

RP- 50822-FR

PREFECTURE DE LA REGION AQUITAINE
Contrat de Plan Etat-Région



MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE
DE LA RECHERCHE
ET DE LA TECHNOLOGIE

DOCUMENT PUBLIC

*Elaboration d'un outil de gestion prévisionnelle
de la côte Aquitaine*

*Phase 3 :
diagnostic d'évolution et recommandations*

Contribution du BRGM - Synthèse

Etude réalisée dans le cadre de la mission de Service Public du BRGM 00LIT202

Février 2001
BRGM/RP-50822-FR



Mots clés : Littoral, Côte Aquitaine, landes, Gironde, modèle comportemental, surveillance

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Y.M. Le Nindre, S. Benhammouda, O. Rouzeau, H. Haas, J.A. Quessette (2001) –
Elaboration d'un outil de gestion prévisionnelle de la côte Aquitaine. Phase 3 : diagnostic
d'évolution et recommandations. Contribution du BRGM Rap. BRGM/P-0822-FR., 115 p,
55 fig., 5 tabl., 2 ann.

© BRGM, 2001, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du
BRGM, IFREMER et de la Région Aquitaine

Synthèse

Après avoir réalisé une analyse de l'évolution historique de la côte Aquitaine (1997), puis en avoir dégagé les traits actuels essentiels (1998), cette dernière phase de l'étude avait pour but de proposer un modèle de fonctionnement global de la côte et un ensemble de méthodes de suivi ; elle a été conduite de manière à :

- disposer d'un ensemble homogène de mesures pour caractériser la côte,
- promouvoir des méthodes de travail applicables lors d'un suivi ultérieur,
- dégager les grands principes de fonctionnement,
- faire une présentation synthétique des résultats sous une forme qui préfigure le Système d'Information géographique qui sera mis en place dans la première phase du plan 2001-2006.

Dans ce but, nous avons procédé d'abord à un complément d'acquisition de données, concernant :

- la granulométrie des sédiments, qui en interaction avec la houle conditionne en partie la morphologie des plages
- les points d'appui au sol, points de référence permettant la réalisation d'ortho-photos numériques et de modèles numériques de la topographie.

En novembre 1999, 45 échantillons ont été prélevés sur les plages pour analyse granulométrique dans 15 stations déjà étudiées sous d'autres aspects, de Ondres à Montalivet-nord. Statistiquement les résultats montrent un mode commun voisin de 0.3 mm, avec une bimodalité plus ou moins marquée au point de déferlement, mais une croissance du grain médian du nord vers le sud, et la présence d'éléments résiduels du substratum. La valeur du grain médian a été utilisée en combinaison avec les mesures de pente et les caractéristiques de la houle pour rendre compte, au travers de paramètres indicateurs, de l'état de la plage et de son évolution potentielle.

Afin de pouvoir suivre l'évolution de différents sites sélectionnés, déjà étudiés par ailleurs, nous avons procédé à des levés de points de référence au sol. Ces levés consistent à mesurer précisément les coordonnées de points naturels remarquables invariants que l'on retrouvera sur les prises de vue aériennes. Ils viennent s'ajouter aux pré-balises temporaires visibles sur la prise de vue de juin 1998. Les « chantiers » concernés sont du nord au sud : l'Amélie, Village du Cap-Ferret, Saint-Girons et Ondres. L'embryon d'une base de données de points d'appui a été ainsi constituée.

La méthode qui consiste à générer des modèles numériques de la topographie à partir des photos aériennes pour l'évaluation des transferts sableux a été validée sur le site test de Saint Girons. La comparaison de deux profils transversaux et d'un profil longitudinal levés avec précision sur le terrain au moment du vol de 1998, avec les mêmes profils issus du modèle numérique tiré des photos aériennes a montré des écarts d'altitude de l'ordre de quelques centimètres seulement. A titre d'exemple, une analyse quantitative de l'évolution de la face ouest de la presqu'île du Cap-ferret a été réalisée de cette manière sur une bande de 2 Km au sud du petit-train jusqu'à la plage surveillée à hauteur des bornes G18-18a de l'ONF. Nous avons retenu pour cela les missions aériennes IGN : 1964 (1/20 000) ; 1973 (1/25 000) ; 1996 (1/25 000), 1998 (1/8000).

- En 1964, la dune est peu élevée, large et arrondie.
- De 1964 à 1973, est surtout intervenue une érosion marine, d'autant plus marquée que l'on va vers le sud. Cette érosion se fait au dépend du pied de dune. La dune présente alors un escarpement face à la mer et perd la forme aérodynamique qu'elle avait en 1964.
- De 1973 à 1996, la face externe escarpée de la dune est soumise à une érosion éolienne qui déplace de gros volumes de sable de la face au vent vers le plateau dunaire, avec dans un premier temps, formation de crêtes élevées. C'est à cette époque qu'a eu lieu l'épisode des «ensablés du Cap-Ferret». Ce sable est modelé par le vent en petites dunes paraboliques.
- De 1996 à 1998, les modifications sont faibles et portent sur les mouvements des barres littorales émergentes et des baïnes et à un saupoudrage du plateau dunaire et de la face sous le vent.

Pour la surface du modèle, soit un linéaire côtier de 1920 m, ces transferts correspondent à environ 2.2 millions de m³ enlevés pour 1.8 million de m³ redéposés avec une incertitude sur le devenir de 0.4 millions de m³ qui peuvent avoir rejoint les barres infralittorales. On ne doit pas ramener ces chiffres à un taux annuel puisque ces phénomènes ne présentent pas une évolution continue.

Du nord au sud de l'Aquitaine un certain nombre de types morphologiques de plages, définis par la nature et la géométrie des corps sédimentaires avaient été différenciés. Ils correspondent à autant de zones homogènes. Pour chaque type il existe en fonction de l'état de la mer des comportements typiques qui peuvent être appréhendés à l'aide de paramètres théoriques ou empiriques indicateurs de l'état morpho-dynamique de la plage. Ces paramètres dépendent de la période de la houle et de la hauteur des brisants. Selon les cas, il faut intervenir la profondeur, la pente de la plage, la taille des grains et la rugosité du fond. Ces données physiques étaient donc essentielles à la caractérisation, au suivi et à l'approche du comportement de la plage.

D'après les critères historiques et morpho-sédimentologiques d'une part, et les valeurs fournies par ces indicateurs d'autre part, nous proposons un modèle comportemental de la côte et formulons des hypothèses relatives à l'évolution propre des différentes zones morphologiques. Nous suggérons des attitudes à tenir pour chacune selon leur stabilité où les risques qu'elles présentent. De plus, l'observation attentive des photos aériennes attire l'attention sur la fragilité de certains sites habités, comme à Labenne, qui doivent faire l'objet d'une détection systématique et d'une surveillance appropriée.

Il est proposé en conséquence un panel de méthodes de suivi et des propositions d'actions pour le plan 2001-2006. De très nombreuses informations, traduites sous forme numérique, ont été collectées, acquises ou élaborées au cours de ce projet. Plusieurs jeux de données, représentatifs de différents types d'informations que contiendra le Système d'Information Géographique final, ont été regroupés et présentés de manière structurée dans un CD-ROM de démonstration livré en annexe. Ce travail a été réalisé communément avec IFREMER. La première étape du programme 2001-2003 consistera à formaliser ce Système d'Information Géographique conformément au cahier des charges dit de « phase 4 » du précédent programme.

Les apports nouveaux de ce projet concernent trois aspects :

- une meilleure compréhension du fonctionnement de la côte et de ses problèmes,
- une évaluation des techniques de suivi et de l'état de l'infrastructure actuelle,
- une prise de conscience de la nécessité d'un programme côtier concerté pérenne.

Sommaire

1. Objectif.....	9
2. Travaux réalisés au cours de la phase 3	11
2.1. Acquisition de données complémentaires	11
2.1.1. Analyses granulométriques	11
2.1.2. Levé de points d'appui au sol.....	13
2.2. Comparaison numérique des morphologies	18
2.2.1. Méthode utilisée	18
2.2.2. Validation et précision de la méthode	18
2.2.3. Evolution de la face ouest du Cap-Ferret.....	20
2.3. Elaboration d'un modèle comportemental de la côte.....	28
2.3.1. Principe	28
2.3.2. Paramètres indicateurs	28
2.3.3. Données physiques nécessaires.....	29
2.3.4. Exploitation	29
2.4. Réalisation d'un CD-ROM de présentation	30
2.4.1. Lancement de l'application	30
2.4.2. Contenu thématique	31
3. Modèle comportemental de la côte aquitaine	35
3.1. La houle.....	35
3.1.1. Caractéristiques physiques de la houle	35
3.1.2. Caractérisation statistique de la houle en Aquitaine	41
3.2. Types de plages actuels.....	46
3.2.1. Rappel de la définition des types morphologiques	46
3.2.2. Evolution latérale des altitudes, pentes et granulométries	57
3.3. Paramètres relatifs aux morphologies de plages	60
3.3.1. Signification et usage des paramètres	60
3.3.2. Valeurs des paramètres indicateurs dans le cas de la côte aquitaine.....	69
3.4. Fonctionnement et évolution prospective de la côte	76
3.4.1. Schéma conceptuel de l'organisation des corps sédimentaires.....	76
3.4.2. Fonctionnement et scénarios d'évolution par zones	79
3.5. Attitudes proposées face à l'évolution du littoral.....	89
4. Programme de suivi de la côte	95
4.1. Observation continue des indicateurs de terrain	95
4.1.1. Morpho-sédimentologie	95
4.1.2. Suivi des communautés végétales :.....	95
4.2. Référentiel géodésique	95
4.2.1. Validation des repères	95
4.2.2. Mise en place d'un balisage permanent	96
4.2.3. Base de donnée de points d'appui au sol	96
4.3. Profils de plage et de dune	96
4.3.1. Définition d'un protocole de mesures	96
4.3.2. Densification des levés.....	97

4.3.3. Exploitation géostatistique des profils	97
4.4. Profils topo-bathymétriques de la plage sous marine.....	98
4.5. Topo-bathymétrie d'ensemble.....	98
4.6. Analyse morphologique quantitative des déplacements sableux	99
4.6.1. Prises de vues	99
4.6.2. Géoréférencement, prise en compte du relief.....	99
4.6.3. Exploitation, comparaisons volumétriques	100
4.7. Données hydro-climatiques.....	101
4.7.1. Houle	101
4.7.2. Vents	101
5. Conclusion.....	103
5.1. Apports nouveaux	103
5.2. Proposition de programme pour 2001-2006.....	103
5.2.1. Mise en place du SIG	103
5.2.2. Organisation du réseau de collecte des données	104
5.2.3. Recueil périodique et événementiel des données.....	105
5.2.4. Intégration des données dans le SIG	107
5.2.5. Expertise régulière et occasionnelle.....	108
6. References bibliographiques	109

Liste des figures

Fig. 1 - Prélèvements pour analyses granulométriques.....	12
Fig. 2 - Points naturels d'appui au sol - L'Amélie.....	14
Fig. 3 - Points naturels d'appui au sol - Village du cap-Ferret.....	15
Fig. 4 - Points naturels d'appui au sol - Saint-Girons.....	16
Fig. 5 - Points naturels d'appui au sol – Ondres.....	17
Fig. 6 - Comparaison de profils mesurés sur le terrain avec les modèles numériques.....	19
Fig. 7 - Topographie de l'ensemble plage-dune au Cap-Ferret de 1964 à 1998.....	22
Fig. 8 - Variations de la topographie au Cap-Ferret de 1964 à 1998.....	23
Fig. 9 - Déplacements sableux de l'ensemble plage-dune - profils A à D.....	24
Fig. 10 - Déplacements sableux de l'ensemble plage-dune - profils E à H.....	25
Fig. 11 - Déplacements sableux de l'ensemble plage-dune - profils I et J.....	26
Fig. 12 - Restitution 3D de l'ensemble plage-dune au Cap-Ferret en 1998.....	27
Fig. 13 - Célérité de la houle.....	37
Fig.14 - Longueur d'onde de la houle.....	39
Fig. 15 – Variation théorique de la hauteur des vagues avec la profondeur d'eau.....	40
Fig. 16 - Hauteurs et périodes de la houle au large de Biscarosse.....	42
Fig. 17 - Périodes de retour de la houle au large de Biscarosse d'après la loi de Gumbel.....	43
Fig. 18 - Comparaison des corrélations hauteur-période de la houle en janvier et en mai.....	44
Fig. 19 - Vitesse orbitale au fond pour différents modes mensuels de houle en Aquitaine.....	45
Fig. 20 - Type 1A - Pointe de Grave - Le Gulp.....	48
Fig. 21 - Type 1B - Le Gulp - Montalivet.....	49
Fig. 22 - Type 2A - Montalivet - La Jenny.....	50
Fig. 23 - Type 2B - La Jenny - L'Herbe.....	51
Fig. 24 - Type 3 - Biscarosse - Mimizan.....	53
Fig. 25 - Type 4A - Mimizan - Soustons.....	54
Fig. 26 - Type 4B - Soustons - Les Casernes.....	55
Fig. 27 - Type 5 - Hossegor - Adour.....	56
Fig. 28 – Altitudes absolues comparées de la limite supérieure de la haute plage.....	57
Fig. 29 – Pente moyenne de l'estran total.....	58
Fig. 30 – Valeurs de la pente en jet de rive et du grain médian au point de déferlement.....	59
Fig. 31 - Graphes des paramètres indicateurs de l'état de plage : ε , Ω , K^*	61
Fig. 32 - Configuration schématique de six états de plage majeurs (Wright et Short, 1984) ..	62
Fig. 33 - Valeurs maximales de hauteurs de vagues pour $\varepsilon < 33$ en fonction de T et $\text{tg}\beta$	64
Fig. 34 - Modèle d'évolution de plage à huit stades topographiques (d'après Sunamura, 1985 in Horikawa, 1988).....	66
Fig. 35 - Valeurs maximales de hauteur de vagues pour $K^* < 20$ en fonction de T et d.....	67
Fig. 36 – Valeurs du paramètre ε dans les profils de plage pour $H_b = 1.5\text{m}$	70
Fig. 37 - Seuils de houle (période, hauteur) pour des valeurs critiques de ε	71
Fig. 38 - Valeurs du paramètre K^* dans différentes stations pour $H_b = 1.5\text{m}$	73
Fig. 39 - Seuils de houle (période, hauteur) pour des valeurs critiques de K^*	74
Fig. 40 - Schéma conceptuel de l'évolution spatiale des morphologies de plage.....	77
Fig. 41 - Variations nord-sud des relations entre la plage et les corps sédimentaires en mer..	78
Fig. 42 - Evolution prospective du Type 1A entre Soulac et Le Gulp nord.....	80
Fig. 43 - Evolution prospective du type 1B entre le Gulp nord et Montalivet.....	81
Fig. 44 - Evolution prospective du type 2A - Montalivet-La Jenny.....	82
Fig. 45 - Evolution prospective du type 2B - La Jenny-L'Herbe.....	83

Fig. 46 - Evolution prospective du type 3 - Biscarosse-Mimizan	85
Fig. 47 - Evolution prospective du type 4A - Mimizan-Soustons.....	86
Fig. 48 - Evolution prospective du type 4B - Soustons-Les Casernes	87
Fig. 49 - Evolution prospective du type 5 - Hossegor-Adour	88
Fig. 50 - Zones de surveillance entre la pointe de Grave et la Jenny	90
Fig. 51 - Zones de surveillance entre la Jenny et Biscarosse	91
Fig.52 - Zones de surveillance entre Biscarosse et l'Adour.....	93
Fig. 53 - Exemples de zones menacées à détecter pour agir	94
Fig. 54 – Prolongement en mer des profils de plage	98
Fig. 55 - Vents supérieurs à 50 nœuds au Cap-Ferret	101

Liste des tableaux

Tabl. 1 - Organigramme de la présentation du S.I.G. simplifié	30
Tabl. 2 – Analyses granulométriques, valeurs de médiane et centile	59
Tabl. 3 – Valeurs de ε pour les différents types morphologiques (T=11s, H=2.5m).....	72
Tabl. 4 – Valeurs de K* pour les différents types morphologiques (T=11s, H=2.5m).....	75
Tabl. 5 – Valeurs de Ω pour les différents types morphologiques (T=11s, H=2.5m).....	75

Liste des annexes

Annexe 1 – Analyses granulométriques	
Annexe 2 – CD-ROM de présentation du Système d'Information Géographique simplifié	

1. Objectif

Après avoir réalisé une analyse de l'évolution historique de la côte Aquitaine (1997), puis en avoir dégagé les traits actuels essentiels (1998), cette dernière phase de l'étude avait pour but de proposer un modèle de fonctionnement global de la côte et un ensemble de méthodes de suivi.

Le modèle de fonctionnement global de la côte est présenté comme un « modèle comportemental » : la côte a été découpée en tronçons homogènes sur la base de critères morpho-sédimentologiques et d'un certain nombre de paramètres physiques caractéristiques. L'expérience des travaux antérieurs publiés dans la littérature et réalisés en laboratoire et dans des contextes naturels voisins, montre qu'il existe une relation entre ces paramètres, la morphologie de la plage et sa capacité d'évolution.

Parallèlement aux observations et mesures réalisées dans le but d'une compréhension des mécanismes, nous avons testé et mis en œuvre des méthodes de suivi :

- Les levés de terrains : choix et nature des observations à réaliser, relations morphologie, granulométrie, état de la plage ;
- La prise de vue aérienne : choix de l'échelle (ou de la résolution) et des axes de vol, identification des corps sédimentaires émergés et immergés, diagnostic de l'état de la plage et des zones fragiles ou fragilisées ;
- La topographie : évaluation de l'état des repères géodésiques, méthodes et densité de levé, difficultés d'extrapolation, intérêt des calculs de pente ;
- La photogrammétrie : choix et nombre des points d'appui, problème des points de liaison, intérêt, précision et coût de la méthode pour des analyses morphologiques quantitatives et comparatives à l'échelle d'une bande pluri-kilométrique.

A la suite de cette expérience, nous pouvons attirer l'attention sur la stabilité ou l'instabilité potentielle des zones du littoral et sur des zones moins évidentes que d'autres à surveiller. Nous pouvons également préconiser, en les hiérarchisant, d'une part des dispositions concernant l'infrastructure de mesure, d'autre part un ensemble de méthodes de suivi applicables à différentes échelles.

2. Travaux réalisés au cours de la phase 3

La troisième phase du projet a été conduite de manière à :

- disposer d'un ensemble homogène de mesures pour caractériser la côte,
- promouvoir des méthodes de travail applicables lors d'un suivi ultérieur,
- dégager les grands principes de fonctionnement,
- faire une présentation synthétique des résultats sous une forme qui préfigure le Système d'Information géographique qui sera mis en place dans la première phase du plan 2001-2006.

Pour ce faire, nous avons procédé à un complément d'acquisition de données, concernant :

- la granulométrie des sédiments, qui en interaction avec la houle conditionne en partie la morphologie des plages
- les points d'appui au sol, points de référence permettant la réalisation d'ortho-photos numériques et de modèles numériques de la topographie.

Un exemple de comparaison numérique de l'évolution diachronique de la face ouest de la presqu'île du Cap-Ferret a ensuite été réalisé à partir des photos aériennes et des références au sol.

Les éléments morpho-sédimentologiques et les mesures réalisées au cours des différentes étapes de ce projet nous permettent maintenant de proposer un modèle comportemental de la côte.

Enfin, une masse d'information numériques préfigurant le futur Système d'information Géographique a été collectée et élaborée au cours de ce projet ; une présentation structurée, mais non exhaustive, en a été faite sous forme interactive à l'aide de logiciels de visualisation gratuits et proposée sous forme d'un CD-ROM de démonstration.

2.1. ACQUISITION DE DONNEES COMPLEMENTAIRES

Ce sont : la granulométrie des sédiments, réclamée par le modèle comportemental, et les points d'appui au sol, nécessaires à toute exploitation géométrique précise des photos aériennes.

2.1.1. Analyses granulométriques

Entre le 22 et le 26 novembre 1999, 45 échantillons ont été prélevés sur les plages pour analyse granulométrique dans 15 stations déjà étudiées sous d'autres aspects, de Ondres à Montalivet-nord (annexe 1). Sauf en ce qui concerne Ondres, pour chacune des plages, les sédiments ont été systématiquement prélevés en trois endroits dans le profil (fig. 1) : sur les bancs émergents (1), au point de déferlement d'énergie maximale (2) situé le plus souvent à la rupture de pente en pied de berme, dans la zone du jet de rive (3) Dans le cas de Ondres, en l'absence des bancs émergents, les échantillons ont été prélevés en pied de berme, dans la zone du jet de rive (front de la berme) et dans le « horn » des croissants de plage, en sommet de berme.

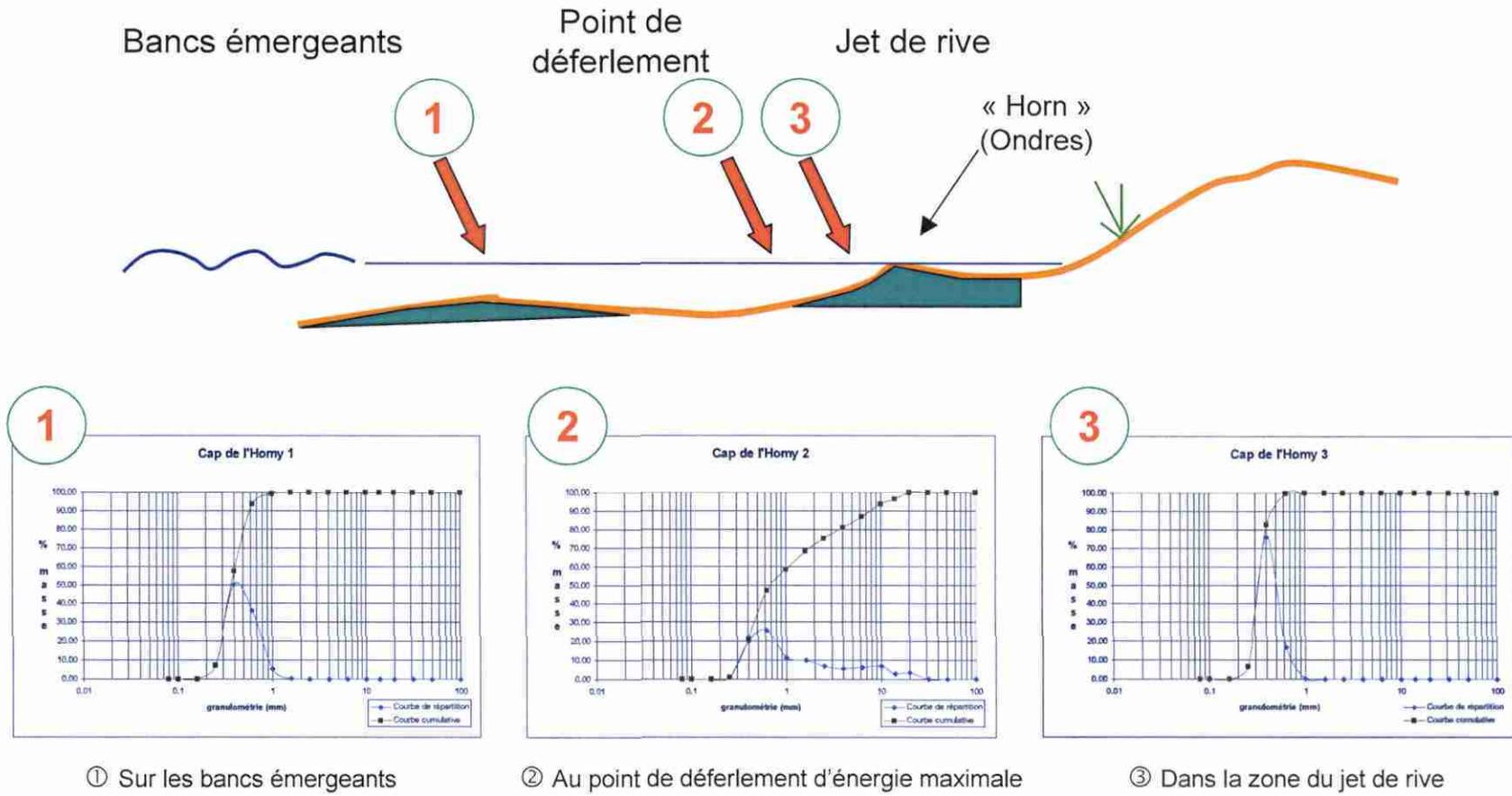


Fig. 1 - Prélèvements pour analyses granulométriques

Statistiquement les résultats montrent un mode commun voisin de 0.3 mm, avec une bimodalité plus ou moins marquée en (2), mais une croissance du grain médian du nord vers le sud, et la présence d'éléments résiduels du substratum. Dans chaque cas, les paramètres sédimentométriques usuels ont été calculés : diamètre médian, diamètre moyen, index de tri, asymétrie, acuité ainsi que des paramètres moins classiques (bimodalité, uniformité, courbure).

La médiane (Q50) a été utilisée en combinaison avec les mesures de pente et les caractéristiques de la houle pour rendre compte, au travers de paramètres indicateurs, de l'état de la plage (voir § 3.3) et de son évolution potentielle.

2.1.2. Levé de points d'appui au sol

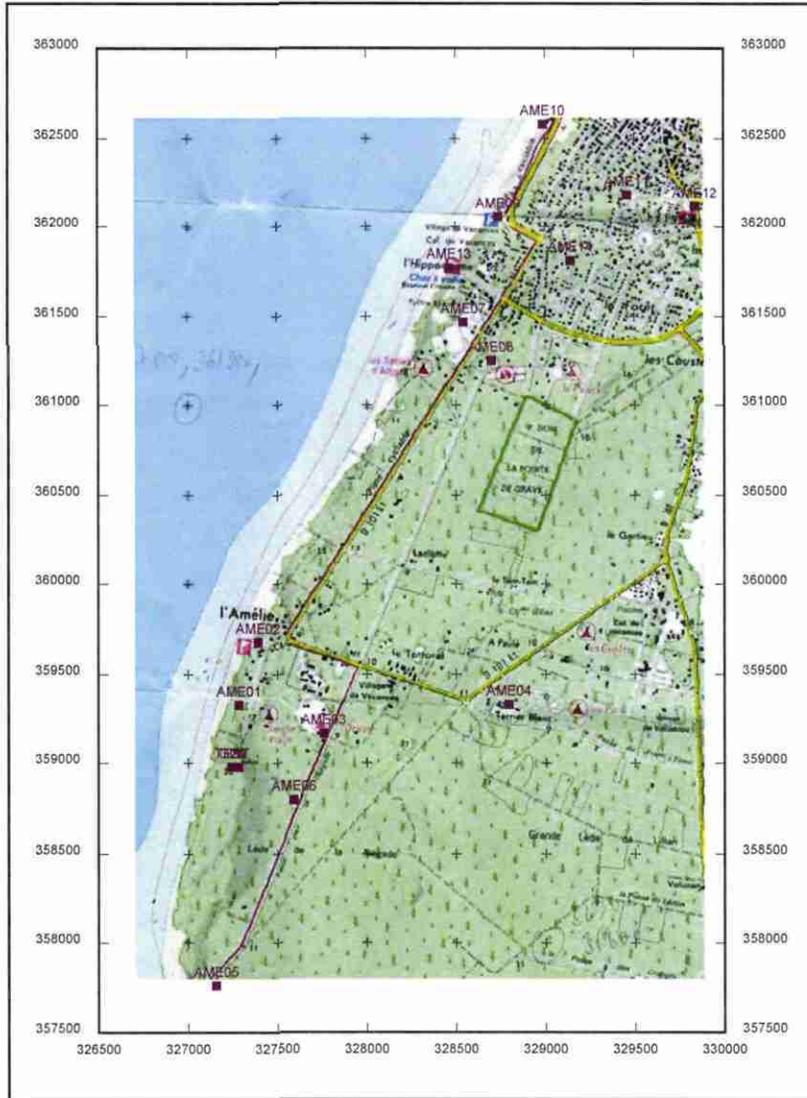
Afin de pouvoir suivre l'évolution de différents sites sélectionnés, déjà étudiés par ailleurs, nous avons procédé à des levés de points de référence au sol. Ces levés consistent à mesurer précisément les coordonnées x, y et z de points naturels remarquables invariants que l'on retrouvera sur les prises de vue aériennes. Ils viennent s'ajouter aux pré-balises temporaires visibles sur la prise de vue de juin 1998. Ils sont indispensables à l'exploitation de différentes missions sous la forme d'ortho-photos pour lesquelles on disposerait :

- d'une image géométriquement corrigée et géoréférencée,
- d'un modèle numérique de terrain.

