



CNRS Meudon UMR 8591

PROGRAMME D'ETUDE

IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'INTERVENTION DU CONSERVATOIRE DU LITTORAL

**Site des étangs de Vic et de Pierre Blanche
(département de l'Hérault)**

Rapport final - Volume 1

Par :

Paul DURAND et Hugues HEURTEFEUX

Juillet 2003

Sommaire

Introduction	3
1. Etat des lieux du site	5
1.1. Le contexte morphodynamique	5
1.1.1. Morphologie et pente de la plage	5
1.1.2. Granulométrie du matériel	10
1.1.3. Les modalités d'action des agents morphodynamiques	10
1.1.4. L'impact des tempêtes sur l'évolution du lido	12
1.2. Evolution du littoral au cours de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle	14
1.2.1. Méthodologie	14
1.2.2. Limites de la méthode	15
Type d'erreur	16
1.2.3. Résultats : évolution du trait de côte entre 1937 et 2002	16
2. Méthodologie de l'analyse prévisionnelle	20
2.1. Rappel des problèmes inhérents à l'analyse prévisionnelle	20
2.2. Démarche proposée pour le site des étangs de Vic et de Pierre Blanche	21
$R = r + [(E21 - E20) / P]$	22
$R = 40 + [(44 - 13) / 5]$ soit $40 + 6,2$ soit $46,2$ m	22
3. Cartographie prévisionnelle et analyse des résultats	23
3.1. Présentation des documents	23
3.2. Analyse des résultats	27
3.3. Discussion	28
Conclusion	29
Bibliographie	30

CONSERVATOIRE DU LITTORAL

PROGRAMME D'ETUDE

IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'INTERVENTION DU CONSERVATOIRE DU LITTORAL

Site des étangs de Vic et de Pierre Blanche (département de l'Hérault)

Rapport final

par

Paul Durand¹ et Hugues Heurtefeux²

Introduction

Le site des étangs de Vic et de Pierre Blanche est un dix sites pilotes retenus par le Comité scientifique du Conservatoire du Littoral dans le cadre du programme d'étude intitulé « Impacts du changement climatique sur l'intervention du Conservatoire du Littoral ».

Il s'agit d'un site couvrant un linéaire côtier de 7300 mètres où le Conservatoire possède 1354 Ha, ce qui représente 4600 mètres de linéaire côtier (cf. fig. 1) ; pour les 2700 mètres de linéaire côtier restant, l'acquisition a été autorisée mais elle n'est pas réalisée. Situé à une dizaine de kilomètres au sud de Montpellier, ces étangs littoraux font partie du complexe lagunaire palavasien. Ce complexe 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 ; l'étang de Vic quant à lui est dit de seconde ligne et se situe au nord du précédent. Ces étangs sont de formation géologique récente. En effet, la mise en place des côtes languedociennes remonte à la fin de la dernière transgression, la transgression holocène (15000 à 6000 B.P.), le rattachement à la terre de l'île de Maguelone s'étant même fait ultérieurement, au cours de l'antiquité. Les étangs de Vic et de Pierre Blanche 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 correspondant à l'isolement de portions du domaine marin par une ou plusieurs flèches littorales meubles récentes, composées à la fois de sables et de galets. Les galets sont quasi- exclusifs à l'extrémité occidentale du lido, sur environ 600 m de côte ; s'en suit une zone de transition (sur environ 200m) où ils laissent progressivement la place au sable, qui prédomine dans les parties centrales et orientale du cordon. Le lido ainsi formé laisse parfois subsister des communications avec le large. Toutefois, sur ce site, il n'existe pas de graus fixes ou entretenus par l'homme. Seules des tempêtes exceptionnelles peuvent recréer la communication étang/mer en ouvrant des brèches temporaires dans le cordon littoral. La tendance générale d'évolution du lido entre Maguelone et les Aresquiers est au recul du cordon, qui roule sur lui même de façon avérée depuis la fin du XIX^{ème} siècle (RUEDA, 1985 et communication orale de M.Ambert).

¹ Maître de Conférences à l'Université Paris I Panthéon-Sorbonne, UMR 8591

² Ingénieur Subdivisionnaire à l'E.I.D. Méditerranée, Montpellier

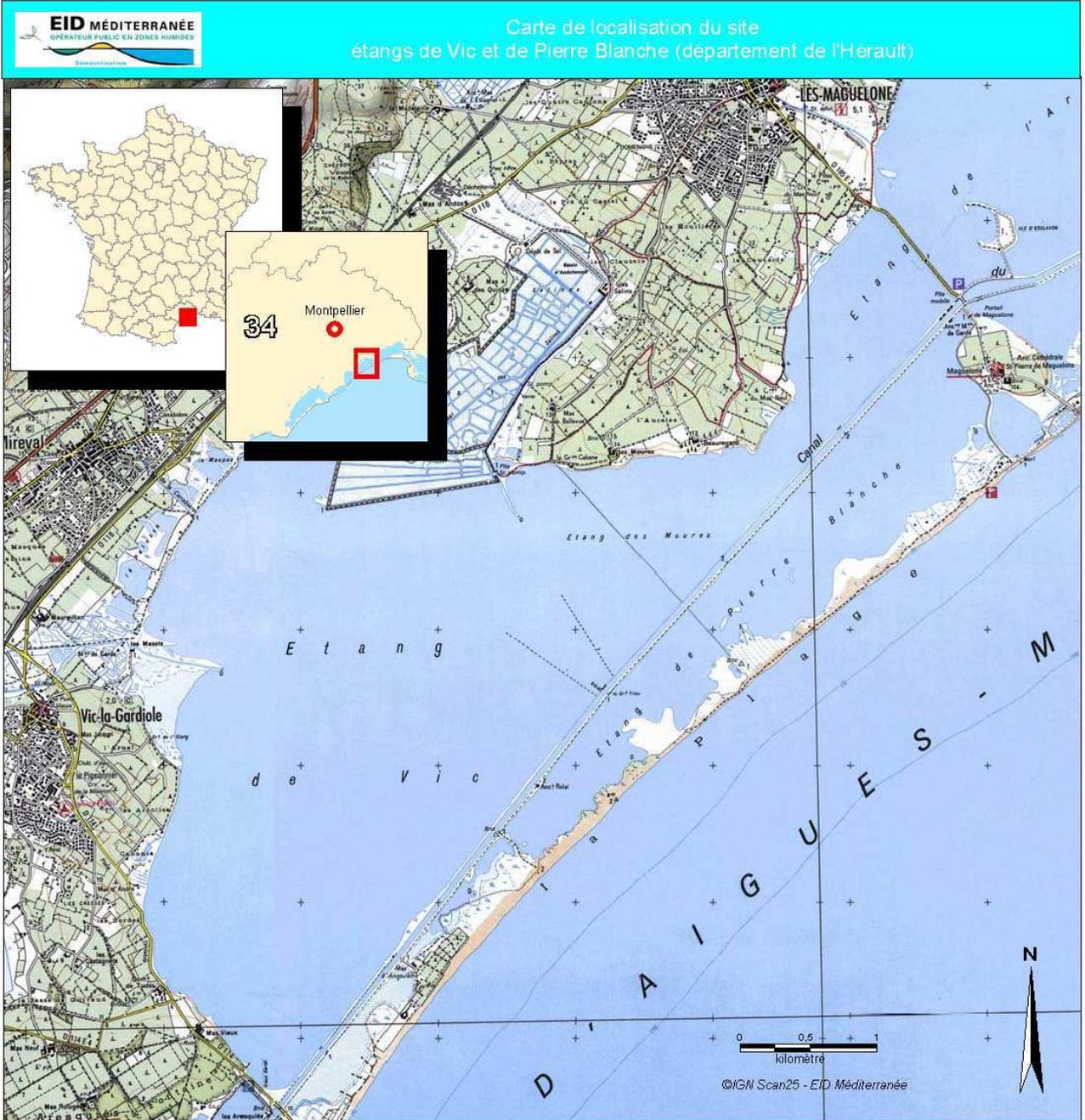


Fig. 1 - Carte de localisation

L'objectif final du travail est de cartographier la position du trait de côte et éventuellement les espaces susceptibles d'être submergés à l'échéance des années 2050 et 2100, en prenant en compte l'estimation d'une élévation du niveau de la mer de 44 cm d'ici la fin du 21^{ème} siècle. Il s'agit donc d'un travail d'analyse prévisionnelle, qui, par sa nature, pose un certain nombre de problèmes inhérents à ce type d'approche.

Le présent rapport s'articule de la manière suivante. Dans un premier temps, il dresse un état des lieux du site (morphologie du cordon et modalités d'action des agents morphodynamiques, évolution historique du lido au cours de la 2^{ème} moitié du 20^{ème} siècle). Puis il expose les méthodes d'analyse prévisionnelle retenues, en s'appuyant sur la synthèse présentée dans le rapport intermédiaire. Enfin, il propose une cartographie prévisionnelle commentée de l'évolution du système cordon-littoral – lagune à l'horizon des années 2050 et 2100, l'ensemble des cartes, au format A3, étant produites hors texte et regroupées dans une pochette à la fin du rapport.

1. Etat des lieux du site

1.1. Le contexte morphodynamique

Le contexte morphodynamique dans lequel s'inscrivent les plages de la région ont été décrits dans des travaux antérieurs (RUEDA, 1985 ; BARUSSEAU *et al*, 1991 ; CETE et IPSEAU, 1992 ; DURAND, 1999) et sont exposés dans une thèse actuellement en cours de réalisation par H. Heurtefeux. On en retiendra les points suivants.

1.1.1. Morphologie et pente de la plage

Sur le plan morphologique, la largeur du lido varie entre 320 m et 70 m dans sa partie la plus étroite. La partie haute du cordon est parfois occupée par des nebkas buissonnantes, située à une altitude maximale de 2,5 m NGF. L'avant-plage est caractérisée par la présence de grès infra-littoraux, bien visibles sur les profils topo-bathymétriques dès les fonds de 8 m.

La pente moyenne de la plage émergée (évaluée depuis le point le plus haut du profil jusqu'au sommet de la berme) fluctue fortement selon les secteurs :

- ✓ 5,2 % au maximum sur les secteurs remaniés avec présence d'un ouvrage en dur (cote NGF jusqu'à 3,5 m, cf. fig. 2, profil topo n°1, photos n°2 et 3 et carte HT n°1) ;
- ✓ 0,7 % au minimum sur les secteurs exposés aux overwash et/ou aux brèches du fait de la faible altitude globale (maxi de 1,2 m NGF, cf. fig. 3, photo n°4).

L'avant-plage a une pente moyenne supérieure à 3 %. Cette pente forte est le signe d'une propension importante à réfléchir l'énergie de la houle au déferlement. L'analyse de la série de profils topo-bathymétriques rapporte que l'on est dans un système à deux barres. La barre interne n'est pas toujours présente car elle est fortement festonnée et ses cornes viennent souvent se confondre au rivage. Comme cette barre interne se situe le plus souvent à faible profondeur (environ -1 m) et à une distance maximale de 50 mètres par rapport au trait de côte, son absence ou sa présence conditionne fortement la pente de l'avant plage. Si la barre interne est bien marquée (cf. fig.4, profil topo-bathymétrique n°20) la pente sera largement inférieure à 3 % (2,5 % en moyenne) ; si la barre interne est absente (cf. fig.5, profil topo-bathymétrique n°16) la pente moyenne de l'avant plage est de 4,5%.

La barre externe est toujours bien marquée, ce qui peut laisser penser qu'elle est rectiligne. La fosse externe est elle aussi bien marquée avec des profondeurs excédant 3 m. On peut parler de surcreusement et, dans ce cas on observe des grès infra-littoraux qui façonnent le fond de la fosse. Cette observation va dans le sens d'un déficit en matériel sédimentaire et d'une faiblesse du transit longitudinal.

**Photo n°1**

Cordon remanié constitué de cailloux de carrière, recouverts par du sable.

La photographie du dessous représente le secteur indiqué par la flèche vu en gros plan.



Photo n°2 - Partie sommitale du cordon remanié (+ 3,5 m NGF). Etang de Pierre Blanche en arrière plan.



Photo n°3 - Alternance galets-sable.



Photo n°4 - Secteur bas du cordon, où l'ouverture de brèches est possible lors des tempêtes.

