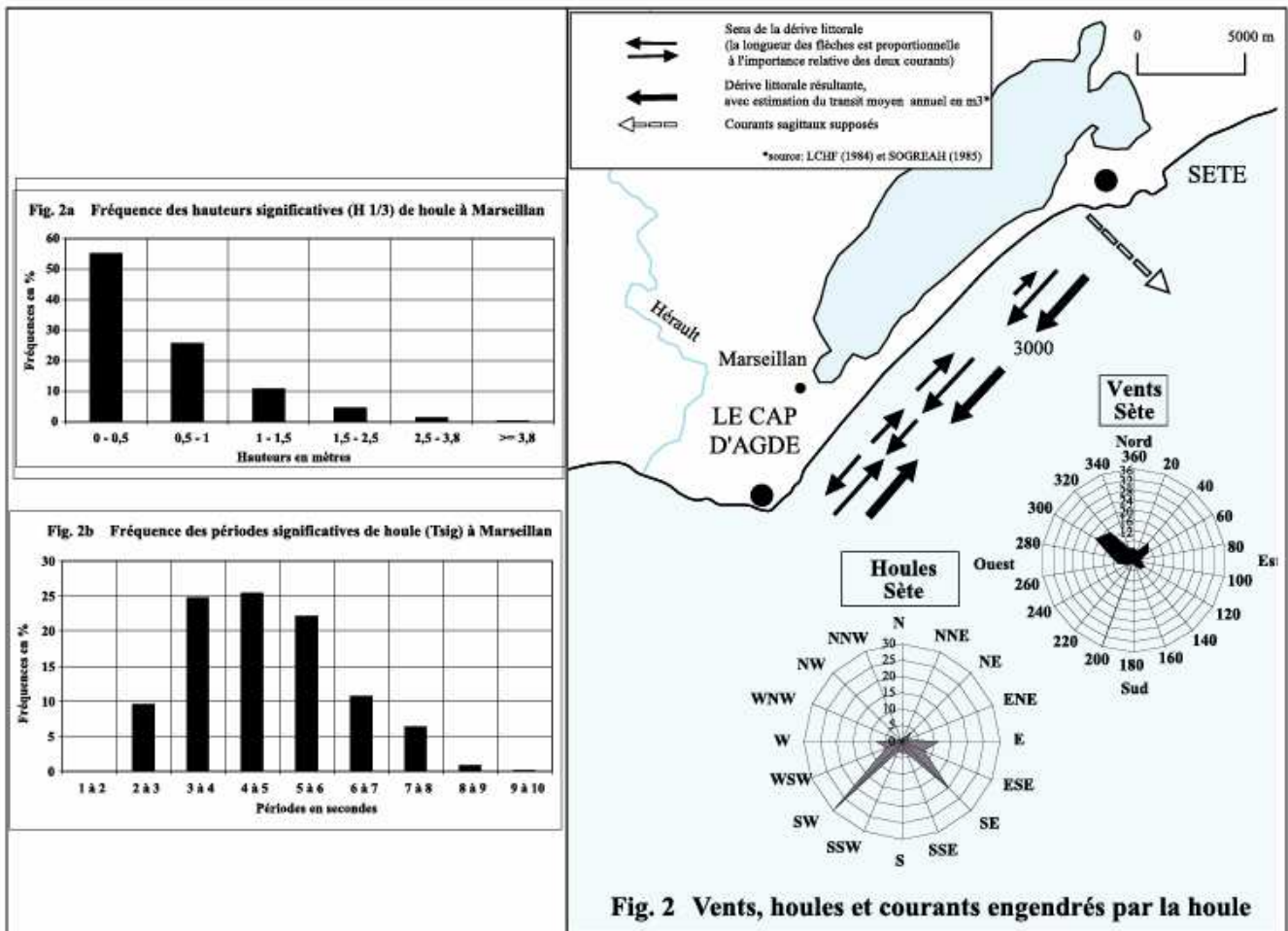
Les vents de mer représentent quant à eux environ un quart des vents. Ils proviennent essentiellement du SE (120° à 140°). Leur vitesse moyenne est nettement moins élevée que celle des vents de terre mais ils peuvent néanmoins souffler tout aussi violemment : ainsi, lors de la tempête de décembre 1997, ils ont atteint les vitesses extrêmes de 40m/s à Sète. Le record absolu pour cette dernière station est d'ailleurs détenu par un vent marin (de SSE) : 46 m/s lors de la tempête de novembre 1982.

II.4.b. Les houles

provenance des houles

Dans l'ouest du golfe du Lion, la provenance des houles varie selon qu'elles ont été engendrées par des vents de mer ou de terre (fig. 2) :

- les houles engendrées par les vents marins proviennent des secteurs Est à Sud. Elles représentent 35 % des houles à Sète sur la période 1964-1966. Les plus fréquentes d'entre elles proviennent du Sud-Est.
- les houles engendrées par les vents de terre proviennent des secteurs NE à Est et Ouest à SW. Les houles de NE et E sont engendrées par le mistral : elles sont formées dans le petit golfe qui s'étend de Sète au delta du Rhône. Les houles locales les plus répandues proviennent du SW (28 % du total en 1964-1965) et elles sont créées par l'ensemble des vents de secteur ouest, la tramontane étant le principal d'entre eux. Par phénomène de réfraction, elles sont d'orientation SSW lorsqu'elles abordent le rivage.



II.4.c. Hauteurs et périodes des houles

Les enregistrements de la bouée datawel de Marseillan sur 10 ans (fig. 3) révèlent que plus de la moitié des houles ont une hauteur significative (H_{sig}) < 0,5 m., 80 % < 1 m. et 92 % < 1,5 m. Les très fortes houles sont exceptionnelles : les H_{sig} comprises entre 2,5 m. et 3,8 m. (comprises entre 6 et 8 s.) ne représentent que 2 % des mesures et les $H_{sig} \geq 3,8$ m., 0,25 %, ce qui équivaut à environ un jour par an. Les périodes les plus fréquentes sont comprises entre 3 s et 6 s (72 %) ; les périodes élevées, qui correspondent aux vagues les plus hautes, (>7 s) sont rares (fig. 4).

Les tempêtes peuvent toutefois être très violentes comme le montre l'analyse de la fréquence et de la force des tempêtes entre 1989 et 1998. Les épisodes de tempêtes ont été individualisés en fonction des paramètres suivants : $H_{sig} \geq 1,5$ m, vents marins ≥ 11 m/s et surcote ≥ 30 cm. L'énergie libérée par les houles lors de ces tempêtes a été calculée en reprenant une méthode développée par JIMENEZ et SANCHEZ-ARCILLA (1994) en vertu de laquelle l'énergie de chaque événement est ainsi exprimée en W/m/mn (fig. 5). Il apparaît ainsi que de 1989 à 1998, le littoral de Marseillan a connu 12 tempêtes :

- la plus forte tempête entre 1989 et 1998 à Marseillan s'est produite entre le 16 et le 19 décembre 1997 (558000 W/m/mn). D'occurrence vingtennale d'après le S.M.N.L.R., elle a duré 84 heures, avec une *Hsig* et une *Tsig* moyennes respectivement de 3,80 m et de 7,87 s, la *Hsig* maximale atteignant 6,98 m (avec une *Hmax* de 10,81 m). Les vents de SE ont soufflé à plus de 20 m/s de moyenne, avec des pointes atteignant 40 m/s à Sète, où le niveau d'eau a atteint la cote de 1,06 m N.G.F., soit une surcote de 0,72 m. La valeur est cependant ici nettement en-dessous de celle de la tempête de novembre 1982 (1,35 m N.G.F. à Sète, soit une surcote de 1,05 m). Les impacts morphogéniques de cette tempête (submersions et érosions spectaculaires dans certains secteurs) ont néanmoins été considérables.
- la tempête du 16 au 20 novembre 1989, si elle n'a pas atteint le niveau de celle de décembre 1997, n'en a pas moins été très violente (447000 W/m/mn) ; La valeur maximale de *Hsig* a été de 4,82 m et la cote enregistrée au marégraphe de Sète de 0,95 m N.G.F.
- enfin, au cours de l'automne 1995 et l'hiver 1995-1996, le littoral a essuyé 7 tempêtes successives, moins fortes que les précédentes, mais dont la répétition a certainement eu de gros impacts morphogéniques.

Figure 3 :
Classification des
tempêtes à Marseillan de
1989 à 1998

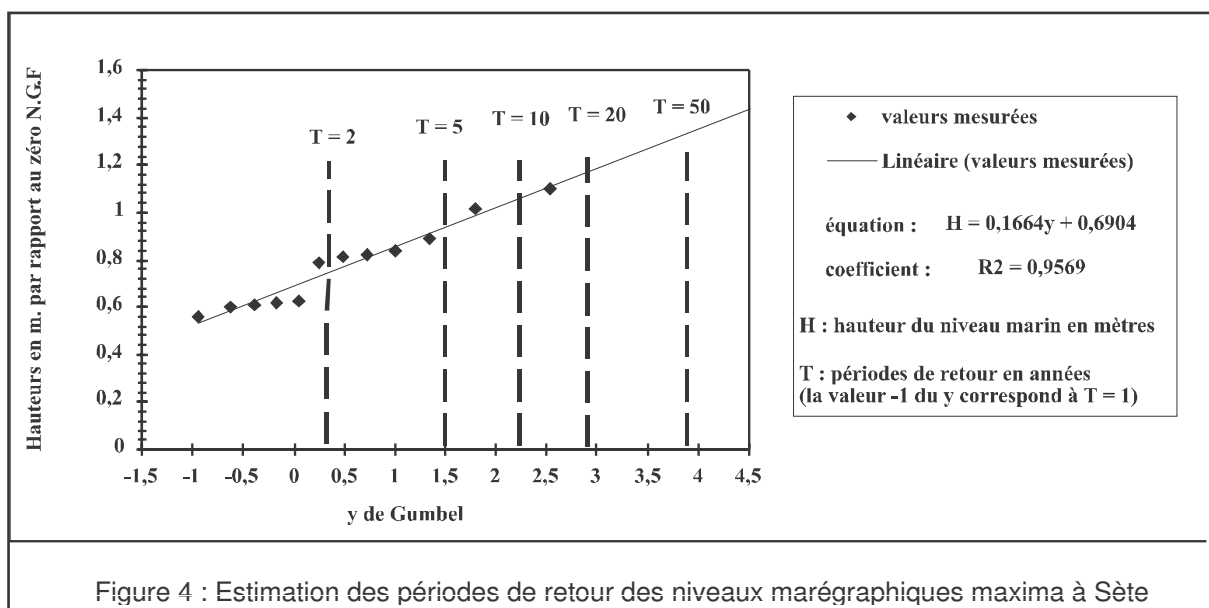
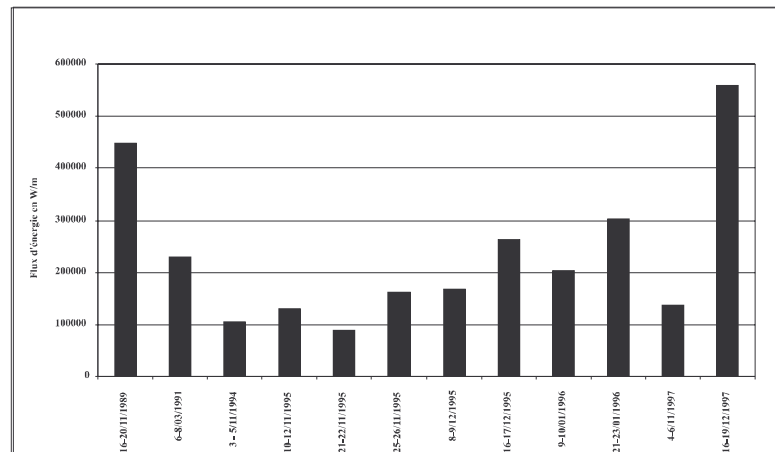
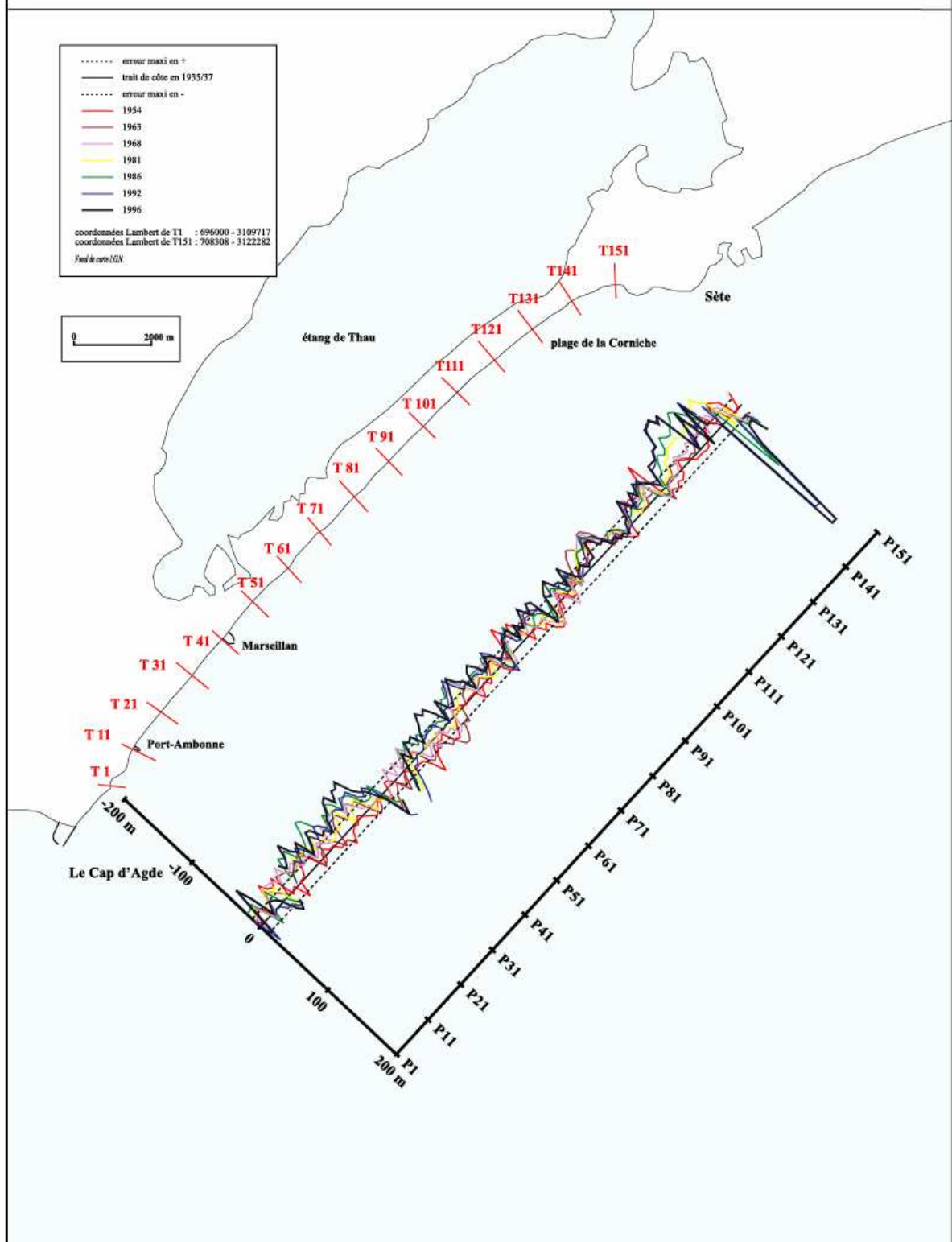


Figure 4 : Estimation des périodes de retour des niveaux marégraphe maxima à Sète

FIG. 5 EVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE ENTRE LE CAP D'AGDE ET SETE
DEPUIS 1935/37



Les courants liés à la houle

La dérive littorale (fig. 2)

Le lido de Sète au Cap d'Agde forme une cellule hydro-sédimentaire, isolée des secteurs adjacents, en l'occurrence les littoraux situés au NE du Mont Saint-Clair et au SW du Cap d'Agde. Il ne bénéficie d'aucun apport sédimentaire en provenance de ces secteurs (DURAND, 1999) et est caractérisé par une exposition quasi frontale face aux houles dominantes de SE, à priori peu favorable à l'affirmation claire d'un transit résultant. Pourtant, des expériences par traceurs radioactifs réalisées dans la partie centrale du lido par le Laboratoire de sédimentologie de Perpignan, entre octobre 1980 et mars 1981, ont fait apparaître une dérive résultante vers le SW. Toutefois, comme partout dans l'ouest du golfe du Lion, cette dérive est le fruit d'actions antagonistes puisque les premières détections ont montré une action temporaire vers le NE liée à des houles de secteur sud. En se fondant sur ces résultats, plusieurs études (L.C.H.F., 1984 ; RUEDA, 1985, S.O.G.R.A.H., 1985) généralisent le transit littoral résultant vers le SW à la totalité du linéaire côtier de Sète au Cap d'Agde en signalant que le transport a un gradient négatif du NE vers le SW, la dérive littorale perdant peu à peu de sa compétence à cause d'une diminution progressive de l'angle d'incidence des houles dominantes du SE en liaison avec l'infléchissement du tracé de la côte vers l'WSW. La S.O.G.R.E.A.H. avance d'ailleurs une estimation théorique du transit résultant NE-SW faible à Marseillan (3.000 à 8.000 m³ par an) alors qu'il serait compris entre 20.000 et 40.000 m³ par an à Sète – valeur qui paraît cependant excessive étant donné l'exposition quasi frontale du lido aux houles dominantes. L'hypothèse d'un gradient négatif du transport sédimentaire du NE vers le SW est toutefois confortée par l'observation des accumulations à proximité des ouvrages transversaux. Ainsi, on note un léger décrochage (de quelques mètres à 20 m selon les années) entre les plages situées de part et d'autre de la batterie de 3 épis implantée dans la partie orientale du lido, 3,5 km au sud-ouest de la plage de la Corniche, alors qu'à la hauteur du port de Marseillan, aucun décrochage notable n'est observable sur les photos aériennes récentes, et qu'à Port-Ambonne, on observe même un décrochage inverse (décrochage au SW des jetées par rapport au NE, observable sur toutes les photos aériennes récentes), témoin d'un transit résultant orienté ici vers le NE.

Les courants de retour (fig. 2)

D'une manière générale, l'exposition frontale du lido de Sète au Cap d'Agde face aux houles dominantes de SE pourrait être à l'origine de courants de retour, se produisant particulièrement lors des tempêtes, le très faible angle d'incidence des vagues à la côte favorisant les échanges transversaux d'eau et de sable au détriment des échanges longitudinaux (dérive littorale). BARUSSEAU et al (1991) supposent d'ailleurs l'existence de courants de retour à la hauteur de la plage de la Corniche à Sète, à l'endroit où disparaît une des deux barres pré-littorales et où la plage n'est pas encore protégée par des brise-lames.

La marée

Caractères généraux de la marée

Dans l'ouest du golfe du Lion, le régime marégraphique est de type microtidal semi-diurne. Le marnage est faible : les niveaux moyens mensuels oscillent entre -5 et 38 cm à Sète (DURAND, 1999). Cette faible amplitude rend les courants alternatifs engendrés par la marée quasi inexistant : ils n'interviennent pas dans le processus de sédimentation. En revanche, les vagues peuvent attaquer le trait de côte à peu près toujours au même niveau, ce qui renforce leur efficacité. Les oscillations du niveau marin liées aux variations de pression atmosphérique et aux vents sont beaucoup plus marquées que celles de la marée astronomique. Elles sont à l'origine de surcotes (marée observée supérieure à la marée prédite) ou de décotes (phénomène inverse). Ainsi, un changement de pression d'un hectopascal engendre théoriquement une variation corrélative du niveau du plan d'eau de 1 cm. De même, les vents peuvent être à l'origine de variations très importantes s'échelonnant entre -0.50 m N.G.F. lors des épisodes prolongés et violents de vents de terre et 1,45 m N.G.F. lors des tempêtes de SE.

Périodes de retour des surcotes (fig. 4)

Les fréquences de retour des surcotes ont été calculées à partir des enregistrements du marégraphe de Sète entre 1987 et 1998. Les périodes de retour ont été déterminées à partir de la hauteur maximale atteinte par la marée pour chacune des 12 années disponibles grâce à la loi statistique de GUMBEL. Même si la taille restreinte de l'échantillon limite la portée de l'analyse (il est admis qu'au-delà de trois fois la longueur de la série, les résultats ne sont plus très significatifs), on peut néanmoins tirer quelques enseignements intéressants de cette démarche. Ainsi apparaît-il que les périodes de retour de 2 et 5 ans correspondent respectivement à des niveaux de 0,75 m et 0,95 m N.G.F. Quant au niveau atteint par la tempête de décembre 1997 (1,06 m N.G.F, soit une surcote de 0,72 m), il aurait une période de retour d'environ 12 ans, ce qui paraît un peu faible par rapport au chiffre de 20 ans avancé par le S.M.N.L.R. ; en revanche, la tempête de novembre 1982 (1,35 m N.G.F., soit une surcote de 1,05 m) aurait une période de retour d'environ 50 ans, estimation cohérente avec celle qui est classiquement admise. En cas d'accélération de la remontée actuelle du niveau marin, estimée à Sète à 0.9 mm par an entre 1888 et 1958, la simple élévation linéaire du plan d'eau diminuerait de manière significative l'occurrence de ces événements exceptionnels : en prenant la valeur moyenne d'élévation de 0,48 m pour l'an 2100 (GORNITZ, 1995), les niveaux égaux à 1 m auraient une fréquence d'occurrence annuelle (contre environ 8 ans aujourd'hui) et la cote de 1,35 m N.G.F. atteinte en novembre 1982 une période de retour comprise entre 3 et 4 ans.