Les « chantiers » concernés sont du nord au sud : l'Amélie, Village du Cap-Ferret, Saint-Girons et Ondres. L'embryon d'une base de données de points d'appui a été ainsi constituée :

- L'Amélie - 03/11/99 - AME01 à 17 (fig. 2)
- Cap-Ferret - 02/11/99 - CPF01 à 19 (fig. 3)
- Saint-Girons - 04/11/99 - GIR01 à 12 (fig. 4)
- Ondres - 08/11/99 - OND01 à 27 (fig. 5)

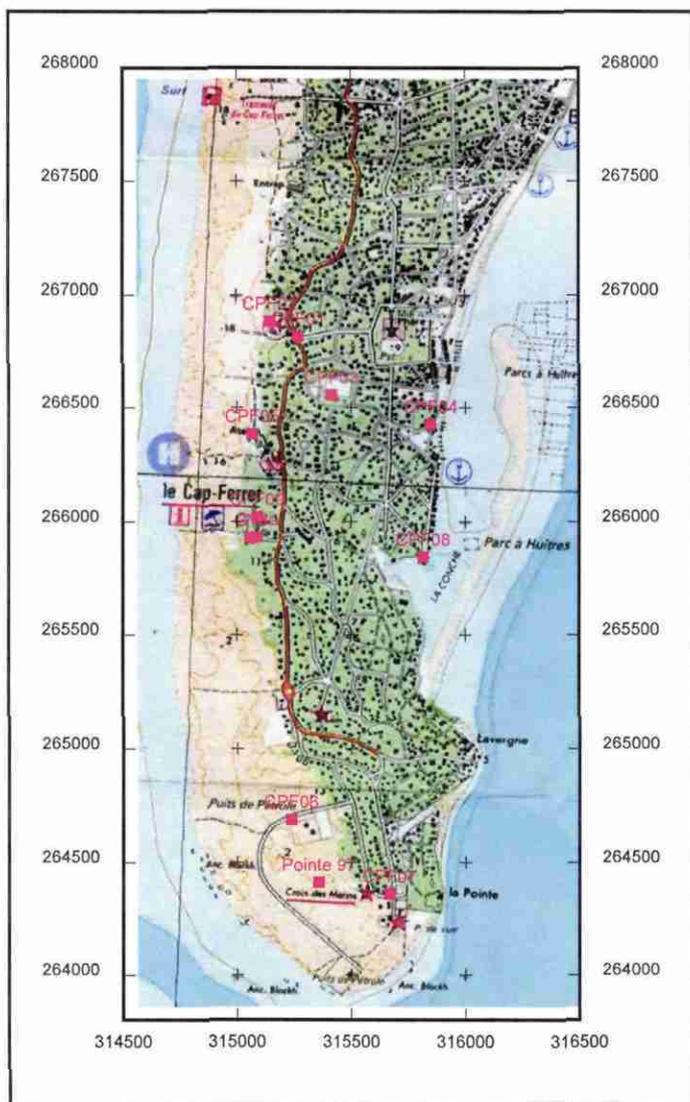
Les levés ont été réalisés au moyen d'un GPS à précision centimétrique TRIMBLE 4700. Il correspond à cette base des fiches de description de tous les points mesurés de manière à les situer précisément sur les clichés et images.



Nom du point	X Lambert III	Y lambert III	Z IGN 69
--------------	---------------	---------------	----------

L'Amélie	(de Soulac à la Négade)		3-nov-99
AME01	327286.799	359329.145	10.621
AME02	327394.008	359674.658	7.663
AME03	327760.698	359168.360	10.145
AME04	328796.954	359331.925	10.678
AME05	327158.518	357761.389	11.127
AME06	327593.520	358793.880	10.553
AME07	328547.639	361468.954	8.002
AME08	328700.538	361251.328	8.262
AME09	328744.007	362057.624	10.245
AME10	328991.339	362581.940	9.221
AME11	329461.825	362186.446	10.436
AME12	329840.945	362121.474	9.594
AME13	328469.147	361769.146	13.062
AME14	329145.684	361808.144	9.777
AME15	327970.911	359557.042	10.235
AME16	327641.967	358731.082	10.680
AME17	327611.280	359759.841	9.077

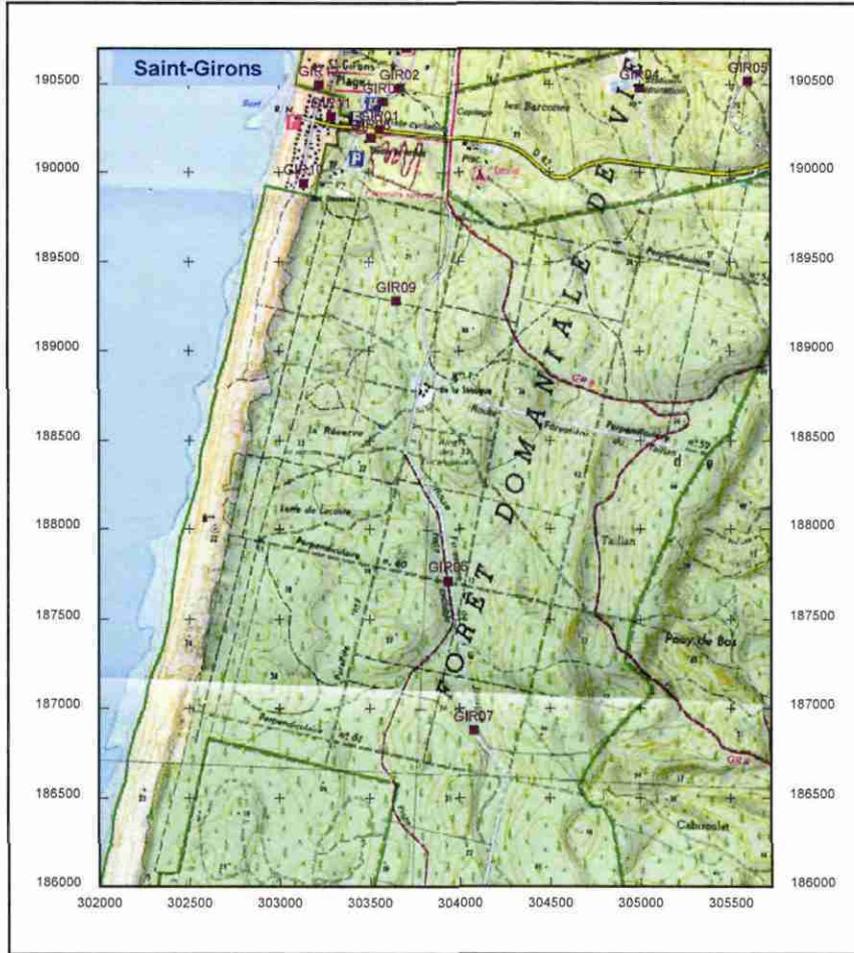
Fig. 2 - Points naturels d'appui au sol - L'Amélie



Nom du point	X Lambert III	Y Lambert III	Z IGN 69
--------------	---------------	---------------	----------

Cap-Ferret	(au sud du tramway)	2-nov-99	
CPF01	315274.832	266820.342	11.589
CPF02	315147.748	266885.791	10.013
CPF03	315415.654	266558.542	4.684
CPF04	315850.804	266427.644	3.577
CPF05	315067.510	266385.250	9.955
CPF06	315239.595	264685.026	7.215
CPF07	315669.909	264360.312	3.627
CPF08	315819.401	265846.315	3.430
CPF09	315091.620	266023.717	8.362
CPF10	315527.463	265354.434	8.655
CPF11	314867.868	264536.232	2.467
CPF12	314693.231	266168.790	4.456
CPF13	315303.179	267492.058	3.691
CPF14	315351.012	267535.653	4.112
CPF15	315541.474	267530.734	4.940
CPF16	316209.594	267503.292	4.361
CPF17	315893.043	267136.544	3.774
CPF18	315135.655	265261.875	8.602
CPF19	315378.207	265234.203	3.872

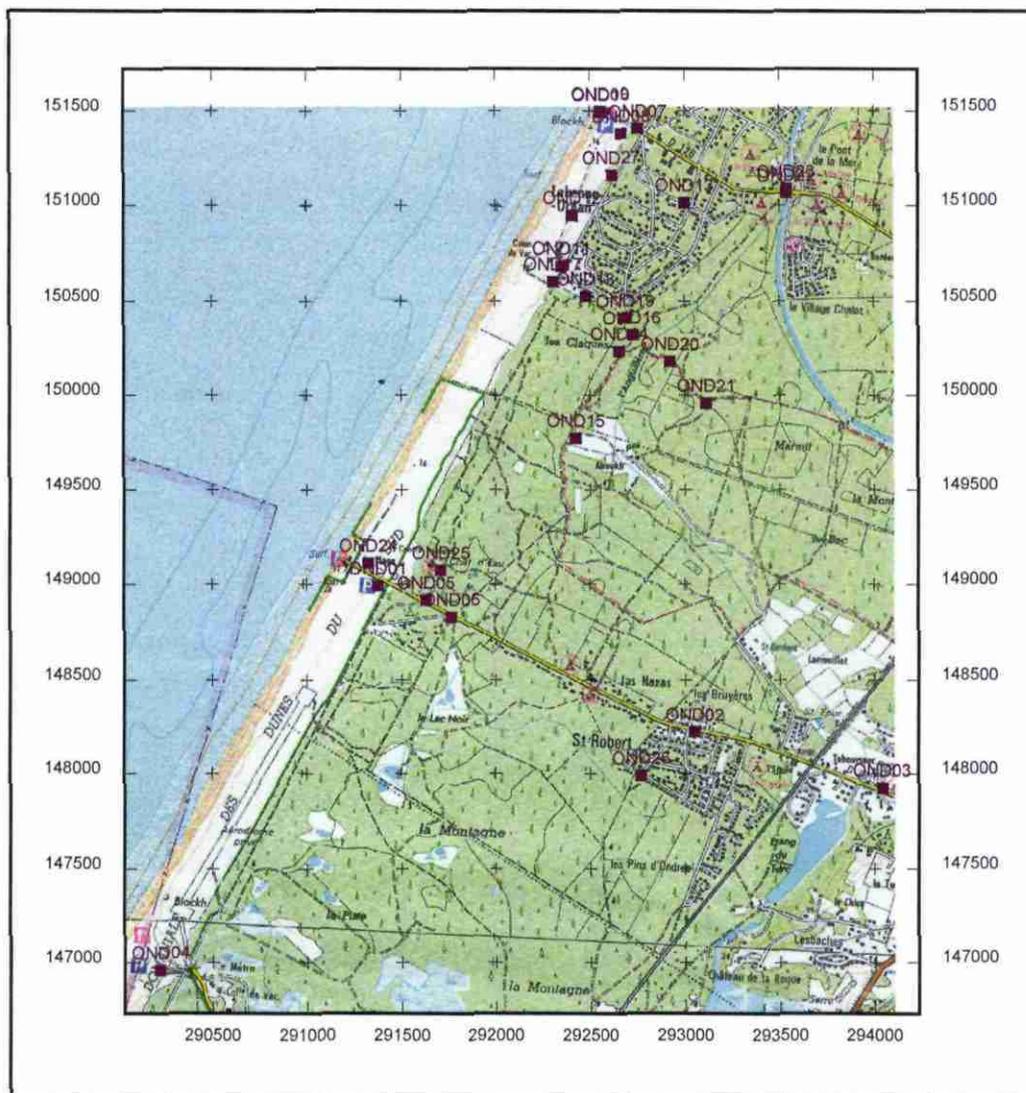
Fig. 3 - Points naturels d'appui au sol - Village du cap-Ferret



Nom du point	X Lambert III	Y lambert III	Z IGN 69
Saint-Girons	(au sud de Saint Girons)		4-nov-99
GIR01	303560.969	190240.776	17.129
GIR02	303673.276	190478.974	11.127
GIR03	303581.254	190400.727	18.024
GIR04	305003.615	190478.441	37.118
GIR05	305604.594	190521.070	67.376
GIR06	303938.801	187715.186	10.440
GIR07	304080.566	186877.299	10.737
GIR08	303513.826	190190.442	11.009
GIR09	303654.714	189280.030	17.402
GIR10	303141.081	189939.303	15.681
GIR11	303294.233	190317.262	13.167
GIR12	303225.781	190498.054	20.295

Outil de gestion prévisionnelle de la côte aquitaine

Fig. 4 - Points naturels d'appui au sol - Saint-Girons



Nom du point	X Lambert III	Y Lambert III	Z IGN 69
Ondres	(de Labenne à Ondres)		8-nov-99
OND01	291378.817	148991.703	9.267
OND02	293049.751	148218.860	5.921
OND03	294039.947	147925.268	6.121
OND04	290224.093	146961.009	7.353
OND05	291632.542	148916.236	5.372
OND06	291767.484	148826.360	6.545
OND07	292756.886	151404.997	7.006
OND08	292668.914	151377.322	10.199
OND09	292560.337	151496.780	14.648
OND10	292562.041	151491.549	14.690
OND11	292353.177	150682.260	7.069
OND12	292405.858	150944.325	12.103
OND13	292999.639	151011.947	4.788
OND14	292655.941	150230.233	3.769
OND15	292427.866	149773.249	4.282
OND16	292728.132	150315.613	3.972
OND17	292307.934	150600.197	7.342
OND18	292482.403	150521.563	4.338
OND19	292691.258	150407.049	4.762
OND20	292921.480	150175.420	4.554
OND21	293113.112	149957.119	6.144
OND22	293536.377	151065.944	4.782
OND23	293540.359	151085.688	5.294
OND24	291326.037	149109.312	10.892
OND25	291709.398	149074.467	5.012
OND26	292769.949	147990.197	5.535
OND27	292619.495	151158.709	6.956

Outil de gestion prévisionnelle de la côte aquitaine

Fig. 5 - Points naturels d'appui au sol - Ondres

2.2. COMPARAISON NUMERIQUE DES MORPHOLOGIES

Le suivi de la côte passe inévitablement par une appréciation des variations de la morphologie ; celle-ci se fait à l'aide des photos ou images aériennes et de calages topographiques au sol. Pour les reconstitutions sur les périodes anciennes, la précision est limitée par l'échelle et la qualité des documents disponibles ; pour le présent et les opérations futures, les photos ou images acquises à la bonne échelle dans des conditions géométriques rigoureuses, permettent une analyse fiable de la morphologie globale du littoral à l'échelle décimétrique.

2.2.1. Méthode utilisée

Le but de l'opération est de restituer une image géoréférencée et géométriquement corrigée avec édition d'un modèle numérique de terrain ; ce dernier sert à la fois à une correction correcte de l'image et à une restitution du relief, les deux pouvant être combinés.

A partir d'un nombre limité de points d'appui pointés sur l'image et sur le terrain, l'aérotriangulation, par des méthodes manuelles ou automatiques permet de générer, un grand nombre de points communs aux deux images numériques d'un couple stéréoscopique. Les coordonnées des points et la prise en compte du relief permettent d'obtenir les documents attendus.

Pour que cette méthode soit applicable dans de bonnes conditions un certain nombre de précautions doivent être prises concernant la répartition des points de calage, la présence de points de liaison identifiables sur les deux images, le choix des documents, leur numérisation, les conditions de prise de vue, les caractéristiques optiques et géométriques des caméras.

2.2.2. Validation et précision de la méthode

Nous avons évalué la précision de la méthode dans le cas d'une application à la plage de Saint-Girons, sur la base des opérations réalisées en 1998 pendant et après la prise de vue au 1/8 000 de juin.

La comparaison de deux profils transversaux et d'un profil longitudinal (crête de berme) levés au GPS centimétrique au moment du vol avec les mêmes profils issus du modèle obtenu à partir des photos aériennes (voir rapport BRGM R 40718, pp. 26-34 et son annexe 4) a montré (fig. 6) des écarts d'altitude de l'ordre de quelques centimètres seulement, sauf pour de rares points situés sur le versant au vent de la dune où les gradients sont très forts. L'écart moyen arithmétique est de 0.054 m, l'erreur quadratique moyenne est de 0.012 m.

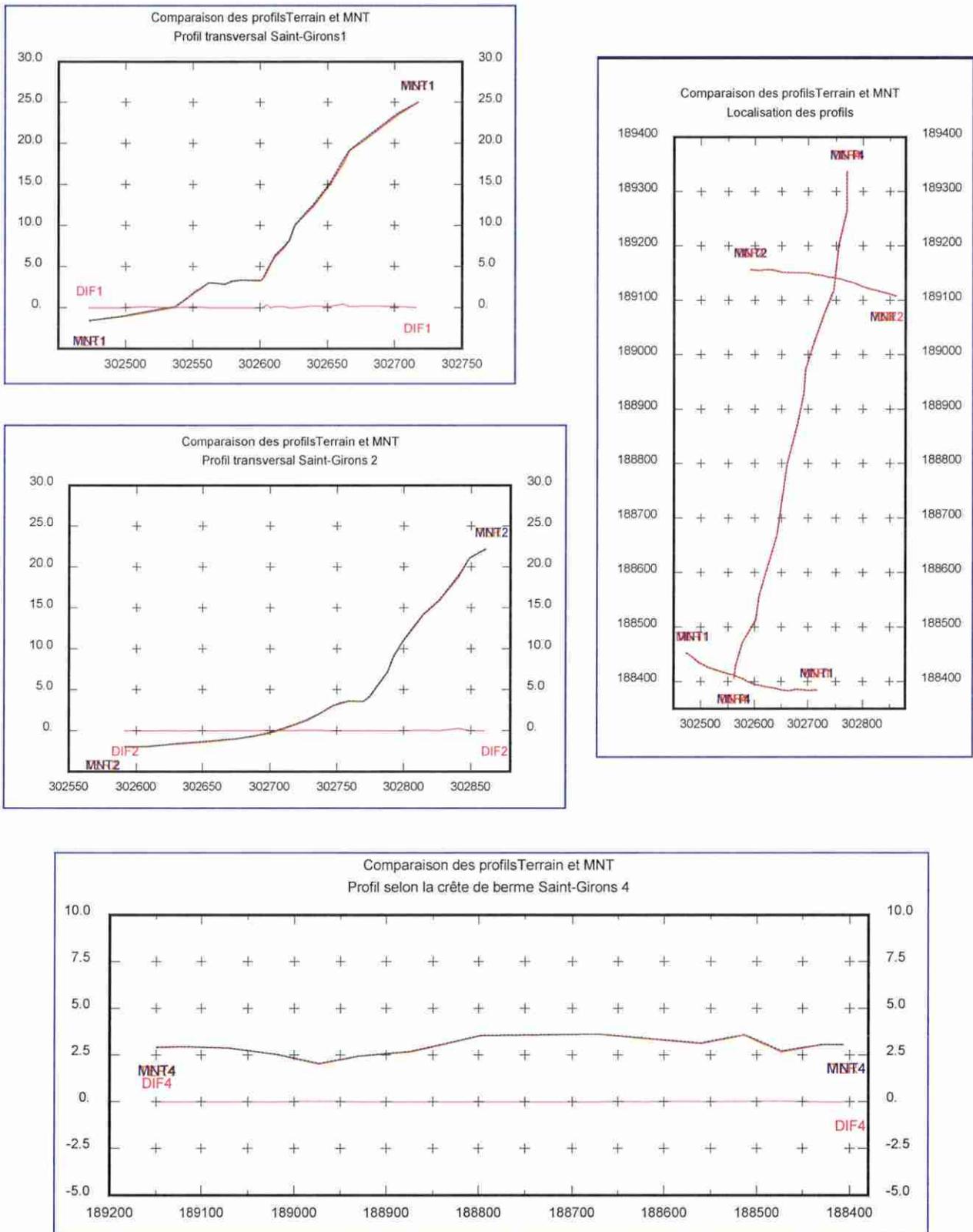


Fig. 6 - Comparaison de profils mesurés sur le terrain avec les modèles numériques

2.2.3. Evolution de la face ouest du Cap-Ferret

Données en entrée

Une analyse quantitative de l'évolution de la face ouest de la presqu'île du Cap-ferret a été réalisée sur une bande de 2 Km au sud du petit-train jusqu'à la plage surveillée à hauteur des bornes G18-18a de l'ONF. L'altitude de ces bornes, qui ont servi de référence pour cette opération, a du être corrigée de -5.06 m, conformément aux écarts précédemment constatés à Gagnot et à Bayle, pour être en accord avec le nivellement IGN.

Les missions aériennes initialement disponibles pour cette analyse étaient les suivantes :

- Missions ONF de 1985, 1989 et 1994 au 1/5 000 aimablement prêtées par cet organisme,
- Mission IGN 1964-1965 F1337-1437 et F1338-1438 1/25 000,
- Mission IGN 1973 FR 2434/250 au 1/25 000,
- Mission IGN 1977 FR 2889/200 au 1/20 000,
- Mission IGN 1996 FD 33/250 au 1/25 000,
- Mission IGN 1997 FD40/250 au 1/25 000,
- Mission IGN/BRGM 1998 FR 5284/80 au 1/8 000.

Les prises de vues aériennes ONF ne sont, en l'état, pas utilisables en restitution photogrammétrique car, n'ayant pas été produites dans ce but mais dans un but de photointerprétation, on ne dispose pas des éléments fondamentaux pour réaliser l'orientation interne des clichés, c'est-à-dire marques fiduciaires pour déterminer la position du centre du cliché et pour évaluer les corrections géométriques de dilatation/contraction des supports, distances principales des objectifs, coefficients de distorsion des ensembles objectifs/chambres ; ces éléments, dits de calibration, ont été recherchés sans succès auprès de la société API qui avait réalisé les prises de vues. En conséquence, les clichés ONF qui devaient constituer le cœur de la restitution n'ont pas été utilisés car les distorsions observées sur un même point d'un cliché à l'autre sont trop importantes pour envisager toute sorte de mesure.

Seuls les clichés IGN ont donc été exploités, avec l'inconvénient d'être limités d'une part par la précision intrinsèque de l'échelle de prises de vues 1/25 000 et d'autre part par la difficulté de calage des modèles eu égard à l'étroitesse à cette échelle de la bande de terre utilisable. Toutefois une réserve doit être faite sur les clichés IGN 1964, certes de bonne qualité exploitable mais sans certificat de calibration : la restitution a donc été réalisée en supposant $f = 125$ mm et en ne s'appuyant que sur la carte au 1/25 000, les points d'appui du modèle 1973 et a fortiori ceux de 1998 ne pouvant pas être transportés sur les clichés 1964.

Opérations effectuées

Finalement nous avons retenu les missions : 1964 (1/20 000) ; 1973 (1/25 000) ; 1996 (1/25 000), 1998 (1/8000) sur lesquelles les opérations suivantes ont été réalisées :

- Scan à 800 dpi des clichés IGN 1998 au 1/ 8000.
- Aérotriangulation sur deux couples pour homogénéiser d'une part et pour densifier d'autre part ; divergence du calcul due aux écarts en nivellement, résultat correct après correction de 5 mètres en altimétrie (écart quadratique moyen : $X = 0,222$ - $Y = 0,252$ - $Z = 0,153$ m)
- Exploitation en restitution du modèle 1998, clichés 269-270 (e.q.m. $X = 0,071$ - $Y = 0,078$ - $Z = 0,192$ m)

- Exploitation en restitution du modèle 1998, clichés 270-271 (e.q.m. $X = 0,136 - Y = 0,144 - Z = 0,113$ m)
- Mosaïcage des MNT pour couvrir les 1500 m de plage.
- Exploitation en restitution du modèle 1996, clichés 2569-2570 (e.q.m. $X = 0,366 - Y = 0,360 - Z = 0,329$ m)
- Exploitation en restitution du modèle 1973, clichés 684-685 (e.q.m. $X = 0,488 - Y = 0,697 - Z = 0,327$ m)
- Exploitation en restitution du modèle 1964, clichés 05-06 (e.q.m. $X = 3,10 - Y = 3,14 - Z = 0,773$ m)

Résultats

Pour chaque année on obtient une orthophoto et un modèle numérique de terrain donnant la topographie (fig. 7). On peut alors effectuer une comparaison quantifiée des déplacements sableux dans l'ensemble plage-dune, par cartographie (fig. 8) et par tracé de profils aux endroits de son choix (fig. 9, 10 et 11). La visualisation VRML en trois dimensions (fig. 12) permet d'apprécier plus facilement l'état de la morphologie.

- En 1964, la dune est peu élevée (cf. points cotés de l'IGN à 18 m), large et arrondie.
- De 1964 à 1973, est surtout intervenue une érosion marine, d'autant plus marquée que l'on va vers le sud (fig. 8). La plage du tramway correspond au début d'une zone stable vers le nord (profil A). Cette érosion se fait au dépend du pied de dune. La dune présente alors un escarpement face à la mer et perd la forme aérodynamique qu'elle avait en 1964, sans modification importante de son altitude ni de sa face sous le vent. Les variations d'altitude sont comprises entre -14.6 et $+4.8$ m avec une moyenne de -2.6 m indiquant qu'une partie du stock sableux est repartie à la mer.
- De 1973 à 1996, la face externe escarpée de la dune est soumise à une érosion éolienne qui déplace de gros volumes de sable de la face au vent vers le plateau dunaire, avec dans un premier temps, formation de crêtes élevées (29 m au maximum, profils B, F, G). C'est à cette époque qu'a eu lieu l'épisode des «ensablés du Cap-Ferret». Sur 5 à 10 m d'épaisseur qui correspondent à la partie sommitale active de la dune, ce sable est modelé par le vent en petites dunes paraboliques. Les variations d'altitude sont comprises entre -14.2 et $+11$ m, avec une moyenne de $+0.2$ m indiquant une conservation du stock sableux au cours de son transfert.
- De 1996 à 1998, les modifications sont faibles et portent sur les mouvements des barres littorales émergentes et des baïnes et à un saupoudrage du plateau dunaire et de la face sous le vent.

Au total les variations altimétriques résultantes enregistrées entre 1964 et 1998 varient entre -13.6 et $+10.4$ m, avec une moyenne de -0.4 m qui pourrait correspondre à une perte vers la mer (et à un saupoudrage de l'arrière pays), mais reste de l'ordre de grandeur de l'erreur sur l'appréciation des altitudes en 1964. Pour la surface du modèle, soit un linéaire côtier de 1920 m, ces transferts correspondent à environ 2.2 millions de m³ enlevés pour 1.8 million de m³ redéposés avec une incertitude sur le devenir de 0.4 millions de m³ qui peuvent avoir rejoint les barres infralittorales. Ramenés au mètre de linéaire côtier de cette zone, ces chiffres montrent des transferts résultants de l'ordre ± 1000 m³/m de côte en 34 ans, qu'on ne doit pas ramener à un taux annuel puisque ces phénomènes ne présentent pas une évolution continue.