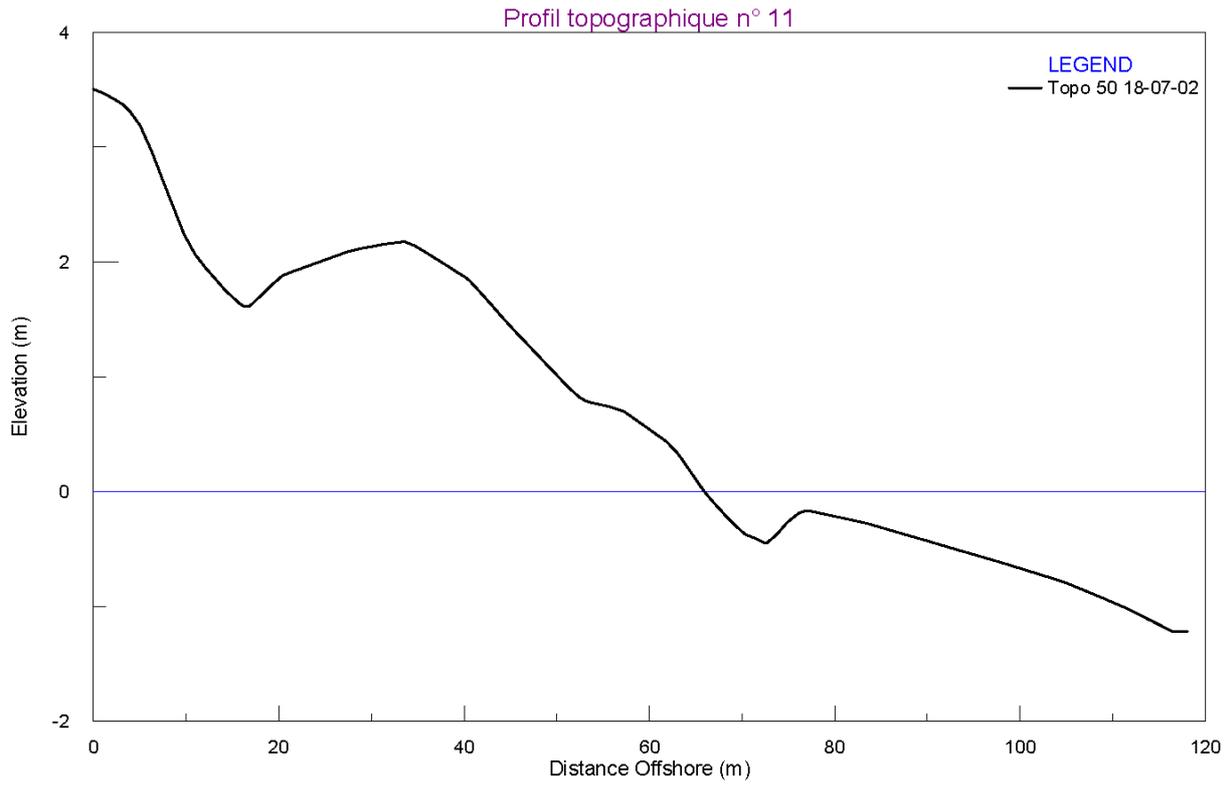


Fig. 2 - Profil topographique n°11

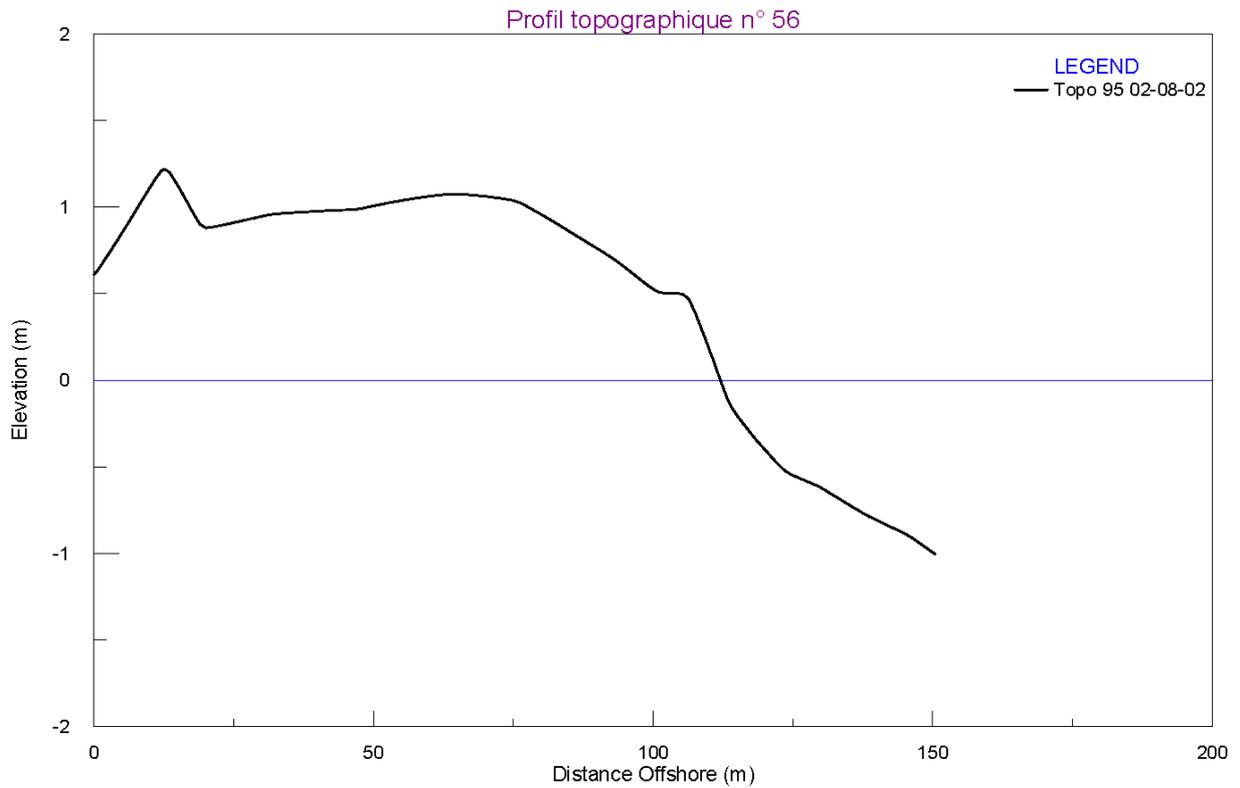


Fig. 3 - Profil topographique n°56

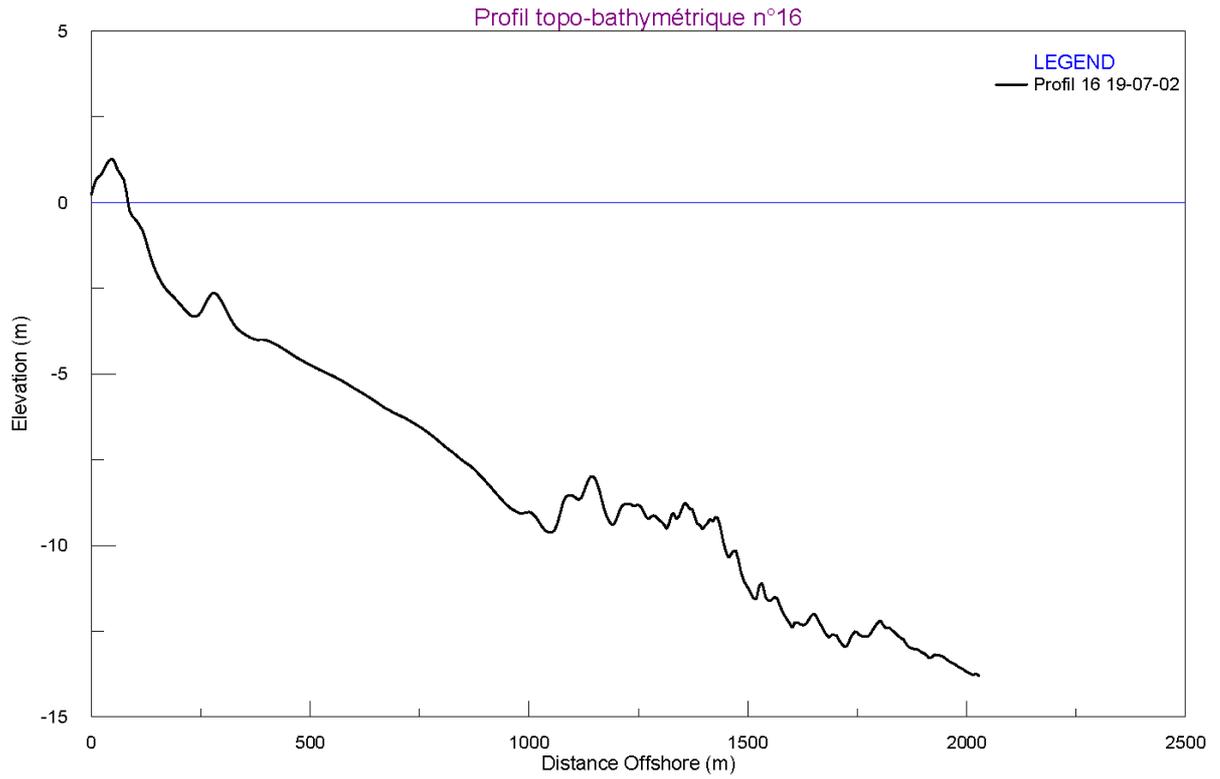


Fig. 4 - Profil topo-bathymétrique n°16

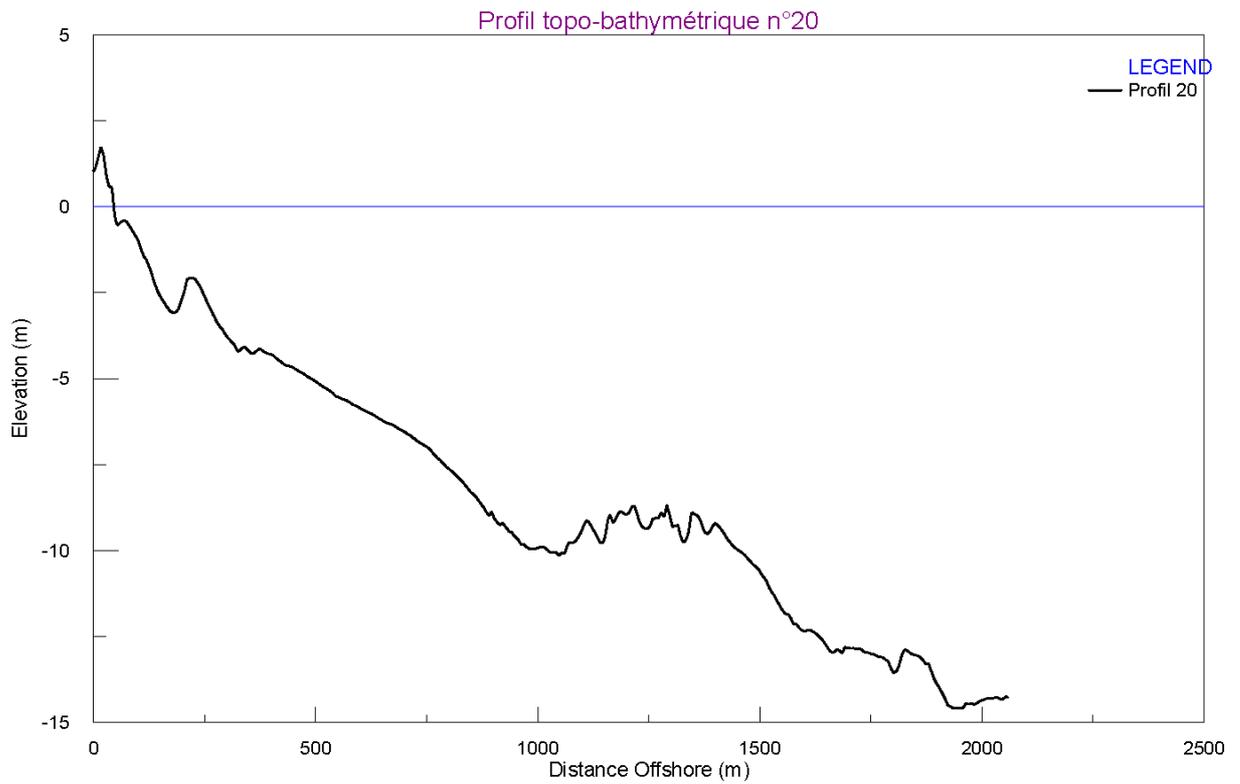


Fig. 5 - Profil topo-bathymétrique n°20

1.1.2. Granulométrie du matériel

Une étude récente effectuée par l'Université de Perpignan pour le compte du Conseil général de l'Hérault indique que le secteur est caractérisé par un déficit relatif en matériel sédimentaire fin. En effet, de nombreux galets viennent se mélanger au sable, leur répartition étant assez anarchique, avec tantôt seulement du sable, tantôt seulement des galets (extrémité occidentale du cordon), parfois les deux (photo n° 3). La présence de galets de variolite (galets verts avec des taches blanches) indiquerait que la Durance est à l'origine de ces dépôts.