III. L'évolution du lido au 20ème siècle

III.1. L'évolution à long terme

Evolution du trait de côte entre 1937 et 1998 (fig. 5)

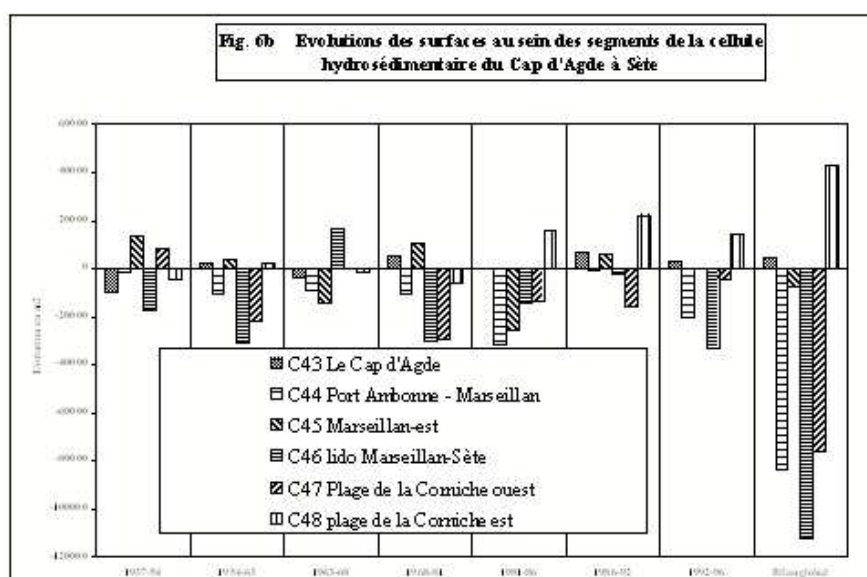
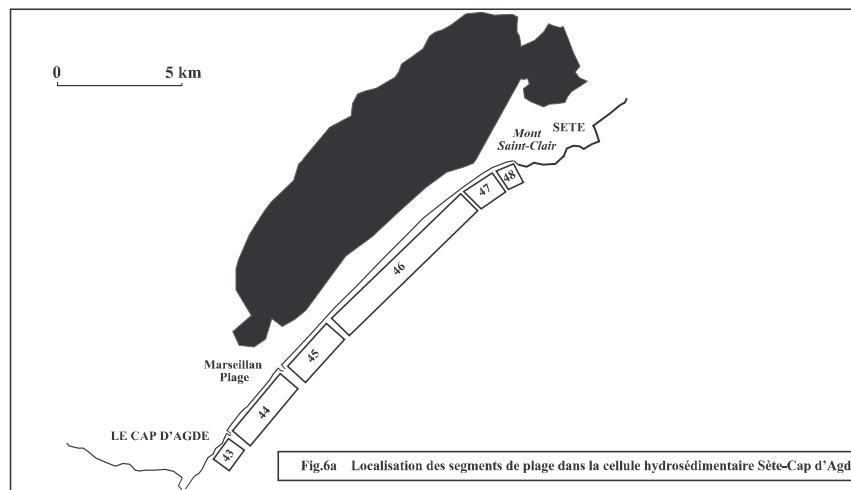
Prise dans son ensemble, l'évolution de ce secteur se traduit par une lente érosion depuis 1937, même si la position du trait de côte a pu enregistrer des fluctuations non négligeables entre les diverses dates des missions aériennes. Dans la partie centrale du lido (de T45 à T117), le recul est toutefois très limité ; certains petits secteurs sont même en légère accrétion depuis une trentaine d'années, comme entre le T108 et le T104, où la construction de 3 épis en aval-dérive en 1970 a entraîné une légère progradation de la plage (9 à 20 m de progression du T108 au T104 entre 1968 et 1996).

Les secteurs de Sète et de Marseillan sont en revanche plus touchés par l'érosion. Ce sont eux qui enregistrent les évolutions les plus notables, avec des reculs qui dépassent 50 m sur l'ensemble de la période (soit 0,9 m par an). Il en est ainsi de la plage de la Corniche, à Sète (T131 à T151), dont l'évolution est devenue très contrastée après 1968. La mise en place d'épis (entre 1968 et 1980) puis de brise-lames (après 1981) pour défendre les infrastructures implantées en bord de mer en est la cause directe : le recul très rapide de la partie occidentale de la plage au cours des trente dernières années (maximum de - 60 m de 1968 à 1996, soit près de 2 m par an) est le corollaire de la très forte progression enregistrée plus à l'est, en arrière du brise-lames principal (160 m de 1980 à 1996 soit plus de 10 m par an). Il a obligé les pouvoirs publics à déplacer (en 1990) la route nationale 112 entre les points T132 et T143 et à la reconstruire un peu en arrière, car elle était régulièrement endommagée lors des tempêtes. Un peu plus loin, la plage située entre Port-Ambonne et Marseillan (T13 à T37) est en recul assez net (jusqu'à - 50 m depuis 1937), excepté au voisinage immédiat du port de Marseillan, où la progradation quasi-symétrique du trait de côte de part et d'autre de l'ouvrage confirme l'absence de transit résultant dans ce secteur. En revanche, le décalage de part et d'autre du port de Port-Ambonne, avec accrétion au sud-ouest de l'ouvrage et érosion au nord-est, témoigne d'une résultante du transit vers le Nord-est.

Evolution de la plage en surface entre 1937 et 1998 (fig. 6)

La répartition des secteurs en érosion et en accrétion le long du lido a permis d'individualiser plusieurs segments de plage au sein desquels les évolutions en surface ont été calculées. Il apparaît que les segments S44, S46 et S47 sont en très fort déficit, tandis que les deux extrémités du cordon (en S43 et en S48) sont en accrétion. Dans ces deux petits secteurs, l'évolution est devenue positive depuis la mise en place d'équipements littoraux : au Cap d'Agde (S43), les jetées de Port-Ambonne, construites dans les années soixante-dix, ont sans doute favorisé l'accrétion, en interceptant une partie du transit résultant, légèrement orienté vers le Nord-Est dans ce secteur ; dans la partie orientale de la plage de la Corniche (S48), la mise en place de brise-lames, au début des années quatre-vingts, a entraîné une progradation très importante de la plage et une nette accélération du recul immédiatement au sud-ouest des ouvrages, en S47.

Prise dans son ensemble, l'évolution en surface du lido de Sète au Cap d'Agde est très déficitaire. En effet, le recul à la hauteur des segments S44 à S47 n'est absolument pas compensé par l'accrétion en S43 et en S48. Comme, par ailleurs, l'analyse des profils bathymétriques révèle que les petits fonds (jusqu'à -10 m), sont en érosion généralisée, on peut donc supposer que le système sableux de Sète au Cap d'Agde enregistre des pertes importantes vers le large, sous l'impact de courants de retour qui doivent être particulièrement actifs lors des tempêtes. En effet, l'absence d'apports sédimentaires en provenance des secteurs adjacents, l'exposition quasi-frontale face aux houles dominantes de Sud-Est, favorise très probablement une prédominance des dynamiques transversales (courants sagittaux, undertow) sur le transport longitudinal (dérive littorale).



Evolution de la plage sous-marine à l'échelle pluri-décennale (fig. 7 et 8)

L'évolution de la plage sous-marine a été évaluée à partir de la comparaison entre une carte bathymétrique de 1957 et des profils bathymétriques dressés par le SMNLR entre 1986 et 1998. Les évolutions sont exprimées en m³/ml.

On remarque que l'avant-plage est en érosion généralisée. Tout comme pour le linéaire côtier entre 1954 et 1996, l'érosion la plus forte est localisée au Nord-Est, à la hauteur des profils 36 et 35, situés dans la partie occidentale de la plage de la Corniche. Elle décroît dans la partie centrale du cordon (P34 et P33) et redevient un peu plus forte au Sud-Ouest, à Marseillan (P32), pour diminuer à nouveau à la hauteur de la plage de la Roquille, au Cap d'Agde (P30), où les petits fonds ont à peine reculé.

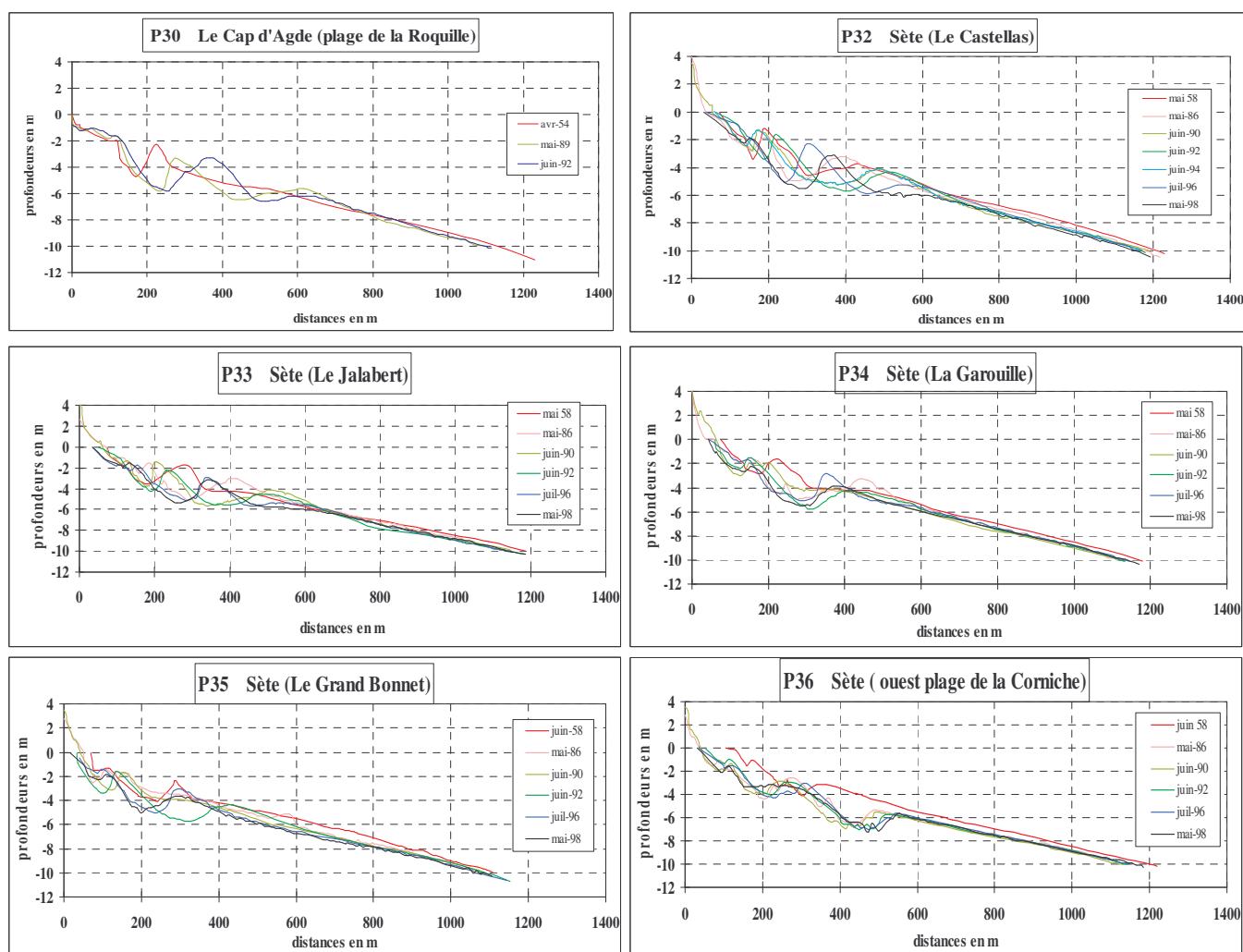
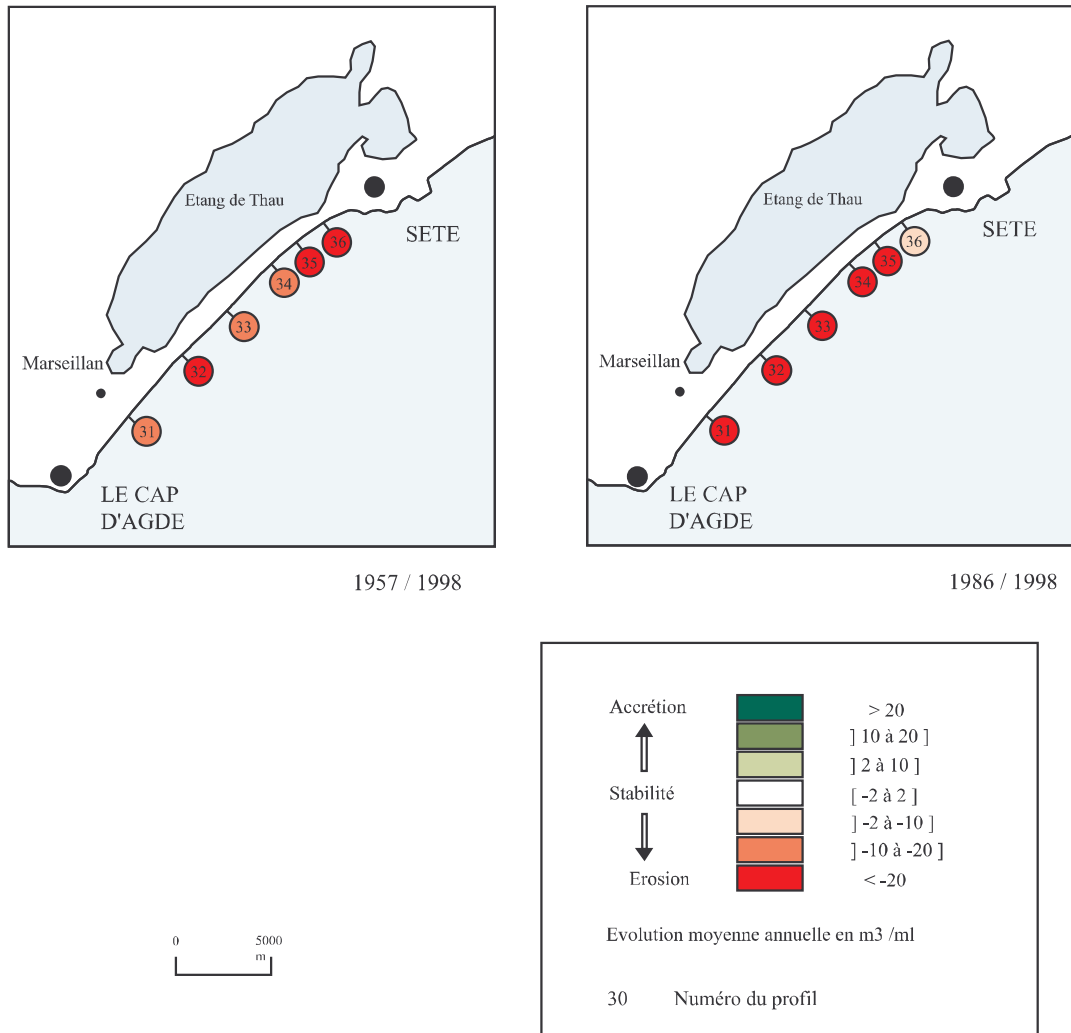


Figure 7 : Quelques profils bathymétriques

**FIG 8 BILANS SEDIMENTAIRE DES PROFILS BATHYMETRIQUES
DU CAP D'AGDE A SETE ENTRE 1957 ET 1998**

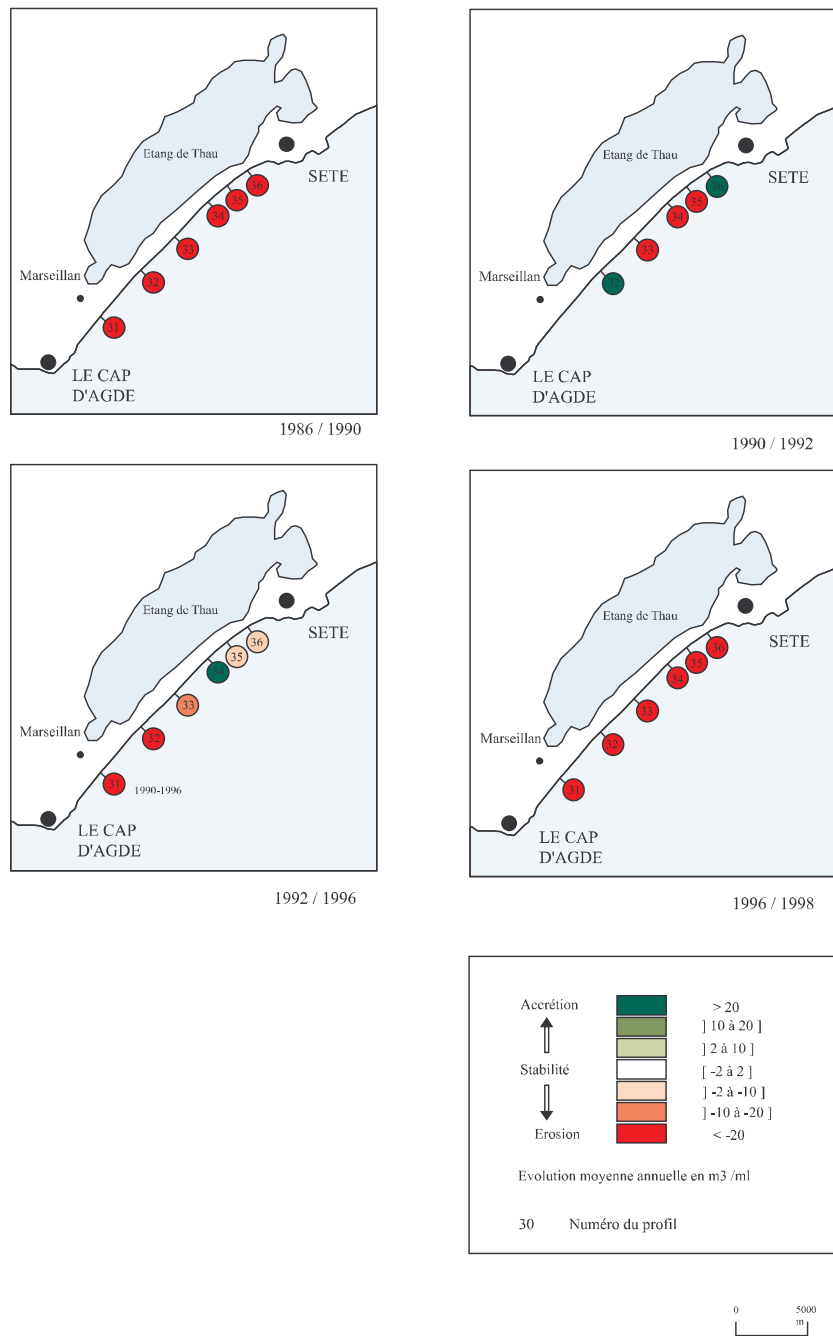


III.2. Les évolutions à court terme liées aux tempêtes

Evolutions pluri-annuelles de la plage sous-marine entre 1984 et 1998 (fig. 9)

L'examen des bilans sédimentaires entre les diverses campagnes bathymétriques réalisées entre 1984 et 1998 révèle une nette prédominance à l'érosion dont l'ampleur est fonction de la fréquence et de l'intensité des tempêtes : ainsi l'érosion généralisée observable de 1986 à 1990 et de 1996 à 1998 correspond aux années qui ont connu les deux plus fortes tempêtes (novembre 1989 et décembre 1997).