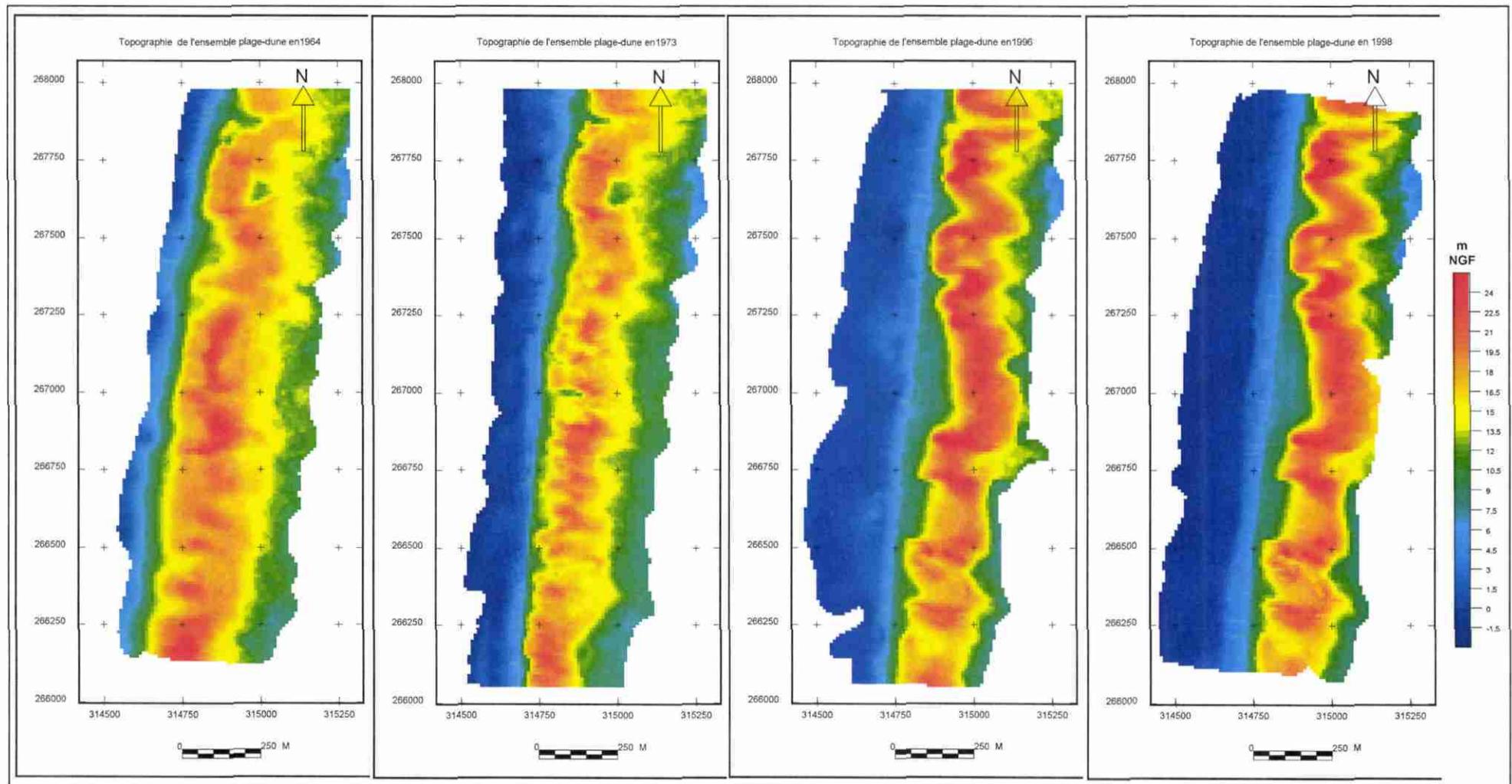


Fig. 7 - Topographie de l'ensemble plage-dune au Cap-Ferret de 1964 à 1998

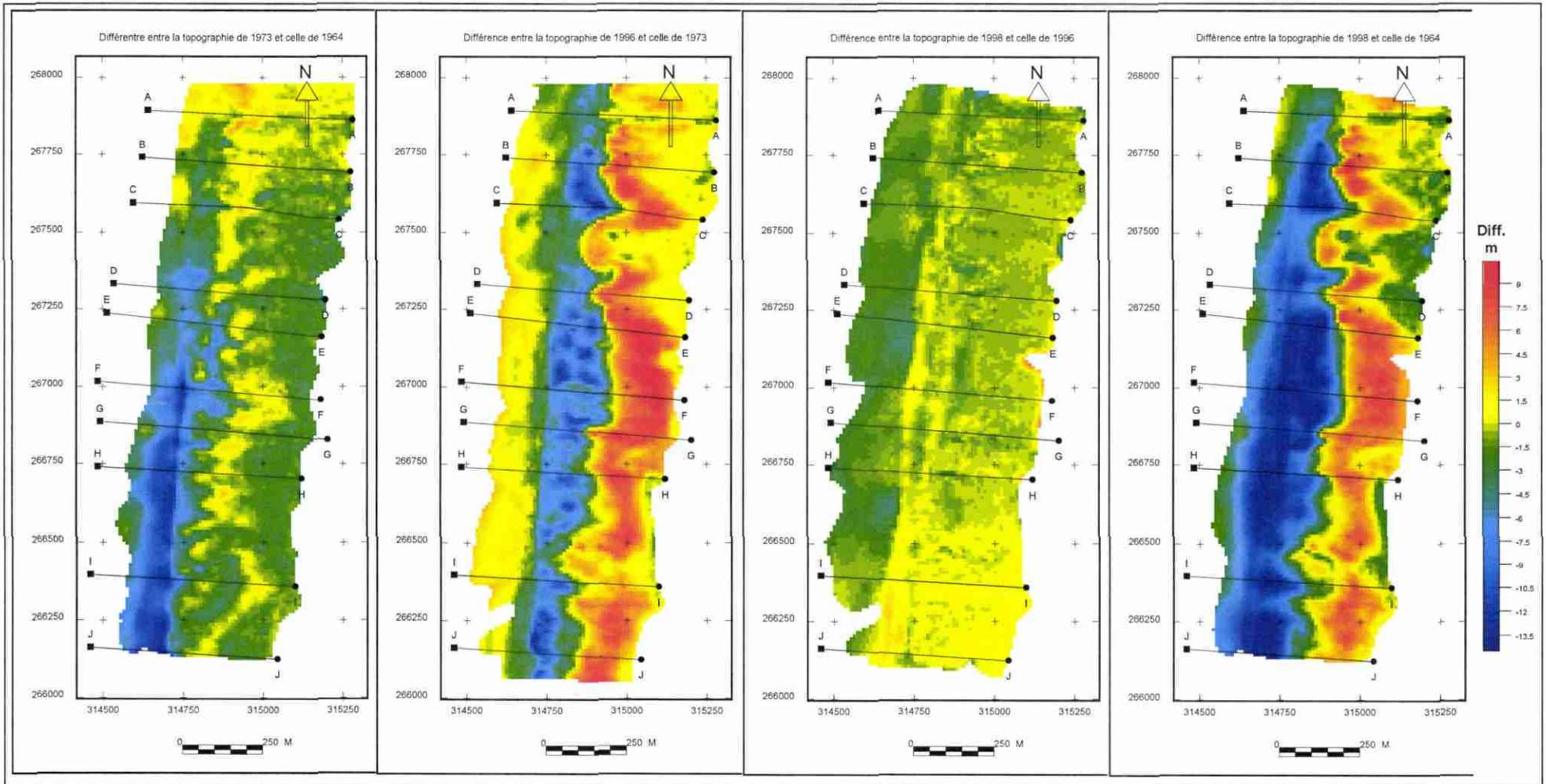


Fig. 8 - Variations de la topographie au Cap-Ferret de 1964 à 1998

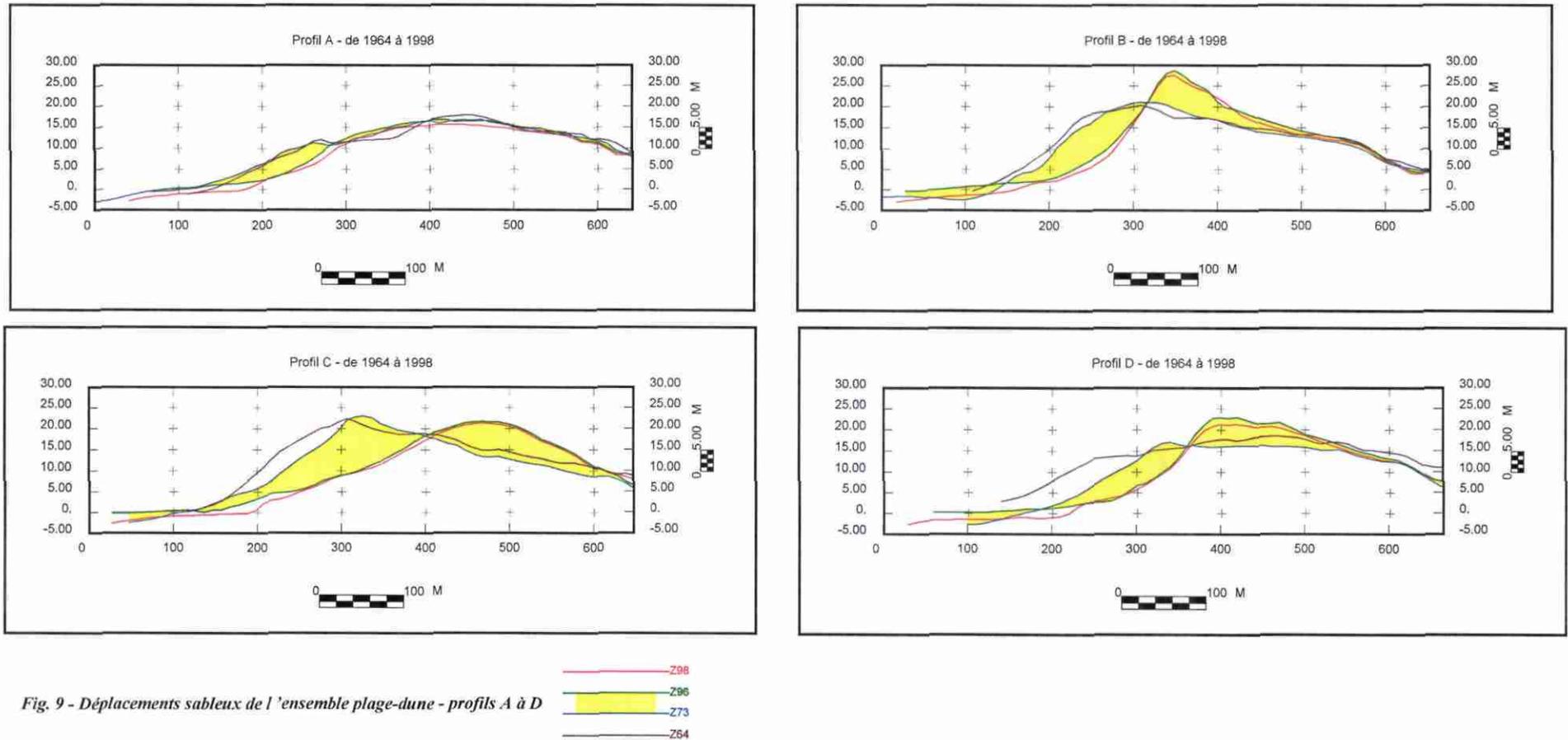


Fig. 9 - Déplacements sableux de l'ensemble plage-dune - profils A à D

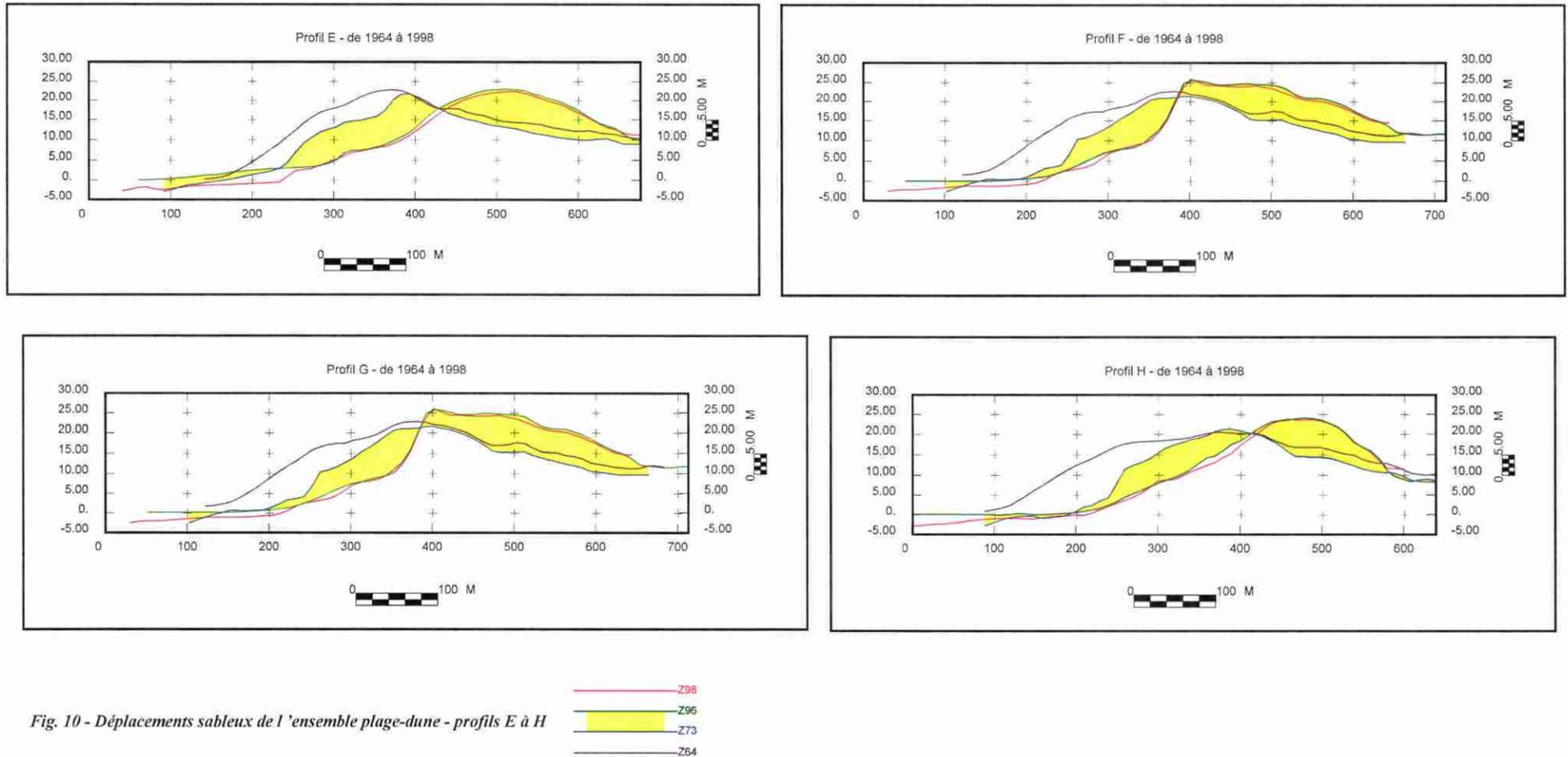


Fig. 10 - Déplacements sableux de l'ensemble plage-dune - profils E à H

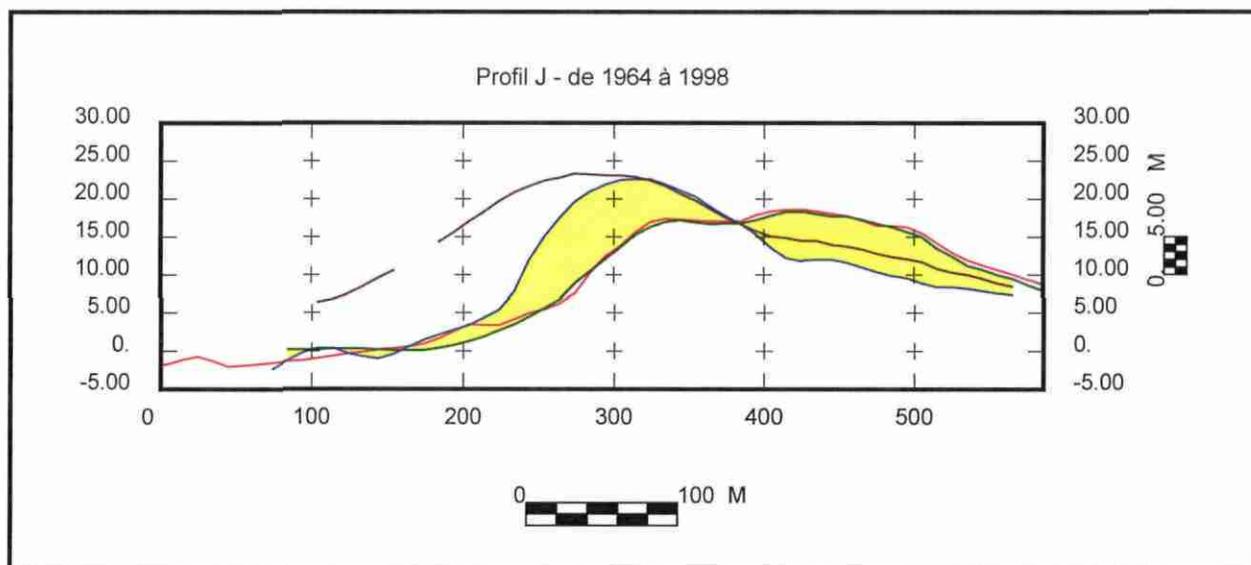
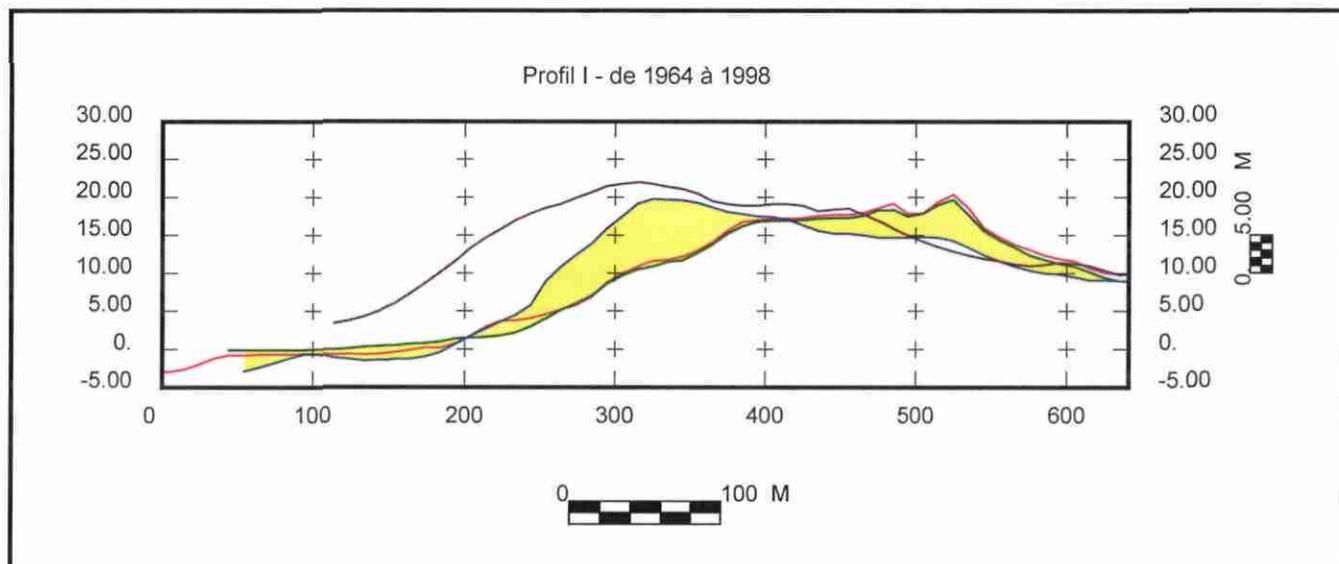
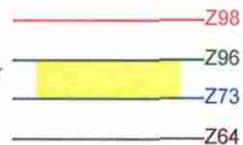


Fig. 11 - Déplacements sableux de l'ensemble plage-dune - profils I et J



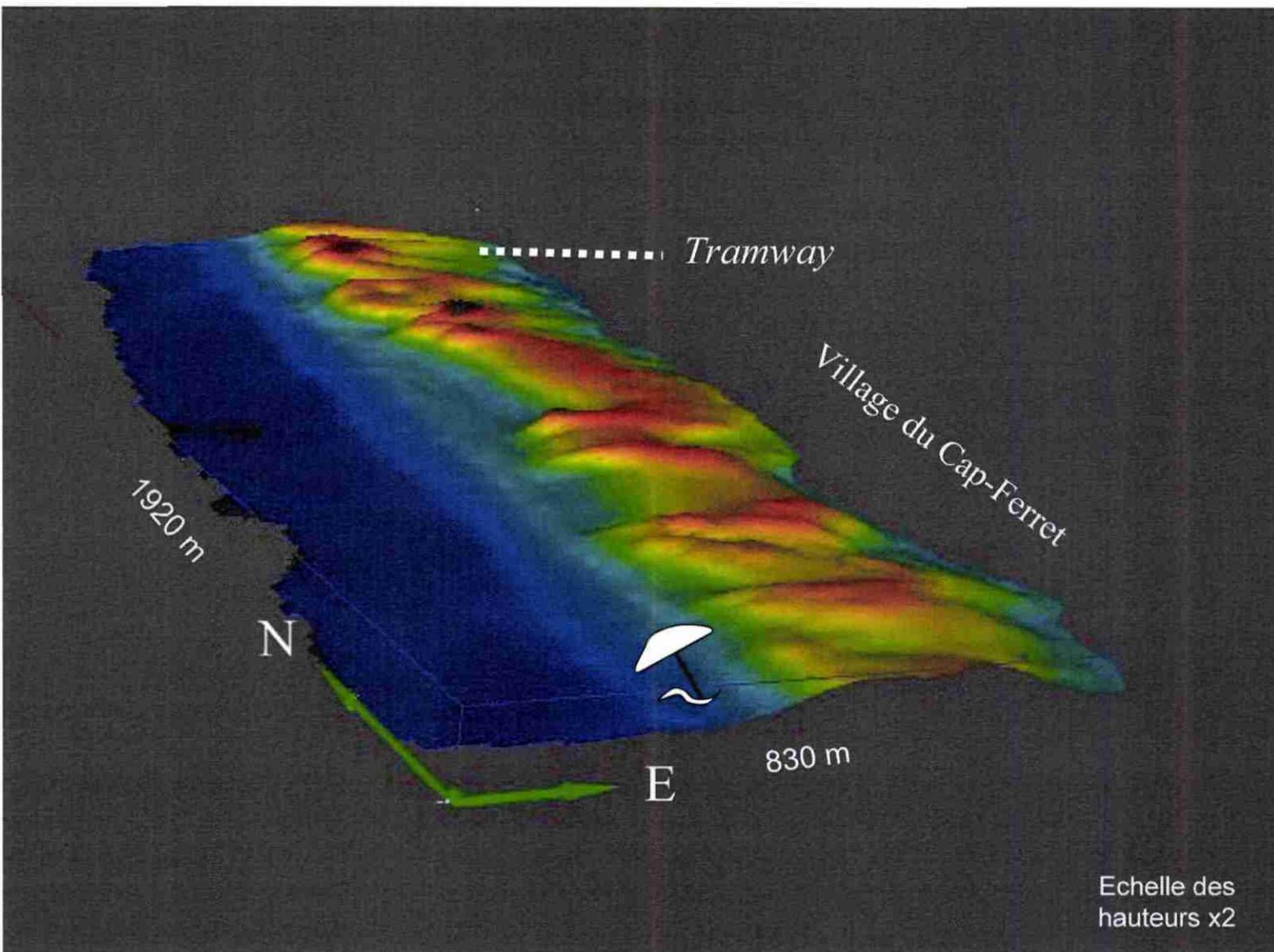


Fig. 12 - Restitution 3D de l'ensemble plage-dune au Cap-Ferret en 1998

2.3. ELABORATION D'UN MODELE COMPORTEMENTAL DE LA COTE

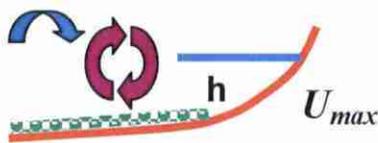
2.3.1. Principe

Cette opération a consisté à différencier du nord au sud de l'Aquitaine un certain nombre de types morphologiques de plages, définis par la nature et la géométrie des corps sédimentaires, qui correspondent à autant de zones homogènes. A chaque type sont attachés des comportements typiques et des grandeurs physiques qui aident caractériser les différentes entités de la plage. En fonction de l'état de la mer, il en résulte différents modes de déferlement des vagues, des directions de transport vers la plage ou vers le large, et une pente résultante de la plage. Par suite, la morphologie de la plage peut rester stable ou évoluer d'un type à un autre, dans le sens d'une érosion ou d'une accrétion.

2.3.2. Paramètres indicateurs

Ces comportements peuvent être appréhendés à l'aide de paramètres théoriques ou empiriques indicateurs de l'état morpho-dynamique de la plage. Ils ont été définis dans la littérature, à partir de calculs théoriques et d'expériences en laboratoire, et par corrélation avec des exemples en nature. Ces paramètres dépendent de la période de la houle et de la hauteur des brisants. Selon les cas, il font intervenir la profondeur, la pente de la plage, la taille des grains et la rugosité du fond¹.

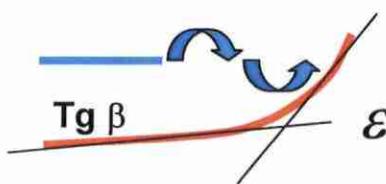
- Transport des sédiments près du fond



La vitesse orbitale au fond U_{max} est une grandeur physique liée à la profondeur (h) qui contrôle la capacité de déplacement des sédiments. Avec la rugosité du fond et la distance, elle intervient dans la décroissance de l'énergie des vagues en direction de la côte. En faible profondeur :

$$U_{max} = \frac{H_b \cdot c_b}{2 \cdot h}$$

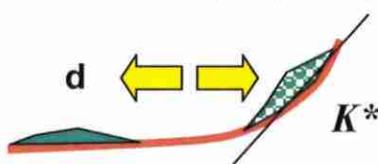
- Mode de déferlement



ϵ est un paramètre indicateur lié à la pente $\tan \beta$.

$$\epsilon = \frac{a_b \cdot \omega^2}{g \cdot \tan^2 \beta} \text{ avec } \omega = 2 \cdot \frac{\pi}{T}$$

- Sens de transport (vers la plage, ou vers la mer)



K^* est un paramètre indicateur lié à la taille des grains (d). On peut en déduire une pente résultante de la plage.

$$K^* = \frac{H_B^2}{g \cdot T^2 \cdot d} \text{ et } \tan \beta_f = 0.12 \cdot K^{*-0.25}$$

- Etat morpho-dynamique de la plage

¹ H_B : hauteur des brisants, g accélération de la pesanteur, T : période de la houle, c : célérité de la houle, a_b : amplitude des brisants



Ω est un paramètre indicateur lié à la vitesse de chute des particules w_0 . Il rend compte du comportement dynamique de la plage et de sa variabilité potentielle.

$$\Omega_D = \frac{H_B}{w_0 \cdot T}$$

2.3.3. Données physiques nécessaires

Plusieurs données physiques sont essentielles à la caractérisation, au suivi et à l'approche du comportement de la plage. On distingue :

- les facteurs hydroclimatiques
 - ↳ récurrence des tempêtes
 - ↳ période de la houle
 - ↳ hauteur des brisants
- les caractéristiques intrinsèques des plages
 - ↳ pentes des différentes parties de la plage (zone de déferlement, zone du jet de rive), longueur de l'estran et de l'arrière-plage
 - ↳ taille des grains composant les sédiments

Les interactions entre ces facteurs conditionnent les transports et les morphologies. Leur quantification est une démarche indispensable ; elle permet le calcul de paramètres théoriques ou empiriques qui traduisent l'état morpho-dynamique de la plage.

Toutes ces données ont donc été collectées et viennent compléter l'approche morpho-sédimentaire. Les facteurs hydroclimatiques sont issus des statistiques fournies par Météo-France sur les vents et la houle dans le golfe de Gascogne d'après le houlographe du Centre d'Essai des Landes qui a fonctionné de 1980 à 1993 au large de Biscarosse.

Les caractéristiques intrinsèques des plages ont été obtenues par les mesures faites au cours de ce projet sur une quinzaine de sites sélectionnés. En faisant varier les facteurs hydro-climatiques dans les limites statistiques propres à la région, nous avons calculé les paramètres indicateurs dans différentes configurations de houle.

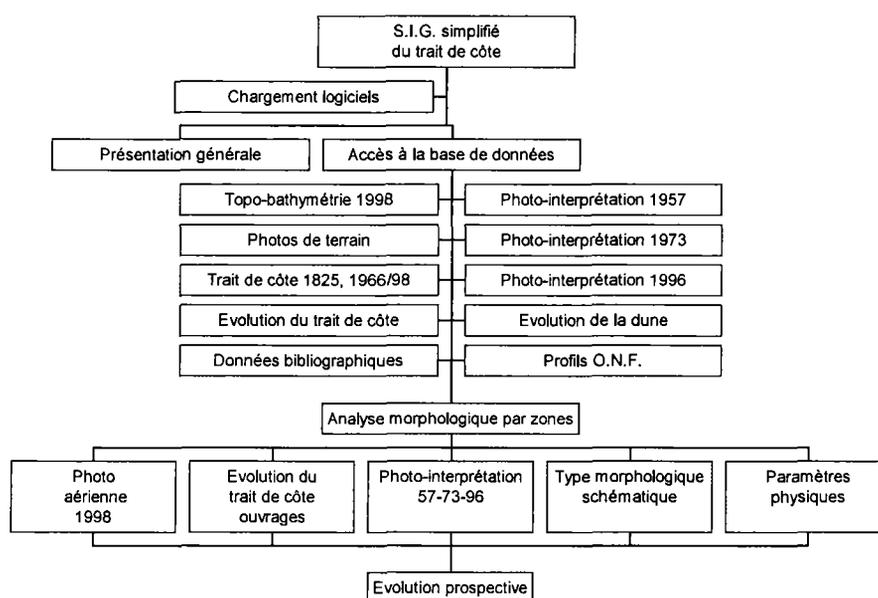
2.3.4. Exploitation

D'après les critères morpho-sédimentologiques d'une part, et les valeurs fournies par ces indicateurs d'autre part, nous avons formulé des hypothèses relatives à l'évolution propre des différents types et zones morphologiques définis sur la côte (voir § 3). De plus, l'observation attentive des photos aériennes attire l'attention sur la fragilité de certains sites habités, comme à Labenne.

2.4. REALISATION D'UN CD-ROM DE PRESENTATION

De très nombreuses informations, traduites sous forme numérique, ont été collectées, acquises ou élaborées au cours de ce projet. Plusieurs jeux de données, représentatifs de différents types d'informations que contiendra le Système d'Information Géographique final, ont été regroupés et présentés de manière structurée dans un CD-ROM de démonstration livré en annexe (annexe 2). Ce travail a été réalisé communément avec IFREMER.

Le schéma du contenu et de l'accès aux différentes rubriques en est donné par l'organigramme de la présentation du système d'information géographique simplifié (tabl. 1).



Tabl. 1 - Organigramme de la présentation du S.I.G. simplifié

2.4.1. Lancement de l'application

Cette présentation a été développée à l'aide du logiciel Presenter de LM Soft, version.3.0. Avant le lancement de l'application, l'utilisateur doit se placer dans la configuration ordinateur suivante :

- Au moyen du panneau de configuration de l'affichage, choisir un écran de 1024x768 pixel, 65636 couleurs (16 bits) avec des petites polices de caractère.
- Afficher avec l'explorateur Windows les extensions DOS des fichiers
- Ouvrir le répertoire Presentation.pub et rechercher Cote_aqui.exe

Lancer l'application par un double-clic sur Cote_aqui.exe. Le premier écran s'affiche. Quatre boutons sont disponibles : *Télécharger les logiciels*, *Présentation générale de l'étude*, *Accès à la base de donnée*, *Sortie du programme*.

Pour fonctionner plus loin, cette présentation nécessite de disposer d'Adobe Acrobat Reader (lecture des fichiers .pdf), d'Arc Explorer (visualisation des couvertures Arc-View) et d'un logiciel Internet (Internet Explorer ou Netscape, lecture des fichiers .htm). Ces logiciels

gratuits sont fournis et donc, si besoin, peuvent être directement chargés à partir du CD avant d'accéder aux bases de données.

2.4.2. Contenu thématique

Lorsqu'on s'est assuré de la disponibilité des logiciels, on peut rentrer dans les menus de visualisation.

Présentation générale de l'étude

C'est une présentation de type Powerpoint qui enchaîne des diapositives ; elle contient les thèmes suivants

- Elaboration d'un outil de gestion prévisionnelle de la côte Aquitaine (titre)
- Objet du projet
- Cadre d'action
- Ressources
- Démarche
- Tâches
- Topographie-Géodésie
- Facteurs hydro-climatiques
- Sédimentologie
- Prises de vues aériennes
- Quantification des déplacements
- Evolution d'ensemble
- Evolutions locales
- Mécanismes
- Documents de référence

Accès à la base de données

Cette rubrique contient des éléments de type cartographique, des données bibliographiques des images (photos, profils de plage et de dune) et des schémas interprétatifs des morphologies de plage et de leur évolution possible. L'accès aux données est géographique, en cliquant sur un point ou en délimitant une zone sur la carte de la côte aquitaine. Le repérage se fait au moyen du dessin de la côte et des noms et limites de communes.

Documents cartographiques interprétatifs

- Topo-bathymétrie : levés en continu du haut estran au DGPS en 1998 : cartes en courbes de niveau.
- Position du trait de côte : cartes du trait de côte en 1825, 1966, 1998, ouvrages et voiries actuels.
- Evolution diachronique du trait de côte : carte des tronçons en recul ou en avancée, carte des surfaces perdues ou gagnées sur la mer entre deux dates.
- Photo-interprétation des missions aériennes de l'IGN 1957/59, 73/74, 96/97 au 1/25 000 : cartes des entités suivantes : limite de la forêt, végétation basse (courant d'Huchet), limite externe de la dune ou à défaut, limite supérieure de la plage, crête de la berme (là où elle peut être définie), barres intertidales (émergeantes), barres subtidales (prélittorales), ouvrages de l'époque. Les couleurs d'affichage peuvent être modifiées.