Cette présence marquée de galets a deux significations. D'une part, elle traduit l'intervention probable dans l'alimentation sédimentaire du lido de sources locales de matériel moyen à grossier (grès infralittoraux observables dès -8 m et que l'on retrouve en quantité importante sur la plage émergée). D'autre part, elle laisse à penser que les flux entrants du type sédimentaire « sable fin » sont faibles ou nuls. Ceci est d'ailleurs confirmé par l'absence d'accumulation de sable de part et d'autre de l'épi qui marque le début du terrain du Conservatoire, au droit du restaurant appelé « L'escale ».

La granulométrie des sables est comprise entre 0,258 mm et 0,342 mm pour ce qui concerne le grain moyen de la berme. Les grains moyens des deux barres sont respectivement compris entre 0,154 mm et 0,174 mm pour la barre interne et 0,151 mm et 0,139 mm pour la barre externe. Classiquement, la taille du grain moyen diminue avec la profondeur. Elle décroît également du SW vers le NE, ce qui, dans l'hypothèse plausible d'un affinement du matériel sédimentaire dans le sens de la dérive littorale, traduirait un transit dominant vers le NE, en concordance avec les indications données lors des recherches antérieures.

1.1.3. Les modalités d'action des agents morphodynamiques

Sur le plan morphodynamique, les plages de la région sont soumises à un régime de vents marqué par une alternance entre des vents de terre fréquents et violents et des vents marins plus rares, mais qui peuvent être tout aussi violents : les premiers sont principalement la tramontane (de secteur ouest à nord-ouest) et secondairement le mistral (de secteur nord-est) alors que les vents de mer proviennent essentiellement du sud-est.

Ces vents de mer peuvent engendrer un transport éolien important sur la plage émergée avec perte d'une partie du matériel sédimentaire qui vient combler l'étang de Pierre Blanche. Malheureusement, aucune étude à ce jour ne permet de quantifier l'ampleur de ce transport.

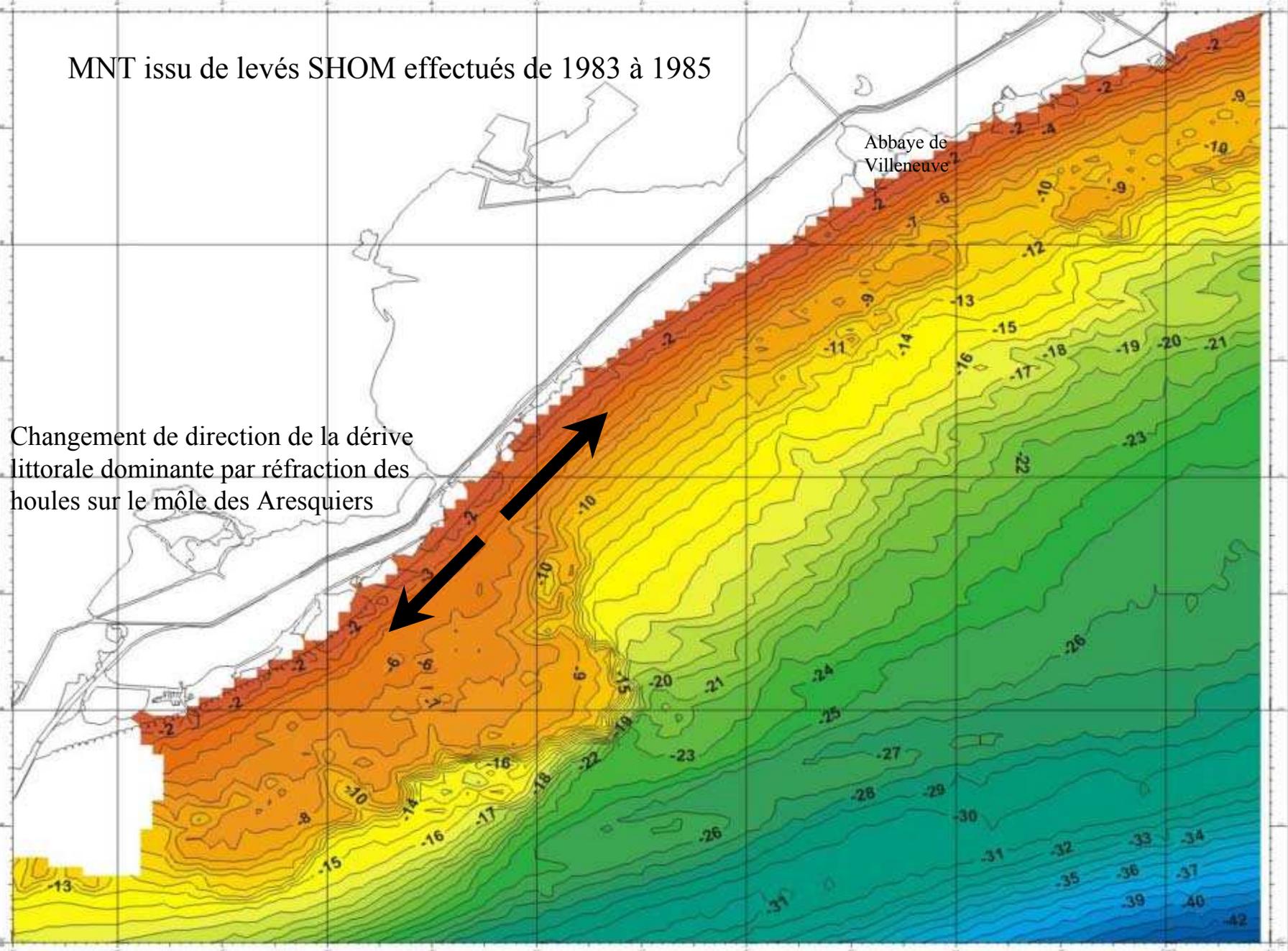
Les vents de terre induisent des houles locales (principalement du SW) fréquentes mais peu agressives en raison de leur fetch limité alors que les vents marins engendrent des houles (majoritairement de SE et SSE), moins fréquentes mais nettement plus efficaces sur le plan morphogénique. Même si 80% des houles ont une hauteur significative (*Hsig*) inférieure à 1 m, les tempêtes peuvent être extrêmement violentes, avec des *Hsig* maximales supérieures à 6 m dans les cas extrêmes, comme en novembre 1982 ou en décembre 1997 par exemple à Sète, et des surcotes très importantes, atteignant 1,35 m N.G.F (alors que la marée astronomique maximum ne dépasse pas 0,35 m N.G.F.). Inversement, des épisodes prolongés de vents de terre peuvent entraîner un abaissement du plan d'eau allant jusqu'à 40 cm sous le zéro N.G.F.

Ces houles subissent à l'approche du rivage un important phénomène de réfraction en raison de la présence, à la hauteur des Aresquiers (5 km au SW du domaine d'étude) de hauts fonds rocheux qui dévient vers l'Est les houles dominantes du SE et SSE. En conséquence, la dérive littorale dans le secteur est nettement résultante vers le NE, comme le montre la carte réalisée par le SHOM grâce à des levés effectués entre 1983 et 1985 (fig. 6), alors qu'elle est dirigée vers le SW à l'ouest des Aresquiers. Résultat, le lido ne bénéficie pratiquement d'aucune alimentation sédimentaire en provenance des secteurs adjacents.

MNT issu de levés SHOM effectués de 1983 à 1985

Abbaye de Villeneuve

Changement de direction de la dérive littorale dominante par réfraction des houles sur le môle des Aresquiers



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

Comme sur tout littoral meuble, les tempêtes jouent un rôle essentiel dans l'évolution du lido. En effet, ces événements exceptionnels peuvent engendrer à la fois des phénomènes d'érosion et de submersion importants, qui font évoluer le littoral par accoups. Par exemple, une forte tempête peut faire reculer une plage de plusieurs dizaines de mètres en l'espace de quelques heures, et la plage en question mettra ensuite des années à se reconstituer en partie ou en totalité (phénomène de cicatrisation). En outre, des fortes tempêtes peuvent se traduire par des phénomènes de submersion, par *overwash* ou même par ouverture de brèches dans un cordon littoral de faible altitude, comme c'est le cas ici.

Dans la région, nous disposons d'informations concernant la fréquence et la force des tempêtes lors des dernières décennies, mais peu concernant leurs impacts morphodynamiques sur le lido. La force et la fréquence des tempêtes sur le littoral languedocien a été recensée sur la période 1949-1999 à partir des données du sémaphore de Sète, situé à une dizaine de kilomètres au sud-ouest du secteur d'étude (DURAND, 1999 et 2001). Ont été considérés comme tempêtes tous les épisodes d'au moins 24 heures consécutives de forts vents marins (≥ 11 m/s) et d'états de la mer supérieurs ou égaux à la classe 4 du « code des états de la mer » de Météo-France – la classe 4 correspondant à des houles avec une *Hsig* comprises entre 1,25 m et 2,5 m. Il en ressort la survenue depuis 1949 de plusieurs cycles de tempêtes séparés par des périodes d'accalmie. Le cycle le plus net intervient entre la fin des années soixante-dix et la fin de la décennie suivante, et, après une accalmie marquée au début des années quatre-vingt-dix, il semblerait qu'un nouveau cycle ait débuté depuis 1995 ; il en résulte que les trois plus fortes tempêtes sont survenues au cours des vingt dernières années, respectivement aux mois de novembre 1982 (fréquence de retour cinquantennale) et 1989, et en décembre 1997.

Cette analyse de la force et de la fréquence des tempêtes a été complétée de manière plus précise à partir des enregistrements de la bouée datawell de Marseillan (environ 20 km au sud-ouest du lido) entre 1989 et 1997 (DURAND, 1999). Il s'agit de calculs de l'énergie libérée par les vagues lors des épisodes de tempêtes en appliquant la formule suivante, développée par JIMENEZ et SANCHEZ-ARCILLA (1994).

$$W \text{ (wave power)} = H^2 * T * d$$

où $H = Hsig$ moyenne sur toute la durée de l'épisode ; $T = Tsig$ moyenne ; $d =$ durée de l'épisode en minutes

L'énergie de chaque événement est ainsi exprimée en W/m/mn (fig.7). Il apparaît que de 1989 à 1997, le littoral de Marseillan a connu 12 tempêtes :

- la plus forte tempête depuis 1989 est celle des 16 au 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 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) ;
- 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.