FIG. 9 BILANS SEDIMENTAIRES PLURIANNUELS DES PROFILS BATHYMETRIQUES DU CAP D'AGDE A SETE ENTRE 1986 ET 1998

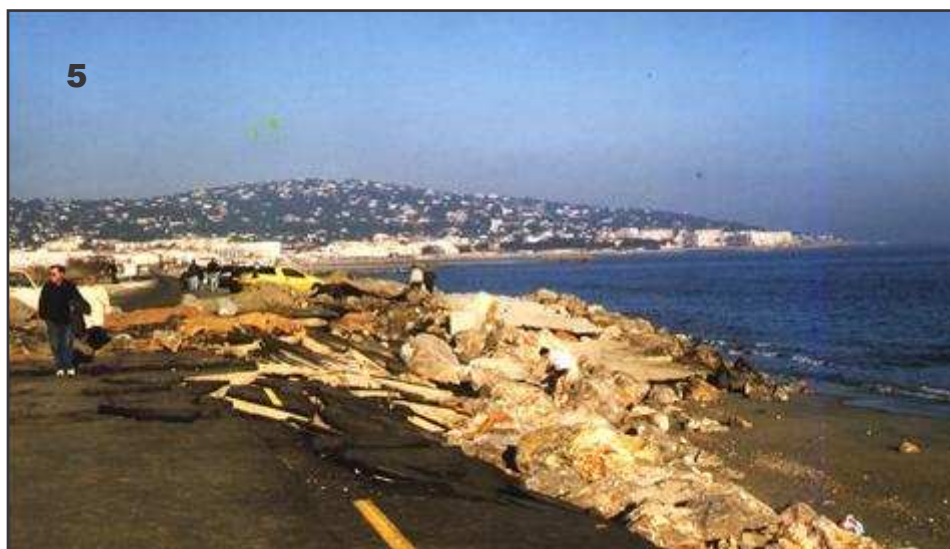


Evolution de la plage lors de la tempête de décembre 1997 (tableau 1 et photos 4 et 5)

La tempête survenue entre le 16 et le 19 décembre 1997 est une tempête de secteur ESE en Languedoc et SE dans le Roussillon. Elle a débuté le 16 décembre pour atteindre son paroxysme entre 18 h et 22 h le même jour. Elle s'est ensuite poursuivie, avec une moindre intensité, pendant trois jours à Marseillan et deux jours au cap Béar : la durée totale de l'épisode a été de 84 h à Marseillan et 60 h au cap Béar. C'est la plus forte tempête que le littoral ait connu depuis novembre 1982 (tab. 1). Mais sa période paroxysmique a été beaucoup plus courte (4 heures contre 15 en 1982).

HOULES (valeurs extrêmes relevées à Marseillan en m)	MAREGRAPHIE Cotes maxima par rapport au zéro N.G.F.	VENTS (vitesse maxi instantanée)	PRESSION ATMOSPHERIQUE	ENERGIE TOTALE LIBEREE (en W/m/mn)
Hsig 6,98 le 16 à 20h30 Hmax 10,81 le 16 à 20h30	Sète 1,06 le 17 à 9h Gruissan 1,45 le 17 à 9h Port-la-Nouvelle 1,15 le 17 à 10h Port-Barcarès Canet 1,2 le 17 à 8h 1,2 le 17 à 8h	Sète 133 km/h Cap-Leucate 180 km/h Cap Béar 151 km/h	Entre 1000 et 1015 HP	558.000 à Marseillan

Tab 1 Caractéristiques de la tempête de décembre 1997 dans l'ouest du golfe du Lion



Photos 4 et 5 : Impact de la tempête de décembre 1997 entre Sète et Marseillan

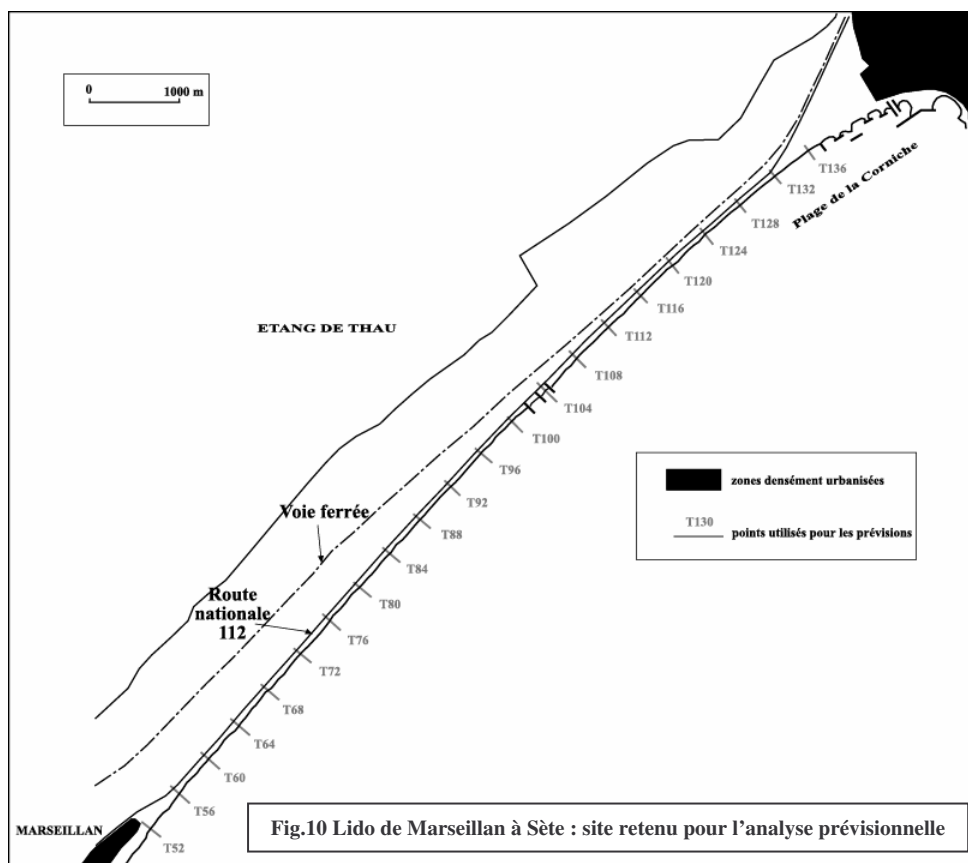
Sur le lido entre Sète et Marseillan, la tempête s'est avérée très destructrice (fig.9 et photos 4 et 5). Elle s'est traduite par une érosion généralisée de la plage et par un recul du trait de côte pouvant dépasser 30 m. Le démaigrissement en volume a été très important, supérieur à 30 m³/ml sur les 2 profils dressés à la Redoute du Castellans et en face du camping du Castellans – on remarque toutefois que la plage avait entièrement cicatrisé en avril 1998. La route a été coupée environ 5 km au SW de Sète et la plage a totalement disparu sur un linéaire côtier de près de 2 km. Ceci montre que ce secteur est très sensible lors des tempêtes, qui peuvent engendrer des reculs à court terme, avec cicatrisation dans les mois qui suivent, largement supérieurs aux reculs observés à long terme.

IV. Perspectives d'évolution

IV.1. Analyse prévisionnelle de l'évolution

L'analyse concerne le secteur du lido où le cordon dunaire est tronqué par la route nationale 112, depuis l'extrémité orientale de la commune de Marseillan (T52) jusqu'à la partie occidentale de la plage de la Corniche (T136), juste avant le secteur protégé par des brise-lames (fig. 10). Ce linéaire côtier d'un peu plus de 10 km de long est en lente érosion depuis 1937, sans toutefois que l'évolution ait été régulière. La position du trait de côte a enregistré de nombreuses fluctuations, mais dont l'amplitude et la durée sont très variables d'un point à l'autre (tab. 2).

Nous avons donc préféré nous en tenir à une seule série d'extrapolations, à partir de la période la plus longue (1935 à 1996). Les prévisions ont été effectuées tous les 4 points de mesure, soit tous les 500 m, selon 3 méthodes : points extrêmes (extrapolation du taux moyen annuel d'érosion observé entre 1937 et 1998), AOR (extrapolation des moyennes des taux annuels d'érosion date à date) et régression linéaire.



Les reculs prévus sont de faible ampleur (tab. 2). Hormis la partie occidentale de la plage de la Corniche (T132 et T136), ils n'excèdent pas 10 m à échéance de 10 ans et 32 m d'ici 2026. Cette tendance à une lente érosion est mise en évidence par la régression linéaire (fig. 11), qui, toutefois, ne permet pas d'obtenir d'extrapolations précises puisque la plupart des valeurs sont inférieures à la marge d'incertitude.

Points de mesure	Prévisions à échéance de 10 ans (2006) (en m)			Prévisions à échéance de 30 ans (2026) (en m)		
	Points extrêmes	AOR	Régression linéaire	Points extrêmes	AOR	Régression linéaire
T52	-1	-5	-6 +/-9	-12	-16	-12 +/-9
T56	-4	-11	9 +/-13	-13	-32	1 +/-13
T60	0	-4	4 +/-14	-1	-11	0 +/-14
T64	-3	-10	-10 +/-9	-8	-29	-18 +/-9
T68	-3	-8	-1 +/-6	-10	-24	-7 +/-6
T72	-3	-8	2 +/-8	-10	-25	-5 +/-8
T76	-2	-9	1 +/-8	-7	-27	-3 +/-8
T80	-3	-2	0 +/-13	-9	-5	-3 +/-13
T84	-3	-9	2 +/-7	-10	-28	-1 +/-7
T88	-2	-5	-2 +/-7	-7	-14	-8 +/-7
T92	-4	-5	5 +/-12	-11	-16	-2 +/-12
T96	-3	-5	0 +/-6	-9	-15	-6 +/-6
T100	-2	-8	3 +/-7	-5	-25	-1 +/-7
T104	-1	2	-11 +/-15	-2	5	-12 +/-15
T108	-4	-5	-9 +/-12	-11	-16	-15 +/-12
T112	-1	-3	-5 +/-7	-2	-10	-7 +/-7
T116	-1	-5	2 +/-6	-2	-16	0 +/-6
T120	-3	-1	-4 +/-10	-3	-4	-7 +/-10
T124	-4	-7	-8 +/-9	-11	-20	-15 +/-9
T128	-5	-9	3 +/-9	-14	-27	-7 +/-9
T132	-10	-14	0 +/-10	-29	-41	-19 +/-10
T136	-10	-17	-4 +/-13	-30	-50	-27 +/-13

NB : les cellules surlignées en gris correspondent à des résultats non significatifs

Tableau 2 Evolution future du lido de Marseillan à Sète par extrapolation de la tendance évolutive 1937 - 1996

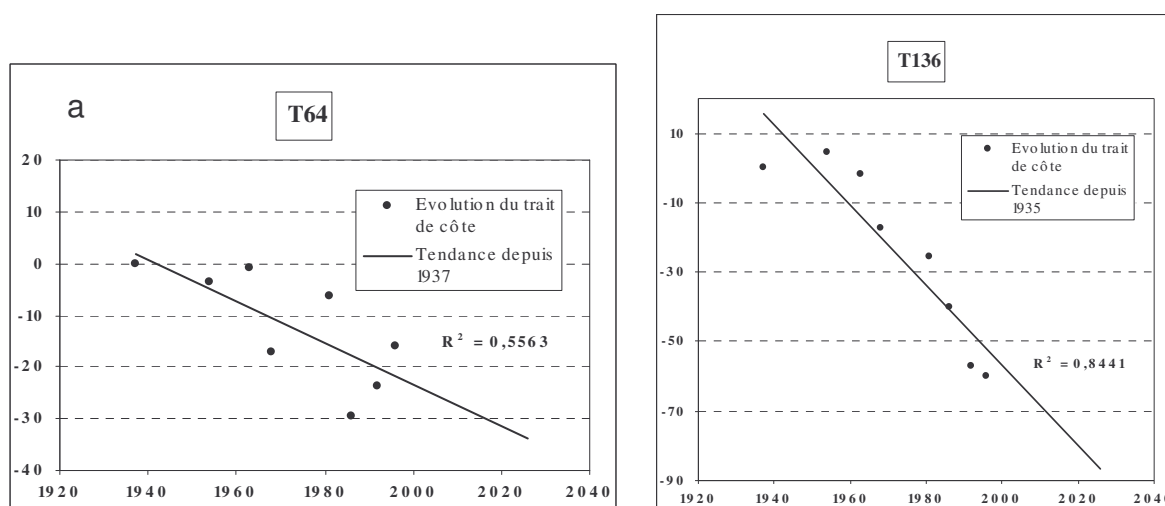


Figure 11 Deux exemples d'extrapolation de la tendance évolutive

Des deux autres méthodes, c'est l'A.O.R. qui aboutit aux reculs les plus importants car elle est sensible aux fluctuations enregistrées par la position du trait de côte entre les différentes missions aériennes. Dans les secteurs où l'évolution a été très irrégulière, avec une alternance de fluctuations positives et négatives (par exemple, en T64, fig. 11a), cela conduit peut-être à une exagération du recul. Par ailleurs, pour le point T108 (et, dans une moindre mesure, pour le T112), le recul prévu

semble contradictoire avec la légère tendance à l'accrétion qui se manifeste depuis les années soixante, en liaison avec les 3 épis construits en 1970 juste en amont-dérive, et qui interceptent une partie du transit résultant en provenance du nord-est dans cette partie du lido. En revanche, la méthode de l'A.O.R. est bien adaptée pour les endroits où l'évolution a été marquée par une accélération de l'érosion au cours des dernières décennies, puisqu'elle permet de prendre en compte ce phénomène. Il en est ainsi en T56, T60, et dans la partie occidentale de la plage de la Corniche, du T128 au T136, où le rythme du recul s'est accru à partir de 1981 en raison du déficit sédimentaire induit par la construction des brise-lames en amont-dérive, pour protéger la partie orientale de la plage. Dans ce secteur, le recul prévu par l'A.O.R. à échéance de 30 ans excéderait 40 m en T132 et T136, et approcherait 30 m en T128 ; selon la méthode des points extrêmes, il serait de 30 m en T132 et T136, et de 14 m en T128. Or, la largeur de la plage varie ici entre 25 et 30 m : comme le système ne peut reculer parallèlement à lui-même puisque l'avant-dune est tronquée par la route nationale 112 et protégée, sur son versant maritime, par un talus en enrochements, la plage est donc amenée à disparaître.

Toutefois, il s'agit du seul secteur où la plage est menacée au cours des 30 prochaines années. Ailleurs, l'ampleur relativement faible de l'érosion prévue ne met pas en péril l'existence de la plage. Dans la partie sud-ouest du lido, le recul maximal d'ici 2026 serait en effet de 32 m (en T56), alors que la plage fait actuellement de 50 à 60 m de large. Bien que cette largeur se réduise progressivement à une trentaine de mètres au fur et à mesure que l'on approche du secteur de la Corniche, le recul ne suffirait pas à faire disparaître totalement la plage. En fait, si l'érosion se poursuit à son rythme actuel, la menace pèse à plus long terme, de l'ordre de 50 à 60 années. En revanche, la plage peut très bien complètement disparaître lors de fortes tempêtes et se reconstituer par la suite. Il en a été ainsi en décembre 1997 dans toute la partie centrale et orientale du lido, où les vagues ont infligé de sévères dommages à la digue en enrochements qui protège la route nationale 112 et à la route elle-même. Dans la partie occidentale du lido, la plage n'a pas été complètement érodée, mais elle a tout de même reculé de 25 m en P68 et de 32 m en P69. **L'ampleur des variations à court terme de la plage sous l'impact d'événements exceptionnels peut donc être nettement supérieure au recul prévu d'ici 2026.**

IV.2. Quelques pistes pour la protection du lido (paragraphe rédigé en 1999)

L'évolution au cours des trente prochaines années du lido entre Marseillan et Sète, du T52 au T136, ne menace pas la plage de disparition complète, exception faite du secteur de la Corniche, entre le T128 et le T136. La menace pèse sans doute à plus long terme (50 à 60 ans).

Toutefois, la grande vulnérabilité du lido lors des tempêtes, qui peuvent entraîner la disparition complète de la plage, infliger de sévères dégâts à la route qui tronque le cordon dunaire, et même provoquer la submersion partielle des terrains situés juste en arrière, explique qu'il soit considéré comme très menacé, bien que le rythme de son recul soit assez lent. C'est pourquoi, lors des dernières années, plusieurs études pour la protection du littoral ont été menées. Or, compte tenu de la longueur du linéaire côtier considéré, il est clair que l'implantation d'ouvrages de défense de type épis ou brise-lames aurait un impact environnemental désastreux et un coût extrêmement élevé. Par exemple, suite aux dégâts occasionnés par la tempête de novembre 1982, la S.O.G.R.E.A.H. avait proposé à la commune de Sète un projet qui aurait consisté à implanter sur toute la longueur du linéaire côtier 25 brise-lames de 200 m de long et espacés de 200 m, pour un coût total avoisinant les 90 millions de francs. L'ampleur de la facture a fait reculer la municipalité de Sète à l'époque. La mise en place d'épis s'avérerait certainement moins onéreuse, mais elle n'assurerait sans doute qu'une protection limitée, en raison de la prédominance des dynamiques transversales (courants de retour) sur le transport longitudinal dans ce secteur : les pertes vers le large sont, selon toute vraisemblance, très importantes le long du lido. Par ailleurs, ce constat ne milite pas en faveur d'une solution "rechargements de plage". En effet, outre son coût vraisemblablement très élevé, cette dernière solution se heurterait au risque de dispersion rapide des apports artificiels sous l'effet des courants de retour.

Il faudrait alors envisager l'option radicale qui consisterait à déplacer la route en arrière du cordon dunaire, à supprimer tous les enrochements, et à reconstituer une avant-dune. Toutefois, cette mesure se heurterait à deux difficultés. Sur le plan technique, se poserait le problème du manque de place. Ainsi, on ne peut raisonnablement envisager de reconstruire la route qu'entre sa position

actuelle et la voie ferrée, car au delà de cet axe de communication, les terrains sont marécageux. Or, dans la partie orientale du lido (du T136 au T108), la voie ferrée est située seulement de 75 à 100 m en arrière de la route. Par conséquent, on ne disposerait que d'une largeur restreinte pour reconstituer le cordon dunaire qui, par la même, demeurerait fragile lors des fortes tempêtes. En fait, cette solution ne paraît techniquement envisageable que dans les parties centrale et occidentale du lido (à partir du T104 ou à la rigueur du T108), là où la voie ferrée s'éloigne progressivement de la route actuelle. D'autre part, sur le plan financier, le coût d'une telle opération serait extrêmement élevé, de l'ordre de plusieurs milliards de francs d'après le responsable de l'urbanisme de la mairie de Sète – par exemple, le déplacement de la route en 1990 sur 1 km en arrière de la plage de la Corniche est revenu à 200 millions de francs. Son financement ne pourrait être supporté qu'avec une participation importante de l'état. Malheureusement, celui-ci vient de se décharger du problème sur la municipalité de Sète, puisque la route nationale 112 a été déclassée en route communale à la fin de l'année 1998. La solution de l'abandon pur et simple de cette route est, quant à elle, difficilement envisageable. Il s'agit en effet d'un axe très fréquenté, essentiel pour l'économie locale : d'après une étude récente du C.E.T.E. MEDITERRANEE (1998), le trafic moyen journalier, hors saison estivale, est de 9241 véhicules et il culmine à 21020 véhicules au mois d'août (1 véhicule toutes les 5 secondes). On conçoit alors les problèmes que poseraient la fermeture de cet axe.

En conséquence, si l'on écarte le recours à des techniques de défense innovantes (atténuateurs de houle, récifs artificiels, algues artificielles), qui en sont encore au stade expérimental, il ne reste guère que la solution " brise-lames " pour assurer de manière relativement efficace la défense du lido de Marseillan à Sète dans un avenir proche. Toutefois, on peut s'interroger sur l'urgence d'une intervention sur toute la longueur du linéaire côtier. En effet, à l'exception de la partie orientale du lido entre le T136 et le T128, où la plage est susceptible de disparaître d'ici une trentaine d'années, l'existence de la plage n'est menacée probablement qu'à l'échéance de 50 ou 60 ans. En outre, les dommages que le cordon en enrochements et la route peuvent subir lors des tempêtes demeurent encore relativement localisés et ne surviennent que lors des événements exceptionnels. Ainsi, au cours des vingt dernières années, la route n'a été coupée qu'à deux reprises, en novembre 1982 et en décembre 1997, et la réparation des dégâts infligés par les vagues a coûté nettement moins cher que ne coûterait la mise en place de brise-lames. Dans ces conditions, on pourrait s'abstenir d'intervenir dans l'immédiat et engager une réflexion sur les modalités techniques et l'organisation du financement d'une stratégie à moyen terme associant une défense de la partie orientale du lido à un déplacement de la route dans les parties centrale et occidentale du cordon. Cependant, l'érosion de ces deux derniers secteurs serait probablement accélérée par la mise en place des ouvrages de défense à l'est du lido. Il faudrait donc veiller à reconstruire la route le plus loin possible de sa position actuelle – on dispose, jusqu'à la voie ferrée, d'une bande de terrains qui s'élargit progressivement à 500 m entre le T108 et le T56 – et à reconstituer un bourrelet dunaire positionné sensiblement en retrait par rapport à son emplacement actuel et précédé par une large plage, de manière à assurer une protection satisfaisante vis à vis des houles de tempête.