- Evolution diachronique de la limite externe de la dune : surfaces en érosion ou accrétion entre deux dates.

Cartes de localisation

Ces cartes permettent de sélectionner géographiquement divers types de données non cartographiques :

- Localisation des données bibliographiques : polygones définissant l'emprise géographique d'une étude, d'un rapport, d'un traité ou d'une publication.
- Localisation des photos de terrain : photos « kilométriques », prises systématiquement en 1998 tous les kilomètres, photos « chronologiques » localisées comparant l'état d'un site à deux dates différentes.
- Localisation des profils ONF : 40 sites de suivi du profil de la plage et de la dune situés au droit des anciennes bornes ONF. Un nouveau jeu de bornes Tellubloc a été implanté à proximité des anciennes depuis les derniers relevés de 1996/97.

Fiches bibliographiques

En sélectionnant une zone géographique on accède à une liste d'études concernant la zone (liste de fichiers du type auteurannée.htm). Au moyen d'Internet Explorer, on accède à la fiche bibliographique correspondante qui donne la référence complète et un résumé du contenu.

Photos de terrain

Par une procédure analogue à celle des fiches bibliographiques, on peut visualiser sous forme d'images les photos « kilométriques » et « chronologiques ».

Profils ONF

Par une procédure analogue aux précédentes, on peut visualiser sous forme d'images les profils comparés de quatre dates : 1990, 92, 96 et 97. Noter que les profils de 1990 à 1996 sont repérés par rapport aux anciennes bornes, ceux de 1997, par rapport aux nouvelles bornes Tellubloc situées à proximité.

Analyse morphologique des types de plage et de leur évolution

Cette rubrique vient d'une certaine manière en conclusion des précédentes et tient compte des observations sédimentologiques et des caractéristiques physiques de types représentatifs de zones homogènes.

La sélection géographique se fait au travers d'une carte générale de la côte sur fond de MNT de l'Aquitaine, qui donne le découpage en zones naturelles précédemment établi au cours de ce projet, séparées par des zones de transition ou des tronçons protégés par des ouvrages de défense. En cliquant sur la zone de son choix, on peut afficher les informations suivantes qui caractérisent la zone et l'illustrent par un site représentatif :

- Photo aérienne de 1998 au 1/8 000 et n° de cliché
- Evolution du trait de côte, ouvrages et voirie de 1998
- Photo-interprétation de la morphologie en 1959/73/96

- Schéma caractéristique du type morphologique de la zone ; une aide en ligne permet d'afficher si besoin un schéma explicatif des entités et zones morphologiques de la plage avec un petit lexique français/anglais.
- Paramètres physiques caractérisant le type : altitudes absolues, pentes, granulométries, ainsi que ε , K^* , Ω dans le cas d'une période de la houle de 11s et d'une hauteur de brisants de 2.5 m.
- Evolution prospective du type : par un ou plusieurs schémas analogues à celui du type actuel, on propose une hypothèse d'évolution qui tient compte du comportement observé et de l'état de la plage.

3. Modèle comportemental de la côte aquitaine

Lors des étapes antérieures (BRGM-IFREMER, 1997, 1998) nous avons bâti une typologie des plages de la côte aquitaine qui montre du nord au sud une évolution bien déterminée, nonobstant des variations locales dues à des accidents géomorphologiques (pointes, embouchures, passes tidales) qui interfèrent avec le schéma général ou possèdent leur évolution propre à court terme.

En intégrant aux conclusions des levés de terrain et de l'interprétation des photos aériennes les résultats de mesures tirés de l'exploitation des données statistiques sur la houle, des profils levés au GPS centimétrique et ceux des analyses granulométriques, il devient possible de quantifier, à l'aide de paramètres caractéristiques, des états morphodynamiques de plages.

Ces configurations schématiques résument un état « modal » résultant de l'interaction entre les nombreux facteurs physiques du milieu pour leurs valeurs les plus fréquentes, avec pour chacune, des fluctuations récurrentes autour de cet état. Leur évolution spatiale et temporelle déterminée permet une approche du comportement prévisionnel de la côte

Il nous faut pour cela donner la définition des différents paramètres physiques, introduire les mesures disponibles – houle - ou acquises dans le cadre de ce projet – pentes, granulométries, et rappeler la description morpho-sédimentaire des différents types. Nous en tirerons ensuite des paramètres caractéristiques dont la valeur est indicatrice d'états ou de tendances. Nous proposerons enfin une vue prospective des différents types.

3.1. LA HOULE

L'évolution du prisme sédimentaire côtier est fondamentalement conditionnée par :

- Les variations relatives du niveau marin, pour l'instant en hausse
- La nature et le volume des apports, actuellement faibles, le matériel sédimentaire provenant essentiellement en grande partie du recyclage de matériel plus ancien emprunté localement
- L'énergie de l'agent de transport, la houle, puis le vent. La capacité de la houle à transporter des sédiments, son pouvoir « dissipatif » est lié au premier degré avec la vitesse orbitale de la houle au fond, qui dépend de sa hauteur, de sa période et de la profondeur de l'eau.

3.1.1. Caractéristiques physiques de la houle

Ce sont : la hauteur (H), la célérité (c), la période (T), la longueur d'onde (L). et la vitesse orbitale (U_{max}) La houle étant le principal agent moteur de sédiments dans le contexte qui nous intéresse, la combinaison de ces paramètres avec ceux de la côte détermine l'aptitude de la houle à déplacer les sédiments.

Les vagues que l'on observe à la côte sont soulevées par le vent ou résultent du déferlement de houles générées à grande distance. La houle est générée au voisinage des grosses

dépressions atmosphériques par l'effet du vent sur la surface de l'eau. L'amplitude de la houle en eau profonde dépend de trois facteurs (voir rapport 1997):

- la force du vent,
 - la distance sur laquelle il souffle dans la même direction (fetch),
 - la durée pendant laquelle il souffle de manière continue
- Selon la longueur d'onde (L0) et la période (T) en eau profonde on distingue :
- les houles courtes (L0<100 m, T <8-9 s),
 - les houles moyennes (100 m <L0<200 m, 8-9<T<11-12 s),
 - les houles longues (L0>200 m, T >11-12 s).

Dans les équations qui suivent on considérera :

h : profondeur d'eau - L : longueur d'onde (1 m à 1,5 km)
H : hauteur de la vague - Nombre d'onde (radians) : $k=2\pi/L$,
T : période - Fréquence : $\sigma=2\pi/T$,

Les caractéristiques physiques de la houle varient selon que l'on se trouve en eau profonde ($h/L>0.25$ soit plus de 25 m de fond pour 100 m de longueur d'onde) où le fond influence peu la propagation de la houle en surface, en domaine de profondeur intermédiaire ($0.025>h/L>0.25$ soit 2.5 à 25 m de fond pour 100 m de longueur d'onde), de très faible profondeur ($h/L<0.025$) ou près des brisants ($H/h \approx 0.78$)

Célérité (fig. 13)

En eau profonde ($h/L_0>0.25$)

$$c_0(L) := \left(\frac{g}{k(L)} \right)^{0.5}$$

h n'intervient pas. La vitesse varie de manière continue avec la longueur d'onde, par exemple de 28.5 km/h pour des houles courtes de 40 m, à 110 km/h pour des houles longues de 600 m.

En domaine de profondeur intermédiaire ($25>h/L_0>0.025$)

$$c(L) := \sqrt{\frac{g}{k(L)} \cdot \tanh(k(L) \cdot h)}$$

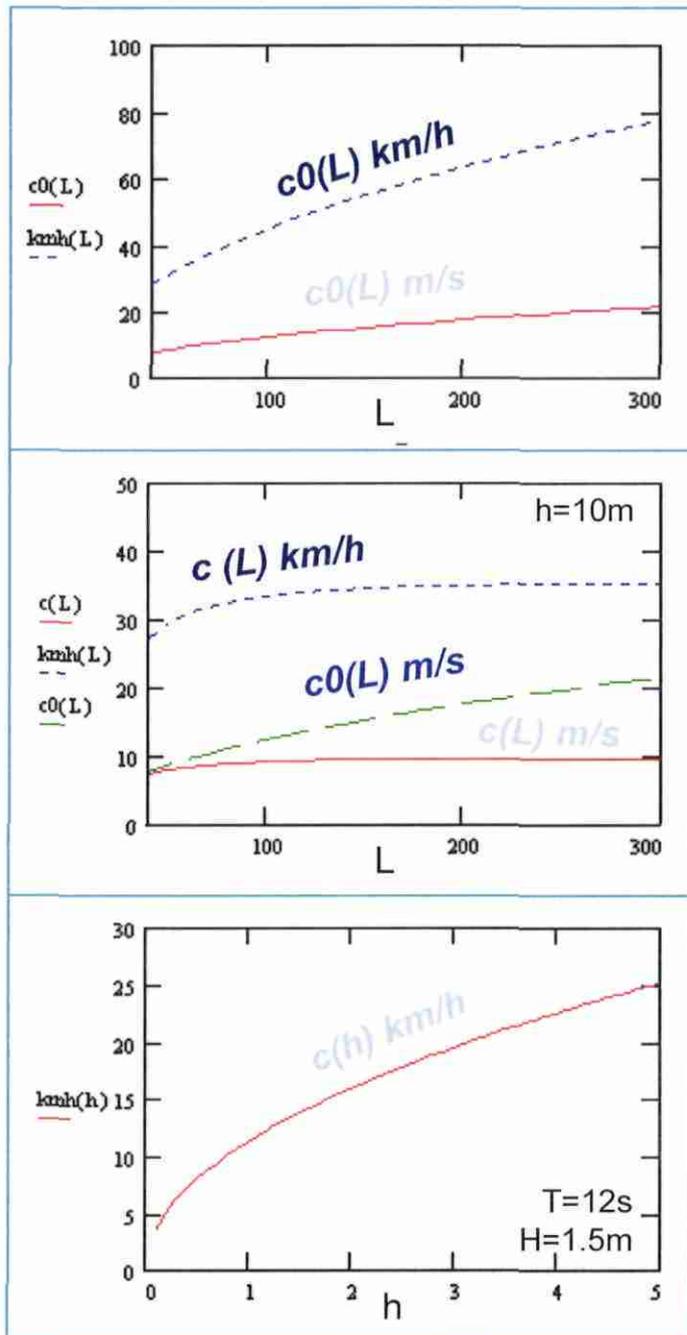
h limite la vitesse : pour 10 m de fond ($h<L/2$) la vitesse augmente de 27 à 35 km/h entre 40 et 150 m de longueur d'onde puis plafonne. Pour une même profondeur, plus la houle est courte, plus sa vitesse diminue.

En eaux très peu profondes ($h/L_0<0.025$)

Pour 100 m de longueur d'onde, h doit être < 2,5 m. L n'intervient plus du tout, seul h contrôle la vitesse.

$$c(h) := (g \cdot h)^{0.5}$$

Conclusion : la vitesse chute de plus en plus vite jusque vers zéro quand la profondeur diminue de 10 m (35 km/h) à 0.10 m



Eau profonde $h/L > 0.25$

Profondeur intermédiaire
 $0.25 > h/L > 0.025$
 h limite la vitesse

Eau très peu profonde
 $h/L < 0.025$
 L n'intervient plus, seul h
 contrôle la vitesse

Près du déferlement
 $H/h \sim 0.78$
 c dépend aussi de la
 hauteur H

Fig. 13 - Célérité de la houle

A proximité du déferlement (H/h ~ 0.78-1.25)

$$c(h) := (g \cdot (h + H))^{0.5}$$

c dépend aussi de la hauteur H : la célérité augmente en plus avec la hauteur des vagues

Longueur d'onde (fig. 14)

En eau profonde

$$\text{Fréquence} \quad \alpha(T) := 2 \cdot \frac{\pi}{T} \quad \text{Longueur d'onde} \quad L(T) := g \cdot \frac{T^2}{\alpha(T)}$$

La longueur d'onde varie en fonction de la période selon la relation des ondes gravitaires.

En profondeur intermédiaire

$$k(L) := 2 \cdot \frac{\pi}{L} \quad \text{avec} \quad L(T) := g \cdot \frac{T^2}{\alpha(T) \cdot \sqrt{\text{th}(k(L) \cdot h)}}$$

La longueur d'onde est influencée par le fond, et dépend de la profondeur d'eau. Dans ce cas, L augmente moins vite avec T qu'en eau profonde. Avec par exemple une profondeur d'eau de 10 m, à l'approche de la plage, cette relation prend l'allure du graphe fig. ..

A proximité du déferlement :

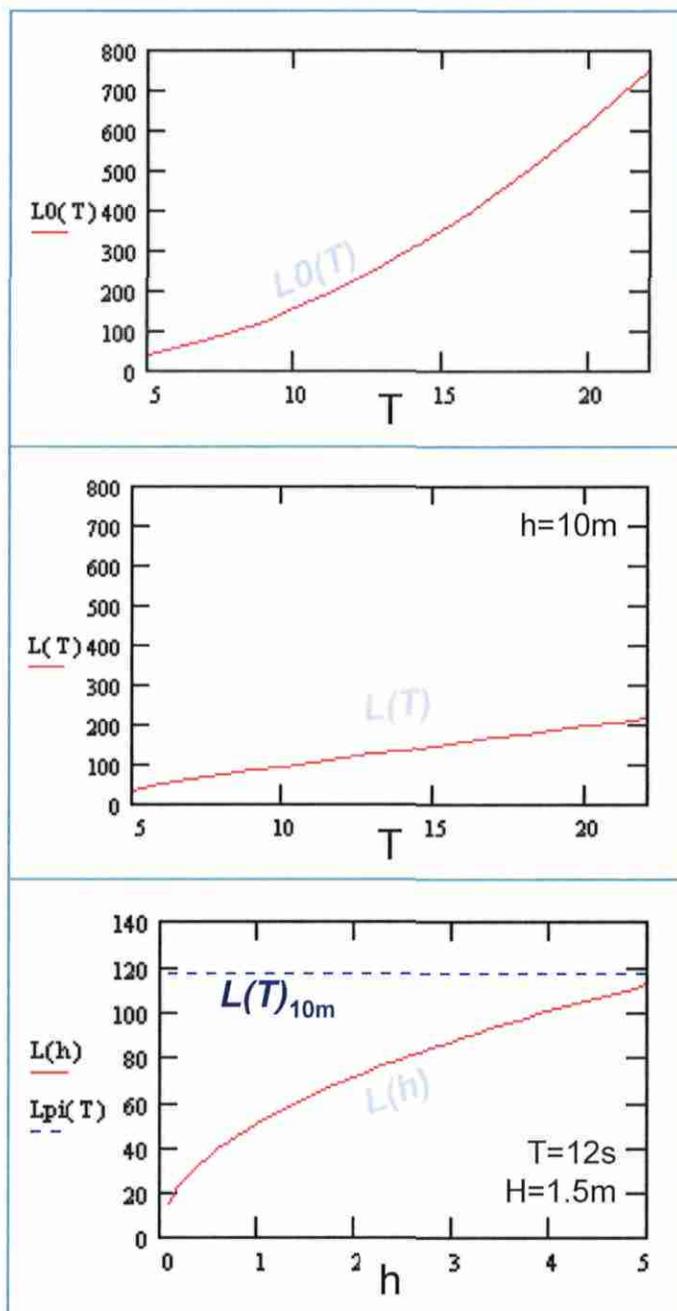
$$L(T) := c \cdot T \quad \text{avec} \quad c = c(h) := (g \cdot (h + H))^{0.5} \quad \text{comme défini précédemment}$$

Hauteur (fig. 15)

La hauteur de la houle, par rapport à sa valeur initiale, varie en se rapprochant de la côte lorsque la profondeur diminue. Elle diminue puis augmente par rapport à la hauteur initiale. L'augmentation de hauteur est associée à la diminution de longueur d'onde.

$$H(h) := H_0 \cdot \left(\frac{c_0}{2 \cdot c(h) \cdot n(h)} \right)^2 \quad \text{avec} \quad c(h) := \sqrt{\frac{g}{k(L)} \cdot \text{th}(k(L) \cdot h)} \quad \text{et} \quad k(L) := 2 \cdot \frac{\pi}{L}$$

Dans les profondeurs intermédiaires, la hauteur dépend du rapport entre la célérité initiale c0(L) et la célérité instantanée c qui dépend de L et de h ; n est un coefficient compris entre 0.5 en eau profonde et 1 en eau très peu profonde (Wiegel, 1964).



Eau profonde
 $h/L_0 > 0.25$
 h n'intervient pas

Profondeur intermédiaire
 $0.25 > h/L_0 > 0.025$
 $L(T)$ diminue avec h

Près du déferlement
 $H/h \sim 0.78$
 L varie avec h au travers de c

Fig. 14 - Longueur d'onde de la houle

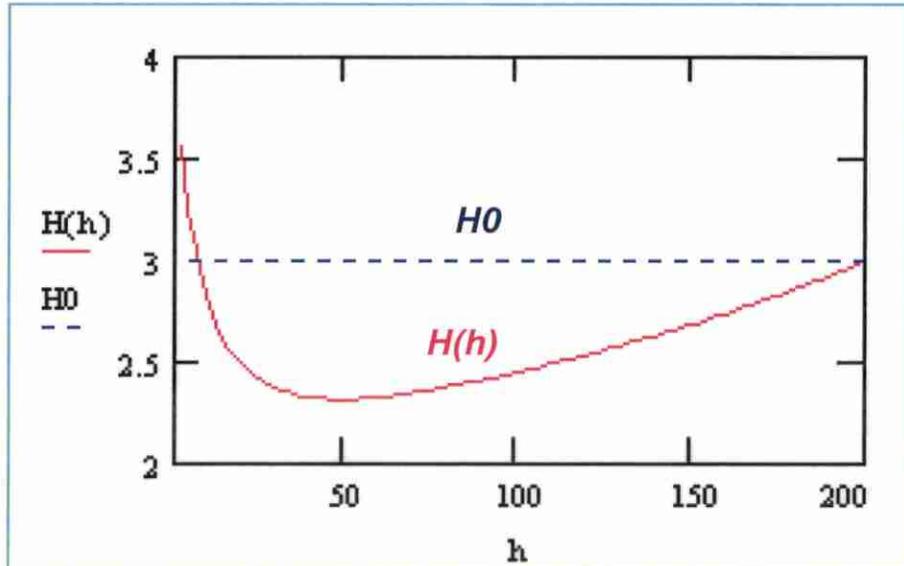


Fig. 15 – Variation théorique de la hauteur des vagues avec la profondeur d'eau

En eau très peu profonde et près du déferlement, en l'absence de rugosité du fond, la hauteur augmenterait comme précédemment, mais en tenant compte de la valeur de c . Dans la pratique, elle est limitée par les frottements sur le fond puis par la profondeur dans la limite de $H/h \sim 0.78-1.25$.

Vitesse orbitale

En surface, eau profonde

$$U_{\max} := \frac{\pi \cdot d}{T} \quad \text{avec } d=H_0$$

Au fond

Eau profonde

$$U_{\max}(h) := \frac{\pi \cdot d(h)}{T} \quad \text{avec } y := -\frac{L_0}{2} \quad \text{et } d(h) := H_0 \cdot \exp(k(h) \cdot y)$$

Profondeur intermédiaire

$$U_{\max}(h) := \pi \cdot \frac{H(h)}{T \cdot \operatorname{sh}(k(h) \cdot h)} \quad \text{avec } k(h) := 2 \cdot \frac{\pi}{L(h)}$$

Faible profondeur

$$U_{\max}(h) := \frac{H(h) \cdot c(h)}{2 \cdot h}$$

Près du déferlement

$$U_{\max}(h) := \frac{H(h) \cdot c(h)}{3 \cdot h}$$

La vitesse orbitale au fond augmente très rapidement lorsque la profondeur diminue entre quelques cm/s et 3 m/s. Plus cette vitesse est élevée, plus le transport de sédiment peut être actif. On voit qu'elle varie dans de fortes proportions dans les 15 premiers mètres. Elle augmente également mais moins vite avec la période et la hauteur. Le rapport H/h est limité comme précédemment à proximité du déferlement. Dans le § suivant (3.1.2.) une série de graphes illustre les variations de la vitesse orbitale au fond dans les conditions de houle réellement observées sur la côte aquitaine (fig. 19).

3.1.2. Caractérisation statistique de la houle en Aquitaine

Deux houlographes permettent de connaître les caractéristiques de la houle à proximité de la côte aquitaine (voir rapport 1997) : l'un est situé au large de Bayonne et géré par le Ministère de l'Équipement, l'autre a fonctionné pendant 13 ans de 1980 à 1993 au large de Biscarosse pour le compte du Centre d'Essais des Landes. Les statistiques effectuées sur les enregistrements de ce dernier (49903 mesures) par le centre de Climatologie Marine de Météo-France à Toulouse permettent d'avoir une assez bonne idée des variations saisonnières de période et hauteur, des valeurs maximales et efficaces, de la corrélation période hauteur et des périodes de retour.

La période de la houle varie de moins de quelques secondes à 8-20s ; la période la plus fréquente est de 9s (fig. 16). La hauteur de la houle varie entre moins d'un mètre et 6 à 8 m ; la hauteur la plus fréquente est de 1.5 m (fig. 16). La hauteur maximale observée à Biscarosse est de 15.80 m, le 13 septembre 1993. La loi de Gumbel (fig. 17) montre une période de retour décennale de vagues de 10 m.

En hiver, la hauteur et la période de la houle augmentent (fig. 16) : sa hauteur peut atteindre 6 à 8 m avec des périodes jusqu'à 16 s. En janvier les houles les plus fréquentes ont une période de 12 s pour une hauteur de 2 à 3 m (fig. 18). C'est en février que les houles sont les plus longues.

C'est à la fin du printemps que la mer est la plus calme. La houle est courte et de faible amplitude (fig. 16). Sa hauteur dépasse rarement 2 m et sa période est le plus souvent proche de 6 s. En mai, les houles les plus fréquentes ont une période inférieure à 6 s pour une hauteur voisine de 1 m (fig. 18).

La variation des vitesses orbitales au fond pour différents modes mensuels de la houle durant ces saisons (fig. 19) illustre bien l'effet qui peut en résulter sur le transport des sédiments principalement pour les profondeurs inférieures à 15 m. On notera le contraste entre mai et janvier.

A la fin de l'été en septembre, la houle aura retrouvé ses caractéristiques moyennes avec $H \sim 1.5$ m et $T \sim 9$ s.

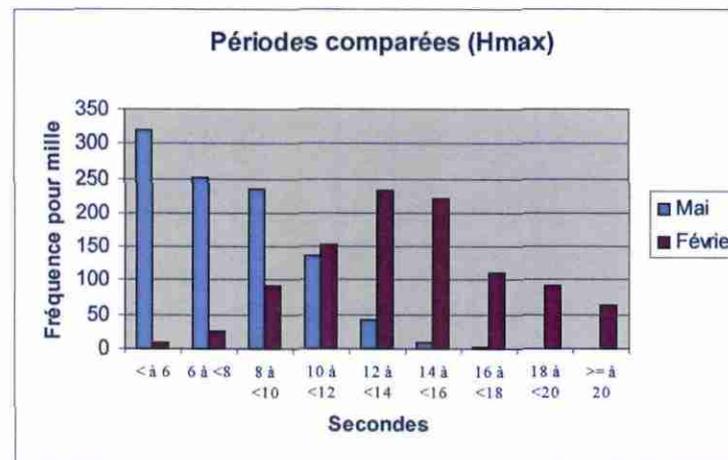
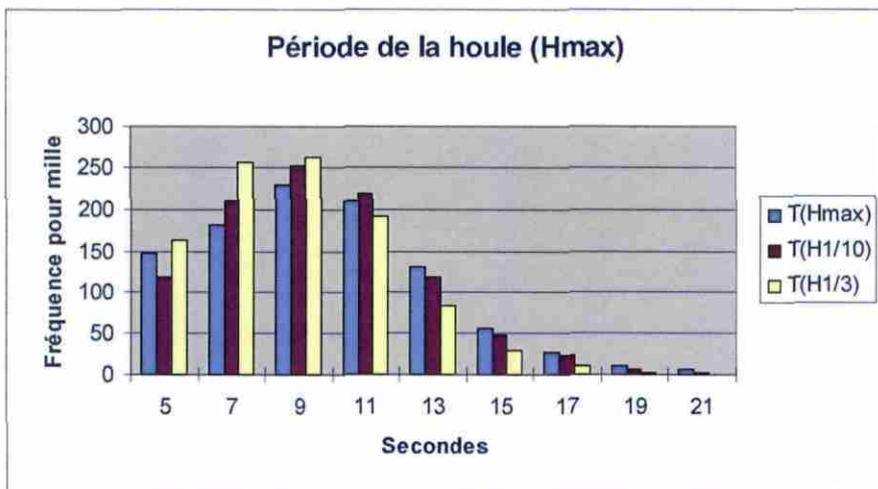
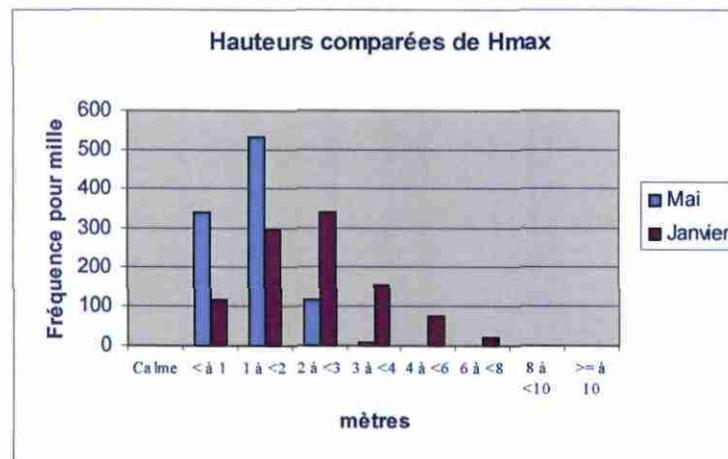
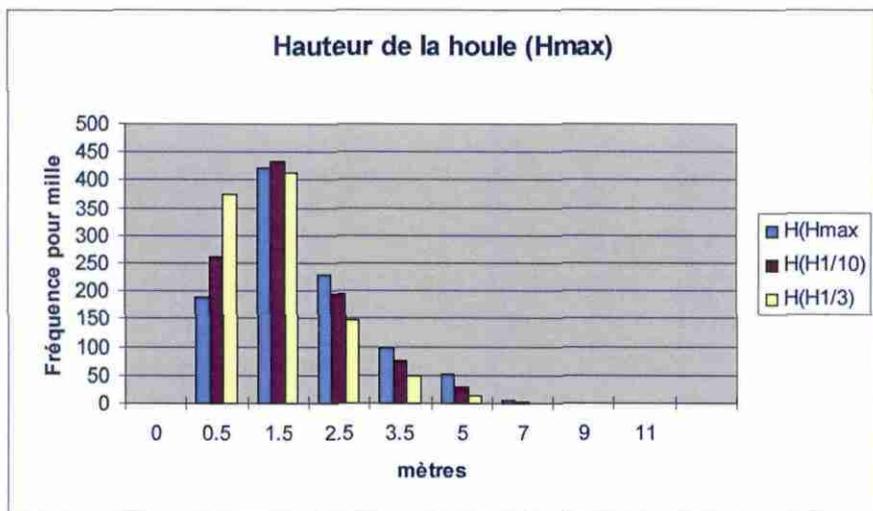


Fig. 16 - Hauteurs et périodes de la houle au large de Biscarosse

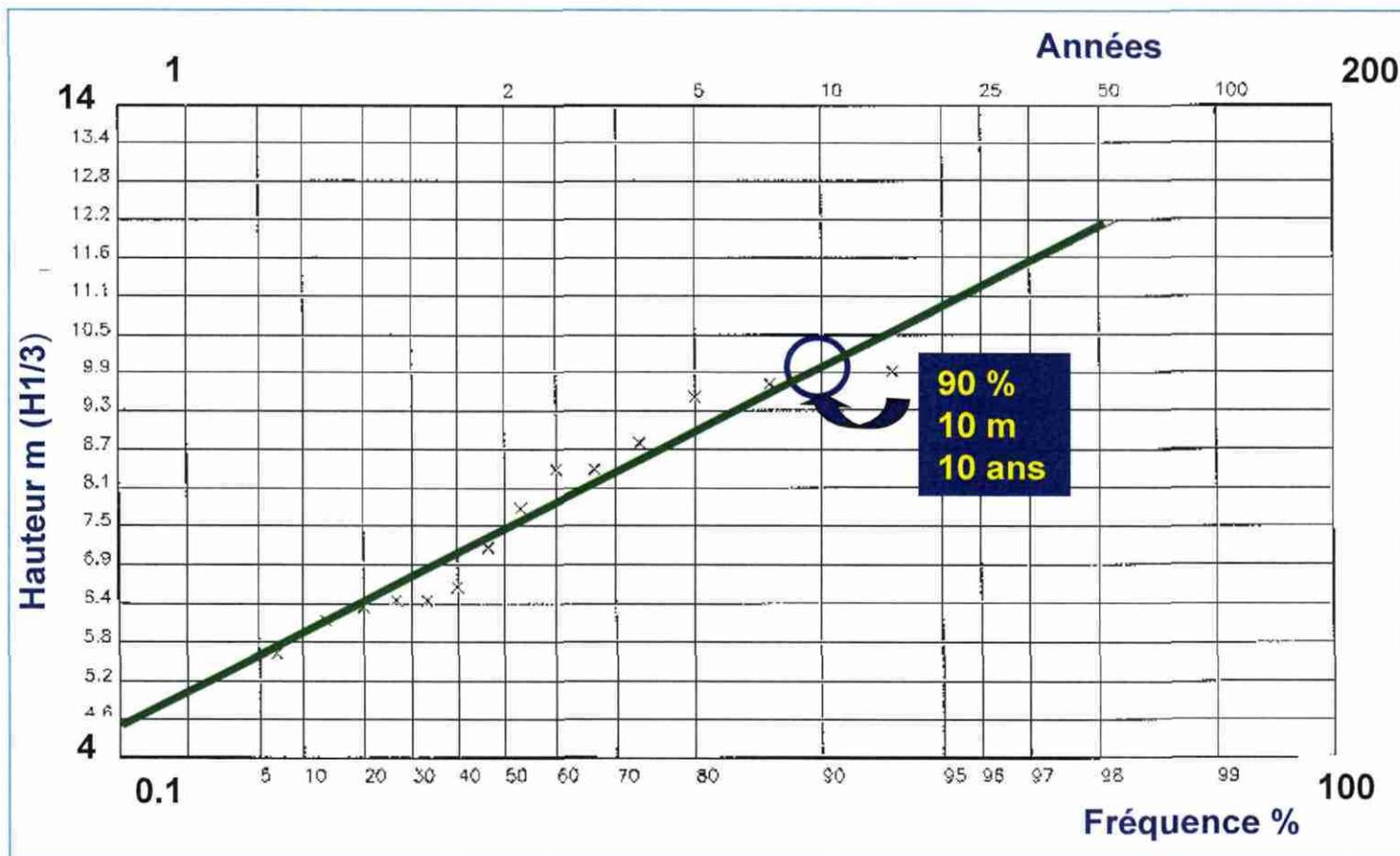


Fig. 17 - Périodes de retour de la houle au large de Biscarosse d'après la loi de Gumbel