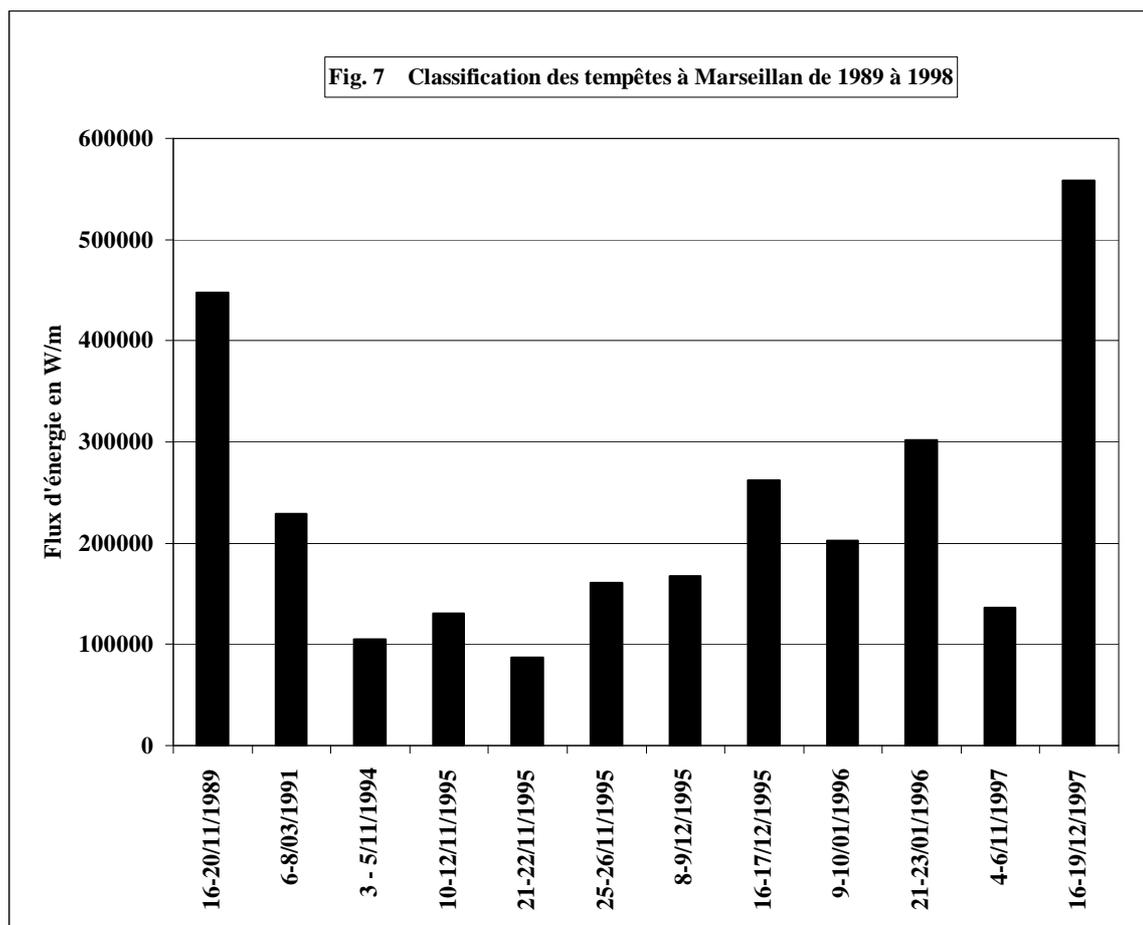


Fig. 7 - Tempêtes à Marseillan

L'impact morphogénique de ces tempêtes sur le lido a été peu étudié. Nous disposons simplement des observations de Rueda (1985), qui évoque notamment un recul de 20 à 30 m du cordon en certains endroits lors de la tempête cinquantennale de novembre 1982. 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 compris entre les P100 et 110. 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 (cf. carte 2 HT). Par la suite, de nouvelles brèches auraient été ouvertes lors de l'hiver 1995-1996 (7 tempêtes), en décembre 1997, novembre 1999, et, plus récemment, lors du dernier hiver. La photo n°3, prise en avril 2003 à la hauteur des profils P 35 à P40, illustre un secteur du lido où l'ouverture de brèches lors des tempêtes est certainement possible (cote maximale, 1,2 m NGF).

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 propulsés par les vagues dans les étangs par overwash ou par ouverture d'une brèche, ne peut être récupérée par la suite. Tout ceci est un facteur d'accélération du recul de la plage.

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

1.2.1. Méthodologie

D'après les données recueillies par le LCHF (1984) et Rueda (1986), et résultant de la comparaison de cartes anciennes, le lido des étangs de Pierre Blanche et de Vic est en recul avéré depuis le 19^{ème} 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 cinq missions aériennes IGN (1937, 1954, 1971, 1995 et 2001, cf. tableau 1), complétées, pour 2002 par des levés de la position du trait de côte réalisés au moyen d'un GPS différentiel pendant la saison estivale. Les valeurs ainsi obtenues serviront de base, dans un deuxième temps, à l'extrapolation des évolutions futures.

Date et heure	Mission aérienne	Echelle	Hauteur marée (cote marine)
07/06/2001 à 14h	FD 30-34 2001	1/25000 ^{ème}	0,27
28/07/1995 à 14h05	FD 30-34 1995	1/20000 ^{ème}	0,22
28/06/1971 à 15h20	F 2744, 1971	1/25000 ^{ème}	0,25
08/05/1954 à 16h00	F 2744, 1954	1/25000 ^{ème}	0,24
06/07/1937 à 09h30	NP9 – M13, 1937	1/15000 ^{ème}	0,32

Tableau 1 – Missions aériennes utilisées lors de l'analyse diachronique

Le traitement des documents a été effectué par informatique. Il comporte 4 étapes.

1. numérisation des photographies et d'un document géographique devant servir de référence à la correction des différents clichés (c'est à dire où les points sont localisés dans un référentiel cartographique), en l'occurrence la carte topographique IGN au 1/25000^{ème} (points exprimés en coordonnées Lambert III sud, ellipse de Clarke 1880). L'ensemble des documents ont été scannés à une résolution telle que la taille du pixel soit équivalente en moyenne à 1 m sur tous les fichiers numérisés, soit une numérisation allant de 254 à 508 pixels/pouce selon l'échelle des documents.
2. correction et géoréférencement des clichés grâce à un logiciel de traitement d'image, le logiciel *Ermapper*, afin de pouvoir superposer les trait de côte des différentes années. La méthode repose sur l'application de modèles de correction polynomiaux de degré 2 calculés à partir d'amers (points invariables tels que des croisements de routes, bâtiments) communs aux différents clichés, selon une méthodologie classiquement employée en photo-interprétation littorale (DOLAN *et al*, 1980 et 1991 ; CROWELL *et al*, 1991 et 1993 ; THIELER et DANFORTH, 1994 ; DURAND, 1999, 2000 et 2001). Les photographies ont ainsi été corrigées en deux temps : (a) correction des clichés de 2001 sur la carte de référence ; (b) utilisation de ces premières photographies corrigées pour recalibrer tous les autres clichés ; ce procédé permet en effet d'améliorer la précision de la correction par rapport à une correction de toutes les photographies directement sur la carte de référence dans la mesure où il est nettement plus fiable de repérer les correspondances d'une photographie à l'autre que d'une photographie à la carte au 1/25.000^{ème}.
3. réalisation de mosaïques des photographies corrigées par groupe de 2 à 4 clichés : ce travail a permis de vérifier l'existence d'éventuels décalages entre les bordures des clichés corrigés, notamment à la hauteur du trait de côte. En outre, les mesures d'évolution s'en sont trouvées facilitées.

4. réalisation des mesures d'évolution : pour ce faire, 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 n'a pas été possible de choisir une autre limite, par exemple le pied du versant maritime de l'avant-dune là où elle existe, car cet espace a souvent été dégradé, entre le début et la fin de la période d'étude, par la fréquentation touristique (piétinement de la végétation entraînant sa disparition) ou encore par l'ouverture de brèches dans le cordon lors d'épisodes de tempêtes. Il s'agit d'un problème rencontré fréquemment en photo-interprétation littorale. C'est pourquoi de très nombreuses méthodes ont recours à l'interface eau/terre pour définir le trait de côte (GRENIER et DUBOIS, 1990), en particulier pour les côtes en régime microtidal à très faible marnage, comme c'est le cas ici (marnage maximum de 35 cm). A partir de là, les mesures ont été effectuées sous le SIG *Mapinfo* à la hauteur des 136 profils levés au DGPS sur le cordon en juillet-août 2002 et espacés pour la plupart de 50 m le long des 7300 m du linéaire côtier (seuls les profils situés aux extrémités sont espacés de 100 m). Les profils ont été superposés l'un après l'autre à chaque photographie, ce qui a permis, à chaque fois, de comparer la position du trait de côte levée sur le terrain en 2002 et sur les diverses photographies (2001, 1995, 1971, 1954 et 1937). Une fois ce travail terminé, toutes les mesures ont été converties en variations métriques par rapport à 1937, considérée comme l'année de référence (année zéro).

1.2.2. Limites de la méthode

Si la correction des photographies est un préalable indispensable à leur comparaison, un tel processus n'est pas exempt d'erreurs. Les différentes méthodes existant à ce jour font généralement état de marges d'erreur s'échelonnant entre +/- 7 et +/- 14 m, soit de 14 à 28 m d'écart entre deux clichés (cf. références supra), et qui résultent de la conjonction 4 principales erreurs : erreur de repérage des amers sur les photographies (souvent estimée à +/- 1 pixel par photo), erreur de calcul des modèles polynomiaux par le logiciel de correction (+/- 1 pixel également), erreur lors des mesures d'évolution (+/- 1 pixel par photo), erreurs liées à la limite choisie pour représenter le trait de côte.

Cette dernière erreur est potentiellement la plus importante, surtout lorsque l'on utilise la ligne de rivage instantanée, comme c'est le cas ici : par exemple, un simple écart de hauteur du plan d'eau de 50 cm entre deux photographies peut engendrer une erreur de +/- 50 m sur une plage dont la pente est de 1% ! Toutefois, dans notre étude, cette erreur est minimisée pour deux raisons :

- ✓ la faible valeur du marnage dans la région (35 cm) et le fait que les différents clichés ont été réalisés par temps anticyclonique, sans phénomène de basses pressions, de vents forts et de mer agitée ayant pu engendrer des phénomènes de surcote par rapport à la marée astronomique prévue. Les conditions météo régnant le jour de la réalisation des photographies ont été vérifiées ainsi que la hauteur de la marée astronomique prévue à l'heure de la prise de vue (vérification faite sur le site internet du S.H.O.M. à partir des données du marégraphe le plus proche, Sète). Il apparaît que l'écart maximum de hauteur du plan d'eau entre deux photographies est de 10 cm (cf. tableau 1).
- ✓ les valeurs de pente du bas de plage, généralement assez fortes sur le cordon littoral étudié (cf. tableau 3) puisqu'elles sont pour la plupart comprises entre 3 et 5 %, sauf dans la partie centrale du cordon (entre les profils P30 et P60) où l'on relève des valeurs comprises de l'ordre de 2%. Le bas de plage est en effet la plupart du temps constitué d'un étroit bourrelet de sable ou de galets qui, d'une part, domine la partie aval du haut de plage de quelques décimètres et, d'autre part, est marqué par une pente assez prononcée en direction de la mer. Ce bourrelet peut disparaître (par arasement) lors des tempêtes au cours desquelles la plage est en partie submergée. En revanche, lors des périodes estivales (au cours desquelles ont été réalisées les missions aériennes), il est présent de manière quasi-systématique et domine nettement la zone de swash, située dans son prolongement immédiat.

En conséquence, pour un écart vertical maximum du plan d'eau de 10 cm entre deux photographies, on aboutit à un déplacement du trait de côte compris entre 2 m (pour une pente du bas de plage de 5 %) et 5 m au maximum (pour une pente du bas de plage de 2 %) entre deux clichés (soit +/- 2,5 m par photo), la valeur la plus fréquente étant de l'ordre de 3,33 m (valeur la plus fréquente de pente du bas de plage de l'ordre de 3%).

Au total, la somme des erreurs engendrées par le processus de correction et géoréférencement des photographies induit une marge d'erreur estimée à +/- 8.5 m au maximum entre deux clichés (tab. 2).

Type d'erreur	Estimation en m
Erreur dans le repérage des amers	+/- 1 m par photo soit +/- 2 m entre deux photos
Erreur résiduelle de calcul (R.M.S erreur)	+/- 1 m par photo soit +/- 2 m entre deux photos
Erreur de mesure sur les photos corrigées	+/- 1 m par photo soit +/- 2 m entre deux photos
Erreur liée aux variations de la position du trait de côte sous l'influence des fluctuations marégraphiques	+/- 2.5 m entre deux photos
Marge d'erreur entre deux photos corrigées	+/- 8,5 m

Tableau. 2 - Récapitulatif des erreurs inhérentes à la correction des photographies

Evidemment, cette erreur doit être prise en compte dans l'interprétation des résultats d'évolution, ainsi que dans le travail d'analyse prévisionnelle, dans la mesure où elle va se répercuter sur les prévisions de la position future du trait de côte.

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

La comparaison des diverses photographies et du trait de côte levé au DGPS en 2002 fait ressortir un recul généralisé du lido pouvant atteindre 93 m au maximum par rapport à 1937 (fig.8 a et b). Toutefois, l'ampleur de ce recul est inégale à la fois dans l'espace et dans le temps.