AMENAGEMENTS RECENTS



Sète

2005 constitue une année très importante pour le lido de Sète à Marseillan, dans le cadre du projet global de repli stratégique lié au déplacement de la route :

- au niveau du "triangle de Villeroy", enlèvement des restaurants de plage et de la partie de route qui les bordait, puis mise en place d'ouvrages de reconstitution dunaire et de gestion de la fréquentation (photos ci-dessous, avant et après travaux)



octobre 2001



juin 2005

- pour le reste du lido, les études pré-opérationnelles sont en cours, auxquelles participe l'EID en termes de maîtrise d'œuvre, sur le volet reconstitution ou réhabilitation du cordon dunaire.



**Discours de François COMMEINHES, Maire de Sète,
Président de la communauté d'agglomération
Du bassin de Thau**

**INAUGURATION PLAGE DE VILLEROY
*Lundi 18 juillet, 11h***

Monsieur le Ministre,
Monsieur le Préfet,
Messieurs les députés,
Monsieur le conseiller régional,
Monsieur le conseiller général,
Mesdames et messieurs les élus,
Chers amis sétois (et estivants),

Certains d'entre nous l'ont connue. D'autres l'ont rêvée. Tous l'ont beaucoup attendue. Nous voici enfin réunis sur cette plage de Villeroy restaurée et aménagée, embellie et agrandie comme aux plus belles heures du siècle dernier, avant que la route et l'érosion ne rognent progressivement ce sable qui était presque devenu une denrée rare.

Aujourd'hui, nous retrouvons notre plage, du Corsaire, de l'Ouragan et autres établissements qui furent si chers au coeur des Sétois. Nous retrouvons notre plage avec de nouveaux équipements, des sanitaires, douches, des passerelles accessibles aux personnes handicapées et des parkings gratuits aux abords.

Nous retrouvons notre plage sécurisée pour nos enfants, grâce à la suppression de la route.

Nous retrouvons notre plage, avec de nouveaux établissements, parfaitement en conformité avec la loi. Et aux qualités esthétiques reconnues de tous grâce à un cahier des charges particulièrement strict élaboré par la municipalité avec l'aide de l'Etat et grâce aux efforts et investissements importants consentis par les professionnels.

Je tiens ici à remercier leur bonne volonté, leur créativité, leur patience, aussi. Ces concessionnaires ne manquent pas d'idées, non seulement au niveau culinaire ou esthétique, mais aussi pour animer la plage durant toute la saison. Leur travail et leurs investissements se verront récompensés et ils participeront de la dynamique économique et touristique de la ville et donc de l'emploi auquel vous êtes, Monsieur le Ministre, très attaché comme nous tous ici.

Nous retrouvons notre plage, enfin, considérablement agrandie, de plus de 100 mètres, ce qui en fait une des plus belles étendues de sable fin de toute la côte méditerranéenne.

Tout ceci grâce à l'excellent partenariat entre les collectivités, dont je remercie chacun des représentants ici présents, et au bon déroulement des travaux, malgré quelques petits retards inévitables. Je félicite aussi les services municipaux et les entreprises qui ont su mener à bien cet ambitieux projet.

Un ambitieux projet qui ne vous a pas échappé, Monsieur le Ministre délégué au Tourisme, lorsque je vous l'ai présenté à la fin de l'année 2004, et je vous remercie chaleureusement d'avoir tenu votre promesse de venir l'inaugurer en ma compagnie.

Votre présence ici, Monsieur le Ministre, montre à quel point Sète attire aujourd'hui et combien la qualité de nos projets et réalisations est reconnue nationalement. Le partenariat constructif que nous

avons su nouer avec les collectivités montre aussi le besoin qu'a Sète de s'ouvrir sur l'extérieur pour accompagner son développement.

Car cette plage, comme d'autres aménagements achevés ou en cours, est un concentré du projet Sète 2010 de la municipalité. Avec une exploitation des piliers que sont la carte touristique, la valorisation des espaces naturels, le développement économique. Quant à l'aménagement urbain, 4^e pilier de Sète 2010, l'espace Villeroy derrière cette plage en sera bientôt l'exemple le plus significatif.

J'aurais dû, j'aurais voulu prononcer ici ce discours au moins un an plus tôt, et vous faire bénéficier dès 2004 de l'agrandissement de la plage et des nombreux équipements. Techniquement, cela ne posait aucun problème. Mais c'était sans compter sur les forces d'opposition systématiques qui, ici plus qu'ailleurs, cherchent à entraver même les projets les plus consensuels.

En effet, des requêtes en référé que le tribunal administratif a balayé les unes après les autres ont tout de même permis de faire prendre un an de retard aux travaux de restauration de la plage. Des requêtes déposées par une association dont on ne connaît que trop les motivations et qui s'en prend aujourd'hui aux permis de construire de l'espace Villeroy tout proche. Ceux qui s'en prennent ainsi, pour d'obscures stratégies politiciennes, à de simples citoyens qui ont le tort de vouloir profiter de la plage ou construire un logement, n'en sortent pas grandis.

Il ne s'agit pas de faire de la politique politicienne mais il faut que les Sétois connaissent la stricte réalité.

Mais oublions cela, ces oppositions stériles ne font que renforcer notre volonté. La volonté d'offrir aux Sétoises et aux Sétois un cadre de vie privilégié exploitant aux mieux les atouts exceptionnels de notre territoire.

Car ne nous y trompons pas, s'il se projette dans l'avenir, mon projet Sète 2010 ne tourne pas le dos au passé. Il tire au contraire le meilleur parti de notre riche patrimoine environnemental et culturel pour le préserver et valoriser, plutôt que d'en faire un strict objet de souvenir figé dans le temps.

Préserver ce patrimoine, voire le reconquérir, comme nous le faisons ici avec la plage de Villeroy et comme nous le ferons ensuite avec la réhabilitation du lido de Sète à Marseillan. Là aussi, nous préserverons les activités traditionnelles et, grâce à un ambitieux projet combinant ouvrages en mer, déplacement de la route et contrôle plus réglementé de l'activité humaine, nous parviendrons avec l'aide de tous nos partenaires à reconstituer un véritable joyau écologique.

Loin de tous les scepticismes de principe et polémiques organisées, une formidable dynamique est en cours dont les résultats feront l'admiration de la France entière et même de l'Europe, puisque le lido est retenu parmi les projets emblématiques de restauration du littoral au niveau européen.

Cette plage de Villeroy que nous inaugurons aujourd'hui est l'un des meilleurs exemples de notre identité sétoise passée et présente. Lieu de loisir des générations entières, elle fût aussi source d'inspiration pour nombre de nos plus grands artistes. Brassens, s'il n'y est pas enterré, y a de son vivant consacré quelques uns de ses plus beaux vers. Jean Vilar, alors que se concrétisait le rêve du festival de théâtre d'Avignon, décrit comment il fût un beau jour saisi d'une irrésistible envie d'aller se jeter dans les vagues de son enfance. Plus près de nous, je n'oublie pas le peintre Robert Combas, auteur cette année de l'affiche de la Saint-Louis, qui dans un très beau documentaire dessine sur le sable avec un simple bâton une imposante fresque éphémère, aussitôt balayée par les vagues.

Le lieu où nous sommes réunis aujourd'hui n'est pas prêt d'être balayé par les vagues. La suppression de la route s'est avérée la solution la plus efficace contre l'érosion, grâce à une inclinaison en pente douce qui entraîne un phénomène d'amortissement des tempêtes. Ce nivellement en pente douce permet de mieux appréhender la houle. Le risque de subversion marine est encore réduit par la création d'un cordon dunaire végétalisé, équipé de ganivelles.

Vous le voyez, rien n'a été laissé au hasard sur cette plage de Villeroy, comme rien n'est laissé au hasard dans le quartier du même nom, en cours d'aménagement, qui symbolise lui aussi le renouveau de Sète. Un quartier où le végétal sera roi, avec des dizaines de milliers d'arbres et arbustes d'une quarantaine d'espèces différentes, choisies selon leur résistance aux embruns et à la salinité du sol. Bientôt, un parc urbain naîtra derrière la promenade, une barrière de végétation protégeant les habitations et leurs plantations internes.

Mais cela, c'est pour dans quelques mois. Pour l'instant, savourons notre plaisir d'être réunis sur la plage de Villeroy, où je vous remercie tous d'avoir répondu présent à mon invitation, malgré la chaleur caniculaire de cette fin de matinée. Mais je vous redonne d'ores et déjà rendez-vous en fin de journée pour la deuxième partie de l'inauguration que j'ai voulue la plus festive possible, et qui sera pour les Sétois l'occasion de renouer avec leur plage et les nouveaux établissements qui sont tous, j'en suis sûr, promis à un beau succès.

Annexes

- I. La migration du lido (*Pour la Science*, 2003)
- II. Evolution du lido de Maguelone (1760 – 1937) (*M. Ambert*, 2004)
- III. Le cordon littoral de Villeneuve-les-Maguelone (*F. Rueda*)
- IV. Le cordon littoral de Villeneuve-les-Maguelone (*P. Bayer et J-M Sornin*, 1999)
- V. L'évolution récente de la ligne de rivage de Sète à la Petite Camargue (*M. Ambert*, 1992)

La migration du lido

Le littoral aux alentours de Sète s'est considérablement modifié depuis 2 000 ans.

Attention sables mouvants! Telle pourrait être la mise en garde affichée sur les plages de Sète, cette ville du Languedoc-Roussillon située entre la mer et un étang. D'après Bernadette Tessier, du Laboratoire de morphodynamique continentale et côtière de l'Université de Caen, et ses collègues de l'Université de Perpignan, la bande de terre accolée à la ville se serait déplacée de 200 mètres durant les deux derniers millénaires. Cette étude met en lumière la vulnérabilité à l'érosion sous-marine de certaines portions du littoral méditerranéen.

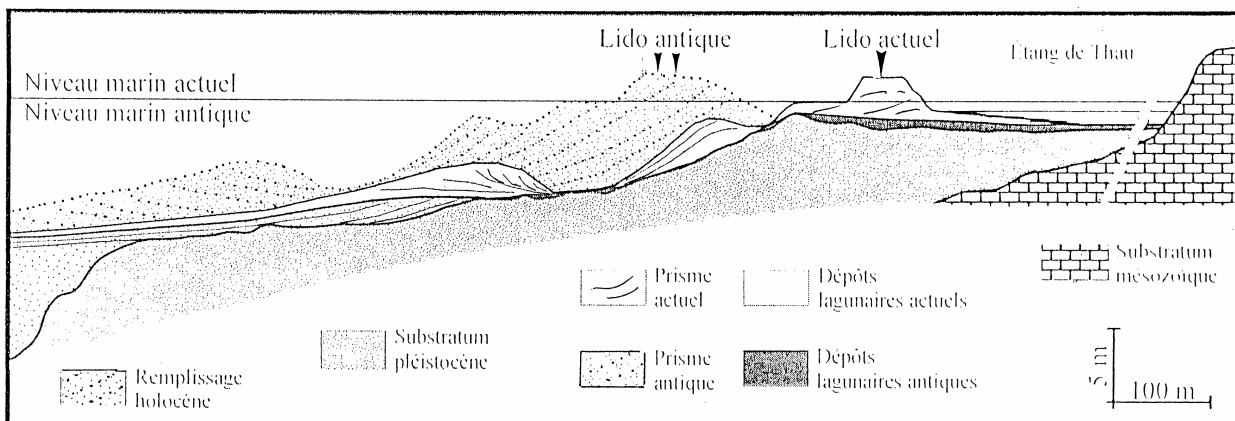
Sète se trouve sur l'un des nombreux lidos de la côte méditerranéenne, c'est-à-dire sur une langue de terre sablonneuse séparant une lagune de la mer. Les lidos se forment par accumulation de sédiments charriés d'abord par les fleuves - le Rhône dans le cas de Sète -- puis par les courants marins. Les géologues étudient les littoraux grâce aux ondes sonores. Principal outil de la prospection pétrolière, la technique consiste à émettre des sons dans le sol et à capter les ondes de retour, qui révèlent, après analyse, les structures souterraines. Pour étudier le lido de Sète, les géologues ont utilisé un appareil qui décèle des détails de 20 centimètres de hauteur, enfouis à plusieurs mètres dans le sous-sol des plages sous-marines.

Près de Sète, les profils sismiques montrent que, du rivage jusqu'à un kilomètre au large, quelques mètres seulement de sable recouvrent le socle rocheux. Tout près de la côte, la houle façonne dans le sable des rangées de hauts-fonds et de sillons, au fond desquels la roche affleure. En outre, les profils sismiques ont fait apparaître qu'au delà de 500 mètres du rivage, le lit de sable se compose de plusieurs couches de natures distinctes. La plus profonde aurait été déposée lors de la remontée rapide des eaux après la dernière glaciation ; en 10 000 ans, le niveau de la Méditerranée est remonté de 120 mètres. Les deux couches supérieures se sont vraisemblablement formées après que le niveau marin s'est stabilisé, il y a environ 6 000 ans.

Les données archéologiques confirment cette hypothèse. À 600 mètres des côtes, des restes d'épaves jalonnent cette portion de littoral, toujours à six mètres de profondeur. Ces restes sont d'immenses meules que transportaient les galères antiques. Échouées au moment du naufrage, ces pierres en ont marqué le lieu. Or, les navires de l'époque avaient un tirant d'eau inférieur à six mètres. Par ailleurs, les épaves plus récentes marquent des échouages sur le premier haut-fond, situé à 400 mètres du lido, où la hauteur d'eau est inférieure à quatre mètres. Faisant l'hypothèse que les navires de l'Antiquité s'échouaient en butant sur un haut-fond identique, les géologues ont conclu que la ligne de naufrage s'est déplacée en même temps que le lido le lido aurait reculé de 200 mètres en 2 000 ans.

Le niveau de la mer, inchangé pendant cette période, ne serait pas en cause, mais plutôt la diminution de la quantité de sédiments apportés par le Rhône. Faute d'apports sédimentaires, le lido risque dans les prochaines décennies de se fragiliser, et, en cas de tempête exceptionnelle, de se rompre. De l'eau de mer pénétrerait dans l'étang de Thau, que protège le lido, et y bouleverserait la flore et la faune. La fragilité du lido impose de restreindre les quantités de sable prélevées sur la plage sous-marine pour recharger d'autres plages.

© POUR LA SCIENCE - N° 303 JANVIER 2003



Reconstruction du prisme littoral de Sète depuis l'antiquité

B. Tessier et al. / C.R. Acad. Sci. Paris. Sciences de la Terre et des planètes / Earth and Planetary sciences
331 (2000) 709-716

Evolution du lido de Maguelonne (1760 - 1937)



Martine Ambert

Contribution à la connaissance du patrimoine naturel languedocien :
enjeux, concepts et applications

Thèse de doctorat en géographie. Université Lumière Lyon 2, 2004, page 64, 325 pages

LE CORDON LITTORAL DE VILLENEUVE LES MAGUELONE

FRANCOIS RUEDA

SERVICE MARITIME ET DE NAVIGATION DU LANGUEDOC-ROUSSILLON

RESUME

Le lido de VILLENEUVE LES MAGUELONE a connu une évolution récessive importante depuis le XIXe siècle. Pour assurer son intégrité physique la solution de reconstituer un cordon littoral (dune artificielle) a été choisie. Après deux tranches de travaux expérimentales, une étude en cuve à houle et en canal a permis de définir les meilleures caractéristiques de l'ouvrage : cote d'arase, pente, implantation par rapport au rivage, zones de franchissement du lido.

Son intégration dans l'environnement (plantations) a fait l'objet d'études spécifiques.

En 1993, le linéaire révisé est de 1095 m pour un montant total de 3 200 000 F/TTC.

Le lido de VILLENEUVE les MAGUELONE est une mince langue de sable qui s'étend entre la mer et l'étang de Pierre Blanche depuis PALAVAS jusqu'à FRONTIGNAN sur une longueur de 11 kms environ.

Sa largeur varie entre 300 m et 60 m dans sa partie la plus étroite. La hauteur est très faible, 1 m en moyenne et dépasse rarement 2 m (cotes rapportées au 0,00 NGF). Des galets recouvrent sur une faible épaisseur le sable en place.

L'EVOLUTION DU LIDO

La comparaison des tracés de la laisse de mer, d'après les plans cadastraux de 1819, 1938 et 1982 a permis d'établir le tableau (tableau n°1) qui donne la valeur de ces érosions.

LIDO DE VILLENEUVE LES MAGUELONE

Evolutions historiques

TABLEAU N°1

PERIODE REPÈRE (en Km)	TRAIT DE COTE (en m)			LARGEUR DU LIDO (en m)		
	1819-1938	1938-1982	1819.1982	1819	1938	1982
Mas d'Angoulême n° 11	-125	10	- 115	200	95	165
Repère n° 12	-115	15	- 100	85	22	225
Repère n° 13	- 85	0	- 85	240	150	125
Repère n° 14	- 35	- 25	- 60	240	175	150
Repère n° 15	- 17	- 38	- 55	160	110	80
Repère n° 16	- 35	- 20	- 55	25	250	215
Maguelone n° 17	- 30	- 10	- 40	115	70

L'analyse des hauteurs et largeur de plage montre que c'est comme si le lido roulait sur lui-même en s'écrasant dans une translation parallèle à la côte.

En effet si la surface perdue côté mer a été d'environ 49 ha entre 1819 et 1982 (sur un tronçon de 8,7 km), la surface du lido a peu évolué pendant cette même période (158 ha en 1819, 169 ha en 1982). Les récentes tempêtes (1982 - 1986- 1987) ont continué de modifier le secteur.

LA PROTECTION DU LIDO

L'inquiétude de voir disparaître complètement le lido à plus ou moins long terme a conduit le Conseil Général de l'Hérault à demander au Service Maritime et de Navigation du Languedoc-Roussillon qu'une étude soit effectuée pour dégager les solutions propres à assurer l'intégrité physique du lido de VILLENEUVE les MAGUELONE pour protéger notamment les étangs de 1 re ligne.

Cette étude a été confiée à la SOGREAH en 1983. Elle a permis de dégager quatre options d'aménagement:

1. Abandon du lido
2. Reconstitution d'un cordon littoral
3. Ouvrages de protection (type épis)
4. Protection et engraissement du littoral (type brise-lames)

C'est l'option n° 2 qui a été retenue pour les avantages quelle présentait :

- reconstitution légère d'un milieu naturel
- adaptation simple à l'évolution constatée sur la plage
- réparation simplifiée des dégâts
- pas d'ouvrages en mer, la plage reste naturelle
- utilisation des matériaux existants sur place
- aménagement le moins coûteux

Certains inconvénients sont à signaler cependant :

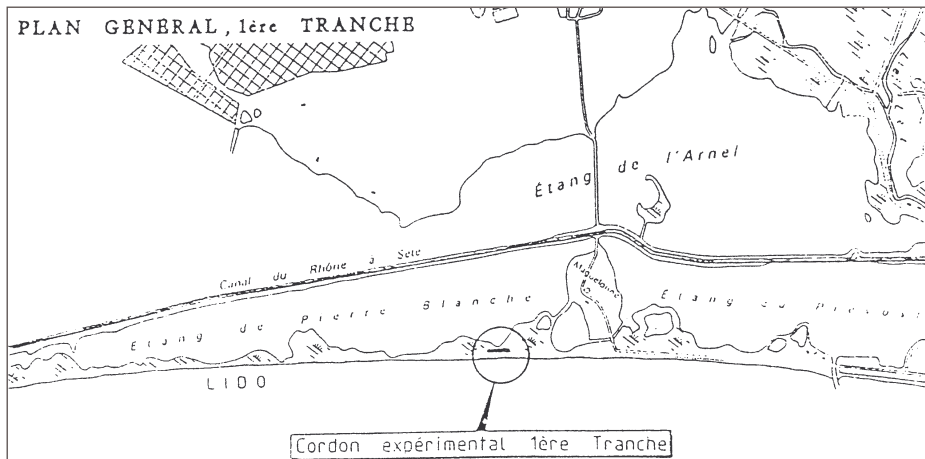
- la ligne de rivage n'est pas définitivement fixée dans sa position actuelle qui peut varier suivant l'intensité des transits littoraux ou transits dans le profil
- une surveillance constante de l'ouvrage est indispensable.

Comme il n'existait pas d'ouvrage analogue dans la région et afin d'en connaître le comportement et d'en vérifier le dimensionnement le plus favorable, il a été décidé d'entreprendre une première phase expérimentale.

Le but de l'expérience étant donc de :

- réaliser artificiellement une "dune" et la rendre infranchissable par les tempêtes du type de celle de novembre 1982
- intégrer cet ouvrage à l'environnement du lido
- proposer des solutions économiques
- analyser les conditions dans lesquelles cet ouvrage pourrait être reproduit
- assurer une végétalisation du cordon

L'emplacement de cette 1ère tranche du cordon littoral expérimental fut choisi à l'extrémité EST du lido près du centre de loisirs de VILLENEUVE les MAGUELONE. Le lido présentait à cet endroit une largeur de 110 m et une hauteur moyenne de 1,00 m. Il était régulièrement franchi lors des tempêtes de faible importance.