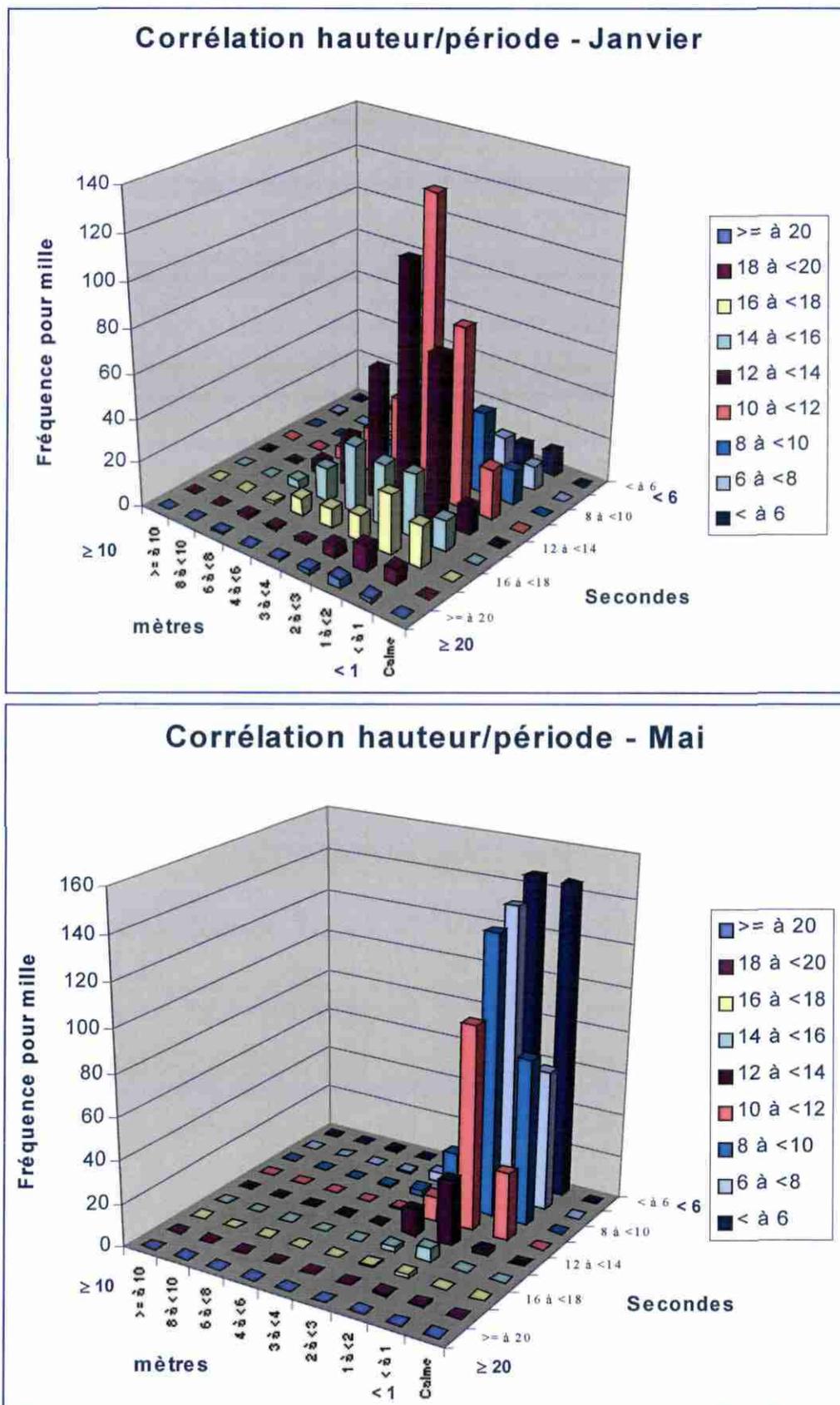
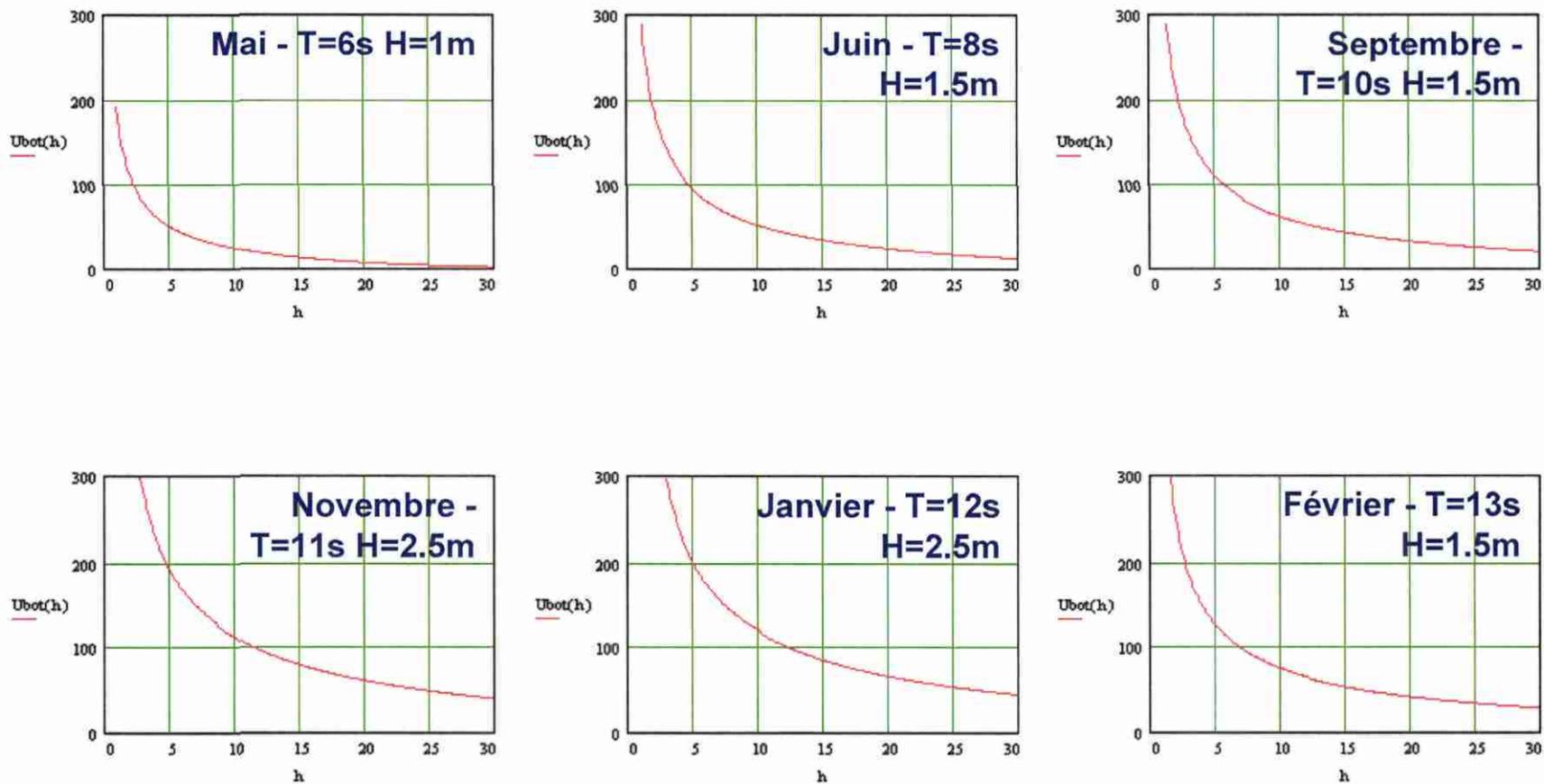


Fig. 18 - Comparaison des corrélations hauteur-période de la houle en janvier et en mai



En abscisse : h, profondeur d'eau en m - en ordonnée : U_{bot} , vitesse orbitale en cm/s

Fig. 19 - Vitesse orbitale au fond pour différents modes mensuels de houle en Aquitaine

3.2. TYPES DE PLAGES ACTUELS

Cinq grands types morphologiques ont été précédemment définis du nord au sud de la côte aquitaine (BRGM-IFREMER 1999). Il ont été établis en particulier d'après les levés et mesures sédimentologiques faits au sol depuis 1996 dans le cadre de ce projet et d'après la description des photos aériennes depuis 1957, dont la mission spéciale de 1998 (524 clichés). Certains types sont eux-mêmes subdivisés en sous-types, et au total huit configurations de plage ont été décrites. Depuis, leurs caractéristiques ont été précisées, à l'aide de leur caractères physiques : altitudes, pentes, granulométrie (fig. 20 à 27). L'introduction de gammes de valeurs pour l'amplitude et la période de la houle permet le calcul des paramètres indicateurs précédemment définis dans différentes configurations de houle.

3.2.1. Rappel de la définition des types morphologiques

Les subdivisions adoptées sont basées notamment sur :

- la linéarité ou la périodicité de l'avant-plage,
- la nature des corps sédimentaires infratidaux et subtidaux,
- la pente et la largeur des différentes parties de la plage,
- la forme de barres intertidales,
- le développement de la berme,
- les morphologies dunaires,
- les processus dynamiques observables directement (plans de houle, courants de retour, turbidité, courants de baïnes), ou indirectement au travers des structures sédimentaires.

Cette classification, spécifique à cette côte, découle directement de l'observation, mais possède néanmoins, dans ses concepts, des analogies avec des classifications antérieures établies ailleurs dans des contextes voisins (Wright et Short, 1985 ; Sunamura, 1985a).

Nous en résumons ci-dessous de manière systématique les caractères distinctifs. Toutes les figures comportent les valeurs typiques des différentes caractéristiques physiques mesurées (altitude, pente, granulométrie).

Type 1A : De la Pointe de Grave au Gurp (fig. 20)

- Plages très plates et basses, linéaires, sans variations parallèles à la côte
- Pas de barres sableuses développées dans la zone intertidale ou sur le plateau continental
- Pas de berme permanente différenciée
- Escarpement en haut de plage fonctionnant en falaise vive

Type 1B : Du Gurp à Montalivet (fig. 21)

- Plages très plates et basses, linéaires, sans variations parallèles à la côte
- Bancs très plats à l'extérieur du replat de marée, à faible granulométrie
- Formation d'une barre étroite et grossière de matériel résiduel dans la zone de déferlement
- Escarpement en haut de plage avec bourrelets sableux et végétation clairsemée

Type 2A : De Montalivet à La Jenny (fig. 22)

- Plages à large replat de marée et variations parallèles à la côte plus ou moins périodiques
- Barres parallèles à la plage isolées en îlots
- Barres obliques en lacets sur l'estran et berme peu élevée parfois résiduelle
- Baïnes dans une arrière plage étroite

Type 2B : De La Jenny au cimetière de l'Herbe (fig. 23)

- Plages à large replat de marée et variations parallèles à la côte plus ou moins périodiques,
- Barres symétriques longitudinales adhérentes ou en îlots et baïnes irrégulières de petite taille
- Berme marquée à front important à petits croissants de plage en face des baïnes
- Large arrière plage en continuité avec la dune

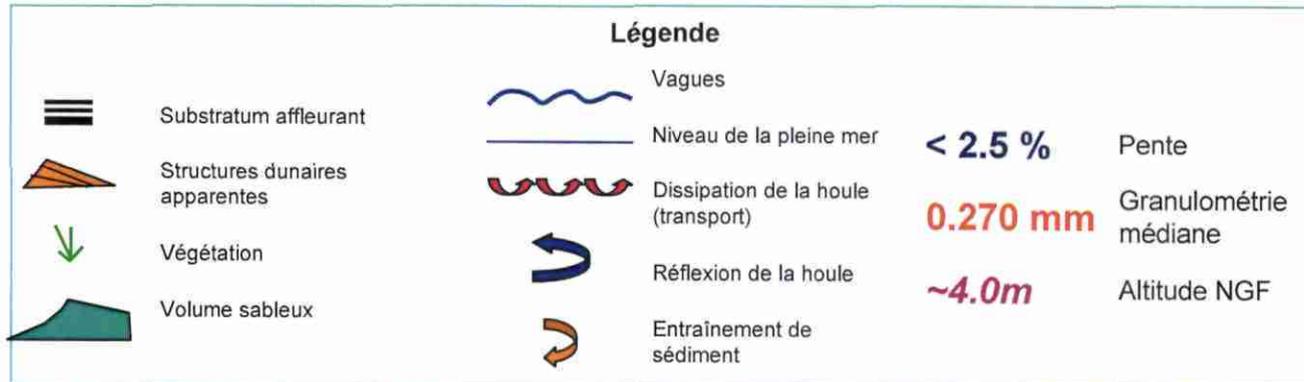
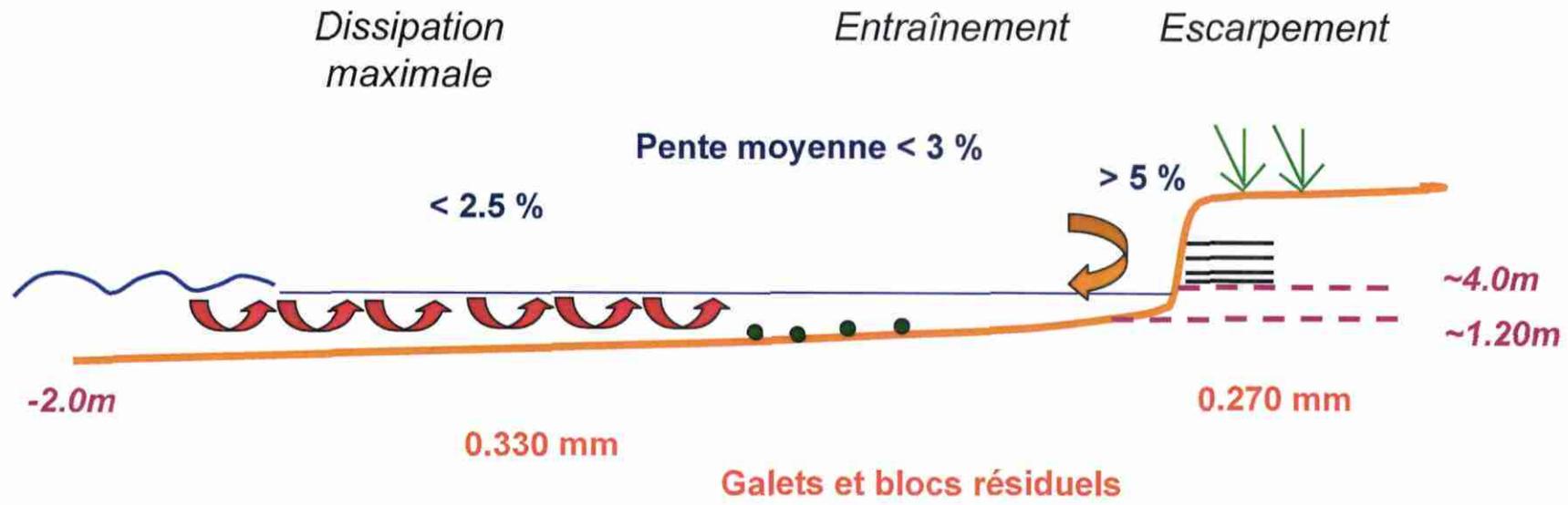


Fig. 20 - Type 1A - Pointe de Grave - Le Gurp

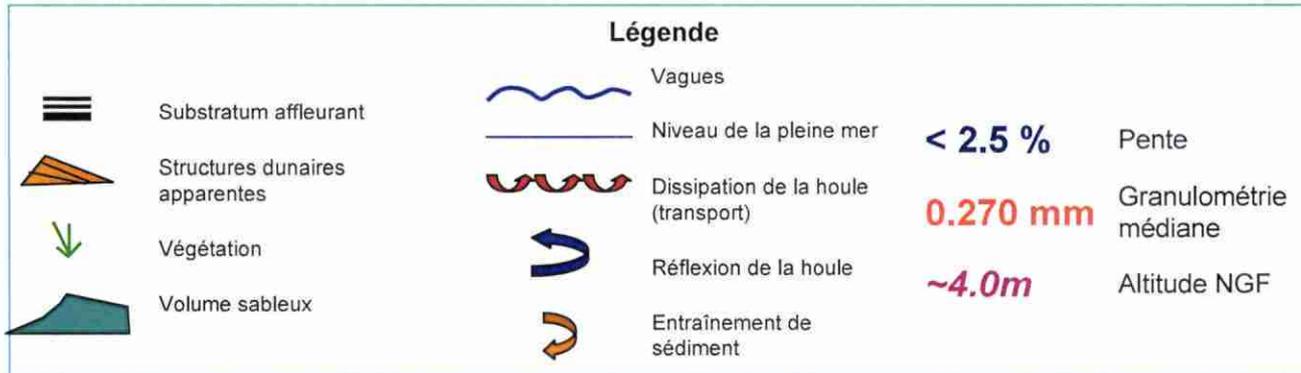
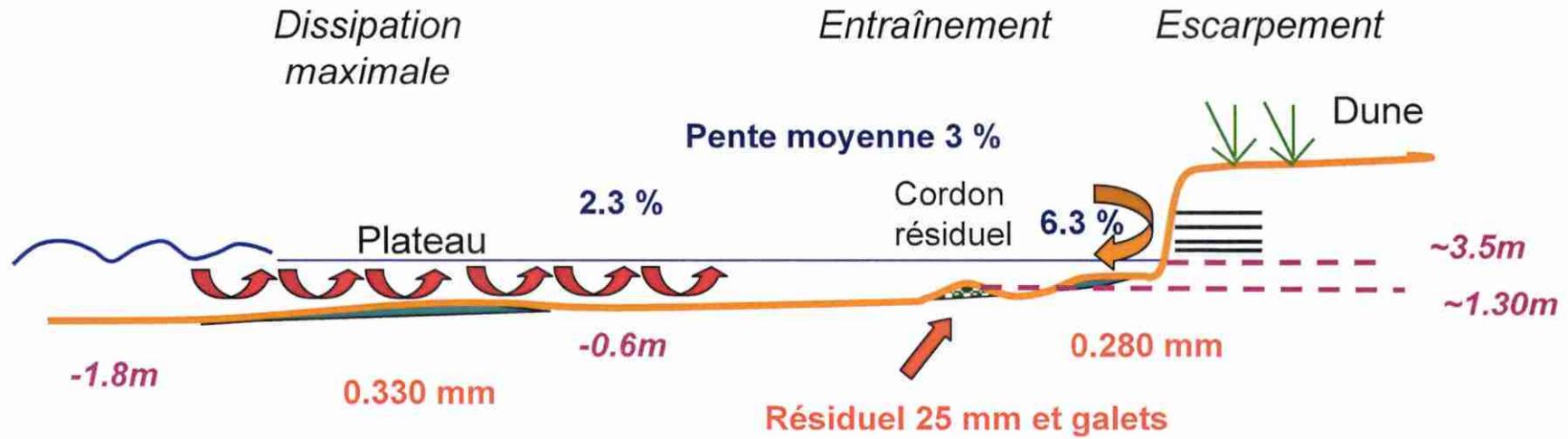


Fig. 21 - Type 1B - Le Gurp - Montalivet

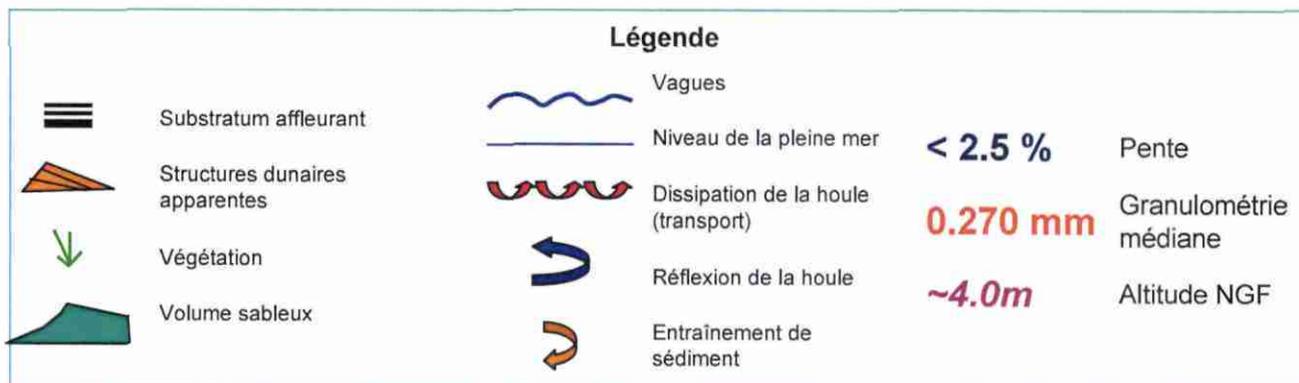
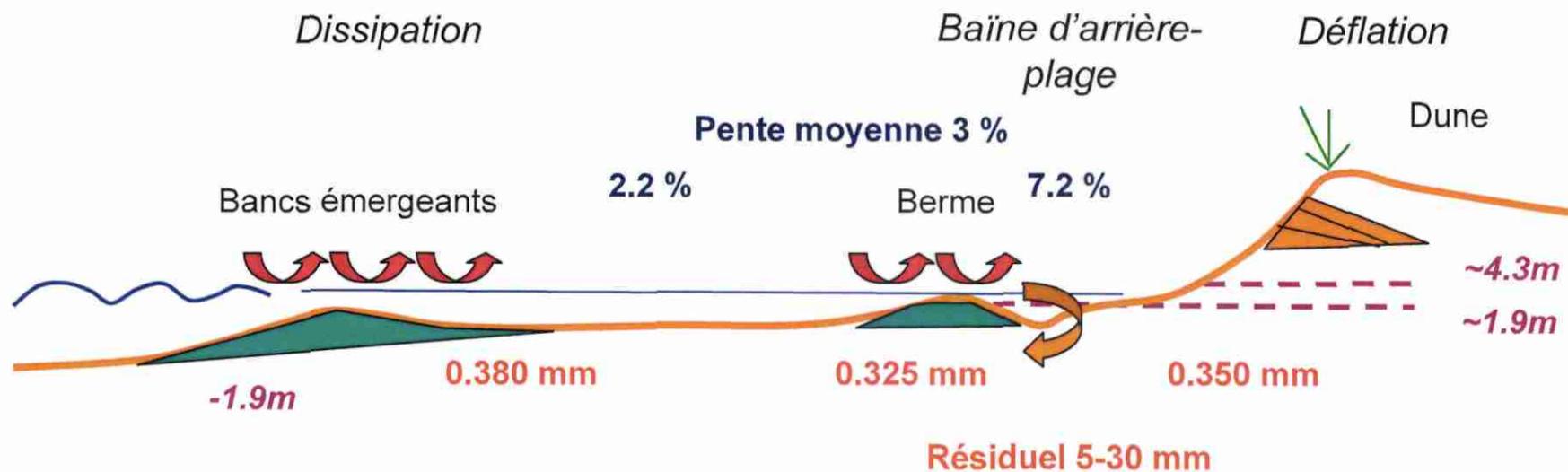


Fig. 22 - Type 2A - Montalivet - La Jenny

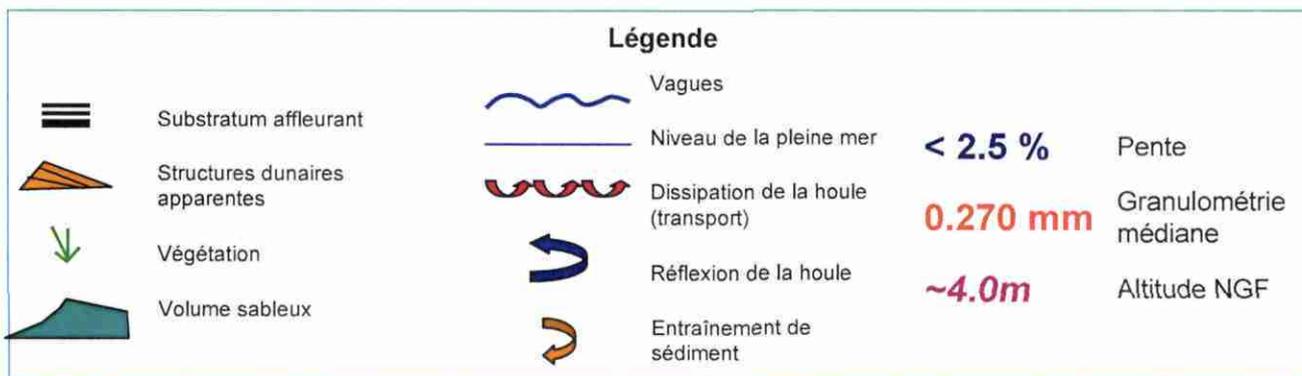
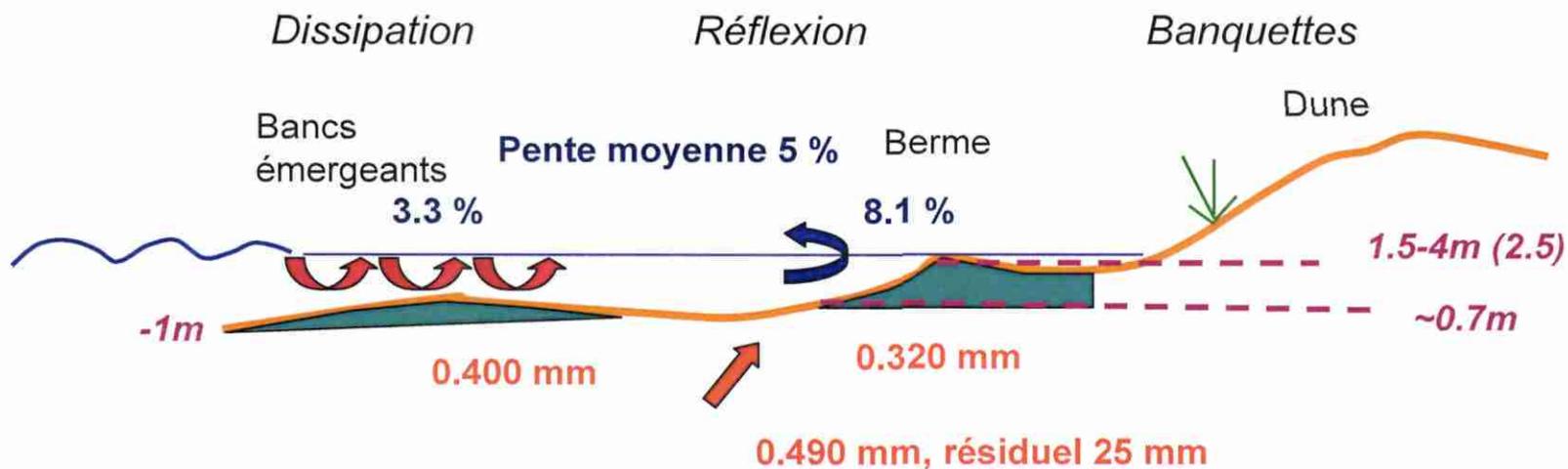


Fig. 23 - Type 2B - La Jenny - L'Herbe

Type 3 : De Biscarosse au nord de Mimizan (fig. 24)

- Variations parallèles à la côte périodiques et système de barres très obliques
- Barres en croissant externes et internes, bancs longitudinaux isolés ou en îlots et baïnes très longues parallèles à la côte, estran large en dehors des baïnes
- Berme marquée à croissants de plage face aux baïnes ouvertes, dune profilée

Type 4A : Du sud de Mimizan à Soustons (fig. 25)

- Variations parallèles à la côte à très forte périodicité, barres en croissant externes et internes
- Bancs trapus larges, symétriques ou en barres obliques, indivis et soudés à la plage
- Berme à puissance croissante vers le sud et croissants de plage face aux baïnes
- Arrière plage large prolongée par une dune au profil tendu

Type 4B : De Soustons à la plage des Casernes (fig. 26)

- Variations parallèles à la côte à périodicité irrégulière, estran de largeur réduite et penté
- Bancs isolés où les vagues brisent en pics et baïnes largement ouvertes
- Berme forte à croissants de plage actifs et granulométrie variable
- Arrière plage avec figures de débordement des vagues