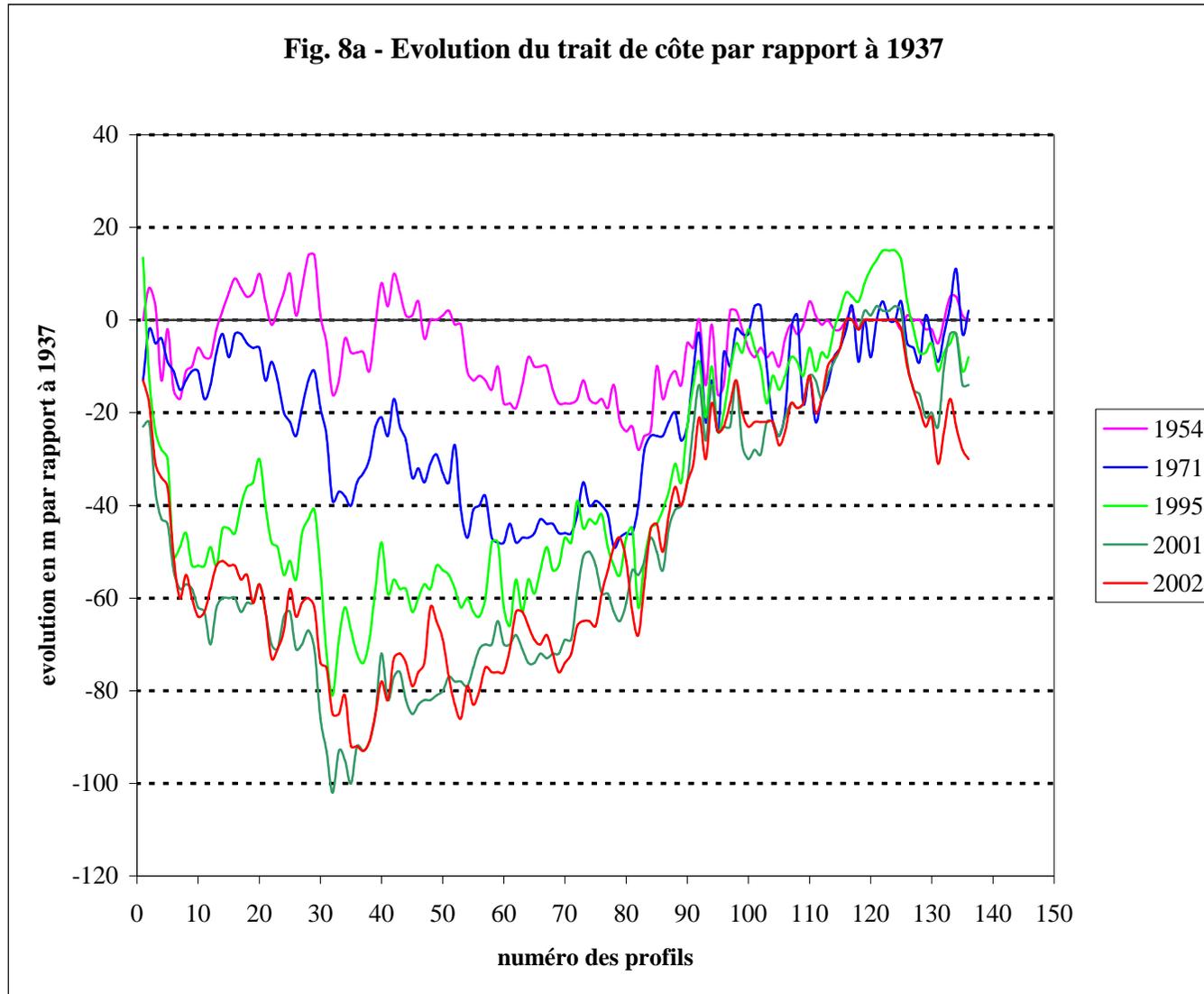
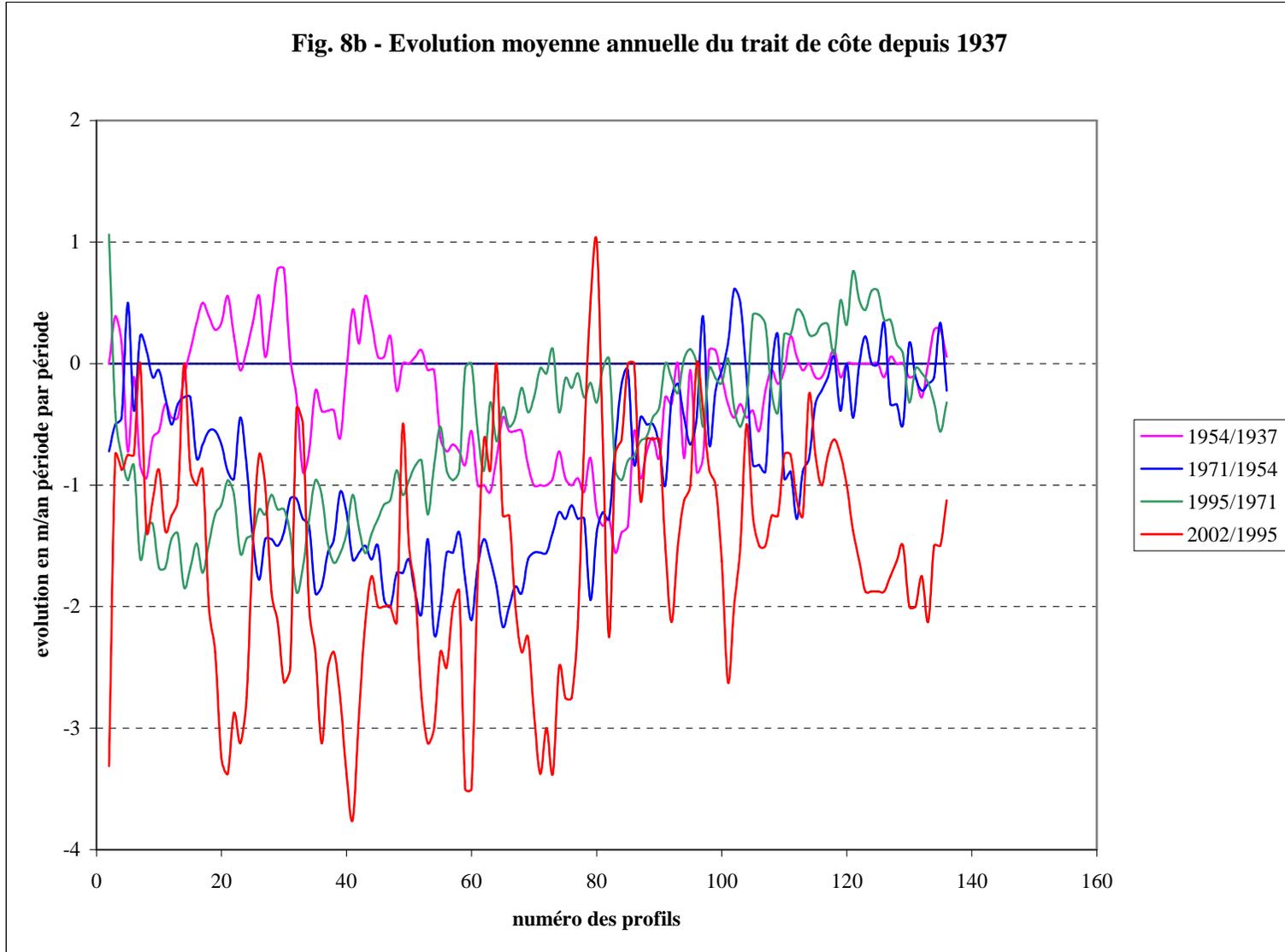


Fig. 8b - Evolution moyenne annuelle du trait de côte depuis 1937



D'un point de vue spatial, on peut découper assez nettement le cordon en 3 types de secteurs selon l'ampleur du recul depuis 1937 :

- ✓ une vaste partie centrale, comprise entre les P21 et P76 (soit un linéaire côtier de 2800 m) où le recul est quasiment toujours supérieur à 60 m ; dans cette partie centrale, 42 profils sur 56 enregistrent un recul compris entre 60 et 80 m (de 0.9 à 1.2 m par an), 10 un recul compris entre 81 et 90 m, et 4 un recul supérieur à 90 m ; les valeurs les plus fortes concernent les profils P35 à P38 (93 m de recul en P37), qui correspondent au secteur le plus bas du cordon, où des brèches sont régulièrement ouvertes lors des fortes tempêtes (cf. supra) ;
- ✓ la partie occidentale du lido, entre les P93 et P136 (2300 m de linéaire côtier), où le recul est beaucoup plus faible : il est toujours inférieur à 30 m, voire à 20 m pour 25 profils sur 44. L'ensemble de ce secteur englobe la partie du lido quasi exclusivement composée de galets (P136 à P125), la zone de transition galets-sables (P129 à 125) et le début du cordon à prédominance sableuse. Sur environ 450 m de linéaire côtier (P125 à P116), le recul a même été nul. Or, cela correspond très exactement au 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, qui joue un rôle protecteur lors des tempêtes. Enfin, on observe également des valeurs faibles de recul (< 40 m) à l'extrémité orientale du lido, entre le P1 et le P5 ;
- ✓ les autres secteurs du cordon, partie orientale du lido située entre le P6 et le P20, et partie située entre le secteur central et occidental (P76 à P93) enregistrent des reculs « intermédiaires », compris, à quelques exceptions près entre 30 et 60 m, avec la moitié des valeur entre 50 et 60m.

Si l'on examine maintenant les évolutions d'une date à l'autre, on constate que le recul n'a pas été régulier dans le temps. Il a été beaucoup plus faible pendant la première période, de 1937 à 1954, que lors des périodes suivantes (excepté pour 2001 à 2002). En valeurs moyennes annuelles de recul (fig. 8b), c'est la période 1995 à 2002 – la moyenne annuelle n'a pas été calculée entre 2001 et 2002 car cela aurait été sans signification – qui enregistre les plus fortes évolutions, avec des valeurs supérieures à 3 m de recul moyen annuel à la hauteur des profils P20, P40, P60 et P70. Dans l'ensemble, l'amplitude des évolutions a été beaucoup plus forte pendant cette dernière période. Deux facteurs d'explication peuvent être avancés à ce sujet. D'une part, cette période a connu une grande fréquence des tempêtes (11 pendant l'hiver 1995-1996, tempête vingtenale de décembre 1997, tempête décennale en novembre 1999). D'autre part, la période 1995 - 2002 couvre un laps de temps plus court (7ans) que les autres, d'où un moindre lissage par le temps des effets des tempêtes : il faut en effet un certain temps (parfois plusieurs années) pour que le littoral cicatrise après une forte tempête, c'est à dire que la plage se reconstitue au moins partiellement.

Au total, la synthèse des évolutions dans l'espace et dans le temps (fig. 8a) montre clairement que la partie occidentale du lido (entre les P93 et P136) a beaucoup moins évolué et de manière beaucoup plus régulière que le reste du cordon, en particulier que la moitié orientale, entre les P1 et P76. Dans le contexte d'une accélération de l'élévation du niveau marin, qui risque d'accroître les phénomènes d'érosion et de submersion, cette partie du cordon apparaît donc à terme comme la plus exposée. Ceci reste à confirmer lors de l'analyse prévisionnelle de l'évolution du littoral, qui va prendre appui à la fois sur les données évolutives depuis 1937 et sur les caractéristiques de la topographie du lido.

2. Méthodologie de l'analyse prévisionnelle

2.1. Rappel des problèmes inhérents à l'analyse prévisionnelle

Le rapport intermédiaire a proposé une synthèse de l'état de la recherche en matière d'analyse prévisionnelle. Il a en particulier souligné l'existence de trois grandes limites inhérentes à toute méthode d'analyse prévisionnelle, qu'il s'agisse de méthodes d'approche historique – prévision de l'évolution d'un rivage par extrapolation dans le futur de ses données d'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. Nous nous contenterons de rappeler ici rapidement ces limites.

La première limite tient au manque de données généralement disponibles. Par exemple, les méthodes historiques se heurtent souvent au manque de données d'évolution passée du trait de côte. Or, si l'on prend l'exemple de la méthode d'extrapolation la plus fréquemment employée, à savoir la régression linéaire, on considère que pour obtenir des prévisions d'une fiabilité acceptable, il faudrait théoriquement disposer d'un échantillon minimal de 30 données d'évolution passée couvrant un laps de temps au moins deux fois supérieur à la durée de la prévision (par exemple, 200 ans de données historiques pour une prévision à échéance de 100 ans). En pratique, ces conditions ne sont jamais réunies.

La deuxième limite réside dans l'extrême complexité de modélisation de la dynamique littorale. C'est la difficulté fondamentale à laquelle se heurtent les modèles. 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. Résultat, 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 et 1996 ; YOUNG *et al*, 1995 ; THIELER *et al*, 2000).

La troisième limite tient à l'absence de prise en compte des variations à court terme de la position du trait de côte sous l'impact des tempêtes. En effet, quelque soit le type d'approche employé, seule la tendance évolutive à long terme d'un rivage peut être prévue, que se soit par extrapolation ou par modélisation. Or l'évolution du littoral est caractérisée, par delà une tendance à long terme, par de brutales fluctuations, sous l'impact de défluviations importantes et surtout de tempêtes. Or, ces brutales fluctuations peuvent être très fortes : dans certains cas (DOLAN *et al*, 1991), leur amplitude dépasse même l'amplitude des changements prévus à échéance de 100 ans.