L'étude sur plan qui conduisit à fixer les caractéristiques de l'ouvrage utilisa les résultats d'essais effectués sur une plage naturelle et les formules qui donnent la cote verticale atteinte par la houle sur le talus d'un ouvrage. Les résultats obtenus sont les suivants

- cote l'arase + 5.00 NGF
- largeur en crête 6.50 m
- pentes côté plage 4/1
- pente côté étang 2/1
- protection côté mer à l'aide de galets ou concassés de carrière épaisseur 1 m
- ensaulement du pied de l'ouvrage à la cote 0.00 NGF

Il faut noter que sur une partie de l'ouvrage, les galets ont été remplacés par un concassé de carrière (50/200). Cela afin d'étudier le comportement de chaque zone vis à vis de la mer et de leur aptitude à se végétaliser.

Des plantations adaptées au site et à la nature du cardon ont été mises en place.

Tout le cordon expérimental a été mis en défens (contre les piétons et les véhicules) par un double radeau de ganivelles en pied d'ouvrage côté mer et par 2 rideaux l'un en pied, l'autre en crête d'ouvrage côté étang.

Le premier cordon expérimental a été réalisé en 3 mois de décembre 1986 à mars 1987.

Au cours des tempêtes d'équinoxe de 1987 - 1988 et 1989, l'ouvrage a bien fonctionné puisque la mer est venue lécher le pied du cordon sans dommage alors qu'à son extrémité OUEST la mer est allée rejoindre l'étang et que plus à l'OUEST encore plusieurs petits graus s'ouvraient sur le lido.

ENSEIGNEMENTS DE LA 1ère TRANCHE

De cette première tranche on a pu tirer les enseignements suivants :

La nécessité d'assurer un obstacle infranchissable pour des tempêtes exceptionnelles a conduit à réaliser un ouvrage largement dimensionné. Cela s'est traduit par un coût d'environ 5 000 F/mètre. Ce qui rend la reproduction sur 11 km d'un prix rédhibitoire.

L'on peut par contre dans des zones moins sensibles (lido plus large, plus haut, moins attaqué) prendre en compte des hypothèses moins pénalisantes et constituer un cordon littoral de dimensions plus réduites qui aurait à résister à des tempêtes annuelles et décennales et non plus exceptionnelles (cinquantennales).

Cela permet de diminuer la cote l'arase de l'ouvrage et d'alléger la carapace en galet.

La hauteur choisie doit cependant être suffisante pour que les observations ultérieures puissent se "lire" sur un ouvrage endommagé, mais non détérioré.

LA DEUXIÈME TRANCHE

Aussi la deuxième tranche fut elle réalisée dans les conditions suivantes :

- I. Situation du cordon littoral à l'emplacement du grau qui s'est ouvert lors de la tempête de 1982 puis refermé l'année suivante laissant une zone basse très fragile
2. Longueur de l'ouvrage 450 m : longueur qui permet de protéger la totalité de la zone
3. Tracé en plan adopté à une distance de 70 m environ de la ligne du rivage
4. Coupe-type de l'ouvrage présentant les caractéristiques suivantes :
 - crête de l'ouvrage à + 3.00 NGF
 - largeur en crête 5.90 m
 - pente côté mer 5/1
 - pente côté étang 3/2
 - apport de sable (34 m³/ml) provenant directement du site en utilisant les matériaux qui se sont étalés dans l'étang au cours des tempêtes de ces dernières années
 - protection côté mer à l'aide d'une carapace en tout venant de carrière sur une épaisseur de 0.40 m minimum
 - recouvrement en sable de la carapace
 - plantations à l'aide de végétaux adaptés au site en se référant à l'expérience du premier ouvrage
 - mise en défens à l'aide de ganivelles en pied d'ouvrage et sur les flancs du cordon

Commencés en septembre 1989 les travaux ont été réceptionnés en avril 1990.

Au cours de son exécution alors qu'une partie seulement était protégée par la carapace en tout venant, une tempête a attaqué l'ouvrage détruisant pratiquement toute la partie non protégée simplement constituée de sable prélevé sur l'arrière plage.

Bien que dommageable cette tempête a été riche d'enseignements parce qu'elle a confirmé la nécessité de la protection à l'aide de concassé de carrière.

LA PROTECTION DE L'AVIFAUNE

L'emplacement du cordon littoral et de la zone d'emprunt de sable était situé au droit du site de reproduction de la plus importante colonie française de sterne naine.

Nous nous sommes attachés à respecter l'avis du GRIVE (Groupe de recherche et d'information sur les vertébrés et leur environnement) Aussi :

- les travaux ont été réalisés en dehors de la période de reproduction (printemps, été)
- une zone a été délimitée sur laquelle les prélèvements de sable ne devaient pas être effectués
- un îlot de tranquillité a même été réalisé pour éviter aux prédateurs naturels d'accéder aux lieux nidification

En 1992 ce site a été nivelé et clôturé.

Comme le GRIVE a pu le constater, l'évolution avifaunistique n'a pas été perturbée et le site reste le plus important de FRANCE pour la reproduction de la sterne naine.

VEGETALISATION

En ce qui concerne la végétalisation du cordon littoral, quelques essais de plantation par semis avaient été réalisés sur le cordon de 1987, mais c'est sur le cordon de 1990 que la technique fut mise au point.

Il s'agissait :

- de sélectionner les espèces que l'on rencontre le plus couramment sur le milieu lunaire avoisinant et de faire le choix parmi celles qui pouvaient s'adapter aux conditions difficiles de leur mise en œuvre de trier les espèces qui pouvaient se développer à base de semis et dont la récolte était facile et effectuée localement
- d'associer ces espèces choisies avec d'autres espèces qui allaient permettre leur germination
- de fixer les pourcentages entre les espèces de façon à ne pas obtenir la colonisation d'une seule espèce

- de développer une technique de mise en oeuvre. Il s'agit ici d'une projection hydraulique des semences et des produits chargés de conditionner le sol. La protection du mélange est assurée par un paillage fixé dans le sable par des crampons.

Ainsi ont été mis en oeuvre :

Côté étang : tamaris, oliviers de bohème et blanquette

En crête : oyats et agropyrum

Côté mer : un semis comportant 16 espèces à raison de 20 g de semis par m² suivant une composition inédite.

Les résultats obtenus ont été probants parce qu'un suivi a été réalisé par M. CORRE de l'Institut Botanique de MONTPELLIER. Ainsi on a pu constater qu'aucune espèce non semée n'est apparue, montrant le caractère stérile du sable prélevé, une bonne germination de plusieurs espèces, une excellente fixation des oliviers de bohème et de tamaris.

LES BRÈCHES DE FAIBLE IMPORTANCE

Parallèlement à ces travaux sur les secteurs du lido où les brèches étaient de faible importance et ne nécessitaient pas des travaux de l'envergure de ceux précédemment décrits, des ganivelles ont été mises en place.

Sept brèches ont été obstruées.

Le maillage adopté est de 10 m de largeur (3 rangs espacés de 5 m) et un multiple de 10 m pour la longueur (10, 20, 30, 60 m, etc...).

L'ÉTUDE SUR MODELE REDUIT

A l'occasion d'une étude sur modèle réduit physique, commandée par le Conseil Général de l'Hérault et réalisée dans les laboratoires de la SOGREAH à GRENQBLE, destinée à apprécier les incidences de la réalisation d'un projet de digues de protection d'un grau entre la mer et l'étang de Pierre Blanche, le cordon littoral a été testé dans un canal à houle, puis soumis à des essais en cuve à houle.

L'ETUDE EN CANAL A HOULE

L'étude en canal à houle a consisté à soumettre le cordon littoral à différents essais afin de :

- déterminer ses caractéristiques géométriques minimales et optimales (cote d'arase, position du cordon littoral sur la plage, pente de l'ouvrage)
- examiner les conditions et situations de franchissement de ce cordon littoral.

Six essais ont été effectués.

Pour les quatre premiers la cote l'arase et la distance par rapport au rivage ont été testées. Le cinquième concernait l'accumulation d'eau en pied d'ouvrage, le sixième la pente de l'ouvrage côté mer.

Les résultats des essais sont consignés dans le tableau n°2 suivant.

Ils ont montré que la configuration la plus satisfaisante correspond à

$D=80\text{m}-C=+3.00\text{NGF}-P =5/1$ avec:

ETUDE EN CANAL A HOULE - SOGREAH – AOUT 1990 –
GRAU DE PIERRE BLANCHE

Tableau N°2

Niveau (m)	Hs (m)		Essai 1 D=50m C=+3,0 m NGF	Essai 2 D=40m C=+3,0 m NGF	Essai 3 D=60m C=+4,0m NGF	Essai 4 D=100m C=+2,7 m NGF
	1.50	8.00	à sec	1.50	à sec	à sec
	2.50	8.00	1.10	1.50	1.20	1.00
0.50	3.00	10.00	1.90	1.50	1.40	1.10
	4.00	10.00	2.10	1.50	1.60	1.40
	5.50	10.00	2.40	1.50	2.00	1.70
	1.50	8.00	1.40	2.00	1.50	1.20
	2.50	8.00	1.60	2.10	1.70	1.40
0.90	3.00	10.00	2.00	2.50	2.10	1.60
	4.00	10.00	2.10	2.60	2.20	1.80
	5.50	10.00	2.40	2.90	2.50	2.00
	1.50	8.00	1.70	2.10	1.50	1.60
	2.50	8.00	2.00	2.40	2.10	1.70
1.20	3.00	10.00	2.20	2.70	2.30	2.00
	4.00	10.00	2.40	3.00	2.50	2.20
	5.50	10.00	2.70	3.10	2.90	2.50
	1.50	8.00	2.30	3.00	2.60	2.20
	2.50	8.00	2.50	>3	2.60	2.50
1.50	3.00	10.00	2.75	>3	3.00	2.70
	4.00	10.00	3.00	>3	3.30	>2.7
	5.50	10.00	>3	>3	3.60	>2.7

Avec les remarques suivantes

1. en ce qui concerne la distance, prendre la précaution d'implanter l'ouvrage par rapport à un trait de côte d'hiver, ce qui impose de bien connaître la tendance évolutive du littoral
2. pour la cote l'arase ne pas être inférieure à + 3.00 NGF. Chaque abaissement de 0.20 m nécessite un recul côté terre de l'ordre de 20 m
3. la pente de l'ouvrage apparaît comme un paramètre moins important
4. un comblement de la zone d'accumulation en pied d'ouvrage au moment de la réalisation des travaux et un reprofilage de la plage, avec comme point de référence le haut de l'estran, apparaissent comme une bonne chose.

ETUDE EN CUVE A HOULE

L'étude en cuve à houle avait un double objectif :

- définir les zones de franchissement du lido sous l'effet simulé de différentes tempêtes et niveaux de la mer
- étudier le comportement du cordon littoral défini dans son implantation et ses caractéristiques géométriques par l'étude en canal.

Les conclusions que l'on peut en tirer sont les suivantes :

- bonne tenue générale du cordon malgré des affleurements maxima sur le talus atteignant la cote (+ 2.00) NGF
- contournement et érosion des musoirs du cordon lorsque celui-ci se trouve en position isolée. Une pente à 10/1 permet une consolidation efficace du musoir
- ensouillement jusqu'à la cote (0.00 NGF), inutile si le cordon n'est pas sollicité par de fortes tempêtes les premières années après son installation
- les zones de franchissement du lido en tempêtes et niveau de la mer établi à (+ 0.80) NGF et (+ 1.00) NGF, ont été localisés. En fait c'est presque l'ensemble du lido entre les 2 cordons réalisés (tranche 1 et tranches 2 et 3) qui est concerné. On a pu estimer à environ 2 000 m la longueur à protéger.

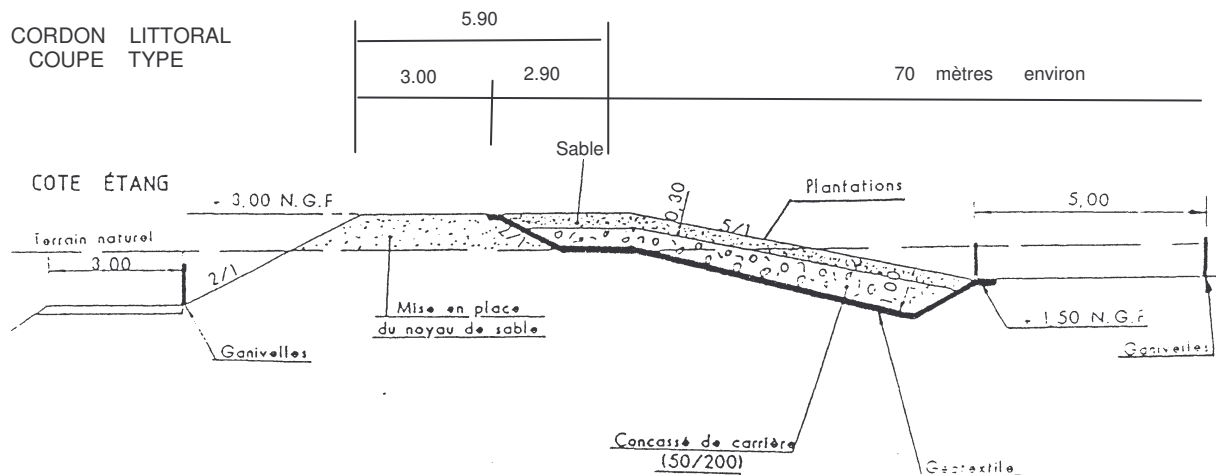
L'UTILISATION DES RESULTATS DU MODELE

Les enseignements du modèle réduit ont été immédiatement utilisés pour les tranches suivantes à savoir :

- implantation de la 4ème tranche (au droit de la zone centrale fragilisée par les tempêtes de l'hiver 1986)

- suppression de l'ensouillement jusqu'à la cote (+0.00) NGF, ce qui permet une économie de terrassements et matériaux concassés
- profilage de la plage en avant du cordon après travaux pour éviter les érosions en pied d'ouvrage
- limitation des plantations sur le talus côté mer. La partie en pied d'ouvrage jusqu'à la cote (+2.00) NGF n'est pas semée.

La coupe du cordon littoral ci-dessous est celle finalement qui peut être reproduite sur le littoral avec quelques adaptations à la topographie locale.



FINANCEMENT MONTANT DES TRAVAUX

Le linéaire réalisé est de 1095 m pour un montant total de 3 189 515,28 F/TTC

Le coût au mètre linéaire que l'on peut estimer actuellement à 2 200 F/TTC, dans lequel terrassements et protection en concassé représentent 55 % du montant, les plantations 32 %, la protection à l'aide de ganivelles 13%.

CONCLUSION

La réalisation de plusieurs tranches expérimentales du cordon littoral a permis de bien déterminer l'ouvrage le plus apte à assurer la protection du lido de VILLENEUVE les MAGUELONE. L'utilisation des résultats du modèle a permis d'affiner les caractéristiques géométriques de l'ouvrage. Aujourd'hui, il est possible sans études spécifiques de reproduire cet ouvrage sur les 2000 m de zone encore fragile. Le suivi des ouvrages entrepris depuis 1986 permettra d'autre part de constater son effet sur la position de la ligne de côte le profil de la plage et de l'avant-plage.

REFERENCES

1. Protection du littoral entre FRONTIGNAN et PALAVAS
SOGREAH - Mars 1984-R35 1476
2. Aménagement du lido FRONTIGNAN-PALAVAS - Cordon expérimental
Avant-projet détaillé - SOGREAH - Juin 1985 - 45004 R2
3. Aménagements intégrés pêche aquaculture sur l'étang de Pierre-Blanche
Étude sur modèle réduit - Rapport d'étude - SOGREAH - Août 1990 - 51214 RZ
4. Le cordon littoral de VILLENEUVE les MAGUELONE - F. RUEDA Avril 1993
33 pages - 55 illustrations (photos, plans, tableaux)

LE CORDON LITTORAL DE VILLENEUVE-LES-MAGUELONE

PASCALE BAYER ET JEAN-MARC SORNIN

Techniques de remédiation sur les littoraux sableux

in Le Littoral, B. Gérard (dir)

Editions BRGM, Orléans, 1999

Ch. IV.2 p.70-74

IV.2.1- La situation et le problème posé (fig. 3)

Le lido de Villeneuve-les-Maguelone est une mince langue de sable qui s'étend entre la mer et l'étang de Pierre-Blanche depuis Palavas jusqu'à Frontignan sur une longueur de 11 km environ.

La largeur du lido varie entre 300 m et 60 m dans sa partie la plus étroite.

La hauteur est très faible, 1 m en moyenne et dépasse rarement 2 m (cotes rapportées au 0,00 m NGF).

Son tracé du côté de l'étang est très découpé. Il garde les traces des graus qui se sont ouverts et refermés au cours de l'histoire.

Le lido est en évolution constante, continuellement remanié par l'action de la mer et des vents.

Cette évolution se traduit par des érosions importantes de la plage.

Les récentes tempêtes ont continué de modifier le secteur ; elles ont pour effet

- d'ouvrir régulièrement des graus qui se referment rapidement ;
- d'éroder le lido par submersion et franchissement ;
- d'araser les dunes existantes ;
- d'étaler dans l'étang d'importants volumes de matériaux.

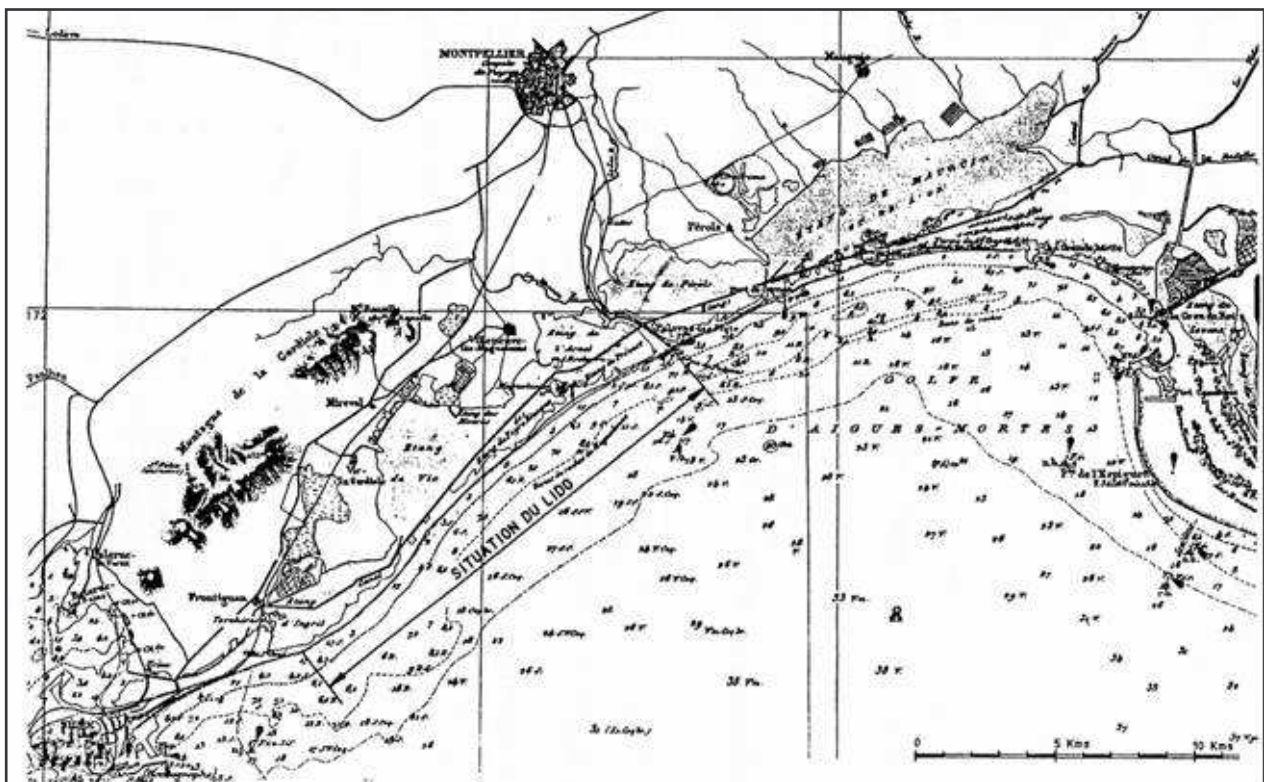


Fig. 3. – Le littoral de Villeneuve-les-Maguelone
(© SMNLR – Subdivision de l'aménagement de l'ingénierie du littoral)

IV.2.2 - La protection du lido

La disparition à plus ou moins long terme du lido aurait les conséquences suivantes

- disparition d'un milieu naturel ;
- suppression d'une plage et donc du tourisme qu'elle génère ;
- modification des caractéristiques actuelles de l'étang de Pierre-Blanche (hydraulique, faune, flore) et des conséquences sur les autres étangs (Vic, Arnel, Prévost) ;
- vulnérabilité du canal du Rhône à Sète ;
- salinisation des terres agricoles du nord.