Type 5 : De Hossegor à l'Adour (fig. 27)

- Variations parallèles à la côte faibles, estran de largeur réduite à forte pente
- Barres subtidales en croissants proches à pointes adhérentes à la plage, maigrissant vers le sud
- Berme puissante à forte pente, granulométrie élevée et croissants de plage très structurés
- Arrière plage élevée avec dune ou arrière pays à faible relief

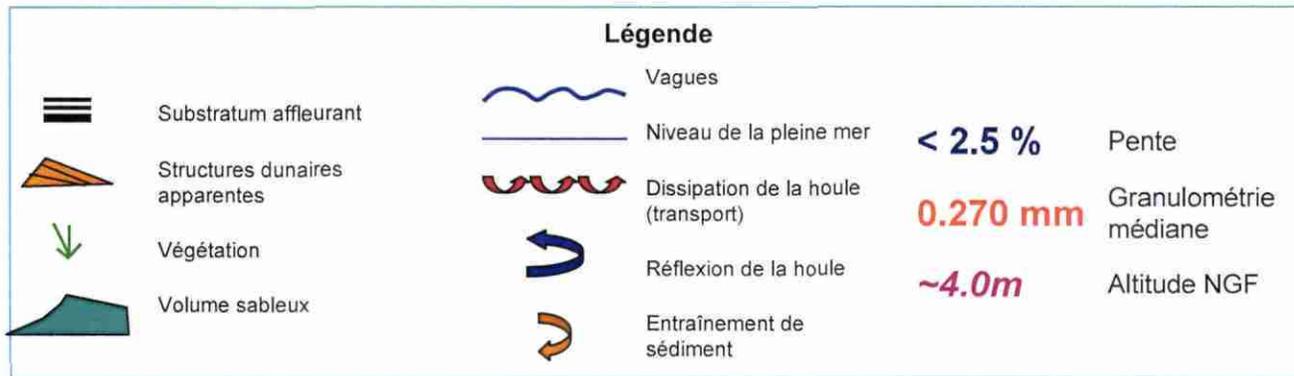
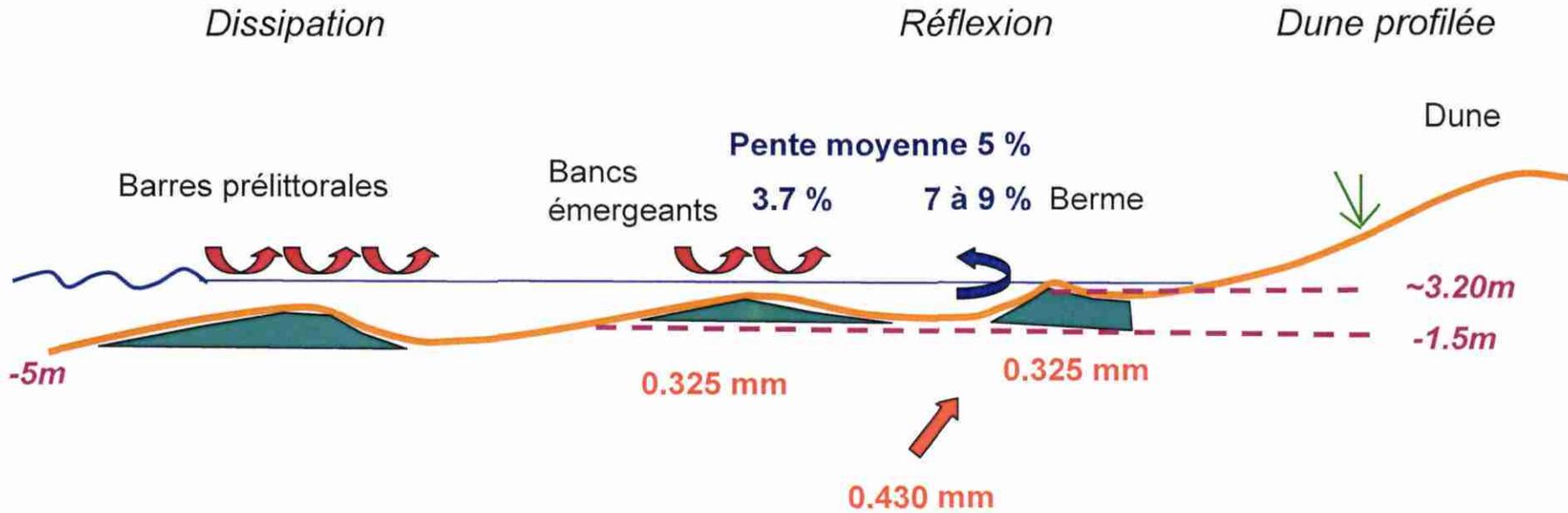


Fig. 24 - Type 3 - Biscarosse - Mimizan

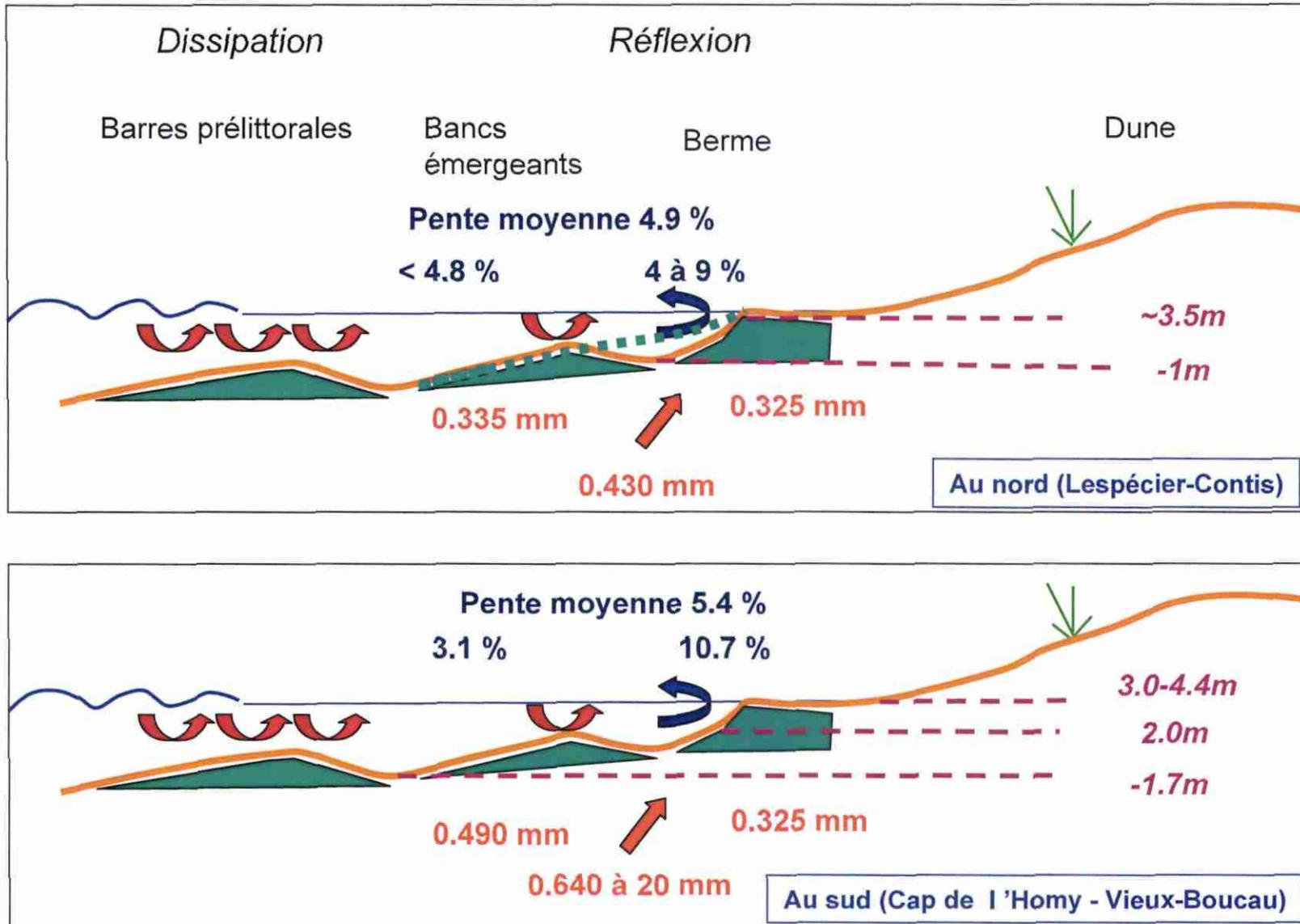


Fig. 25 - Type 4A - Mimizan - Soustons (même légende que figures voisines)

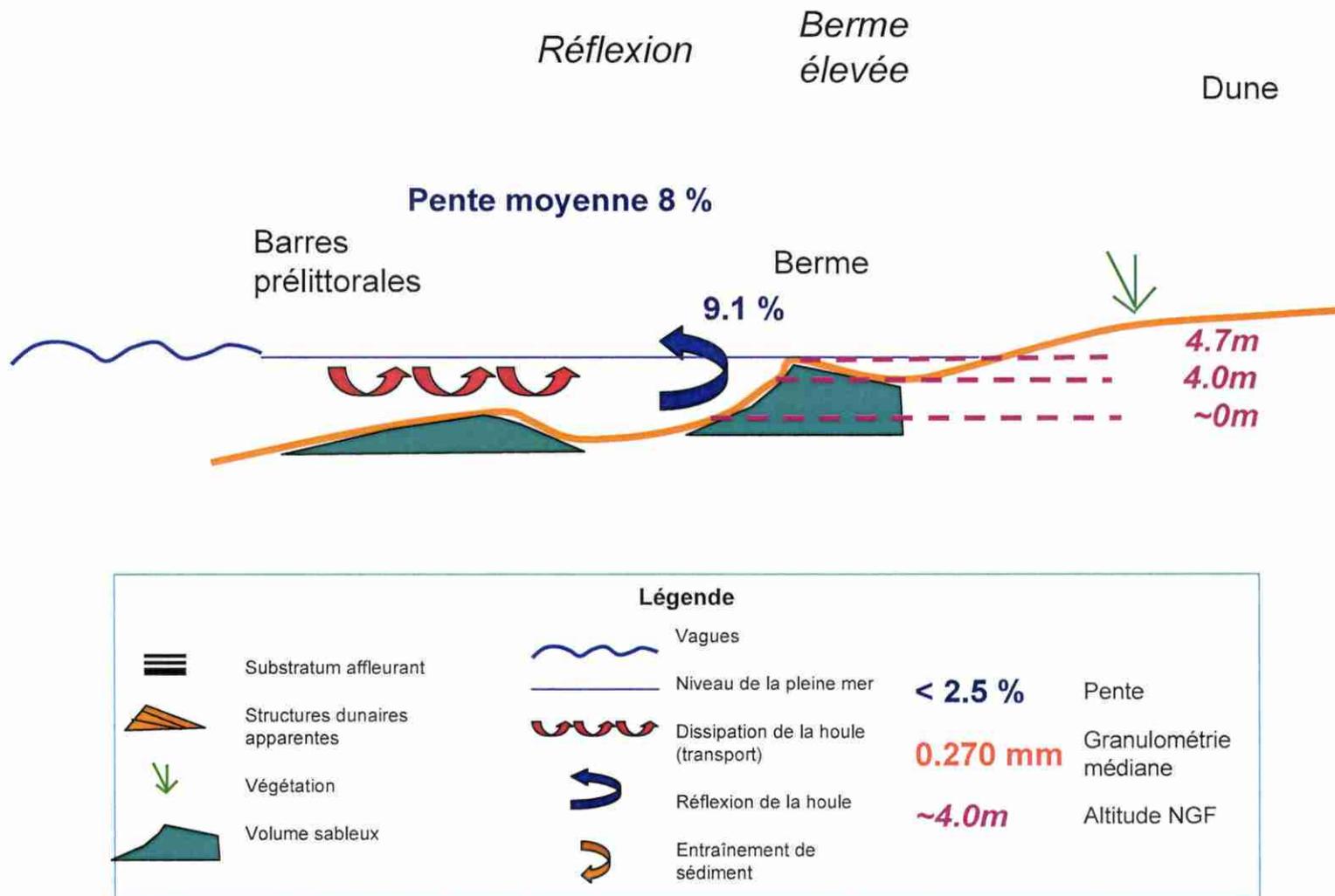


Fig. 26 - Type 4B - Soustons - Les Casernes

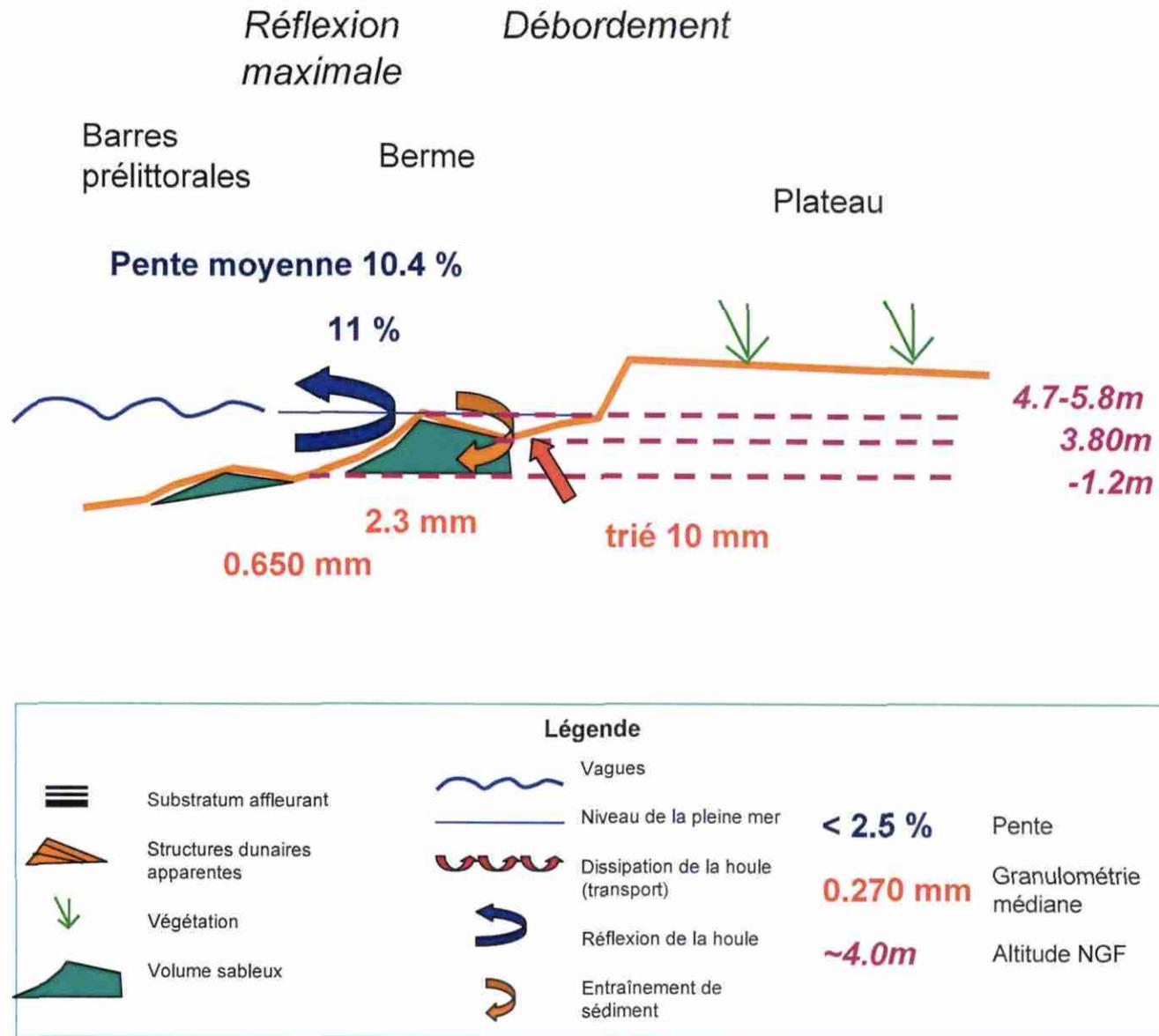


Fig. 27 - Type 5 - Hossegor - Adour

3.2.2. Evolution latérale des altitudes, pentes et granulométries

Altitudes absolues

La comparaison des altitudes absolues mesurées sur les profils de plage (fig. 28) montre une élévation de plus en plus grande de la limite supérieure de la haute plage en allant vers le sud.

Cette caractéristique ménage une profondeur d'eau plus importante par rapport au zéro hydrographique à l'approche de la plage lui conférant une meilleure réflectivité à l'approche des vagues. Elle est associée à une plus grande hauteur de berme, due, entre autres facteurs, à un « run up » (voir § 3.3.1) des vagues plus grand et à des valeurs modales et maximales de houle admissible plus forte dans ces régions selon :

$$Z_{bm} = 0.125 \bar{H}_B^{5/8} (g\bar{T}^2)^{3/8} \text{ (Takeda et Sunamura, 1982)}$$

où Z_{bm} est la hauteur de la berme.

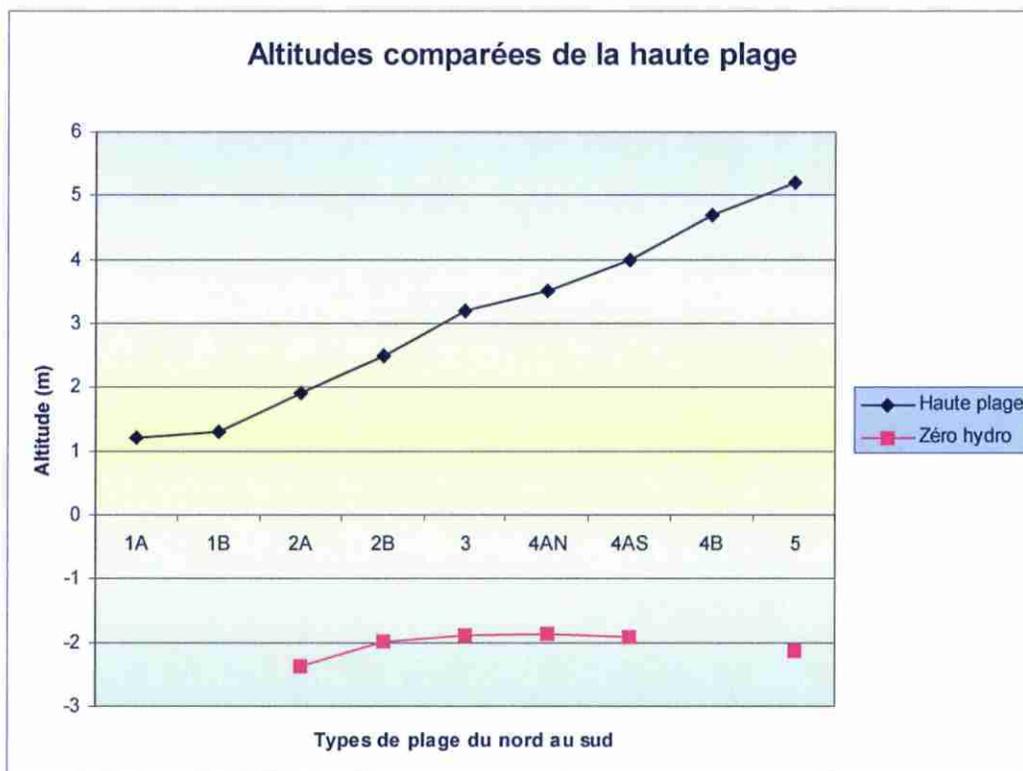


Fig. 28 – Altitudes absolues comparées de la limite supérieure de la haute plage

Pentes

Les valeurs des pentes ont été déduites de l'analyse des profils de plage levés au DGPS centimétrique de Ondres au Gulp en avril 1997 et 1998 et en juin 1998. Elles varient entre 2 % et 12 % entre la partie basse de la zone de déferlement et la zone du jet de rive. La pente moyenne de l'estran total (fig. 29) croit de la même manière du nord au sud. Elle rend compte simultanément de la pente maximale et de la largeur de l'estran, qui, elle, croit du sud au nord. Les pentes mesurées dépendent d'une manière globale de la granulométrie, de la

consolidation des sédiments et de la disposition des corps sédimentaires : plus faibles dans les sédiments fins, plus forte dans les sédiments grossiers, et microfalaise dans les argiles consolidées du Médoc. Elles varient fortement selon le profil considéré (banc ou baie) dans la transition 3/4A nord, illustrée par la plage de Lespécier.

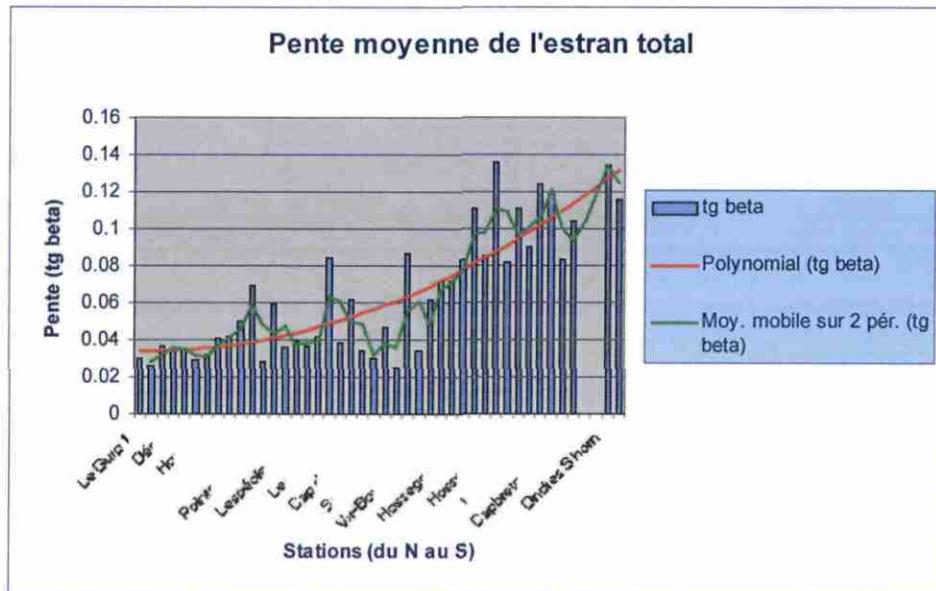


Fig. 29 – Pente moyenne de l'estran total

La pente de la plage dépend de la hauteur (H_B) et de la période (T) des vagues et aussi de la taille des grains du sédiment (diamètre d). Il est très difficile de pouvoir combiner ces trois facteurs pour faire des prédictions. Par l'analyse dimensionnelle d'un grand nombre de cas en nature et de tests à l'échelle pilote, Sunamura (1984C) a proposé la relation empirique moyenne :

$$\tan \beta_f = 0.12 \cdot \frac{H_B}{g^{0.5} \cdot T \cdot d^{0.5}}$$

Les analyses granulométriques réalisées sur les plages d'Aquitaine illustrent bien cette corrélation.

Granulométries

Quinze sites ont été échantillonnés pour analyse granulométrique de Ondres à Montalivet-nord en novembre 1999 (annexe 1, voir § 2.1.1. et fig. 1). Pour chacun, 3 prélèvements ont été réalisés : sur les bancs émergents (1), au point de déferlement d'énergie maximale (2), dans la zone du jet de rive (3). Les résultats montrent un mode commun voisin de 0.3 mm, avec une bimodalité plus ou moins marquée au point de déferlement en (2), mais une croissance du grain médian du nord vers le sud, et la présence d'éléments résiduels du substratum. Des pointés médiane/centile, permettant de classer les échantillons à la manière des diagrammes de Passega (1967), montrent (tabl. 2) :

- pour le cas (1) des valeurs groupées 300-600µm/600µm-2mm dans les sables

- pour le cas (2) 3 familles : celle des graviers (1-4 mm, plages du sud), celle des sables à graviers/galets résiduels (300-800 μm /3-50 mm, plages du centre), celle des cordons à graviers et blocs résiduels du nord (5-15 mm/20-50 mm)
- pour le cas (3) une médiane à 250-550 μm et un centile à 500 μm -1mm, très proche de 600 μm

Médiane et centile en μm	Ondres	Hossegor la Gravière	Hossegor Plage Nord	Vieux-Boucau nord	Messanges	Saint-Girons	Cap-de-l'Hormy	Lespécier	Pointe du Cap-Ferret sud	Pointe de Cap-Ferret nord	pirailan	Crohot noir	Hourtin	Le Pin sec	Montalivet nord
Md(1)	1970	808	490	565	466	459	378	338	317	288	340	366	405	362	333
C(1)	7533	4200	1500	1600	1350	950	960	610	900	650	750	620	10800	620	1050
Md(2)	1213	3245	1696	557	2532	698	730	430	500	341	576	415	5517	626	13052
C(2)	1900	15000	7040	3800	16000	14000	18300	5050	21000	28200	10000	30500	26900	48900	48300
Md(3)	8488	374	534	342	327	328	335	336	281	310	324	323	345	324	285
C(3)	23833	875	1500	620	8900	610	505	610	600	615	600	600	620	600	475

Tabl. 2 – Analyses granulométriques, valeurs de médiane et centile

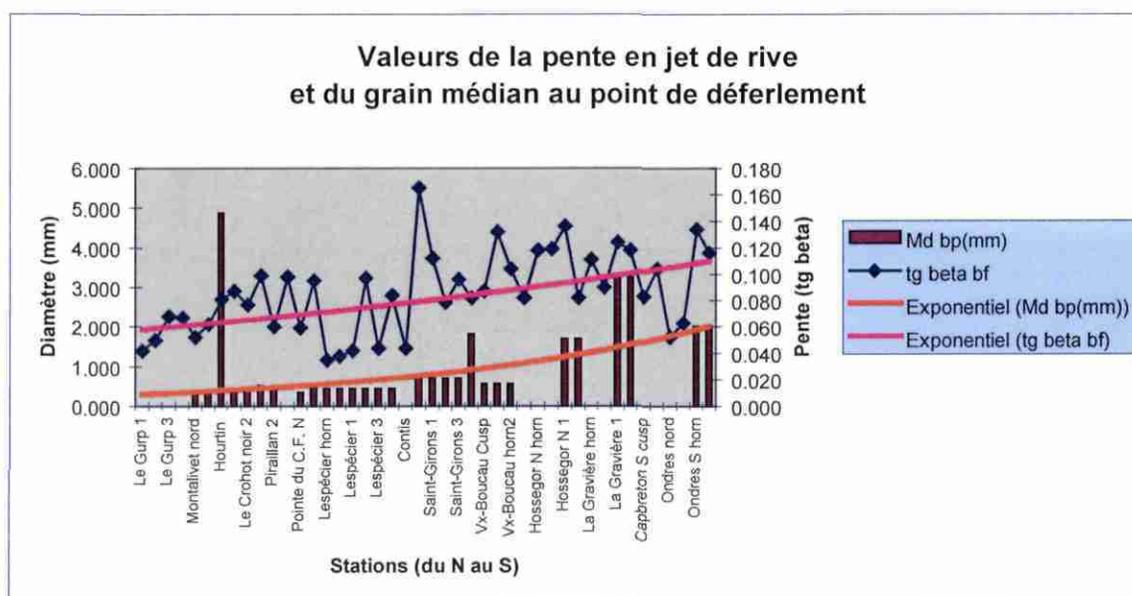


Fig. 30 – Valeurs de la pente en jet de rive et du grain médian au point de déferlement

En se plaçant dans la zone du jet de rive, à proximité du point d'énergie maximale du déferlement à marée haute, le sédiment est généralement très hétérométrique en bas de pente, avec une bimodalité qui traduit la présence de matériel plus ou moins grossier (du gravier jusqu'aux blocs) résiduel qui influence la médiane. La médiane augmente globalement vers le sud avec une variation parallèle de la pente (fig. 30). Dans certaines plages, on observe des anomalies, dues à la présence de matériel grossier résiduel (Hourtin) ou mélangé (Messanges), où à l'existence d'anciens exutoires fluviaux sources de gravier (Hossegor, plage de la Gravière). En jet de rive, le matériel de la pente est toujours très bien classé. Le sable des bancs émergents est légèrement plus grossier et un peu moins bien classé. Dans le cas de croissants de plages, on observe un tri sélectif de matériel grossier sur le replat des points (« horns »).

On notera la constance d'un mode principal des sables à 0.325 mm sur toute la côte, avec une évolution vers un mode à 0.515 mm à partir du Cap de l'Homy vers le sud, mais une persistance du mode à 0.325 mm. Il n'y a qu'à la Gravière que ce mode devient secondaire ; il passe à 0.81 mm à Ondres sud. On verra que ces valeurs modales sont déterminées par la vitesse de chute des particules de quartz dans les suspensions des mousses, les valeurs modales de hauteur et de période de houle, et la pente des plages, elle même conditionnée par le matériel préexistant en fonction des conditions géologiques. Les particules de taille inférieure à 0.325 mm sont éliminées préférentiellement vers le large en fonction de la loi de chute des particules exposée au § 3.3.1. qui montre une décroissance rapide des vitesses de chute au dessous de cette valeur et donc un maintien plus aisé en suspension.

3.3. PARAMETRES RELATIFS AUX MORPHOLOGIES DE PLAGES

Un certain nombre de paramètres ont été définis dans la littérature, à partir de calculs théoriques et d'expériences en laboratoire, et par corrélation avec des exemples en nature. Nous en avons plus haut donné la définition (§ 2.3.2.). La représentation de leurs variations sous forme de graphes (fig. 31) aide à mieux concevoir leur relations avec les facteurs du milieu : houle (H, T), pente de la plage ($\tan\beta$) et granulométrie (d).

Il reste maintenant à en préciser l'usage et la signification dans le cadre d'une application à la côte aquitaine.