A ces trois limites fondamentales s'ajoute enfin le problème spécifique lié à la prise en compte, dans cette étude, du paramètre « accélération de l'élévation du niveau marin ». En effet, dans l'état actuel des connaissances, on ne sait absolument pas quantifier l'impact d'un tel phénomène sur l'évolution des rivages. Si les recherches ont démontré, que dans certains cas, une élévation du niveau de la mer peut engendrer un recul des cordons littoraux parallèlement à eux-mêmes, on est, dans 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 (principe de BRUUN) n'est applicable qu'à un nombre très restreint de plages (littoraux 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 submersions, ruptures des cordons littoraux plus fréquentes etc.). Dans ces conditions, il est extrêmement aléatoire de tenir compte du paramètre « accélération de l'élévation du niveau marin » dans un travail d'analyse prévisionnelle, 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'une accélération de la hausse du niveau marin, pour peu que l'on dispose de données topographiques précises permettant d'examiner la conséquence, en particulier sur la face interne des cordons, 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 combine une approche historique, la régression linéaire, et une prévision des évolutions par submersion passive.

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

Elle se déroule en 3 temps.

Prévision de la position future du trait de côte à partir d'une approche historique, la régression linéaire

Parmi les différentes méthodes d'approche historiques existantes, seule la méthode de la régression linéaire a été retenue car elle est considérée comme la moins aléatoire (FENSTER *et al*, 2001). Toutefois, il faut garder à l'esprit, qu'outre les limites inhérentes à cette méthode (CROWELL *et al*, 1997 ; DOUGLAS *et al*, 1998 ; DURAND, 1999 et 2001), elle est appliquée ici dans des conditions loin d'être idéales. En effet, les régressions ont été calculées pour chacun des 136 profils disponibles seulement à partir de 5 dates d'évolution historique (1937, 1954, 1971, 1995 et 2002)³, inégalement espacées dans le temps et ne couvrant qu'une période de 66 ans. Or, rappelons qu'il faudrait, dans l'idéal, au moins 30 dates d'évolution passée couvrant un laps de temps au moins deux fois supérieur à la prévision (c'est à dire 200 ans au minimum) ...

Dans ces conditions, même si l'évolution du trait de côte entre 1937 et 2002 a révélé une nette tendance à l'érosion, des prévisions réalisées à partir d'un échantillon de données aussi restreint et couvrant un laps de temps d'une durée 2 fois inférieure à la prévision peuvent potentiellement être affectés d'une marge d'erreur très importante. Il aurait été souhaitable de pouvoir évaluer cette erreur par une procédure de « prévision rétroactive » – par exemple en calculant la position du trait de côte en 2002 par régression à partir des dates précédentes (1937, 1954, 1971, 2001) et en la comparant avec la position réelle du trait de côte levée au DGPS en 2002. Mais ici, une telle procédure reviendrait à chercher à valider des prévisions à échéance respectivement de 48 et 98 ans (2002 à 2050 et 2002 à 2100) par des prévisions faites à échéance de 2 ans (2000 à 2002), ce qui n'aurait guère de sens. Nous proposerons donc simplement une marge d'erreur sous la forme 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 entre 1937 et 2002.

Les résultats seront donc à considérer avec une extrême précaution. Ils correspondront en quelque sorte à un simple scénario indicatif de l'évolution future de la ligne de rivage par une simple extrapolation de quelques évolutions passées, **sans tenir compte du phénomène d'accélération de l'élévation du niveau marin par rapport au rythme d'élévation enregistré au cours du 20^{ème} siècle.**

Prévision des évolution futures par submersion passive

Ces prévisions concernent à la fois la face interne du cordon littoral (façade lagunaire) et sa face externe (façade marine), grâce à l'utilisation des données topographiques DGPS. La possibilité d'avoir une approche très fine de la topographie du lido nous est en effet offerte grâce à la campagne de levés DGPS 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 1 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 2/3 des profils (P28 à 105) recourent entièrement le cordon, depuis sa face externe à sa face interne, les autres (P1 à 27 et P106 à 136) concernant seulement la partie externe du cordon. L'appareillage qui est mis en œuvre est un système DGPS centimétrique de très haute précision, 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.

³ 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.

De cette manière, on s'affranchit complètement des problèmes liés à la marée (même si le marnage de cette zone ne dépasse pas les 35 cm) et aux surcotes météorologiques puisque le référentiel utilisé correspond au zéro NGF du vieux port de Marseille.

A partir de là, la méthode utilisée pour évaluer l'évolution du littoral par submersion passive a simplement consisté à simuler une translation de 44 cm du niveau de la mer et à cartographier les pertes en surface qui en résulteraient. Evidemment, l'inconvénient d'un tel procédé est d'ignorer les modifications de la dynamique littorale (augmentation de la fréquence et de la force des tempêtes, modifications des transits sédimentaires, du profil de la plage) susceptibles d'être engendrées par une élévation du niveau marin. Toutefois, pour la face interne du cordon, où la dynamique est peu active, la démarche peut donner des résultats significatifs. En revanche, elle est beaucoup plus hypothétique en ce qui concerne la face externe du cordon. Cependant, ce procédé a le mérite de permettre une cartographie directe des pertes qui seraient engendrées par une simple élévation statique du plan d'eau. Dans cette optique, on peut considérer que les terrains qui seraient perdus selon ce scénario représentent la perte minimale envisageable à l'horizon 2100.

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 2100 a été calculée par la formule suivante :

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

Où **R** = valeur de recul prévue en 2100; **r** = valeur moyenne du recul prévu par les méthodes historiques ; **E21** = valeur d'élévation du niveau marin prévue d'ici 2100, soit 44 cm ; **E20** = valeur moyenne d'élévation du niveau marin au 20^{ème} siècle, soit 13 cm (valeur à déduire car prise déjà 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 1^{ère} barre pré-littorale, située à environ – 1 m.

Par exemple, si en 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 prévu par régression linéaire est de 40 m, le recul total, en ajoutant le paramètre submersion passive sera égal à :

$$R = 40 + [(44 - 13) / 5] \text{ soit } 40 + 6,2 \text{ soit } 46,2 \text{ m}$$

Evidemment, une telle démarche reste très hypothétique dans la mesure où 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 des transits sédimentaires, du profil de la plage etc.). En outre, elle souffre des imprécisions évoquées plus haut liées à la mise en œuvre de la méthode de la régression linéaire. Toutefois, cette démarche a le mérite de permettre de prendre en compte dans la prévision à la fois l'évolution passée du rivage (régression linéaire) et l'effet d'accélération de la hausse du niveau marin (submersion passive).

3. Cartographie prévisionnelle et analyse des résultats

3.1. Présentation des documents

Les résultats sont présentés de la manière suivante :

- un tableau (tab. 3) récapitulant pour chaque profil les évolutions entre 1937 et 2002 (colonnes 2 à 7), les extrapolations réalisées à échéance des années 2050 (colonnes 9 à 12) et 2100 (colonnes 13 à 15) à la fois par la méthode de la régression linéaire et par la combinaison de cette méthode avec la submersion passive, comme définit plus haut ; pour chaque valeur, est indiquée en italique la marge d'incertitude estimée par le calcul de l'intervalle de confiance à 80% de la régression linéaire (colonnes 10 et 15) ainsi que le coefficient de détermination de la droite de régression (colonne 11) ;
- une série de cartes prévisionnelles au format A3 et à l'échelle du 1/10000^{ème} pour chacune des deux dates (2050 et 2100), élaborées à l'aide du SIG *Mapinfo* à partir du fond photographique 2001 (photos les plus récentes) et des valeurs du tableau 3 (prévisions de 2002 à 2050 et 2100, la position du trait de côte entre deux profils ayant été extrapolée par rapport aux valeurs de ces profils). Ces cartes représentent chacune :
 - la position prévue du rivage prévue en 2050 ou 2100 par simple application du principe de la submersion passive (cartes 3 à 6 HT) : simulation d'une translation du niveau de la mer de 22 cm (2050) ou 44 cm (2100) et indication des pertes en surface qui en résulteraient sur les deux faces du lido (en trait et quadrillage orangé pour 2050, rouge pour 2100) – il est à noter que dans la mesure où seuls les profils 28 à 105 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.
 - pour la face externe du cordon seulement, la position du trait de côte prévue en 2050 ou 2100 déterminée à la fois par la méthode de la régression linéaire seule (cartes 7 à 10 HT) et par application de la combinaison régression linéaire / submersion passive (cartes 11 à 14 HT, application de la formule présentée page précédente, colonnes 12 et 14 du tab. 3).

N° des profils	Position du TC par rapport à 1937 en m						Pente de la plage en 2002 (en %)	Prévision 2050 / 2002 en m				Prévision 2100 / 2002 en m		
	1937	1954	1971	1995	2001	2002		régression linéaire seule	IC80% (en +/- m)	R2	régression linéaire et submersion passive	régression linéaire seule	régression linéaire et submersion passive	IC80% (en +/- m)
1	0	0	-13	13.5	-23	-13	4	13	15.6	0.1	9.125	13	5.25	15.5
2	0	7	-2	-12	-22	-18	5	18	6.7	0.79	14.9	18	11.8	6.8
3	0	3	-5	-24	-37	-31	3.86	31	8	0.87	26.98445596	31	22.96891192	8
4	0	-13	-4	-28	-43	-34	4.22	34	9.8	0.8	30.32701422	34	26.65402844	9.8
5	0	-2	-9	-30	-44	-36	3.95	36	7.5	0.9	32.07594937	36	28.15189873	7.5
6	0	-15	-11	-51	-54	-51	3.27	51	9.5	0.91	46.25993884	51	41.51987768	9.5
7	0	-17	-15	-49	-58	-60	3.11	60	8.5	0.93	55.01607717	60	50.03215434	8.5
8	0	-11	-13	-46	-57	-55	3.09	55	8.3	0.93	49.98381877	55	44.96763754	8.4
9	0	-10	-11	-53	-58	-60	2.95	60	10.1	0.92	54.74576271	60	49.49152542	10
10	0	-6	-11	-53	-62	-64	2.71	64	11	0.92	58.2804428	64	52.56088561	11
11	0	-8	-17	-53	-63	-63	3.11	63	8.3	0.95	58.01607717	63	53.03215434	8
12	0	-8	-14	-49	-70	-58	3.13	58	10	0.92	53.04792332	58	48.09584665	10
13	0	-2	-7	-53	-62	-53	3.12	53	12.5	0.89	48.03205128	53	43.06410256	12.5
14	0	2	-3	-45	-60	-52	3.03	52	14	0.85	46.88448845	52	41.7689769	14.2
15	0	6	-8	-45	-60	-53	3.63	53	13	0.88	48.73002755	53	44.4600551	13
16	0	9	-3	-46	-60	-53	3.2	53	15.5	0.84	48.15625	53	43.3125	15.8
17	0	7	-3	-40	-63	-56	2.77	56	16	0.83	50.40433213	56	44.80866426	16.1
18	0	5	-5	-36	-61	-55	3.26	55	15	0.84	50.24539877	55	45.49079755	15.2
19	0	6	-6	-35	-61	-61	5.51	61	16	0.83	58.18693285	61	55.3738657	16
20	0	10	-6	-30	-57	-57	3.125	57	15.8	0.81	52.04	57	47.08	16.1
21	0	4	-13	-40	-63	-63	2.8	63	13.3	0.88	57.46428571	63	51.92857143	13.2
22	0	-1	-9	-48	-70	-73	5.6	73	15.5	0.88	70.23214286	73	67.46428571	15.6
23	0	2	-13	-49	-71	-71	5.6	71	14.2	0.89	68.23214286	71	65.46428571	14.2
24	0	6	-20	-55	-64	-67	3.11	67	11.4	0.93	62.01607717	67	57.03215434	11.4
25	0	10	-22	-52	-63	-58	4.32	58	12	0.91	54.41203704	58	50.82407407	12
26	0	1	-25	-56	-71	-64	4	64	9.6	0.95	60.125	64	56.25	12
27	0	7	-19	-46	-70	-61	3.33	61	13.4	0.9	56.34534535	61	51.69069069	13.3
28	0	14	-13	-43	-67	-60	3.13	60	16.2	0.86	55.04792332	60	50.09584665	13.4
29	0	14	-11	-41	-71	-62	2.94	62	18	0.84	56.72789116	62	51.45578231	17.8
30	0	1	-19	-54	-86	-74	3.25	74	15.7	0.9	69.23076923	74	64.46153846	15.8
31	0	-5	-25	-72	-93	-75	3.63	75	13.4	0.93	70.73002755	75	66.4600551	13.3
32	0	-16	-39	-81	-102	-85	4.66	85	9.4	0.97	81.67381974	85	78.34763948	9.4
33	0	-13	-37	-69	-93	-85	5.38	85	8.2	0.97	82.11895911	85	79.23791822	8.2
34	0	-4	-38	-62	-95	-81	3.68	81	12.9	0.93	76.78804348	81	72.57608696	13
35	0	-7	-40	-67	-100	-92	4.54	92	12.5	0.95	88.58590308	92	85.17180617	12.5
36	0	-7	-35	-72	-92	-92	2.76	92	9.7	0.97	86.38405797	92	80.76811594	9.7
37	0	-7	-33	-74	-93	-93	2.97	93	10.3	0.96	87.78114478	93	82.56228956	10.3
38	0	-11	-30	-69	-91	-91	2.75	91	10.9	0.96	85.36363636	91	79.72727273	10.9
39	0	-1	-23	-58	-85	-85	2.45	85	14.3	0.92	78.67346939	85	72.34693878	14.3
40	0	8	-21	-48	-72	-78	2.34	78	15.7	0.89	71.37606838	78	64.75213675	14.3
41	0	3	-25	-59	-82	-82	2.5	82	13.5	0.93	75.8	82	69.6	13.5
42	0	10	-17	-56	-77	-73	2.62	73	15.8	0.89	67.08396947	73	61.16793893	13.5
43	0	6	-23	-58	-76	-72	2.54	72	12.9	0.92	65.8976378	72	59.79527559	12.8
44	0	1	-26	-58	-82	-74	2.4	74	12.1	0.93	67.54166667	74	61.08333333	12.9
45	0	1	-34	-63	-85	-79	2.6	79	11.5	0.94	73.03846154	79	67.07692308	11.4
46	0	4	-32	-60	-83	-76	2.5	76	12.6	0.93	69.8	76	63.6	12.6
47	0	-4	-35	-57	-82	-74	2.68	74	10	0.95	68.21641791	74	62.43283582	10
48	0	0	-31	-58	-82	-62	3.13	62	11.3	0.93	57.04792332	62	52.09584665	10