Il a été décidé de trouver des solutions destinées à assurer l'intégrité physique du lido.

L'option qui a été retenue a consisté en la reconstitution, en haut de plage, d'un cordon littoral continu, limitant le domaine terrestre du domaine maritime, sans constructions d'ouvrages.

IV.2.3 - La mise en oeuvre d'une technique de défense : la protection par des enrochements et le recouvrement par du sable (fig. 4)

Comme il n'existait pas d'ouvrage analogue dans la région et afin d'en connaître le comportement et d'en vérifier le dimensionnement le plus favorable, il a été décidé d'entreprendre une première phase expérimentale.

Le but de l'expérience était donc de :

- réaliser artificiellement une «dune» et la rendre infranchissable par les tempêtes du type de celles de novembre 1982 ;
- intégrer cet ouvrage à l'environnement du lido ;
- proposer des solutions économiques ;
- analyser les conditions dans lesquelles cet ouvrage pourrait être reproduit ;
- assurer une végétation du cordon.

L'emplacement de cette première tranche du cordon littoral expérimental fut choisi à l'extrémité est du lido près du centre de loisirs de Villeneuve-les-Maguelone.

Le lido présentait à cet endroit une largeur de 110 m et une hauteur moyenne de 1,00 m. Il était régulièrement franchi lors des tempêtes de faibles importances.

Les caractéristiques de l'ouvrage sont les suivantes :

- côté d'anse de + 4,00 m NGF ;
- largeur en crête de 6,50 m ;
- pente du côté de la plage de 4/1 ;
- pente du côté de l'étang de 2/1 ;
- protection côté mer à l'aide de galets ou de cailloux de carrière sur une épaisseur de 1 m ;
- ensouillement du pied de l'ouvrage à la cote 0,00 m NGF.

Des plantations adaptées au site et à la nature du cordon ont été mises en place en crête d'ouvrage et du côté de l'étang.

Tout le cordon littoral expérimental a été mis en défens contre les piétons et les véhicules par un double rideau de ganivelles en pied d'ouvrage du côté de la mer et par deux rideaux l'un en pied, l'autre en crête d'ouvrage et du côté de l'étang.

Ces ganivelles sont aussi destinées à piéger les sables soulevés par les vents du sud et à favoriser la végétalisation du cordon.

Le premier cordon expérimental a été réalisé en trois mois de décembre 1986 à mars 1987.

La longueur réalisée a été de 180 m.

Au cours des tempêtes d'équinoxe de 1987-1988 et 1989, l'ouvrage a bien fonctionné puisque la mer est venue lécher le pied du cordon sans l'endommager alors qu'à son extrémité ouest la mer est entrée dans l'étang et que plus à l'ouest encore plusieurs petits graus s'ouvraient sur le lido.

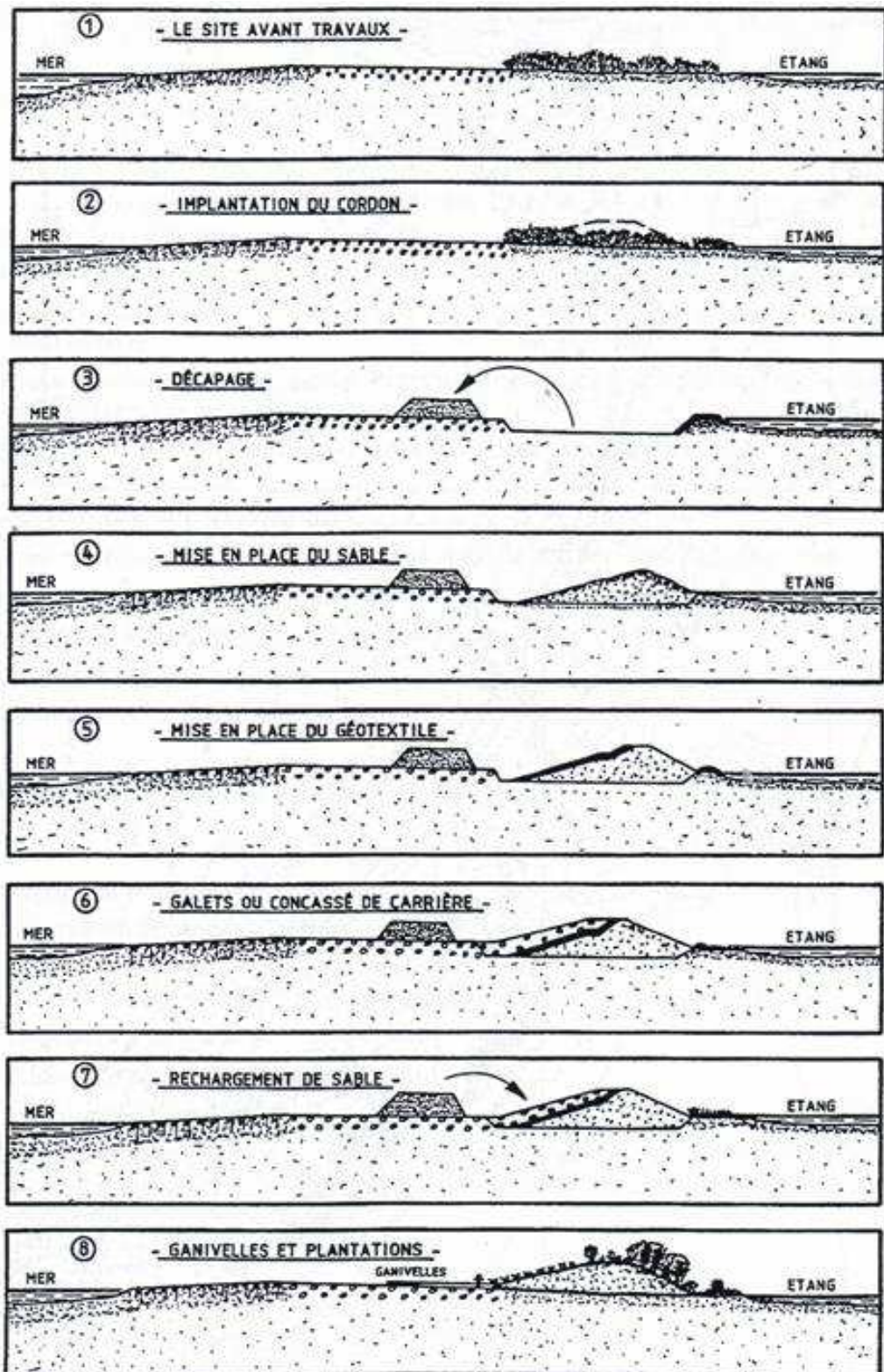


Fig. 4. – Villeneuve-les-Maguelone : le phasage des travaux
 (© SMNLR – Subdivision de l'aménagement de l'ingénierie du littoral

De cette première réalisation les enseignements suivants peuvent être tirés :

- la nécessité d'assurer un obstacle infranchissable pour les tempêtes exceptionnelles a conduit à un ouvrage largement dimensionné ;
- dans les zones moins sensibles (lido plus large, plus haut, moins attaqué) on peut constituer un cordon littoral de dimensions plus réduites ;
- cela permet de diminuer la cote d'anse de l'ouvrage et d'alléger la carapace engalés et, par conséquent, le coût de l'ouvrage.

La réalisation de la deuxième tranche de travaux a concerné une longueur de lido de 450 m à l'emplacement du grau qui s'est ouvert lors de la tempête de 1982, puis refermé l'année suivante, laissant une zone basse très fragile.

Les caractéristiques de ce deuxième ouvrage sont les suivantes :

- crête de l'ouvrage à + 3,00 m NGF ;
- largeur en crête de 5,90 m ;
- pente du côté de la mer de 5/1 ;
- pente du côté de l'étang de 3/2 ;
- apport de sable (34 m³/ml) provenant directement du site en utilisant les matériaux qui se sont étalés dans l'étang au cours des tempêtes de ces deux dernières années ;
- protection du côté de la mer à l'aide d'une carapace en tout-venant de carrière sur une épaisseur de 0,40 m minimum ;
- recouvrement en sable de la carapace ;
- plantations à l'aide de végétaux adaptés au site (tamaris, oyats, ...) en se référant à l'expérience du premier ouvrage ;
- mis en défens à l'aide de ganivelles en pied d'ouvrage et sur les flancs du cordon.

Commencés en septembre 1989, les travaux de la deuxième tranche ont été réceptionnés en avril 1990.

Parallèlement à ces travaux sur les secteurs du lido où les brèches étaient de faible importance et ne nécessitaient pas des travaux de l'envergure de ceux précédemment décrits, des ganivelles ont été mises en place. Sept brèches ont ainsi été obstruées.

L'expérience s'est poursuivie, compte tenu des résultats satisfaisants obtenus par les ouvrages expérimentaux de la première tranche. Jusqu'en 1993, 1 095 m de longueur d'ouvrages ont ainsi été réalisés.

IV.2.4 – Conclusion

Les ouvrages ont rempli à ce jour leur rôle de protection du lido vis-à-vis du franchissement par la mer. Du fait du recouvrement des enrochements par le sable et de la végétalisation, il n'y a pas de discontinuité visuelle dans l'environnement du lido.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Le cordon littoral de Villeneuve-les-Maguelonc. Rapport. 33 p. Service Maritime et de Navigation du Languedoc-Roussillon. Avril 1993.

La protection des plages de la Grande-Motte. Rapport. 25 p. Service Maritime et de Navigation du Languedoc-Roussillon. Septembre 1989.

**L'ÉVOLUTION RÉCENTE
DE LA LIGNE DE RIVAGE
DE SETE A LA PETITE CAMARGUE**

MARTINE AMBERT⁵

Le Languedoc-Roussillon et la mer
L'Harmattan, Paris, 1992, p.30-49

Résumé

Le littoral languedocien oriental a connu, depuis la transgression flandrienne, d'amples modifications d'ordre kilométrique. Mais, si la progression des cordons à l'Ouest du Rhône a été précisée grâce notamment aux nombreuses datations isotopiques, le secteur sétois manquait d'informations. Notre but est d'y recenser les divers témoignages archéologiques et géologiques qui ont trait à l'évolution de la ligne de rivage et de les comparer aux deux extrémités rhodaniennes et roussillonnaises qui ont fait l'objet de synthèses récentes. Par ailleurs, une reconstitution du colmatage récent des étangs, de l'étang de Mauguio en particulier, peut être proposée, grâce aux nombreux sites archéologiques, aux sondages palynologiques, aux textes médiévaux et aux cartes anciennes.

De Sète à la Petite Camargue, les données concernant l'évolution récente, holocène, du trait de côte sont inégales. Alors que l'extrémité occidentale rhodanienne, examinée depuis longtemps, est désormais mieux connue grâce aux méthodes modernes de datation utilisées par A. L'Homer et F. Bazile, le secteur occidental, hormis les sondages palynologiques précurseurs de N. Planchais et les observations novatrices de F. Doumenge sur l'évolution subactuelle de la ligne de rivage, était plus lacunaire en informations. Le support d'investigation y est, il est vrai plus fragmenté, moins continu, de par sa situation excentrée, à l'écart des zones pourvoyeuses de matériel qu'il s'agisse des sédiments rhodaniens ou des apports continentaux. Ici, l'environnement carbonaté a ralenti l'évolution.

Au cours de ces dernières années, les découvertes archéologiques y ont révélé voire confirmé des points importants intéressant l'évolution de la ligne de rivage. Cette analyse des données archéologiques, dans une optique géographique, a par ailleurs été couplée à un examen méthodique des sondages géologiques dans une recherche entreprise sous notre direction par C. Julien (1988). Cette communication fait donc le point de l'état actuel des connaissances, à partir de ces sources bibliographiques nombreuses et des données inédites des archéologues locaux, que nous remercions pour leur collaboration.

⁵ Département de Géographie, Université Paul-Valéry, Montpellier III, route de Mende, 34032 Montpellier Cedex

LE CORDON INITIAL

Il est à l'origine de la trilogie actuelle du paysage côtier languedocien et connu en domaine rhodanien depuis les travaux de Dumas et Denizot.

État de la question en domaine rhodanien

Sensiblement de même altitude (± 2 mètres) que les cordons actuels, le cordon ancien s'en différencie néanmoins très nettement par sa composition granulométrique beaucoup plus grossière. Alors que ceux-là sont souvent sableux, celui-ci est plus caillouteux. Il renferme de nombreux galets d'origine rhodanienne (variolites), auxquels s'ajoutent des fragments de grès coquilliers, arrachés lors de la transgression flandrienne aux cordons anciens (consolidés en grès dits de Carnon), aujourd'hui immergés à moins d'un kilomètre du rivage par 8 à 12 mètres de fond.

Il entre en contact direct avec la mer au droit de Maguelone. Par contre vers l'Est, c'est le cordon sableux actuel ou subactuel que la mer modèle, le cordon primitif demeurant sur sa face interne, côté étang, bien visible dans la coupe du canal des étangs aux environs de la Grande Motte (fig. 1) comme l'a relaté F. Bazile. Au-delà, il se poursuit suivant une direction Ouest-Est, émergeant du paysage grâce à ses bosquets de pins (Sylve Godesque), en passant par la Bergerie de la haute plage, Grand Chaumont, jusqu'à Sylveréal.

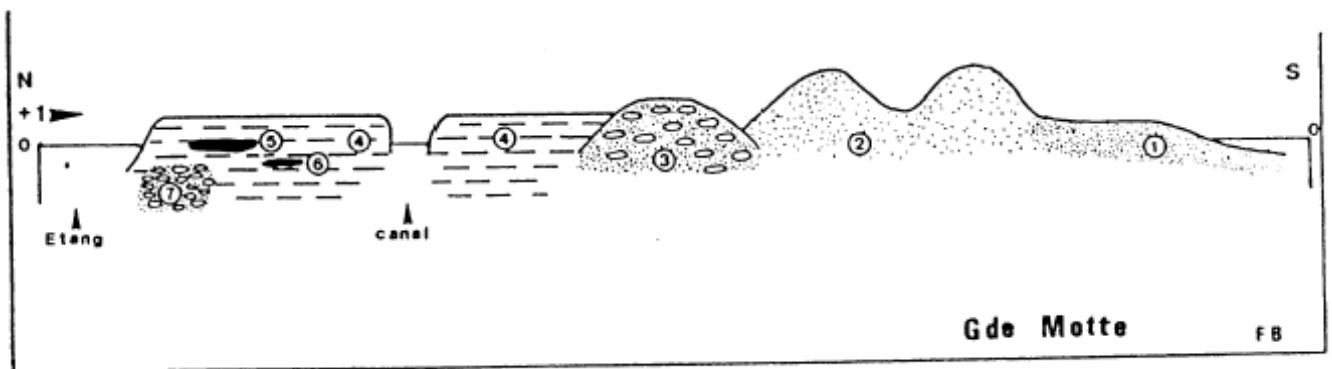


fig 1— Coupe schématique du littoral au niveau du Mas de la Grande Motte.

- | | |
|--|---|
| 1 - Plage. | 5 - Niveau chalcolithique (Fontbousse). |
| 2 - Formations dunaires. | 6 - Niveau chasséen. |
| 3 - Cordon littoral du Quaternaire récent. | 7 - Cordon littoral du Würmien III. |
| 4 - Colmatage palustre. | |

Les coquilles marines à test épais qu'il recèle ont permis de nombreuses datations radiocarbone (L'Homer, Bazile, 1980). Les résultats convergent remarquablement autour de 6500-7050 BP, hormis l'anomalie du Mas Solan, qu'une nouvelle approche du matériel malacologique, dans une perspective paléoécologique, a permis de résoudre, rattachant ce site au Grand Chaumont voisin (Archambault-Guézou, 1982). Ce cordon s'intègre spatialement au premier stade défini par L'Homer (fig. 3) et correspond au maximum transgressif.

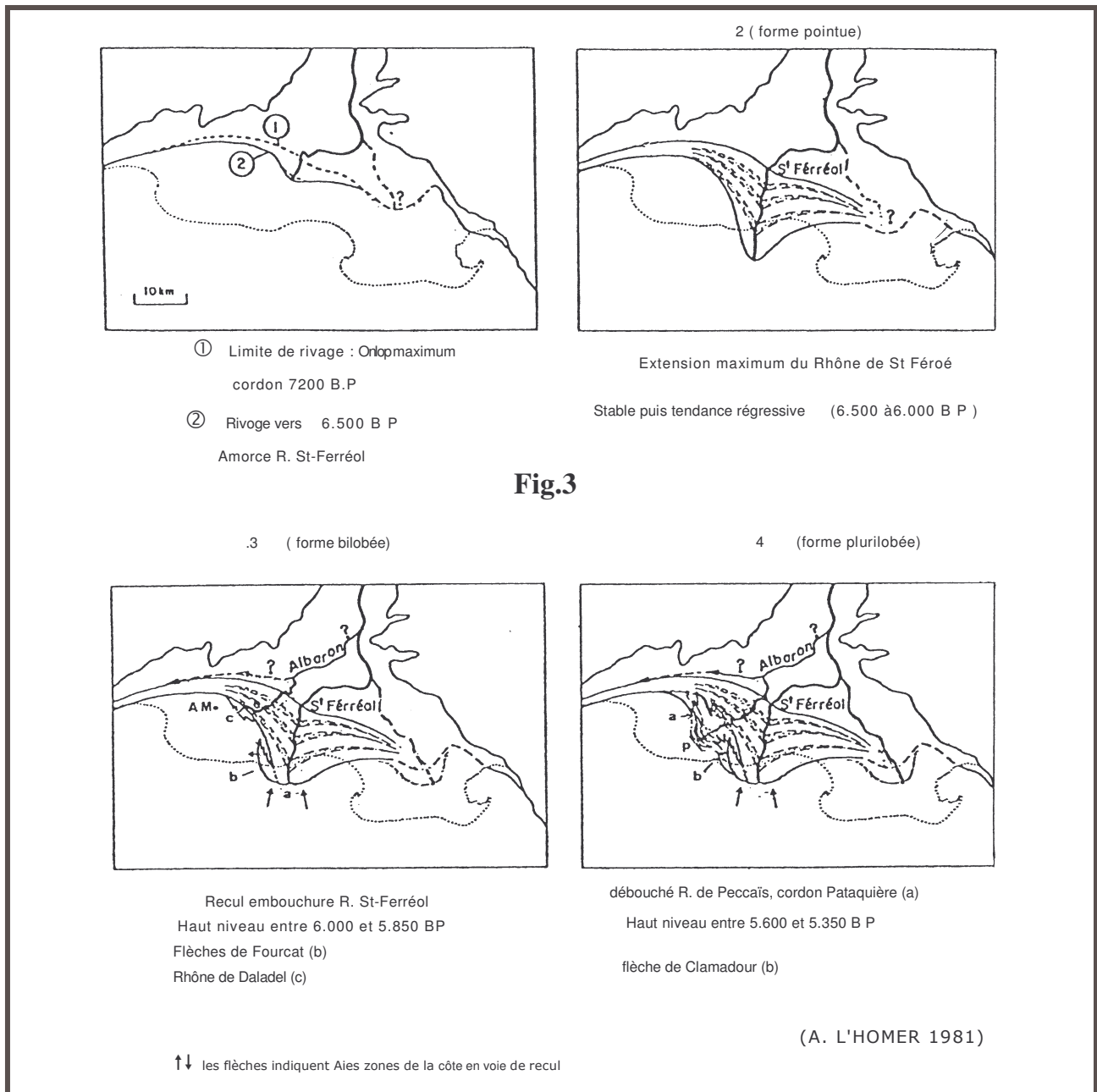


Fig.3

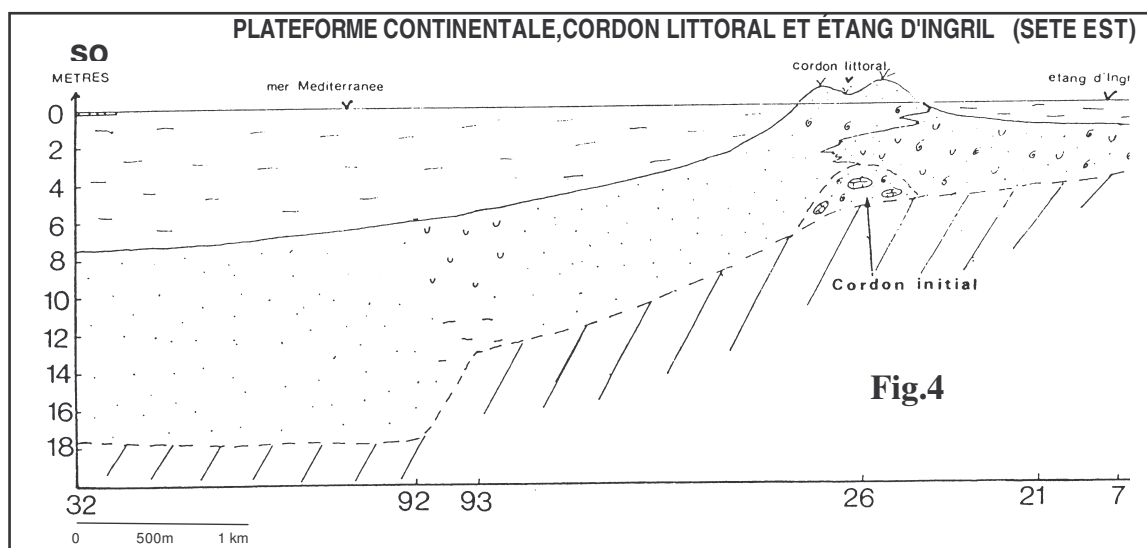
Pourtant, si l'on tente la corrélation avec les données fournies par Moisi (1986), à savoir l'existence d'un cordon sableux, sur le plateau continental au large de Palavas-L'Espiguette à - 30 m, daté de 8 000 BP et bien que la remontée du niveau marin soit de l'avis général très rapide au Boréal, les datations ici présentées semblent hautes. Sur la courbe d'Aloisi à - 7 000 la cote atteinte est de -15 mètres. Cette confrontation incompatible soulève le problème très général des datations qui souvent discordent, fonction du matériel sur lequel elles ont été réalisées. Ici, A. L'Homer s'était heurté dans un premier temps à des disparités de résultats obtenus sur des espèces différentes d'un même cordon. Aussi, avait-il pris le parti d'échantillonner uniquement à partir de cardium à tests très massifs ce qui explique cette homogénéité des résultats. Mais les travaux récents, en particulier celui de J. Courtin et J. Evin sur le site de Châteauneuf-lès-Martigues (1985) attirent l'attention sur les différences obtenues selon le type de matériel. Pour une même couche, et en particulier pour les couches de cette période (Cardial), les datations sur coquilles y sont systématiquement plus anciennes - et de 800 ans - que celles obtenues sur charbons de bois. Malheureusement cette possibilité de datations sur support varié est exclue en Languedoc dans les cordons littoraux de cette époque.