3.3.1. Signification et usage des paramètres

Surf scaling parameter

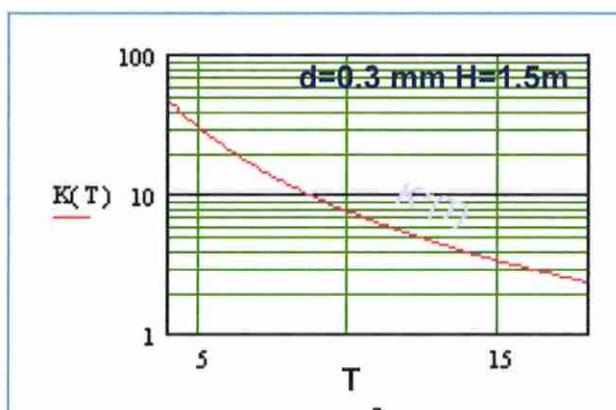
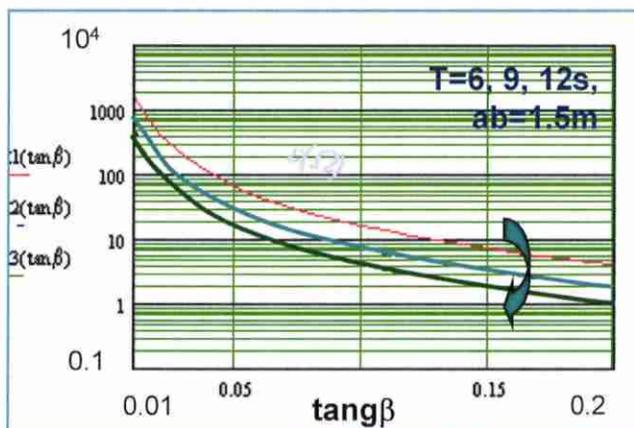
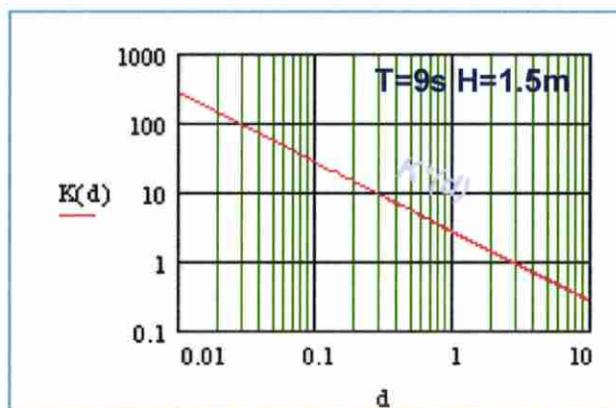
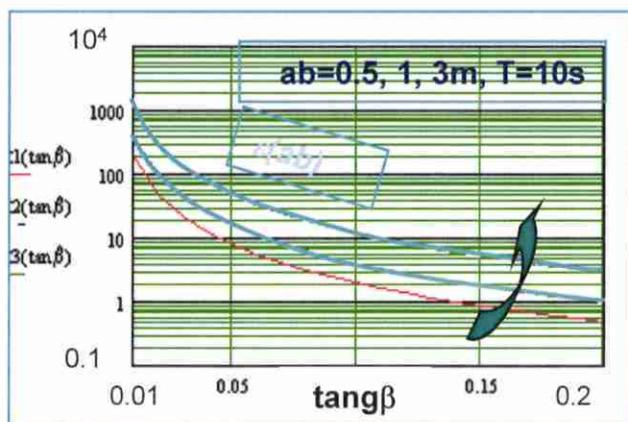
Wright *et al.* (1979a, b) et Wright (1981) avaient dans un premier temps décrit deux états morphodynamiques extrêmes de la plage : totalement « dissipatif » et fortement « réfléchif ». Morphologiquement, ces états correspondent respectivement à

- des plages plates peu profondes, avec un stockage sous-aquatique de sable relativement important,
- des plages abruptes avec de faibles stockage sous-aquatique de sable.

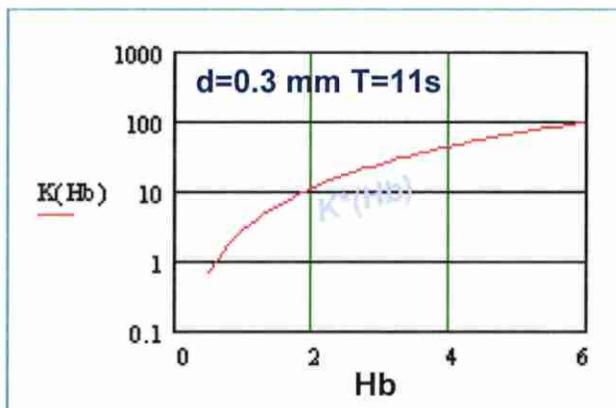
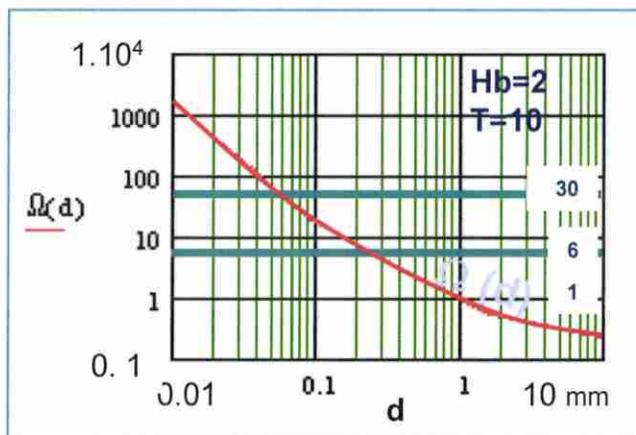
D'un point de vue morphodynamique ces deux extrêmes sont distingués sur la base du « surf scaling parameter » ε qui caractérise le mode de déferlement en fonction de la pente de la plage $\tan\beta$ et de la cambrure de la houle H_0/L_0 en eau profonde. Entre ces deux extrêmes, Wright *et al.* (1979 a, b), Short (1979a, b) et Wright et Short (1984, 1985) ont défini quatre types intermédiaires (fig. 32).

$$\varepsilon = \frac{H_b \omega^2}{g \cdot \tan^2 \beta} \quad (\text{Guza and Bowen, 1975 ; Guza and Inman, 1975})$$

avec H_b : amplitude des brisants et $\omega = 2 \cdot \frac{\pi}{T}$.



Graphes de $\varepsilon = f(\tan\beta)$ pour différentes valeurs de hauteur et période de houle



Graphes de $\Omega = f(d)$ pour $H_b=2m$ et $T=10s$

Graphes de $K^* = f(H_b, T, \text{ et } d)$, respectivement hauteur et période de la houle et diamètre des grains de quartz

$$\varepsilon = \frac{H_b \cdot \omega^2}{g \cdot \tan^2 \beta}$$

$$\Omega_D = \frac{H_B}{w_0 \cdot T}$$

$$K^* = \frac{H_B^2}{g \cdot T^2 \cdot d}$$

Fig. 31 - Graphes des paramètres indicateurs de l'état de plage : ε , Ω , K^*

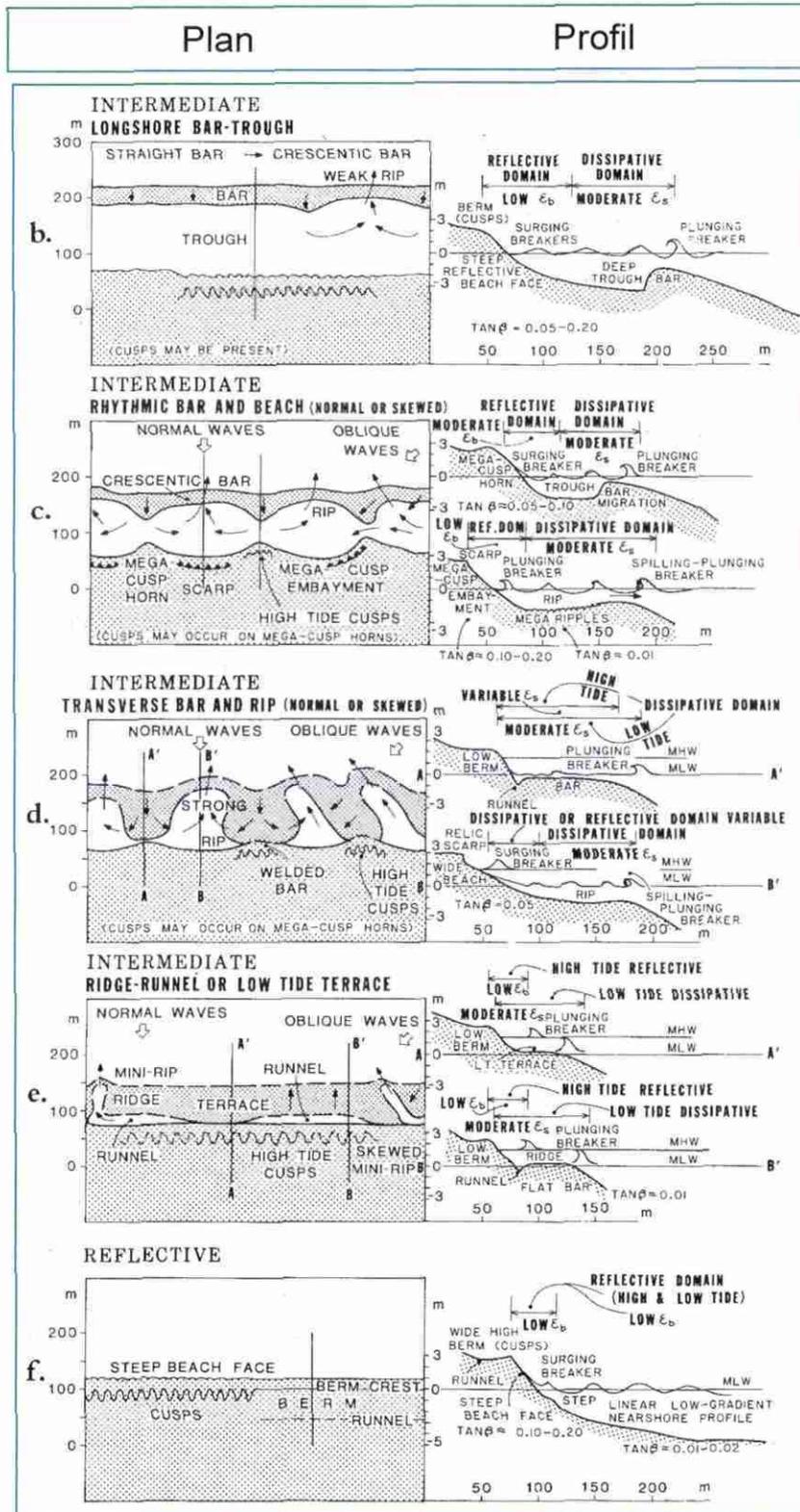


Fig. 32 - Configuration schématique de six états de plage majeurs (Wright et Short, 1984)

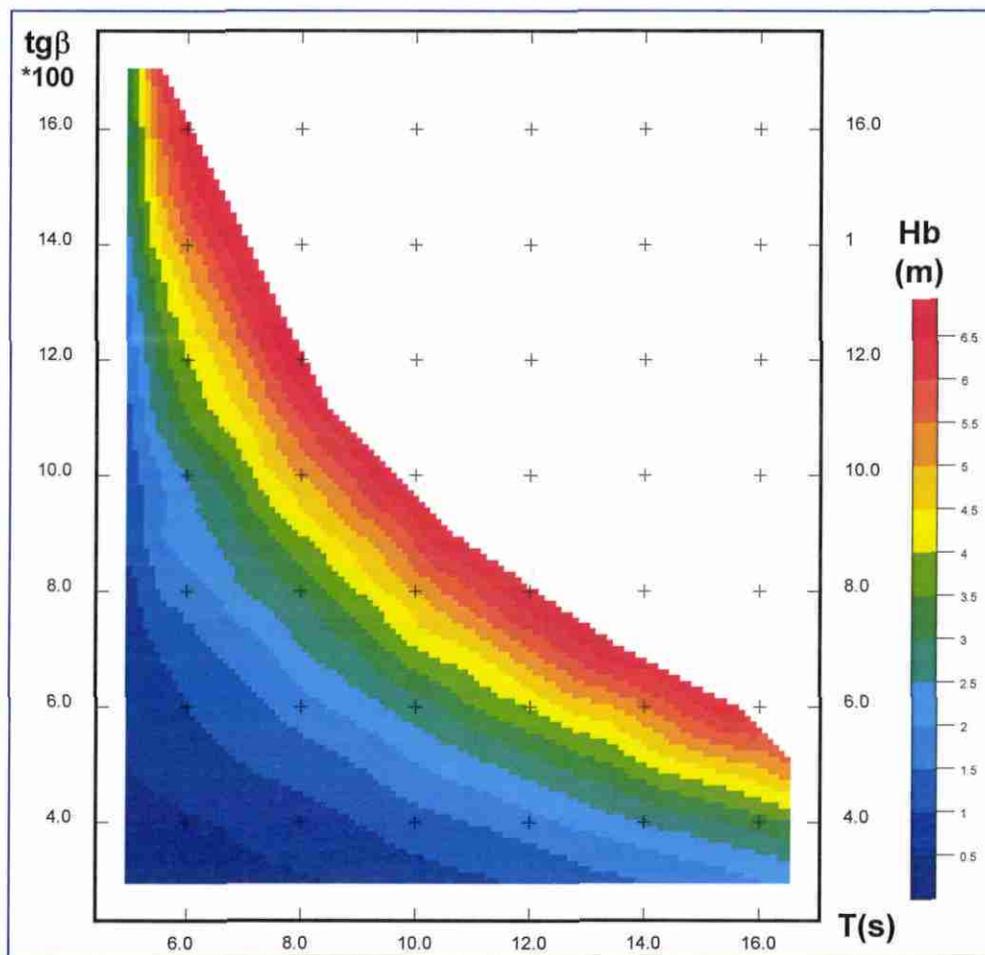
- $\varepsilon < 1$: la réflexion des vagues est totale
- $2.0 < \varepsilon < 2.5$: faible dissipation, forte réflexion et résonance, les vagues déferlent en gonflant (« surging ») avec un retour direct par dessous sur la pente de la zone du jet de rive (« back-wash ») ; la vague monte haut dans la zone du jet de rive (« run-up » maximum) et la montée (« setup » $\bar{\eta}$) du niveau moyen de la mer sous l'effet des vagues est minimale ; cet état s'accompagne de « edge waves² » associées à des croissants de plage (« beach cusps »). Il caractérise plutôt les plages du sud des Landes.
- $\varepsilon > 2.5 < 33$: les vagues déferlent en plongeant (« plunging »), avec augmentation de la viscosité du tourbillon, suppression des résonances, élargissement de la zone de déferlement, diminution de la hauteur des mousses en se rapprochant de la plage, diminution du « run up », et montée du niveau moyen de la mer vers la côte. C'est l'état moyen le plus fréquent sur toutes les plages à barres sableuses des Landes et de Gironde.
- $\varepsilon > 33$: les vagues déferlent en déversant (« spilling ») avec une forte dissipation d'énergie accompagnée de transport. Le « setup » $\bar{\eta}$ augmente et le niveau moyen de la mer migre vers la terre par rapport au point de déferlement ; la composante de transport vers la plage est proportionnelle à la hauteur des brisants, qui est limitée, au déferlement, par la profondeur h_s avec $\gamma = H_B/h_s \approx 0.78 - 1.25$. Cet état s'applique principalement aux plages plates du nord Médoc et à certaines portions des Landes.

En fonction de $tg\beta$ et de T , on peut donc par exemple construire une surface théorique définissant la hauteur maximale de vague H_B admissible pour $\varepsilon < 33$. (fig. 33).

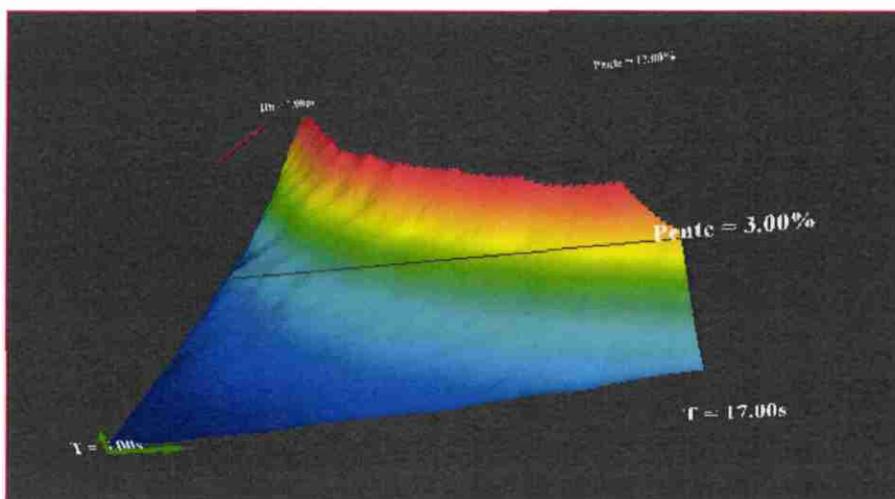
Le décalage vers le haut du niveau moyen de la mer $\bar{\eta}$ augmente avec H_B et la viscosité, et donc avec ε . En même temps, la largeur de la zone de déferlement et la dissipation turbulente de l'énergie des vagues incidentes augmentent avec ε . Cependant pour un H_B donné, le gradient $d\bar{\eta}/dx$ diminue avec la largeur croissante de la zone de déferlement :

- sur les plages réfléchives (à faible viscosité) $\bar{\eta}$ total est petit bien que des gradients localement forts puissent intervenir à proximité du « shore-break » ;
- au contraire quand le système devient plus dissipatif à proximité de la côte, (forte viscosité), $\bar{\eta}$ augmente tandis que l'amplitude relative du « run up » diminue.

² Pour un certain angle de vague incidente, ces vagues sont « capturées » par le bord et se réfléchissent en se déplaçant parallèlement à la côte ; elle seraient responsable de la formation des croissants de plage.



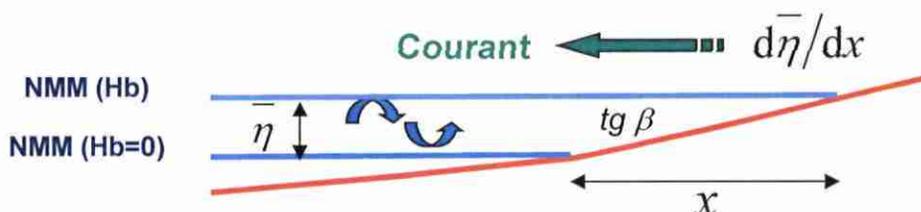
Valeurs de la hauteur de vague maximale H_b pour $\varepsilon < 33$, en fonction de la période T de la houle et de la pente $tg \beta$ de la plage



Vue 3D de la surface H_b maximum pour $\varepsilon < 33$, en fonction de la période T de la houle et de la pente $tg \beta$ de la plage

Fig. 33 - Valeurs maximales de hauteurs de vagues pour $\varepsilon < 33$ en fonction de T et $tg \beta$

Ce gradient conditionne en grande partie l'intensité des courants et des transports vers la mer, entre autres par les courants de retour ; par suite, l'élargissement et l'aplatissement de la zone de déferlement, par transports de sable depuis la plage subaérienne vers la mer ou par apport de sédiment parallèle à la côte aura à terme pour conséquence une atténuation de l'action érosive des courants côtiers en direction du large.



On trouvera des informations complémentaires sur ces processus aux adresses suivantes :

<http://search.netscape.com/google.tmpl?search=setup+of+mean+water+level>

<http://cirp.wes.army.mil/cirp/cetns/cetniv-25.pdf>

Indicateur de la direction résultante de transport

A partir des travaux antérieurs de Sonu (1973), Davis et Fox (1972, 1975), Owens (1977), Short (1978, 1979), Chappel et Eliot (1979), Wright *et al.* (1979), Goldsmith, Bowman et Kiley (1982), Goldsmith *et al.*, 1982), Sasaki (1983) et Takeda (1984), Sunamura (1985a) a proposé modèle d'évolution de plage dans le même esprit que celui de Wright et Short (1984). Ce modèle est composé de 8 stades topographiques : 2 stades limitants : érosion extrême et accrétion extrême, et six stades transitoires. Ce modèle a été développé à partir de plages de pente modérée (1/50-1/200), dans la granulométrie des arénites (\varnothing 0.1-2 mm), en domaine d'énergie modérée à forte, à régime microtidal (marnage < 2 m) avec un transport dominant perpendiculaire à la côte (fig. 34, modifiée d'après Sunamura, 1985a *in* Horikawa, 1988).

Un paramètre sans dimension K^* est employé pour rendre compte du passage d'un stade à l'autre dans le modèle.

$$K^* = \frac{H_B^2}{g \cdot T^2 \cdot d} \quad \text{Sunamura (1984a, 1986)}$$

avec H_B : hauteur des brisants, g accélération de la pesanteur, T : période de la houle, d : diamètre des grains dans la zone de déferlement

Ce paramètre, à l'origine dérivé d'expériences en bac à houle, s'est révélé un excellent indicateur de la direction résultante du transport sédimentaire dans la zone proche de la côte :

- $K^* > 20$: traduit une migration des barres vers la mer
- $5 < K^* < 20$: traduit une migration des barres vers la terre
- $3.5 < K^* < 10$: correspond à un processus d'accrétion à la côte par construction d'une berme

Il permet de tenir compte de la taille des grains, alors qu' ε tenait compte de la pente de la plage. En fonction de d et de T , on peut donc par exemple construire une surface théorique définissant la hauteur maximale de vague H_B admissible pour $K^* < 20$. (fig. 35).

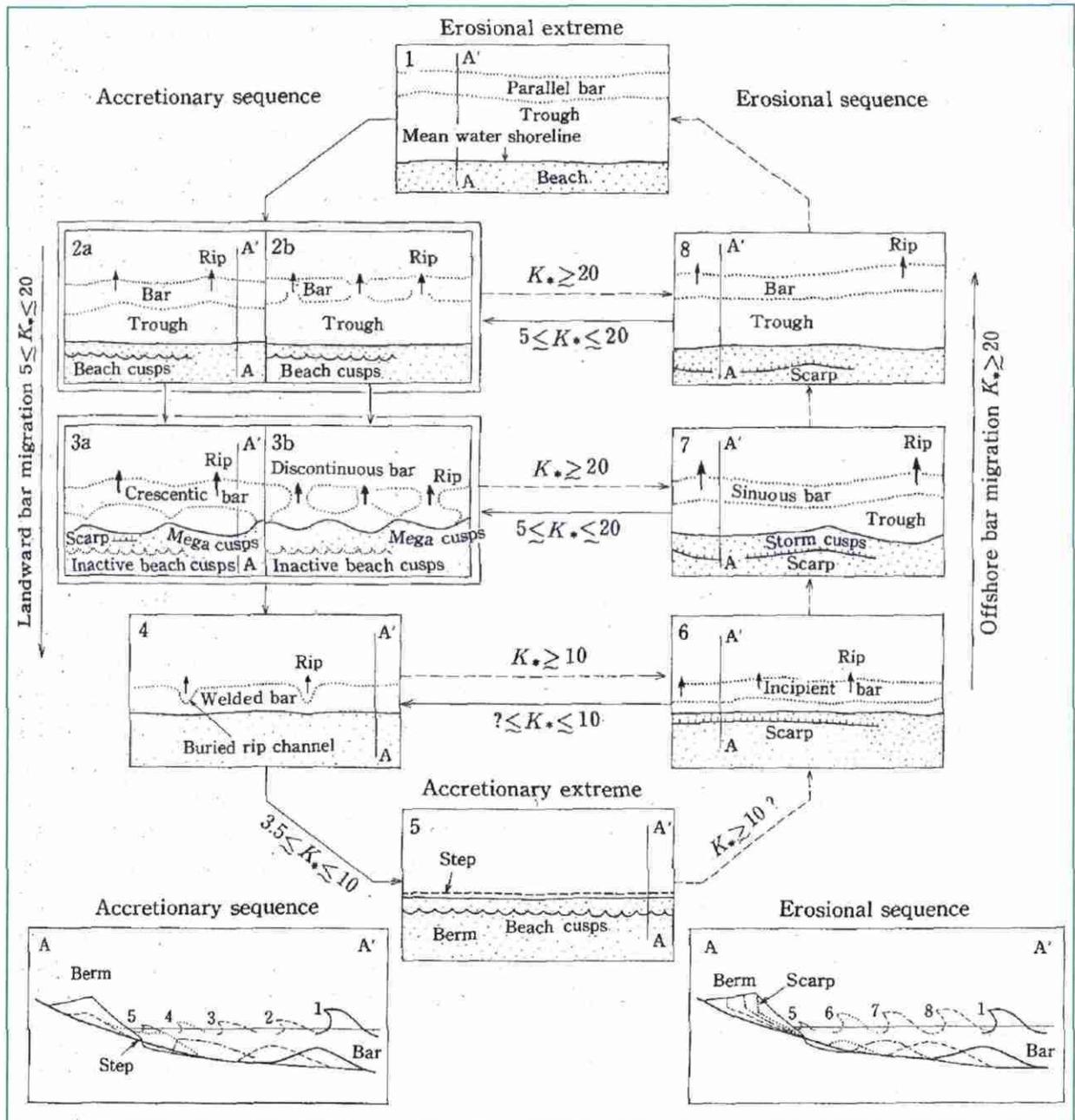
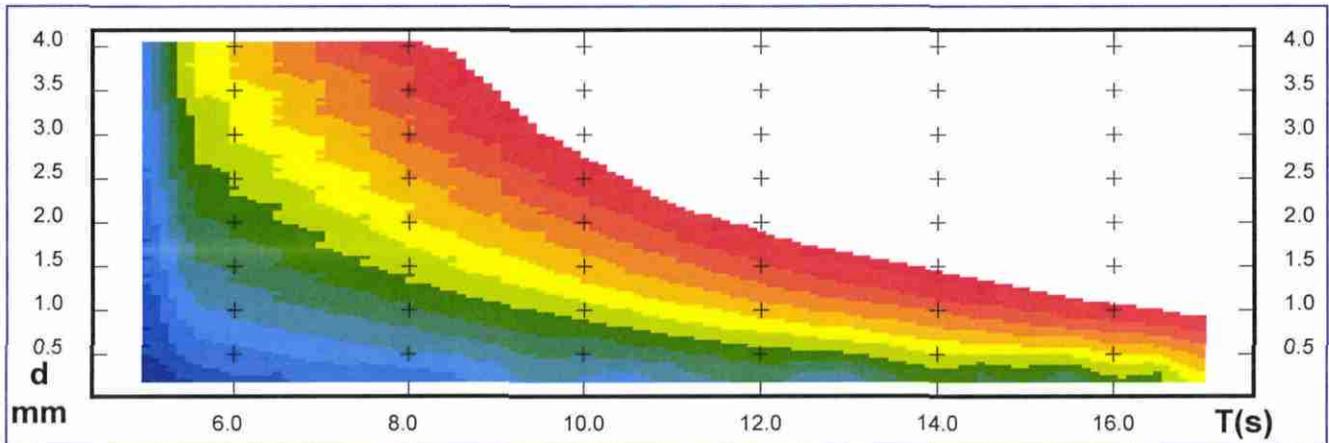
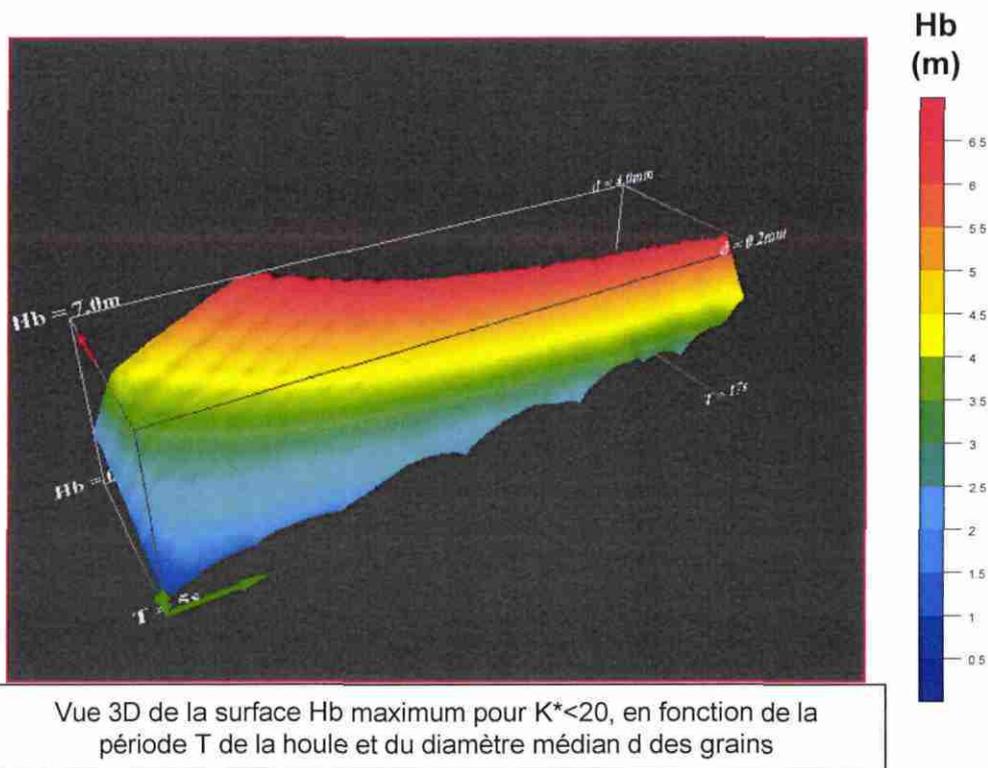


Fig. 34 - Modèle d'évolution de plage à huit stades topographiques (d'après Sunamura, 1985 in Horikawa, 1988)



Valeurs de la hauteur de vague maximale H_b pour $K^* < 20$, en fonction de la période T de la houle et du diamètre médian d des grains



Vue 3D de la surface H_b maximum pour $K^* < 20$, en fonction de la période T de la houle et du diamètre médian d des grains

Fig. 35 - Valeurs maximales de hauteur de vagues pour $K^* < 20$ en fonction de T et d

Pente résultante de la plage (beach face - surf zone)

En substituant symboliquement K^* dans la relation $\tan \beta_f = 0.12 \cdot \frac{H_B}{g^{0.5} \cdot T \cdot d^{0.5}}$ donnant la pente de la plage on obtient : $\tan \beta_f = 0.12 \cdot K^{*-0.25}$

Paramètre de l'état de plage

Un autre moyen de tenir compte à la fois des caractéristiques des vagues et de celles du sédiment est d'employer le paramètre sans dimension Ω (fig. 31).

$$\Omega_D = \frac{H_B}{w_0 \cdot T} \quad \text{Dean (1973), Dalrymple et Thompson (1977)}$$

avec w_0 : vitesse de chute du sédiment, H_B : hauteur des brisants et T : période de la houle

La vitesse limite de chute des grains de quartz dans l'eau de mer w_s dépend de leur poids apparent (P) et des forces de frottement (R1 ou R2)

- Pour les fines particules, w_s diminue rapidement avec la taille (w1)
- Pour les particules plus grosses, w_s augmente plus lentement avec la taille (w2)

Le changement se fait progressivement au voisinage de 370µm, taille voisine du mode le plus fréquent des sables de plage.