Tab. 3 - Mesures d'évolution et analyse prévisionnelle

49	0	0	-29	-53	-81	-65	2.8	65	11	0.93	59.46428571	65	53.92857143	11
50	0	1	-33	-54	-80	-69	3.54	69	11.9	0.93	64.62146893	69	60.24293785	11.1
51	0	2	-35	-55	-77	-77	2.46	77	11.7	0.93	70.69918699	77	64.39837398	11.6
52	0	-1	-27	-58	-78	-83	3	83	11.8	0.94	77.83333333	83	72.66666667	11.7
53	0	-1	-41	-62	-78	-86	3.54	86	11	0.95	81.62146893	86	77.24293785	10.9
54	0	-11	-47	-60	-79	-79	2.35	79	8.2	0.96	72.40425532	79	65.80851064	11
55	0	-13	-41	-63	-75	-83	2.4	83	6	0.98	76.54166667	83	70.08333333	6
56	0	-12	-40	-64	-71	-80	3.48	80	5.2	0.98	75.54597701	80	71.09195402	5.2
57	0	-13	-38	-60	-70	-75	4.16	75	8	0.99	71.27403846	75	67.54807692	8
58	0	-15	-47	-48	-70	-76	4.51	76	10.9	0.92	72.5631929	76	69.12638581	10.9
59	0	-10	-48	-48	-65	-76	4.28	76	12	0.9	72.37850467	76	68.75700935	11.8
60	0	-18	-48	-62	-70	-76	4.68	76	10.9	0.98	72.68803419	76	69.37606838	10.9
61	0	-18	-44	-66	-70	-71	3.18	71	7.7	0.99	66.12578616	71	61.25157233	7.7
62	0	-19	-48	-56	-68	-63	3.51	63	6	0.95	58.58404558	63	54.16809117	6
63	0	-14	-47	-63	-71	-63	2.58	63	7.6	0.95	56.99224806	63	50.98449612	7.7
64	0	-8	-47	-56	-74	-66	2.46	66	7.7	0.94	59.69918699	66	53.39837398	7.7
65	0	-10	-46	-59	-74	-69	6.6	69	7.8	0.96	66.65151515	69	64.3030303	7.8
66	0	-10	-43	-54	-72	-70	3.21	70	9.8	0.96	65.17133956	70	60.34267913	9.8
67	0	-10	-44	-49	-73	-68	2.72	68	9.9	0.93	62.30147059	68	56.60294118	9.9
68	0	-15	-44	-54	-72	-72	2.2	72	7.7	0.97	64.95454545	72	57.90909091	7.7
69	0	-18	-46	-53	-72	-76	3.69	76	8.3	0.95	71.79945799	76	67.59891599	8.2
70	0	-18	-46	-47	-69	-74	3.82	74	7	0.92	69.94240838	74	65.88481675	7.1
71	0	-18	-46	-48	-69	-72	2.14	72	9.6	0.93	64.75700935	72	57.51401869	9.6
72	0	-17	-42	-39	-59	-66	3.25	66	10.3	0.89	61.23076923	66	56.46153846	10.4
73	0	-13	-35	-45	-51	-65	3.82	65	7.1	0.95	60.94240838	65	56.88481675	7.1
74	0	-17	-40	-43	-50	-65	3.5	65	10.6	0.91	60.57142857	65	56.14285714	10.6
75	0	-18	-39	-44	-53	-66	2.8	66	8.8	0.93	60.46428571	66	54.92857143	8.8
76	0	-17	-40	-42	-59	-59	2.45	59	9.2	0.93	52.67346939	59	46.34693878	9.2
77	0	-19	-42	-49	-59	-54	2.88	54	6.9	0.95	48.61805556	54	43.23611111	6.9
78	0	-14	-49	-53	-63	-49	2.64	49	7.7	0.86	43.12878788	49	37.25757576	7.8
79	0	-22	-47	-55	-65	-47	2.74	47	11	0.86	41.34306569	47	35.68613139	10.7
80	0	-24	-46	-47	-61	-52	2.63	52	11.7	0.88	46.10646388	52	40.21292776	11.8
81	0	-23	-46	-45	-54	-63	3.51	63	10	0.89	58.58404558	63	54.16809117	10.1
82	0	-28	-40	-62	-55	-68	5.16	68	9.8	0.94	64.99612403	68	61.99224806	9.8
83	0	-25	-28	-52	-52	-57	2.85	57	5.6	0.96	51.56140351	57	46.12280702	5.6
84	0	-24	-25	-45	-47	-45	3.41	45	8	0.94	40.45454545	45	35.90909091	8
85	0	-10	-25	-44	-50	-44	3.25	44	3.1	0.99	39.23076923	44	34.46153846	3.1
86	0	-17	-25	-41	-54	-50		50	5.8	0.98	#DIV/0!	50	#DIV/0!	5.8
87	0	-13	-22	-37	-45	-42		42	2	0.99	#DIV/0!	42	#DIV/0!	2
88	0	-11	-20	-31	-41	-36		36	4	0.98	#DIV/0!	36	#DIV/0!	4
89	0	-14	-26	-35	-40	-40		40	2.8	0.98	#DIV/0!	40	#DIV/0!	2.8
90	0	-5	-23	-23	-35	-35		35	3	0.91	#DIV/0!	35	#DIV/0!	3
91	0	-6	-11	-14	-23	-31		31	5.9	0.84	#DIV/0!	31	#DIV/0!	5.7
92	0	0	-3	-9	-14	-21		21	5.7	0.79	#DIV/0!	21	#DIV/0!	6
93	0	-14	-22	-21	-26	-30		30	5.3	0.85	#DIV/0!	30	#DIV/0!	5.1
94	0	-1	-13	-10	-14	-18		18	5	0.79	#DIV/0!	18	#DIV/0!	5.3
95	0	-16	-24	-24	-24	-24		24	6.3	0.74	#DIV/0!	24	#DIV/0!	6.9
96	0	-14	-7	-20	-23	-23		23	4.8	0.81	#DIV/0!	23	#DIV/0!	5
97	0	2	-10	-11	-23	-18		18	5.3	0.82	#DIV/0!	18	#DIV/0!	5.7
98	0	2	-2	-5	-13	-13		13	5.2	0.76	#DIV/0!	13	#DIV/0!	5.5
99	0	-2	-3	-7	-27	-20		20	8	0.67	#DIV/0!	20	#DIV/0!	8.4
100	0	-6	-3	-2	-30	-23		23	4	0.49	#DIV/0!	23	#DIV/0!	5
101	0	-8	3	-6	-28	-22		22	11.1	0.5	#DIV/0!	22	#DIV/0!	12
102	0	-6	3	-10	-29	-22		22	11.6	0.61	#DIV/0!	22	#DIV/0!	12.1
103	0	-8	-10	-18	-22	-22		22	1.7	0.98	#DIV/0!	22	#DIV/0!	1.7
104	0	-7	-22	-12	-22	-22		22	10.1	0.65	#DIV/0!	22	#DIV/0!	10.5

Tab. 3 - Mesures d'évolution et analyse prévisionnelle

105	0	-10	-25	-15	-25	-27		27	7.6	0.68	#DIV/0!	27	#DIV/0!	7.9
106	0	-4	-20	-12	-21	-24		24	7.1	0.72	#DIV/0!	24	#DIV/0!	7.4
107	0	-1	-2	-8	-18	-18		18	4.9	0.79	#DIV/0!	18	#DIV/0!	5.1
108	0	-3	1	-9	-19	-19		19	6.6	0.72	#DIV/0!	19	#DIV/0!	7
109	0	-1	-18	-12	-18	-18		18	5.8	0.72	#DIV/0!	18	#DIV/0!	6.2
110	0	4	-12	-6	-12	-12		12	6.2	0.59	#DIV/0!	12	#DIV/0!	6.6
111	0	1	-22	-11	-13	-20		20	8.9	0.49	#DIV/0!	20	#DIV/0!	9.5
112	0	-1	-17	-7	-17	-17		17	5.7	0.59	#DIV/0!	17	#DIV/0!	6.6
113	0	0	-14	-8	-12	-10		10	5.1	0.56	#DIV/0!	10	#DIV/0!	5.5
114	0	-2	-8	-2	-9	-8		8	6.8	0.48	#DIV/0!	8	#DIV/0!	8
115	0	-2	-6	2	-6	-6		6	4.2	0.14	#DIV/0!	6	#DIV/0!	6
116	0	0	-2	6	0	0		0	3.6	0.11	#DIV/0!	0	#DIV/0!	7.5
117	0	2	3	5	0	0		0	2.6	0.01	#DIV/0!	0	#DIV/0!	5.5
118	0	-2	-9	4	-2	-2		2	3.3	0.02	#DIV/0!	2	#DIV/0!	7
119	0	0	0	8	2	0		0	3.7	0.2	#DIV/0!	0	#DIV/0!	5.7
120	0	0	-8	11	1	0		0	5.3	0.11	#DIV/0!	0	#DIV/0!	7
121	0	0	0	13	3	0		0	6	0.19	#DIV/0!	0	#DIV/0!	8.1
122	0	0	4	15	2	0		0	7.3	0.14	#DIV/0!	0	#DIV/0!	9.8
123	0	0	0	15	2	0		0	7	0.16	#DIV/0!	0	#DIV/0!	8.9
124	0	0	0	15	3	0		0	7	0.18	#DIV/0!	0	#DIV/0!	10
125	0	-2	4	13	2	-2		2	6.9	0.11	#DIV/0!	2	#DIV/0!	8
126	0	1	-5	4	-9	-10		10	6.9	0.26	#DIV/0!	10	#DIV/0!	8.4
127	0	0	-6	-2	-15	-15		15	5.5	0.61	#DIV/0!	15	#DIV/0!	6
128	0	0	-9	-7	-16	-19		19	6.4	0.78	#DIV/0!	19	#DIV/0!	6.9
129	0	-2	1	-7	-21	-23		23	8	0.66	#DIV/0!	23	#DIV/0!	8.3
130	0	-2	-4	-5	-20	-21		21	4.8	0.68	#DIV/0!	21	#DIV/0!	5.2
131	0	-5	-9	-11	-23	-31		31	4.3	0.95	#DIV/0!	31	#DIV/0!	4.4
132	0	0	-3	-7	-10	-24		24	7	0.77	#DIV/0!	24	#DIV/0!	7.1
133	0	5	3	-5	-3	-17		17	6.9	0.32	#DIV/0!	17	#DIV/0!	7.5
134	0	5	11	-3	-3	-23		23	7.4	0.46	#REF!	23	#REF!	7.7
135	0	1	-3	-11	-14	-28		28	12.2	0.61	#REF!	28	#REF!	12.6
136	0	0	2	-8	-14	-30		30	7.6	0.71	#REF!	30	#REF!	8

Tab. 3 - Mesures d'évolution et analyse prévisionnelle

3.2. Analyse des résultats

Les pertes prévues par submersion passive seule (cartes 3 à 6 HT) donnent des résultats significatifs surtout pour la face interne du lido, où la dynamique est peu active. Elles représenteraient un total de 137600 m² (13,76 ha) en 2050 et 209200 m² (20,9 ha) en 2100 pour les seuls profils P28 à P105, soit un linéaire côtier de 4000 m ; évidemment, si la totalité de la façade lagunaire avait été prise en compte, elles seraient probablement nettement supérieures. Sur la face externe du cordon, qui est couverte en totalité par les profils, les chiffres ne sont pas négligeables non plus : pertes potentielles de 20235 m² (2,02 ha) à échéance de 2050 et de 105180 m² (10,58 ha) en 2100, la partie centrale, très basse, du cordon (P28 à P76) étant particulièrement touchée dans ce cas⁴. Toutefois, les résultats sont ici à considérer avec les précautions les plus extrêmes, en raison des réserves évoquées plus haut.