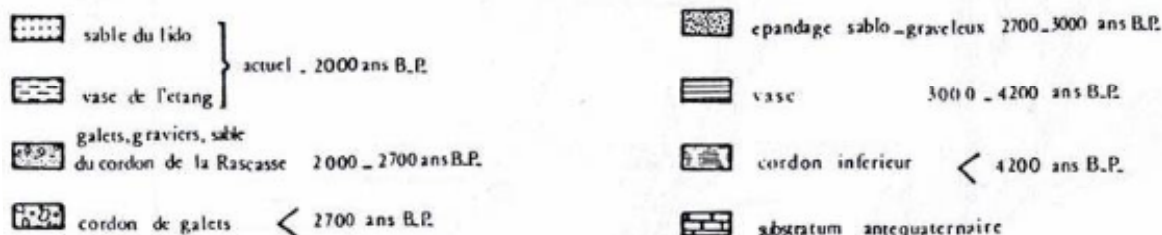
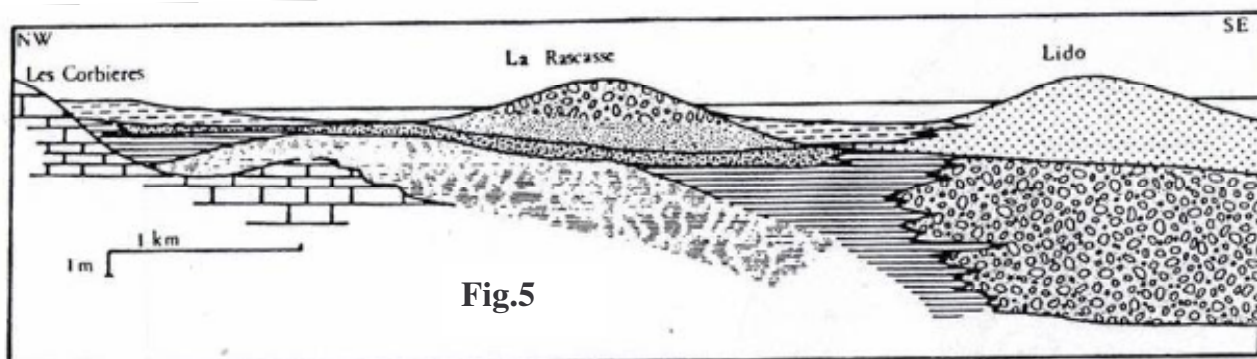
On sait aussi depuis les travaux de Thommeret que les conditions de conservation influencent le résultat : les coquilles conservées en milieu marin donnent des résultats plus représentatifs car moins influencés par la nappe. Voilà l'état de la question en domaine rhodanien. Qu'en est-il à l'Ouest, là où progressivement le cordon disparaît?

Le secteur sétois

N. Planchais au sondage des quatre canaux à Palavas (1977) indique pour le niveau B, vaseux, situé entre - 20 et -12 m et daté de l'Atlantique, c'est-à-dire entre 7 500 et 5 400 B.P., un milieu largement ouvert aux influences marines. Ce n'est qu'en A, selon ses propres termes, «vers la fin de l'Atlantique et pendant le Subboréal que le milieu devient lagunaire fermé » autrement dit que le cordon est en place de manière très continue. La carotte du Canal des Quilles (Sète) a quant à elle traversé un véritable cordon aggloméré en poudingue daté de $5\ 650 \pm 200$ B.P. et situé entre 5, 10 et 4 mètres de profondeur.

L'étude des sondages géologiques, nombreux dans ce secteur aménagé, a permis de retrouver ce premier lido, enfoui en plusieurs points. La figure 4 présente la coupe la plus significative, située à l'extrémité occidentale de l'étang d'Ingril, au droit de Frontignan. Le cordon actuel repose sur un premier édifice, riches en rognons calcaires, sis entre 7 et 5 m. La présence de vases en arrière de ce seuil montre qu'il ne s'agit pas d'un îlot, mais bel et bien d'un cordon continu. Cette organisation des lidos successifs, superposés l'un sur l'autre, est identique à la fermeture de l'Étang de Salces Leucate (Martin 1977) (fig. 5) où il est daté sans précision d'inférieur à 4 200 BP, et confirme donc les vues de G. Denizot qui, sans ces sondages auxquels nous nous référons, et malgré les nombreux textes antiques ou les cartes du XVI^e siècle présentant Sète comme une île, prolongeait ce cordon initial en barrage de l'Étang de Thau.





Comment interpréter cette différence d'organisation, révélant ici une superposition, là-bas une juxtaposition ? La réponse est évidemment difficile en présence de datations aussi différentes. En tout état de cause, aucune information dans le sens d'une déformation tectonique n'est fournie au pied des Corbières par les nombreuses études du laboratoire de Perpignan. Nous avons par ailleurs montré (1982) que la subégalité remarquable des niveaux tyrrhéniens, témoignait dans ce secteur d'une stabilité depuis cette époque. Aussi, l'interpréterions nous plutôt en termes d'érosion. Les témoignages historiques, aussi bien antiques qu'actuels, expriment pour la région sétoise, la multitude des graus et donc la fragilité du cordon, qui est à mettre au compte de la faiblesse des apports sédimentaires ultérieurs et ce, contrairement au Languedoc oriental, où ce premier cordon, a été protégé très rapidement par les cordons récents.

LES CORDONS RÉCENTS

En Languedoc oriental en effet, c'est la juxtaposition et non la superposition qui est la règle. Déjà entrevue au niveau du Mas de la Grande Motte (fig. 1), cette disposition s'accroît en direction du Rhône, où trois ensembles de cordons plus récents et plus méridiens témoignent d'une progradation historique d'ordre plurikilométrique dans ce secteur, contrastant avec la permanence de la ligne de rivage ailleurs.

Ces cordons, sur le plan dynamique, se raccordent (L'Homer, 1981; fig. 3) vers le sud aux barres d'embouchure représentant les divers stades d'avancée du delta dit de Saint Ferréol avec sa forme triangulaire progradante typique d'une mise en place en période de bas niveau marin. Ultérieurement, fonction de légères osculations positives de ce même niveau, ces barres seront reprises par les dérives littorales. Ainsi se crée le cordon de la Pataquière sur lequel est bâti Aigues-Mortes entre 5 600 et 5 350 B.P. ; de la même manière vers 2 000, celui de Listel (L'Homer, 1988).

La figure 6 (L'Homer, 1988) présente ces deux cordons au XIII^e siècle. Celle ultime interprétation qui donne le bord interne du Repausset comme rivage marin, rejoint finalement celle de Pagézy (1879).

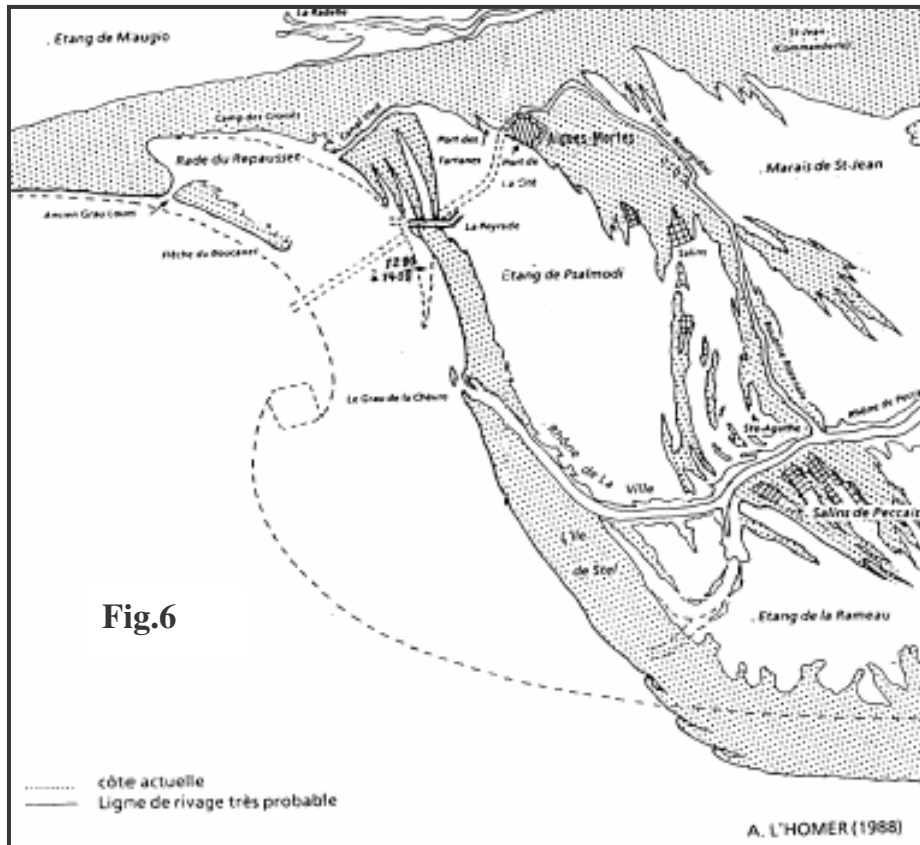


Fig.6

L'évolution ultérieure conduira comme le suggère le tracé actuel, à la perdurance de cette tendance, qui associe le recul de la Petite Camargue (900 m au Grau Neuf depuis Cassini ; 4 à 5,5 m par an depuis 1895) - en raison de l'appauvrissement successif du Rhône de Peccaïs et de son déport progressif vers l'est -, et de la redistribution du matériel à l'Espiguette (progression de 5,5 m par an depuis 1869). C'est du reste le seul secteur qui connaît encore aujourd'hui un engraissement. Partout ailleurs, le trait de côte serait en recul sans les nombreuses protections dont il a été l'objet. Les causes de ce recul sont complexes mais deux principales se conjuguent : d'une part une appropriation excessive du littoral qui le prive de ses échanges naturels et d'autre part, une élévation du niveau marin, mondiale qui depuis un siècle est de l'ordre de 1,2 à 1,5 mm/an avec des risques notables d'accentuation en raison de l'effet de serre. Les inquiétudes n'ont pas encore atteint en France le même degré qu'aux États-Unis où on redoute d'ici 2 070 une élévation de 70 ± 25 cm, c'est-à-dire dans l'hypothèse maximaliste 1 m de remontée. Mais en, Europe, déjà les Britanniques et les Allemands s'organisent pour faire face à cette submersion.

A l'arrière de ces divers cordons, le paysage lagunaire témoigne lui aussi d'amples modifications du trait de côte depuis sa fermeture à l'aval par le lido.

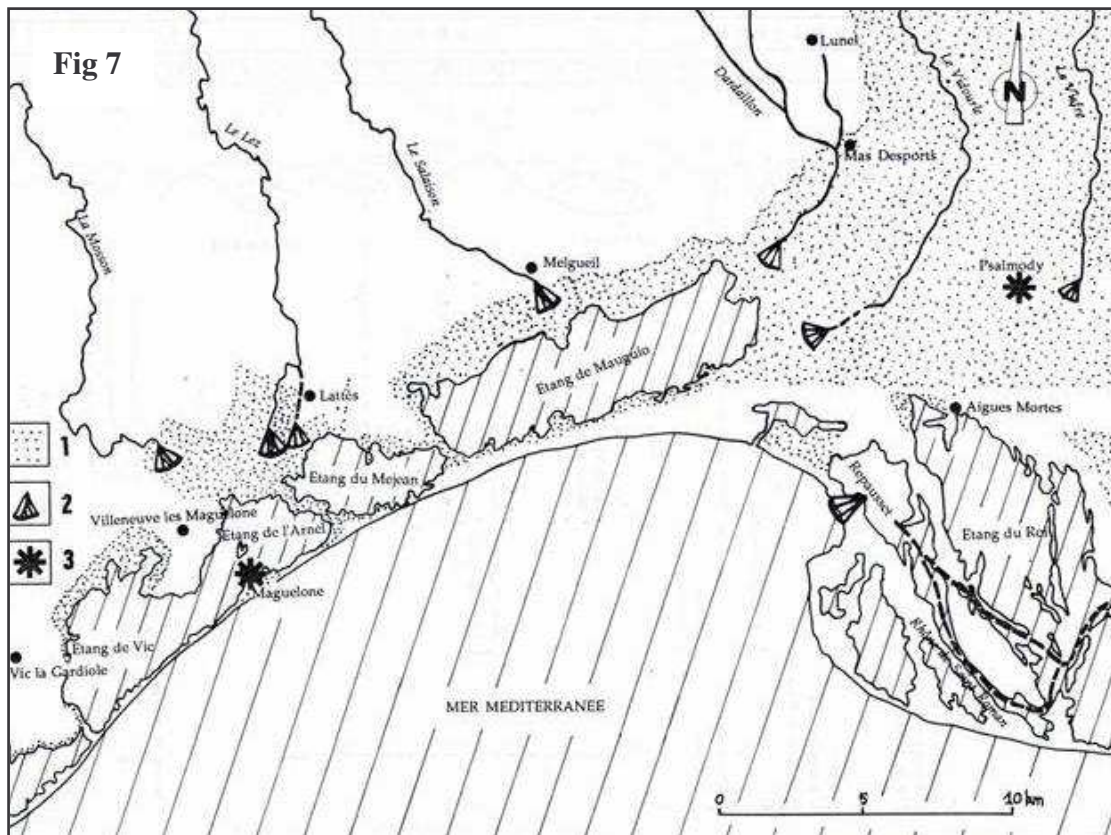
L'ÉVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE INTERNE

Les données cartographiques et dynamiques

La carte de Cassini est suggestive à cet égard des modifications survenues depuis la fin du XVIII^e siècle (M. Ambert, *infra*).

La figure 7 propose un état antérieur, entaché d'erreurs plus nombreuses puisque cumulant les données de Cassini et celles fournies par les textes médiévaux comme l'avait

réalisé Pineau (1961). Ainsi, ont été répertoriés, les sites des embouchures et des principaux ports médiévaux, bien que cette fonction soit très imprécise (port lagunaire ou port fluvial) et le domaine lagunaire ou de marais inondables à l'époque médiévale. Le paysage s'est surtout modifié à l'Est, où Psalmody a gardé son caractère insulaire au moins jusqu'au IX^e siècle.



Ce colmatage, important en superficie, l'est aussi en profondeur puisqu'il atteint 29 mètres au sondage de la Murette, et une douzaine au minimum dans l'étang de Mauguio. Il est beaucoup plus modeste à l'Ingril et dans l'étang de Thau (5 à 6 mètres en moyenne, Chassefière, 1968) en raison de l'indigence des écoulements locaux sur leurs bordures calcaires. Ce colmatage récent, est en effet avant tout l'oeuvre des fleuves côtiers, dont on reconnaît aisément les deltas internes : Lez-Mosson, Salaison et surtout à l'Est celui du Vidourle, qui avec l'appoint du Vistre et du Rhône de Canavère, autrefois tributaires de l'étang de Mauguio, l'ont progressivement désolidarisé des étangs de petite Camargue. Tous ces cours d'eau ont un régime excessif, typiquement méditerranéen, avec des crues d'automne démesurées, les célèbres vidourlades, qui suivant l'expression d'Élysée Reclus « roulent alors trente fois plus d'eau que la Seine à Paris à l'étiage ». L'étude hydrologique (Tricart, 1958) et historique des crues (Gaussen, 1936) a montré que ces phénomènes, bien qu'irréguliers, se répètent deux à trois fois par siècle. Sans compter que point n'est besoin d'une vidourlade pour transporter des limons jusqu'à l'embouchure ; l'observation actuelle montre que des crues plus modestes participent à ce colmatage (Goulet, 1975).

Pour les périodes plus anciennes, les diagrammes polliniques - au nombre de trois sur l'espace considéré - autorisent par la présence continue d'espèces méditerranéennes, l'extrapolation de ce régime pluviométrique contrasté qui favorise l'action érosive (Planchais, 1973 ; 1983). En outre, ceux de Palavas et de Mauguio ont permis la mise en évidence d'une accentuation de la pluviosité respectivement à $3\ 200 \pm 100$ BP à Mauguio et $3\ 000 \pm 80$ BP à Palavas, période qui correspond aussi à l'apogée de la civilisation des oppida. Cette conjonction rend évidemment malaisée la recherche des causalités respectives de l'abondante sédimentation que l'on constate autour de ces mêmes dates dans le sondage de Marsillargues. Seule une étude

exhaustive des sédiments holocènes le long des cours d'eau tributaires permettrait de préciser la part qui revient à l'homme dans la dénudation des versants et celle qui est à mettre au compte des variations climatiques, mais cette étude nécessairement pluridisciplinaire reste à faire.

Cette variation du trait de côte interne a été également influencée, mais à une autre échelle de temps et d'espace par les oscillations du niveau marin.

Les oscillations du niveau marin

Elles furent modestes, centimétriques mais multiples depuis l'Atlantique comme le suggère la figure 8. Cette courbe a été établie par L'Homer à partir des données archéologiques du delta du Rhône et des étangs bordiers, tout particulièrement de l'étang de Mauguio (fig. 9). Au total, ce sont 23 Terramares qui ont été découverts et fouillés sur les rives nord et est de cet étang, couvrant une période allant de 3000 av JC à l'époque Gallo romaine. Parmi ceux-ci, *le site de la Rallongue*, est une référence par la longévité de l'occupation dont il témoigne et les discontinuités qu'il recèle.

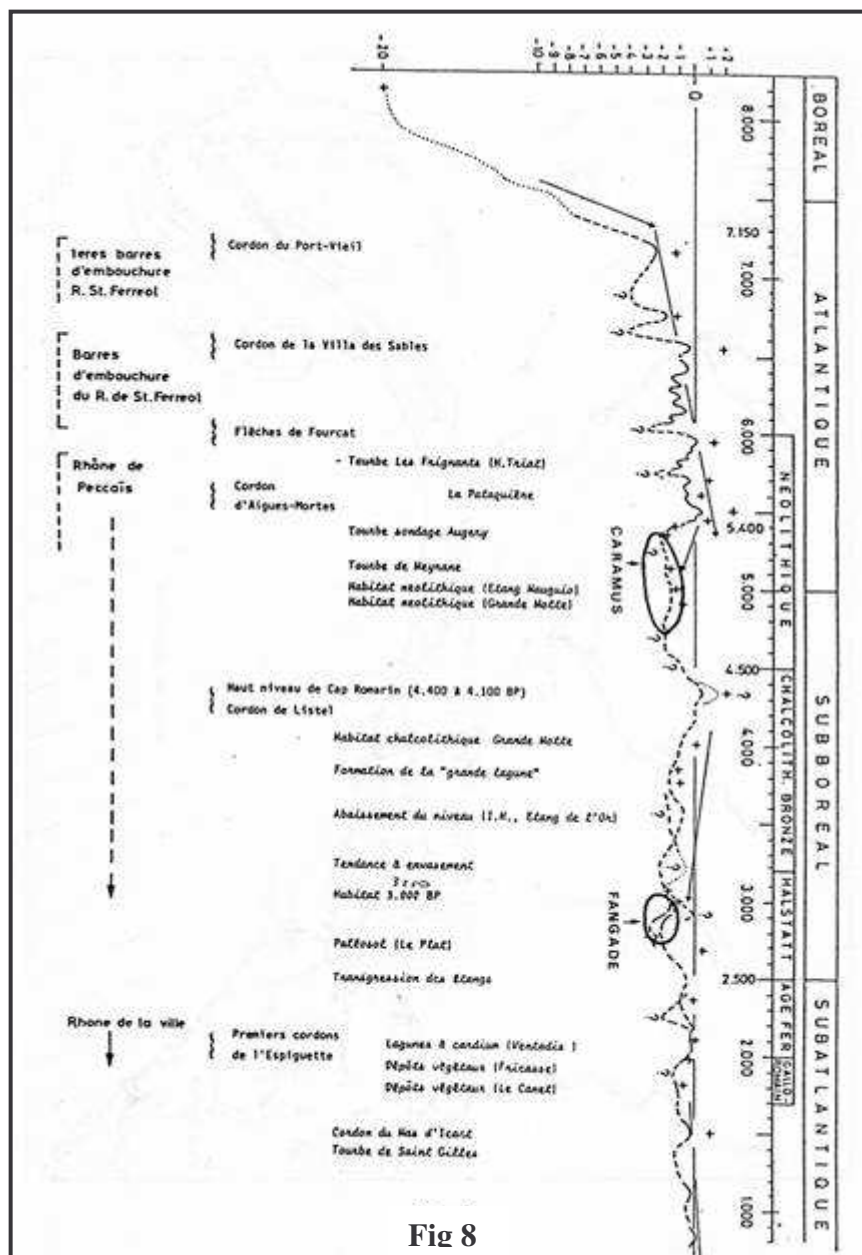


Fig 8

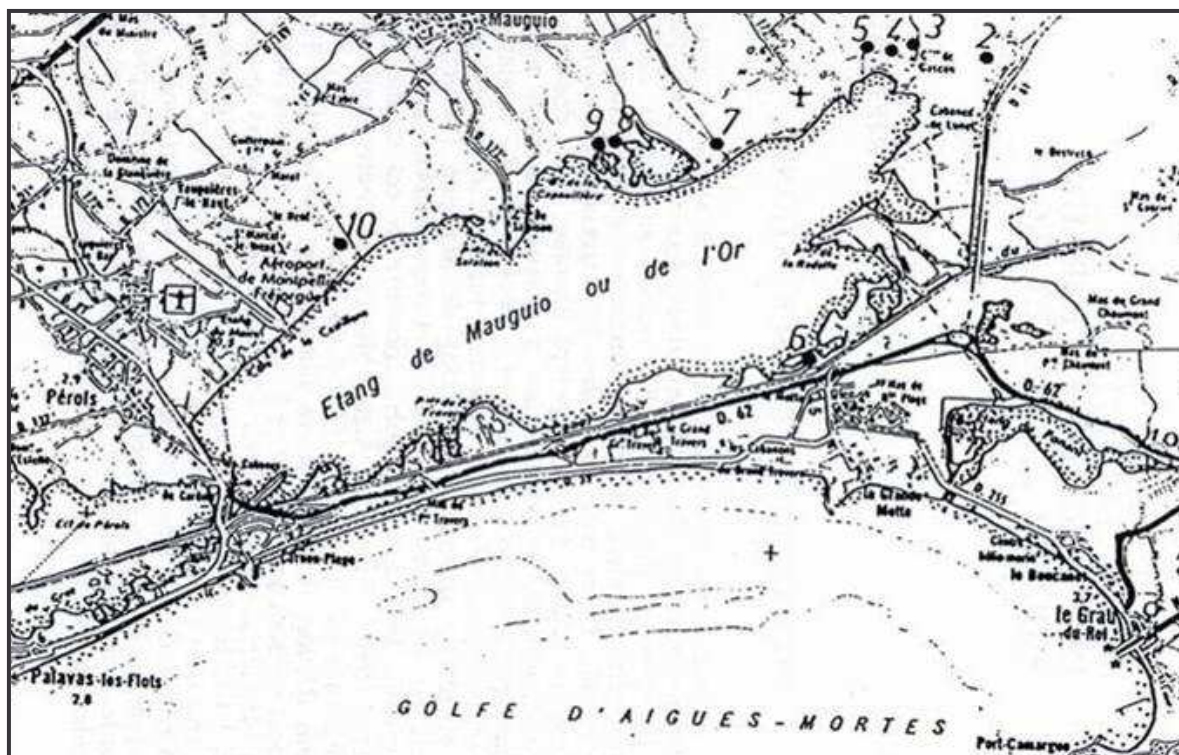


Fig. 9 Localisation des gisements des rives de l'étang de Mauguio occupés au Bronze final II
 1 : L'Hournède, 2 : La Rallongue, 3 : Camp-Redon, 4 : La Digue du Comte, 5 : Forton,
 6 : La Grande-Motte, 7 : La Cadoule, 8 : Tonnerre, 9 : Tonnerre, 10 : Guillermain.

Le site est occupé dès le Chasséen, en période de bas niveau marin, comme le démontre le paléosol avec nombreuses traces de rouille situé entre 0,60 et 1,20 m de profondeur. Ce bas niveau marin est confirmé dans un périmètre rapproché, par les industries de même type de la Grande Motte (entre - 2 et - 1 m) et dans le sondage pollinique de Marsillargues, N. Planchais notant un caractère transgressif vers 4 600 BP. Au-dessus, deux discontinuités majeures sont généralisables à l'ensemble des terramares :

- de 700 à 625 av JC le site est provisoirement abandonné en liaison avec une oscillation positive du niveau marin étudiée par C. Delanno-Smith (1979);
- de 550 à 526 av JC, deuxième abandon. Correspond-t-il à une nouvelle transgression marine ? La réponse est moins évidente que dans le premier cas.

L'occupation ne sera plus dès lors que très ponctuelle, notamment sous la forme d'une tombe dans une plage à gravillons contenant des tessons gallo-romains roulés, témoignant donc d'un niveau positif, déjà mentionné en Languedoc au temple de Vénus (Ambert, 1987) et au Mas Icard en Camargue (L'Homer, 1981). Néanmoins, la valeur de ces sites comme repères altimétriques du niveau marin, était entaché en raison de leur position lagunaire ou deltaïque, de la possibilité de tassement ou de subsidence postérieurs à leur dépôt. Il importait donc de les confronter aux autres données régionales, si possible sur substrat différent.

Deux découvertes récentes dans la région de Thau-Frontignan sont venues compléter et confirmer les points acquis autour de Mauguio.

La prospection de la presqu'île de Caramus, au S-E de Frontignan, a révélé un nouveau gisement Chasséen (à la base d'une stratigraphie superposant quatre faciès) (Archeofactory, 1987), en partie sous le niveau actuel de l'Etang de l'Ingril, directement en place sur le substrat calcaire (calcaire lacustre pliocène de Frontignan, très résistant) ce qui écarte la possibilité du tassement.

Le site de la Fangade, plus anciennement découvert par A. Freisses (1973) a fourni à près de 2 m de fonds, un mobilier du Bronze final II et III entre -1100 et 800 BC. C'est l'homologue, partiellement au moins, des habitations cartographiées par C. Delanno-Smith (1979). Il a été confirmé depuis également par la découverte au niveau des Aresquiers de nombreux tessons du Bronze Final II portés à la surface lors de l'agrandissement du Canal.

Enfin l'île de Saint-Sauveur (à 1 km à l'est de Balaruc les Bains) témoignait dès 1962 d'un bas niveau marin à - 600 av JC, vraisemblablement à -1,5 m mais sans certitude, compte tenu des remaniements et du type de fouille. Signalons enfin les documents gallo-romains au Barrou et à Mèze par 50 cm de fond. Ce dernier bas niveau est du reste attesté sur tout le pourtour de la Méditerranée occidentale comme l'a montré R. Paskoff (1987) en conclusion du colloque CNRS tenu à Aix en 1985.

Ainsi la région sétoise vient-elle enrichir et confirmer cette courbe pour les périodes les plus récentes et ce, grâce aux données de l'archéologie, qui demeurent les meilleurs jalons chronologiques.

Conclusion

Le colmatage des étangs, s'il fût la principale contrainte pour l'homme par le passé, à la fois dans le vécu quotidien avec le lot des inondations multiples et par le résultat global - l'envasement - qui a conduit à la création du Canal des étangs pour suppléer à la navigation lagunaire (M. Ambert, *infra*), n'est plus globalement dans ce secteur, un problème d'actualité depuis que les populations riveraines ont corrigé les tracés des cours d'eau, détournant jusqu'à la mer les plus importants fournisseurs de matériel, Vidourle et Lez. La conjonction de cette baisse des apports sédimentaires et de l'élévation du niveau marin devrait selon le modèle de Niedorada (1985), conduire ici aussi à un recul du littoral avec une amplification des phénomènes de salinisation.

Bibliographie

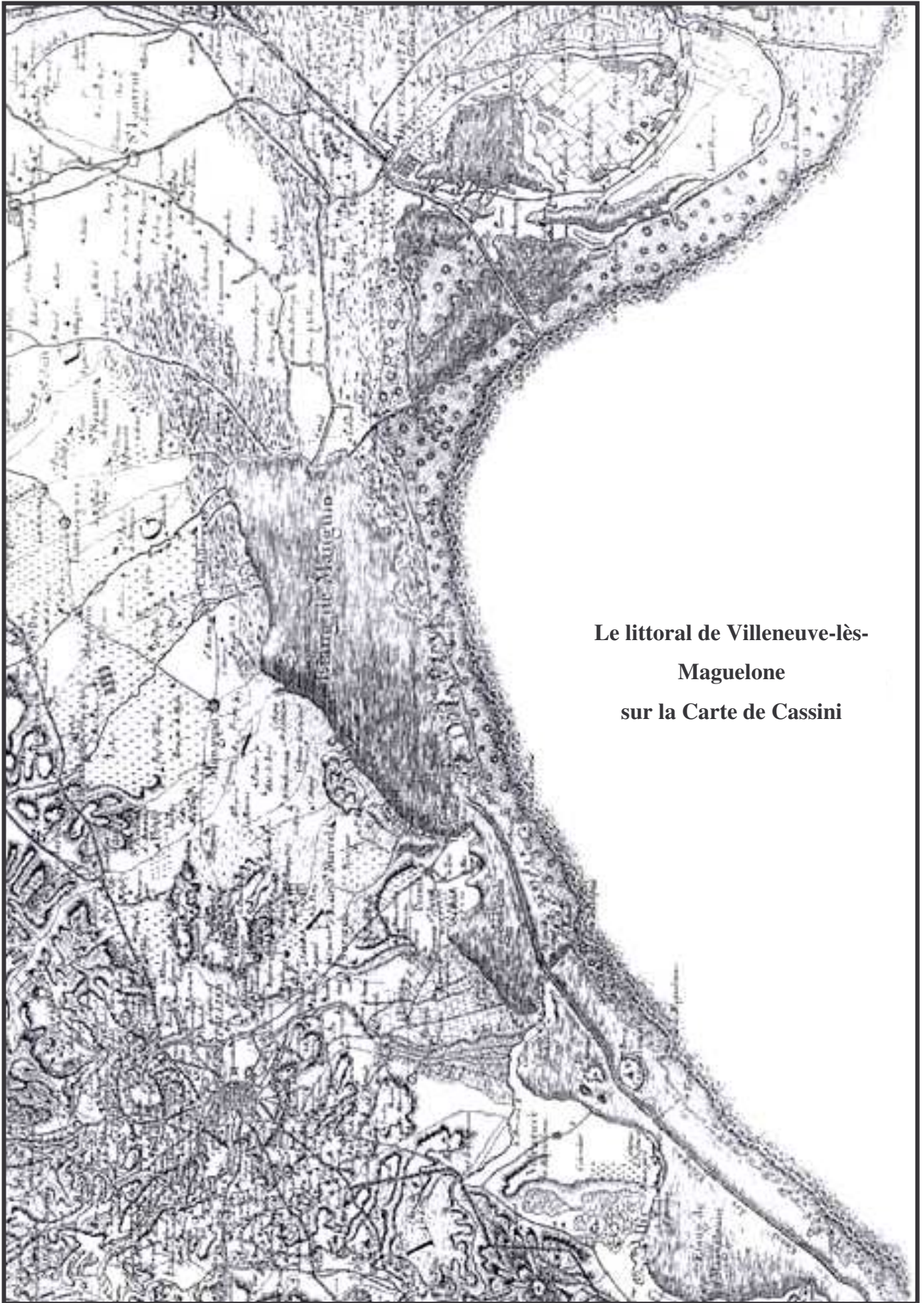
- ALOISI (1986). - « Sur un modèle de sédimentation deltaïque. Contribution à la connaissance des marges passives. » Thèse d'état Sci. Perpignan, 162 p.
- ALOISI J.C., MONACO A., PLANCHAIS N., THOMMERET J. et Y. (1978). - « The holocene transgression in the golfe du Lion, Southern France paleogeographic and paleobotanical evolution », *Géogr. phys. Quat.*, vol. XXXII, n° 2, pp. 145-162.
- AMBERT M.,(1986). - Le Milieu naturel des Etangs à l'époque médiévale », *in Les Etangs à l'Époque Médiévale*, sous la direction de Ch. Landes, Publication du Musée de Lattes (Hérault), pp. 19-29.
- AMBERT P. et M. et MAURIN G. (1982). - « Littoraux miocènes et quaternaires du Languedoc occidental », *C.R. Acad. Sc.*, Paris, t. 295, série II, pp. 251-254.
- AMBERT P. (1987). - « Modifications historiques des paysages littoraux en Languedoc central : état actuel des connaissances », Colloque. Déplacements des lignes de rivage en Méditerranée, Éditions du CNRS, Paris, pp. 35-43.
- ARCHAMBAULT-GUEZOU J. (1982). - « Apports de l'analyse paléoécologique à l'interprétation historique des cordons littoraux holocènes de la région d'Algues-Mortes (Gard-France) ». *Géologie Méditerranéenne*, T. IX, n° 2, pp. 69-88.
- ARCHÉOFACTORY (1987). - « Le site de Caramus (Frontignan, Hérault) », Rapport à la DRAG de Languedoc-Roussillon, Montpellier.
- ARNAL J., ARNAL H. et PRADES H. (1975). - « L'implantation des Terrames ou Ports lagunaires sur la rive nord de l'Étang de Mauguio », in « Approche écologique de l'Homme Fossile », *Suppl. Bull. A.F.E. Q.*, pp. 377-382.

- BAZILE F. (1974). - « Nouvelles données sur l'âge des cordons littoraux récents du Golfe d'Aigues-Mortes », *Bull. Soc. Lan. Géog.*, fasc. 3-4, pp. 199-206.
- CHASSEFIÈRE (1968). - « Sédimentologie et quelques aspects de l'hydrologie de l'étang de Thau (Hérault) », Thèse 3e cycle de géologie appliquée, Fac. Sc. Montpellier.
- COULET (1975). - « Morphologie des plaines et garrigues du Languedoc méditerranéen », Thèse État géographie, Montpellier III, 2 052 p.
- COURTIN J., EVIN J, et THOMMERET Y. (1985). - « Révision de la stratigraphie et de la chronologie absolue du site de Châteauneuf-les-Martigues (Bouches-du-Rhône) », *L'Anthropologie*, Paris, t. 89, n°4, pp. 543-556.
- DEDET B. et PYM. (1985). - « L'occupation des rivages de l'Étang de Mauguio (Hérault) au Bronze Final et au Premier Âge du Fer », T. III, Synthèses et Annexes. *Public. de l'ARALO*, cahier n° 13, 138 p.
- DELANO-SMITH C. (1979). - « Western mediterranean Europe : a historical geography of Italy, Spain and southern France since the Neolithic », London.
- DENIZOT G. (1959). - « Le rivage de Provence et Languedoc au temps des Ligures », *Rev. Et. Ligures*, pp. 23-90.
- DOUMENGE F. (1951). - « Un type méditerranéen de colonisation côtière Palavas », *Bull. Soc. Lang. Géogr.*, t. XII, fasc.1, pp. 1-124.
- GAUSSEN I. (1936). - « Le Vidourle et ses vidouriades », *Cah. hist. et Archéo.*, t. XI, pp. 129-146 ; 272-300 ; 460-481 ; 548-566.
- JULIEN C. (1988). - « L'évolution holocène du littoral de Lattes à Sète », Mémoire Maîtrise Géomorphologie, Univ. Paul-Valéry, Montpellier, 70 p
- LANDES Ch. (1986). - (Sous la direction de...) « Les Étangs à L'Époque Médiévale », *Publication du Musée de Lattes (Hérault)*, 173 p.
- L'HOMER A. (1989). - « Le littoral d'Aigues-Mortes à la fin du XIII^e siècle », *Bull.*, 36, Centre de géomorphologie de Caen, pp. 109-112.
- L'HOMER A., BAZILE F. et THOMMERET J, et Y. (1981). - « Principales étapes de l'édification du Delta du Rhône de 7 000 BP à nos jours: variations du niveau marin », *Océanis*, vol. 7, 4, pp. 389-408.
- MARTIN R: (1977). - « Évolution de deux lagunes du Roussillon depuis le maximum marin holocène », *Bull. AFEQ*, n° 53, pp. 108-111.
- NIEDORADA A.W., SWIFT D.T.P., FIGUEIRODA A.G. et FRIELAND G.G. (1985). - « Barrier Island evolution middle Atlantic shelf », *Marine Géol.*, G3, pp. 363-393.
- PAGEZY J. (1879). - « Mémoires sur le port d'Aigues-Mortes ».
- PASKOFF R, (1987). - Bilan du colloque « Déplacements des lignes, de rivage en Méditerranée d'après les données de l'archéologie », Edit CNRS, pp. 223-225.
- PLANCHAIS N. (1973). - « Premiers résultats d'analyse pollinique de sédiments versiliens en Languedoc », *9e Congrès INQUA*, pp. 146-152.
- PLANCHAIS N. (1978). - « Les pollens indicateurs de l'action anthropique aux alentours de l'étang de Mauguio (Hérault) », *C.R. Acad. Sc.*, Paris, t. 287, série D, pp. 931-933.
- PLANCHAIS N. (1982). - « Palynologie lagunaire de l'Étang de Mauguio. Paléo environnement végétal et évolution anthropique », *Pollens et Spores*, vol. 24, n° 1, pp. 93-118.
- PLANCHAIS N. (1987). - « Impact de l'homme lors du remplissage de l'estuaire du Lez (Palavas, Hérault). Mise en évidence par l'analyse pollinique », *Pollens et spores*, vol. 29, n° 1, pp. 73-88.

- PLANCHAIS N., QUET-PASQUIER L., COUR P. et THOMMERET J. et Y. (1977). - « Essai de palynologie côtière appliquée au remplissage flandrien de Palavas (Hérault) », *C.R. Acad. Sc.*, Paris, t. 284, D, pp. 159-162.
- RUERA F. (1985). - « Le littoral de l'Hérault et du Gard », *Service Maritime et de Navigation du Languedoc-Roussillon*, TPE, Sète, 154 p.
- SAGNES J., AMADO C., DÉGAGE A., FREISES A., RICHARD J.C. et VIRAL J.J. (1987). - *Histoire de Sète*, Privat édit., Pays et villes de France.
- TRICART J. (1963). - « Les transports solides du Vidourle lors de la crue de l'automne 1958 ». Actes Cong. Soc. Sav., Montpellier, 1961, pp. 435-535.

Liste des figures

- Fig. 1: Coupe schématique du littoral au niveau du Mas de la Grande-Motte (d'après Bazile, 1974).
- Fig. 2 : Datations au 14 C des cordons rhodaniens (d'après Archambault-Guézou, et al., 1980).
- Fig. 3 : Principales étapes de l'évolution du delta du Rhône de 7 000 à 5 350 BP (d'après L'Homer, 1981).
- Fig. 4: Superposition de cordons à l'Ouest de l'étang d'Ingril (d'après Julien, 1988).
- Fig. 5 : La fermeture de l'étang de Salses Leucate (d'après Martin, 1977).
- Fig. 6: Essai de reconstitution du rivage d'Aigues-Mortes au XIII^e (d'après L'Homer, 1988).
- Fig. 7: L'étang de Mauguio et ses bordures au Moyen Age :
- 1) Domaine lagunaire ou de marais inondables;
 - 2) Embouchures,
 - 3) Îlots.
- Fig. 8: Essai de reconstitution des variations du niveau marin (d'après L'Homer, 1981, complété).
- Fig. 9: Localisation des gisements archéologiques au Bronze Final II (d'après Prades et Arnal, 1975).



**Le littoral de Villeneuve-lès-
Maguelone
sur la Carte de Cassini**