Les prévisions par la méthode de la régression linéaire (notée RL) à partir de l'extrapolation des données d'évolution passée du rivage (cartes 7 à 10 HT) font évidemment apparaître des reculs beaucoup plus importants. Ainsi, le cordon littoral reculerait en roulant sur lui-même sur plusieurs dizaines de mètres, voire plus de 100 m par endroits. La surface de lido concernée par le phénomène varierait entre 233195 m² (23,31 ha) en 2050 et 490140 m² (49,01 ha) en 2100. Mais en fait, il ne s'agirait pas de réelles pertes en surface, dans la mesure où le lido se déplacerait parallèlement à lui-même. En revanche, sur les cartes 11 à 14 HT, la prise en compte, en plus du recul prévu par régression linéaire, de la submersion passive (notée SP), se traduit par des pertes réelles de surface du lido, équivalentes aux pertes mentionnées sur les cartes 3 à 6 HT. C'est une manière d'intégrer dans l'analyse le facteur « accélération de la hausse du niveau marin » et d'en visualiser les effets. Sur le plan linéaire, la prise en compte de ce facteur augmente les valeurs de recul prévues de quelques mètres à 15 mètres par endroits, là où la pente actuelle de la plage est très faible (cf. tab. 3).

Si l'on examine maintenant en détail les prévisions, il apparaît que le recul prévu est très inégal selon les secteurs du lido. On retrouve schématiquement la différenciation en 3 types de secteurs établie lors de l'analyse de l'évolution du rivage depuis 1937 :

- les reculs les plus importants s'observeraient dans un vaste secteur central de 2700 de long, compris entre les P21 et P71. Le recul prévu d'ici 2050 y est toujours supérieur à 40 m (RL seule) et même 50 m (RL + SP) alors qu'à échéance de 2100, il est presque toujours supérieur à 100 m (RL seule) et 110 m (RL + SP). Il dépasserait même en certains endroits 70 m à échéance de 2050 et 150 m à échéance de 2100 (P31 à 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 (cf. carte HT 1), ces ouvrages étant situés actuellement à une distance de la ligne de rivage comprise entre 60 et 80m, soit une distance à peine supérieure au recul prévu pour 2050 et nettement inférieure au recul prévu pour 2100 (de 98 à 134 m selon les profils). 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.
- dans la partie occidentale du lido (P91 à P136), le recul prévu n'est jamais supérieur à 20 m pour 2050 et 40 m pour 2100, quelque soit la méthode utilisée. Pour la partie du lido protégée par des ganivelles (P125 à P116), les prévisions par RL seule se traduisent même par une légère accrétion (< 10 m d'ici 2050, entre 2 et 15 m d'ici 2100), mais lorsque l'on intègre le paramètre submersion passive, l'évolution prévue est quasi nulle, voire très légèrement négative.
- les autres parties du lido (P71 à P92 ; P1 à P21) évolueraient de manière intermédiaire, avec des reculs généralement compris entre 20 et 40 m pour 2050 et 50 et 100 m pour 2100. Là encore, on peut remarquer la présence d'un ouvrage en dur (cf. carte HT 1), entre les P9 et P18, qui risque d'être atteint par la mer dans les prochaines décennies (ouvrage situé actuellement à environ 50 m du trait de côte, alors que le recul prévu est de l'ordre de 40 à 55 m pour 2050 et de 91 à 110 m pour 2100).

⁴ Si dans certains secteurs, la bande de surface perdue sur la face externe du cordon est située en avant du trait de côte de la photographie de 2001, c'est simplement parce qu'entre 2001 et 2002, la ligne de rivage a parfois avancé d'une vingtaine de m (par exemple à la hauteur des profils P31, P32, P48) et que les prévisions sont effectuées par rapport à la position du trait de côte en 2002 et non de 2001.

3.3. Discussion

Les incertitudes liées à l'analyse de l'évolution historique du trait de côte (cf. tab. 2), ajoutées aux incertitudes inhérentes aux méthodes d'analyse prévisionnelle employées peuvent engendrer des erreurs de prévision très importantes, qu'il est évidemment impossible de chiffrer avec précision. 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 overwash 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. 6). Il est peu probable qu'une hausse de 44 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 qu'ont observé plusieurs chercheurs anglo-saxons sur des îles-barrières dans le golfe du Mexique (TAYLOR et STONE, 1996 ; PENLAND, BOYD and SUTER, 1998). En effet, il apparaît que ces îles barrières 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 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. Le cordon est en recul généralisé – même si ce recul est d'ampleur variable selon les endroits – depuis 1937, voire même depuis le 19^{ème} siècle au moins (LCHF, 1984 ; RUEDA, 1985, communication orale de M. Ambert). 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, il risque donc de se transformer en îles-barrière, séparées des étangs situés en arrière par des graus permanents. On se retrouverait alors dans un schéma très similaire à celui qui a été observé aux USA. Dans ces conditions, les méthodes de prévision historiques semblent assez bien adaptées, car l'évolution s'inscrit alors dans un schéma assez simple.

Enfin, la faiblesse des dynamiques sédimentaires longitudinales dans le secteur rend l'intégration 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 dans la mesure où 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 des chercheurs anglo-saxons (cf. supra) sur certaines plages en réponse à l'élévation du niveau marin : un recul du lido parallèlement à lui-même avec conservation de la pente et du profil de la plage.

Conclusion

La démarche proposée pour le site de Vic et de Pierre Blanche doit être considérée avec la plus grande prudence, compte tenu des incertitudes qui pèsent, encore à ce jour, sur tout travail d'analyse prévisionnelle. Parmi l'ensemble des méthodes existantes en la matière, les approches historiques semblent les moins mauvaises, dans la mesure où elles reposent sur un fait réel, l'évolution passée du rivage. Elles peuvent déboucher sur des scénarios minimum d'évolution, mais qui ne tiennent pas compte des effets d'une accélération de la hausse du niveau marin.

Pour intégrer ce dernier paramètre, l'idéal aurait été de pouvoir prévoir son impact sur la dynamique future du littoral (modification des transits sédimentaires, renforcement de l'impact des tempêtes, changement du profil des plages etc.). Malheureusement, les modèles actuels, y compris les modèles prédictifs concernant les tempêtes (modèles de type *S-BEACH*) sont encore très imparfaits, car ils reposent sur des paramètres aléatoires. En particulier, ils sont tous fondés, sans exception, sur la notion de profondeur limite d'accumulation, qui est contestée par une large partie de la communauté scientifique (PILKEY *et al*, 1993, 1994 et 1996 ; YOUNG *et al*, 1995 ; THIELER *et al*, 2000).

En conséquence, prévoir les impacts d'une accélération de la hausse du niveau marin est une véritable gageure. Toutefois, dans le cadre d'un système littoral cordon littoral – lagune, comme c'est le cas ici, l'exploitation de relevés topographiques très précis, combinée à des extrapolations réalisées selon la méthode de la régression linéaire à partir des données d'évolution historique du lido depuis 1937, a permis d'obtenir plusieurs indications intéressantes.

En effet il apparaît que l'accélération de l'élévation du niveau marin 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 150 m par endroits, poursuivant en cela une évolution entamée depuis plusieurs siècles, et observée aux USA sur des littoraux similaires (TAYLOR et STONE, 1996 ; PENLAND, BOYD and SUTER, 1998). 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 relativement limitées (une quinzaine de mètres tout au plus), affectant par la 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 graus permanents et à la transformation du lido en îles-barrière.

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. Dans la mesure où 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 situé 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.

Bibliographie

- BARUSSEAU J.P, BRISSEAU L., DRAPEAU G., LONG B. (1991)** – Processus hydrodynamiques et morphosédimentaires de l'environnement des barres d'avant-côte du littoral du golfe du Lion. *Océanologica Acta, Actes du colloque International sur l'environnement des mers épicontinentales, Lille*, vol. sp.11, 163 - 176.
- CROWELL, M. ; DOUGLAS, B.C. and LEATHERMAN, S.P. (1997)** – On forecasting future U.S. shoreline positions : a test of algorithms. *Journal of Coastal Research*, 13 (4), 1245-1255.
- C.E.T.E. MEDITERRANEE et I.P.S.E.A.U. (1997)** – *Evolution du littoral du Languedoc-Roussillon de 1945 à nos jours*. Rapport pour le Service maritime et de navigation du Languedoc-Roussillon, 52 p.
- CERTAIN, R. (2002)** – *Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barres : le Golfe du Lion (Languedoc Roussillon)*. Thèse de Doctorat, Université de Perpignan, 209 p.
- DOLAN R., FENSTER M.S., HOLME S.J. (1991)** – Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, 3, 723-744.
- DOUGLAS, B.C ; CROWELL, M. and LEATHERMAN, S.P. (1998)** – Considerations for shoreline position and prediction. *Journal of Coastal Research*, 14 (3), 1025-1033.
- DOUGLAS, B.C and 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.
- DUGAN, J.P. (2001)** – Jetski-Based Nearshore Bathymetric and Current Survey System. *Journal of Coastal Research*, 17 (4), 900-908.
- 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.
- DURAND, 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*, n°1/2, p. 3- 52.
- DURAND, P. (2001)** – Erosion et protection du littoral de Valras-Plage (Languedoc, France). Un exemple de déstabilisation anthropique d'un système sableux. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°1, p. 55-68.
- HESP, P. (2002)** – Foredunes and blowouts : initiation, geomorphology and dynamics, *Geomorphology*, 48, 245-268.
- FOSTER and SAVAGE (1989)** – Methods for analysis of historic shoreline data. *Proceedings of the 8th symposium on Coastal Sedimentology*, Departement of Geology, Florida State University, Tallahassee, 620-634.
- FENSTER, M. ; DOLAN, R. and ELDER, J.R. (1993)** – A new method for predicting shoreline positions from historical data. *Journal of Coastal Research*, 9 (1), 147-171.
- FENSTER, M. ; DOLAN, R. and ELDER, J.R. (2001)** – A new method for predicting shoreline positions from historical data. *Journal of Coastal Research*, 9 (1), 147-171.
- GUIDE METHODOLOGIQUE DE GESTION DES LAGUNES MEDITERRANEENNES (2000-2001)**, programme européen Life « Sauvegarde des étangs littoraux du Languedoc-Roussillon » tome 1, 188 p.
- HANSON and KRAUS (1989)** – GENESIS, a generalized shoreline change numerical model. *Journal of Coastal Research*, 5, 1-27.

JIMENEZ J.A. et SANCHEZ-ARCILLA A. (1994) – *Deltaic coastal fringe analysis common methodology*. MEDDEL, impact of climate change on Northwestern Mediterranean Deltas, LIM-UPC, University of Catalonia (Spain), 28 p.

LARSON and KRAUS (1989) – *SBEACH : numerical model for simulating Storm-Induced Beach Change*. Vicksburg, Mississippi. U.S Army Corps of Engineers, CERC, Technical report CERC 89-9, 256 p.

L.C.H.F. (1984) – *Catalogue sédimentologique des côtes françaises*. Tome 7 : la côte méditerranéenne, de la frontière espagnole à la frontière italienne. 426 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.

PILKEY, O.H. ; YOUNG, R.S. ; RIGGS, S.R. ; SMITH, A.W. ; WU, H. and 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. and 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. and 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.

RUEDA F. (1985) – *Le littoral du Gard et de l'Hérault*. Service maritime et de navigation du Languedoc-Roussillon, 62 p.

TAYLOR, M.; STONE, G.W (1996). - Beaches ridges : a review, *Journal of Coastal Research*, 12, 3, 612-621

THIELER, E.R. ; PILKEY, O.H. ; YOUNG, R.S. ; BUSH, D.M. and 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.

YOUNG R.S., PILKEY O.H., BUSH D.M, THIELER E.R. (1995) – A discussion of the generalized model for simulating shoreline change (GENESIS). *Journal of Coastal Research*, 11, 3, 875-886.