Avec

$$P(d) := \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d \cdot 10^{-1}}{2} \right)^3 \cdot (\rho_s - \rho_w) \cdot g$$

$$R1(d) := 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot \left(\frac{d \cdot 10^{-1}}{2} \right) \quad w1(d) := \frac{P(d)}{R1(d)} \quad R2(d) := C \cdot \rho_w \cdot \pi \cdot \left(\frac{d \cdot 10^{-1}}{2} \right)^2 \quad w2(d) := \sqrt{\frac{P(d)}{R2(d)}} \quad \rho_s :$$

masse volumique du sédiment, ρ_w : masse volumique de l'eau de mer, d : diamètre de la particule (ici en mm), η : viscosité cinématique du fluide, d en mm, w_s en cm/s.

Cette loi est modifiée par l'influence de la charge solide qui joue sur la viscosité.

- $\Omega < 1$: état réfléchif. Des variations de Ω n'entraînent pas de variations résultantes dans l'état morphodynamique
- $\Omega \sim 1$: seuil entre un profil accrété réfléchif et un profil barré
- $\Omega > 1$: passage de l'état réfléchif à l'état intermédiaire à barres longshore
- $\Omega \sim 6$: seuil entre les états intermédiaire et l'état dissipatif
- $6 < \Omega < 30$: intervalle classique des états dissipatifs. Dans cette gamme, l'état morphodynamique ne varie pas, seule la zone de déferlement s'élargit ou se rétrécit avec Ω

Les changements d'état (s) dans le sens d'une érosion ou d'une accrétion (ds/dt) seront d'autant plus important que Ω créé par de nouvelles conditions de H_b et T sera éloigné de $\Omega_e(S)$ à l'équilibre pour l'état initial, et plus rapide, que l'énergie sera plus élevée et donc Ω plus grand. Le temps nécessaire pour passer d'un état d'équilibre à un autre est proportionnel à la masse de sédiment à redistribuer et inversement proportionnel à l'énergie disponible ; aussi, des variations temporaires de H_b n'auront-elles pas d'effet, mais de violentes tempêtes peuvent créer un changement d'état. De plus, comme dans tous les équilibres, quel que soit le niveau d'énergie, la cinétique est rapide au début, et devient lente à l'approche de l'équilibre,

le gradient diminuant. Des variations d'état peuvent dans certains cas accompagner les cycles saisonniers, mais ce n'est pas un fait général.

Atténuation du flux énergétique des vagues à l'approche de la côte

En se rapprochant de la côte, le taux local de décroissance du flux énergétique des vagues P avec la distance est proportionnel au cube de la vitesse orbitale maximale u_{\max} et au facteur de friction sur le fond f_w selon la relation :

$$\frac{dP}{dx} = -\tau u_{\max} = -\frac{2}{3\pi} \rho f_w u_{\max}^3 \text{ où } \tau \text{ est la contrainte de cisaillement au fond}$$

Comme la réduction de la hauteur des vagues est progressive, la réduction totale entre eau profonde et point de déferlement dépend de l'intégrale sur la distance entre le point auquel la friction commence et le point de déferlement ; elle est donc inversement proportionnelle au gradient de passage du plateau à la côte.

Initialement f_w avait été considéré comme petit, de l'ordre de 0.01-0.05 ; en fait, Swart (1974) a montré que f_w dépend du rapport entre la longueur d'onde de la rugosité λ et la semi-élongation orbitale a_s ; de plus, Nielsen *et al.*, (1982) ont montré que λ est une fonction de la taille des grains et de la hauteur des rides et peut être grand quand le fond est ridé et mobile. Lorsqu'alors le fond est constitué matériel grossier et présente des rides, f_w peut atteindre des valeurs ≥ 0.30 .

profils rugueux à faibles gradients. De plus, comme la dissipation par friction augmente avec le cube de la hauteur des vagues, les grandes vagues seront sujettes à de plus fortes atténuations que les petites ; ceci aura pour effet de réduire non seulement la hauteur des vagues modales mais aussi sa variabilité temporelle.

3.3.2. Valeurs des paramètres indicateurs dans le cas de la côte aquitaine

Comme la côte possède un régime mésotidal, à marnage voisin de 4 m, et non microtidal, les paramètres précédents sont calculés dans deux situations différentes :

- Pente et granulométrie de la partie basse de l'avant plage émergée à marée basse, pour lesquels on obtient le comportement de la plage à marée basse ;
- Pente de la partie haute de l'avant plage qui correspond au front de la berme lorsque celle-ci est différenciée (« beach face ») pour laquelle on obtient le comportement de la plage à marée haute ; par convention, la granulométrie des sédiments (médiane) est celle de la zone d'énergie maximale où brisent les vagues (pied de la berme).

ε est calculé dans 38 stations, où les pentes ont été mesurées

K^* et Ω sont calculés dans 15 stations où des analyses granulométriques ont été effectuées

Pour chacun, on fait varier la période de la houle et la hauteur des brisants dans les limites des valeurs statistiques de houle, la hauteur des brisants au voisinage de la plage étant toutefois limitée par la profondeur selon $\gamma = H_B/h_s \approx 0.78 - 1.25$.

- Pour T et H_b donnés, on met en évidence des variations sud-nord entre deux types extrêmes, un type réfléchif accréte extrême et un type dissipatif érodé.
- Pour une station donnée, les valeurs de paramètres permettent de déterminer un seuil de T ou H_b au delà duquel se fait un changement de l'état morpho-dynamique de la plage et donc une évolution dans le « bon » ou le « mauvais » sens.

Variations de ε

Du nord au sud de l'Aquitaine, les valeurs calculées de ε dépendent, pour une houle donnée, des pentes mesurées le long des différents profils. A l'aide d'une représentation en trois dimensions, on peut construire un diagramme prenant en compte un des paramètres de la houle, par exemple la période (fig. 36).

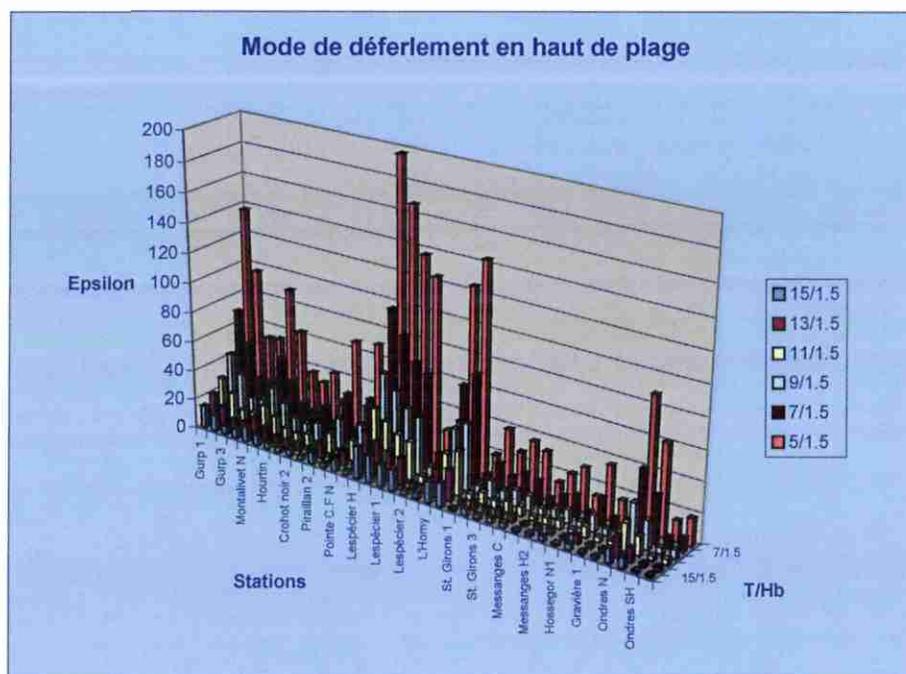


Fig. 36 – Valeurs du paramètre ε dans les profils de plage pour $H_b=1.5m$

Le graphique est établi pour les pentes mesurées dans le haut de la zone de déferlement ; il ne rend pas compte à lui seul de l'ensemble du dispositif de la plage. On constate que la période de la houle influence de manière importante sur ε qui augmente rapidement pour des houles courtes. Du Cap-Ferret au nord du Médoc, ε croît tandis que la pente s'atténue. Dans le nord des Landes (Lespécier) on observe des variations importantes selon les profils considérés, qui rendent compte d'un fort pouvoir de transport potentiel. Tout le sud, montre des valeurs faibles de ε , liées à une plus forte pente, à l'exception de la zone anomalique de Ondres-nord, en voie d'érosion, à plage plate.

En fonction des critères définis plus haut pour la signification de ε , nous avons tenté de rechercher, pour les différents types morphologiques, les valeurs de hauteurs de vagues et de périodes de houle critiques pour les différentes valeurs de ε et notamment pour un passage à un mode de déferlement à très forte dissipation d'énergie avec déplacement de sédiment ($\varepsilon \geq 33$) dans le cas du haut de la zone de déferlement (fig. 37).

Si, partant de la valeur modale annuelle de la houle $T=9s$, $H=1.5m$, on fixe alternativement l'un de ces paramètres et on regarde ce qui se passe lorsqu'on fait varier le second, on constate que :

- Pour $T=9s$, H_B ne doit pas dépasser 1 m au nord (type 1B) et 5 m au sud (types 4B/5), les types intermédiaire à forte robustesse (2B-4A sud) supportant entre 3 et 4 m ;
- Pour $H_B=1.5m$, T doit être supérieure à 10s au nord et 4s au sud.

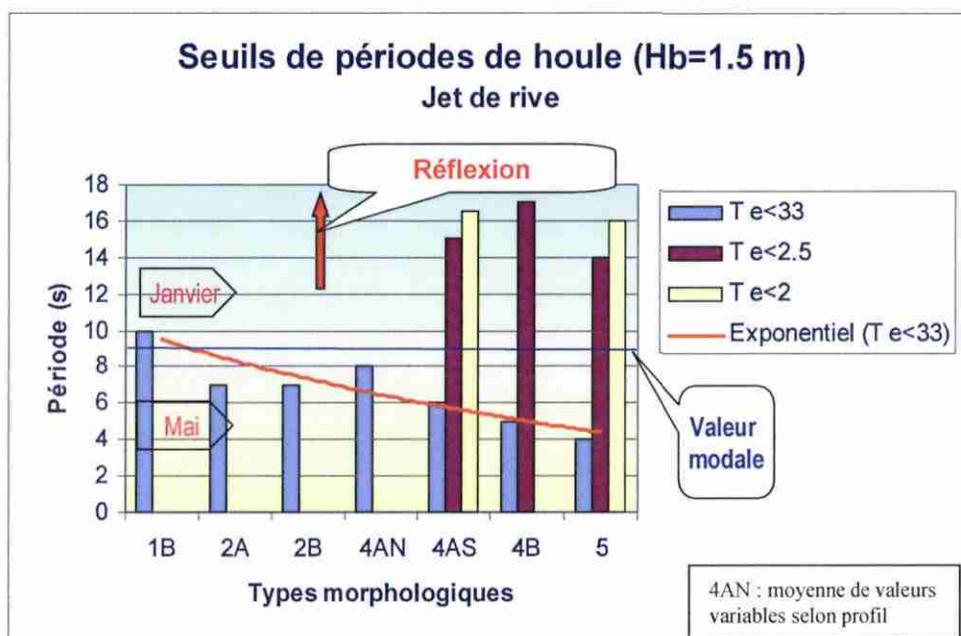
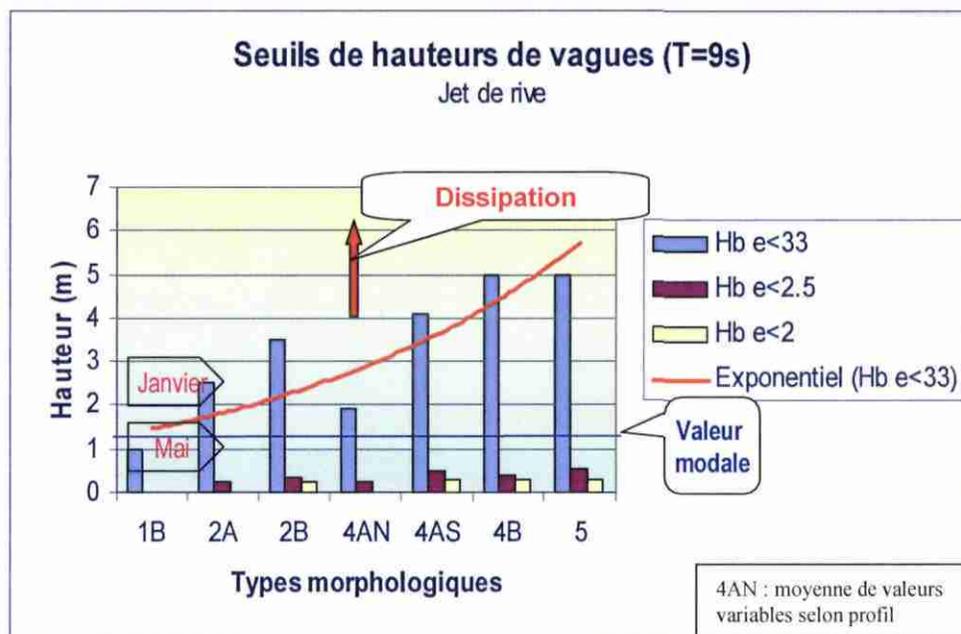


Fig. 37 - Seuils de houle (période, hauteur) pour des valeurs critiques de ε

En fait comme nous l'avons exposé au § 3.1.2, il existe une certaine corrélation entre hauteur et période qui ne sont pas associées de manière aléatoire. En janvier, par exemple, les houles de période 9s ont le plus souvent une hauteur de 2 à 3 m, et dans ce cas une forte action dissipative avec un déferlement déversant dans une bonne partie de la moitié nord ; au contraire les houles de hauteur 1.5 m ont le plus souvent une période de 12s, ce qui se traduit par un déferlement plongeant et une meilleure réflexion. Un raisonnement symétrique s'appliquerait au mois de mai.

D'une autre manière, si l'on se place dans les conditions modales de novembre, à forte énergie, avec $T=11s$ et $H=2.5m$, ε varie de la manière suivante (tabl. 3) :

Type morphologique	ε basse plage	Vagues (pour pente moyenne hors front de barre)	ε jet de rive	Vagues (au « shore break »)
1A	>200	Déversent	>50	Déversent
1B	227	Déversent	31	Dév./plongent
2A	256	Déversent	24	Plongent
2B	116	Déversent	19	Plongent
3	~90	Déversent	15	Plongent
4A nord	37	Dév./Plongent	53 à 10	Dév. ou plongent
4A sud	88	Déversent	7	Plongent
4B		Déversent	15	Plongent
5	11	Plongent	7 à 15	Plongent

Tabl. 3 – Valeurs de ε pour les différents types morphologiques ($T=11s$, $H=2.5m$)

Ces valeurs traduisent bien la morphologie de la plage et une partie de son effet.

Variations de K^*

Du nord au sud de l'Aquitaine, les valeurs calculées de K^* dépendent, pour une houle donnée, de la taille des grains composant le sédiment dans la zone de déferlement. Pour le calcul nous avons retenu comme significatif le diamètre médian dans la zone des bancs émergés (point de prélèvement ①) et au point de déferlement d'énergie maximale②.

A l'aide d'une représentation en trois dimensions, on peut construire un diagramme prenant en compte un des paramètres de la houle, par exemple la période (fig. 38). Il montre très clairement :

- une tendance vers des valeurs de K^* faibles en direction du sud, et plus fortes en direction du nord, liées à la granulométrie ;
- une rapide augmentation de K^* quand la période diminue.

On saisit par cette représentation la sensibilité des plages du nord à une migration plus facile des sédiments vers le large sous l'effet des houles courtes ; au contraire, les houles longues du sud du Golfe de Gascogne seront favorables à la consolidation d'une berme.

On pourrait construire un diagramme symétrique montrant l'augmentation de K^* avec l'amplitude de la houle.

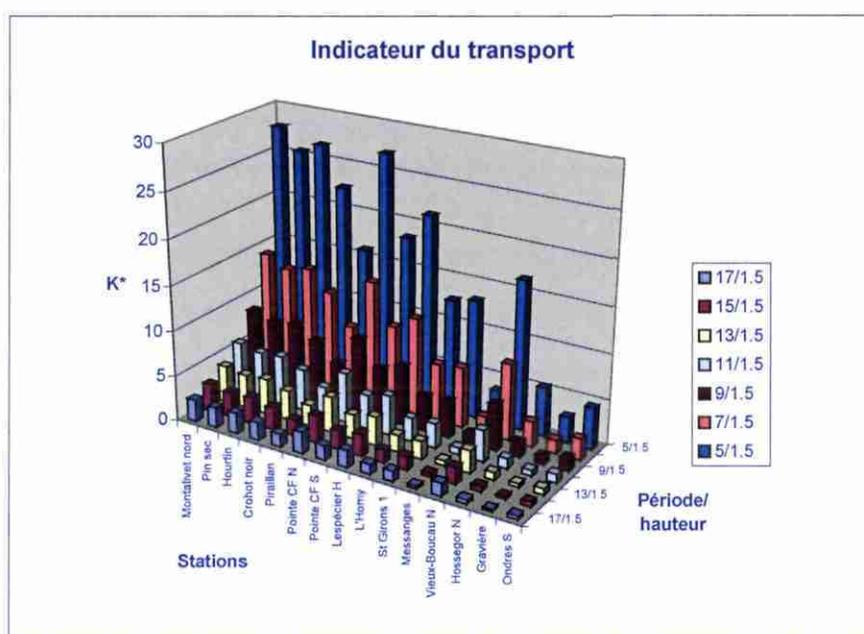


Fig. 38 - Valeurs du paramètre K^* dans différentes stations pour $H_b=1.5m$

En fonction des critères définis plus haut pour la signification de K^* , nous avons tenté de rechercher, pour les différents types morphologiques, les valeurs de hauteurs de vagues et de périodes de houle critiques pour les différentes valeurs de K^* dans le bas et le haut de la zone de déferlement et notamment pour une migration des sédiments vers la plage ($K^* \geq 20$), puis pour les valeurs indicatrices d'une construction de berme ($3.5 < K^* < 10$) (fig. 39).

Si, partant de la valeur modale annuelle de la houle $T=9s$, $H=1.5m$, on fixe alternativement l'un de ces paramètres et on regarde ce qui se passe lorsqu'on fait varier le second (fig. 39), on constate que :

- Pour $T=9s$, H_B ne doit pas dépasser 2 m au nord (type 1B) et 3 m au sud (types 5) sur les bancs et 2 m au nord, 5 m au sud près du jet de rive, ce qui correspond aux grandes houles de février. Une berme se construirait pour des hauteurs inférieures à 1.5m au nord et 4 m au sud.
- Pour $H_B=1.5m$, T doit être supérieure à 6s au nord et 3s au sud. Une berme se construirait pour des valeurs supérieures à 8s au nord et 7s au sud sur les bancs et 8s au nord, 4s au sud près du jet de rive.

En fait, on doit tenir compte d'une certaine corrélation entre hauteur et période qui ne sont pas associées de manière aléatoire. En janvier, par exemple, les houles de période 9s ont le plus souvent une hauteur de 2 à 3 m, et dans ce cas vont faire migrer les sédiments des bancs émergents vers le large sur une bonne partie de la côte sauf, ou de manière moindre, au sud des Landes ; au contraire les houles de hauteur 1.5 m ont le plus souvent une période de 12s, ce qui devrait provoquer une migration du sédiment vers la côte. En mai, les houles de période 9s ont le plus souvent une hauteur de 1.5 m, ce qui avec pour conséquence une migration de sédiment vers la côte et une construction de berme au sud ; les houles de hauteur 1.5 m ont le plus souvent une période de 5s, ce qui devrait entraîner une simple migration vers la côte. On sait, par les observations de terrain qu'à partir de novembre, le bas de plage va se dégarnir au profit du large et qu'à partir d'avril, le sable commence à revenir vers la plage, avec une construction de la berme au cours de l'été, là où elle est possible.

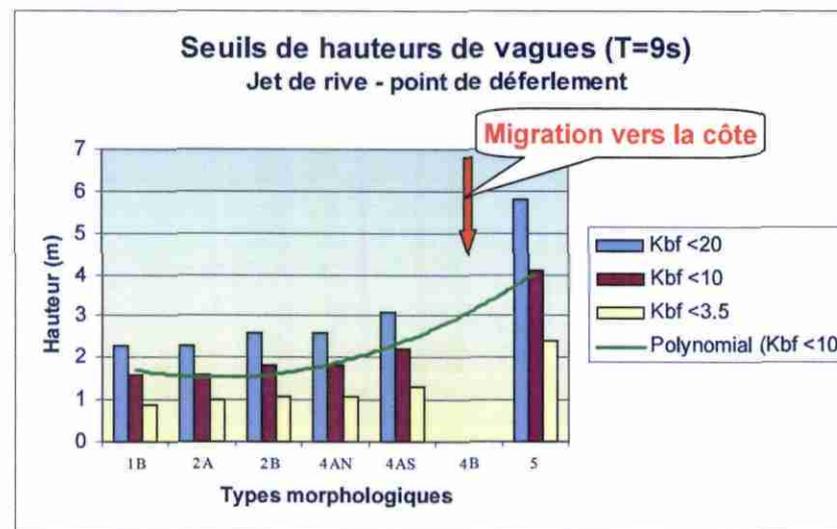
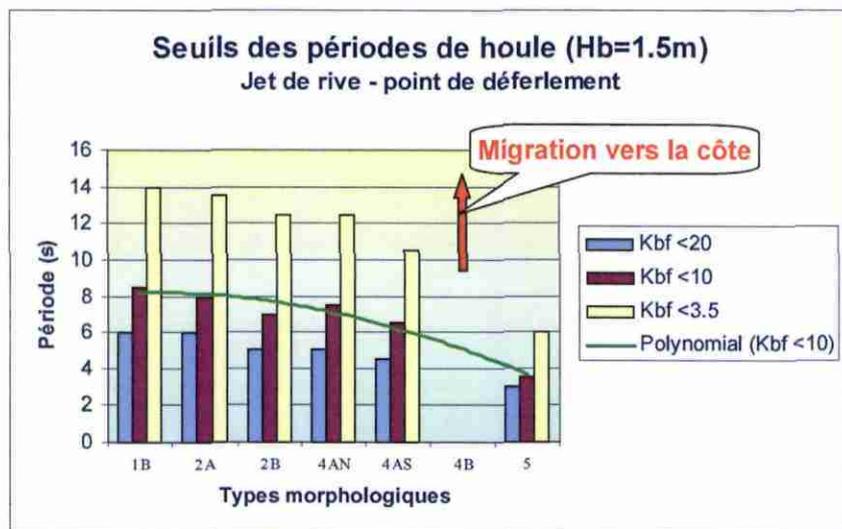
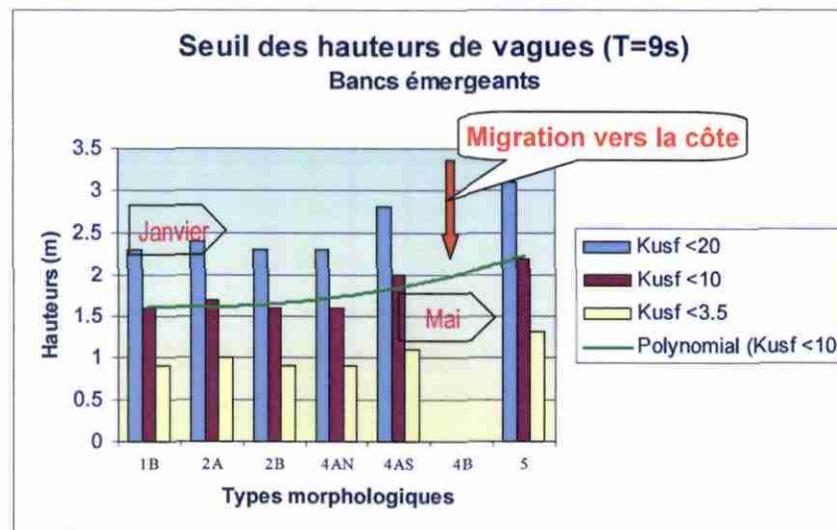
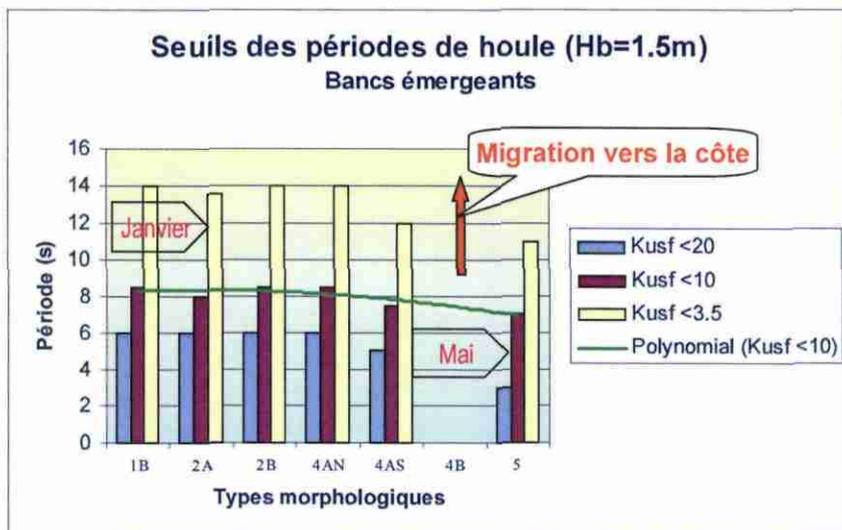


Fig. 39 - Seuils de houle (période, hauteur) pour des valeurs critiques de K^*

D'une autre manière, si l'on se place dans les conditions modales de novembre, à forte énergie, avec $T=11s$ et $H=2.5m$, K^* varie de la manière suivante (tabl. 4) :

Type Morphologique	$K^*(1)$ basse plage	Migration	$K^*(2)$ Avant jet de rive	Migration
1A				
1B	23.8	<Vers le large	22.8	<Vers le large
2A	21.8	<Vers le large	22.3	<Vers le large
2B	22.9	<Vers le large	16.4	Vers la plage>
3	23.5	<Vers le large	18.3	Vers la plage>
4A nord	15.7	Vers la plage>	12.2	Vers la plage>
4A sud	11	Vers la plage>	8.3	Constr. Berme>>
4B				
5	12.9	Vers la plage>	3.7	Constr. Berme>>

Tabl. 4 – Valeurs de K^* pour les différents types morphologiques ($T=11s$, $H=2.5m$)

Variations de Ω

Les valeurs critiques et la signification du paramètre indicateur Ω ont été données au § 3.3.1 ; Ω varie de manière analogue à K^* par l'intermédiaire de la vitesse de chute des particules w_s liée au diamètre. Le calcul de valeurs types pour la côte aquitaine a été fait en considérant la chute de sphères de quartz dans l'eau de mer. En fait l'utilisation de w_s est plus complexe, car il faudrait tenir compte de l'augmentation de la viscosité cinématique avec la charge solide des grains en suspension.

De manière analogue aux autres paramètres, si l'on se place dans les conditions modales de novembre, à forte énergie, avec $T=11s$ et $H=2.5m$, K^* varie de la manière suivante (tabl. 5) :

Type Morphologique	$\Omega(1)$ basse plage	Etat dynamique	$\Omega(2)$ Avant jet de rive	Etat dynamique
1A				
1B	6.7	Dissipatif	6.7	Dissipatif
2A	5.6	Diss./intermédiaire	6.2	Dissipatif
2B	6.4	Dissipatif	4.2	Intermédiaire
3	6.6	Dissipatif	4.8	Intermédiaire
4A nord	5.4	Intermédiaire	3.9	Intermédiaire
4A sud	3.4	Intermédiaire	2.0	Intermédiaire
4B				
5	3.0	Intermédiaire	0.8	Réfectif

Tabl. 5 – Valeurs de Ω pour les différents types morphologiques ($T=11s$, $H=2.5m$)

Ces résultats sont très significatifs et on constate une bonne convergence entre la définition de terrain des types morphologiques et leur classification au moyen des divers paramètres indicateurs.

3.4. FONCTIONNEMENT ET EVOLUTION PROSPECTIVE DE LA COTE

3.4.1. Schéma conceptuel de l'organisation des corps sédimentaires

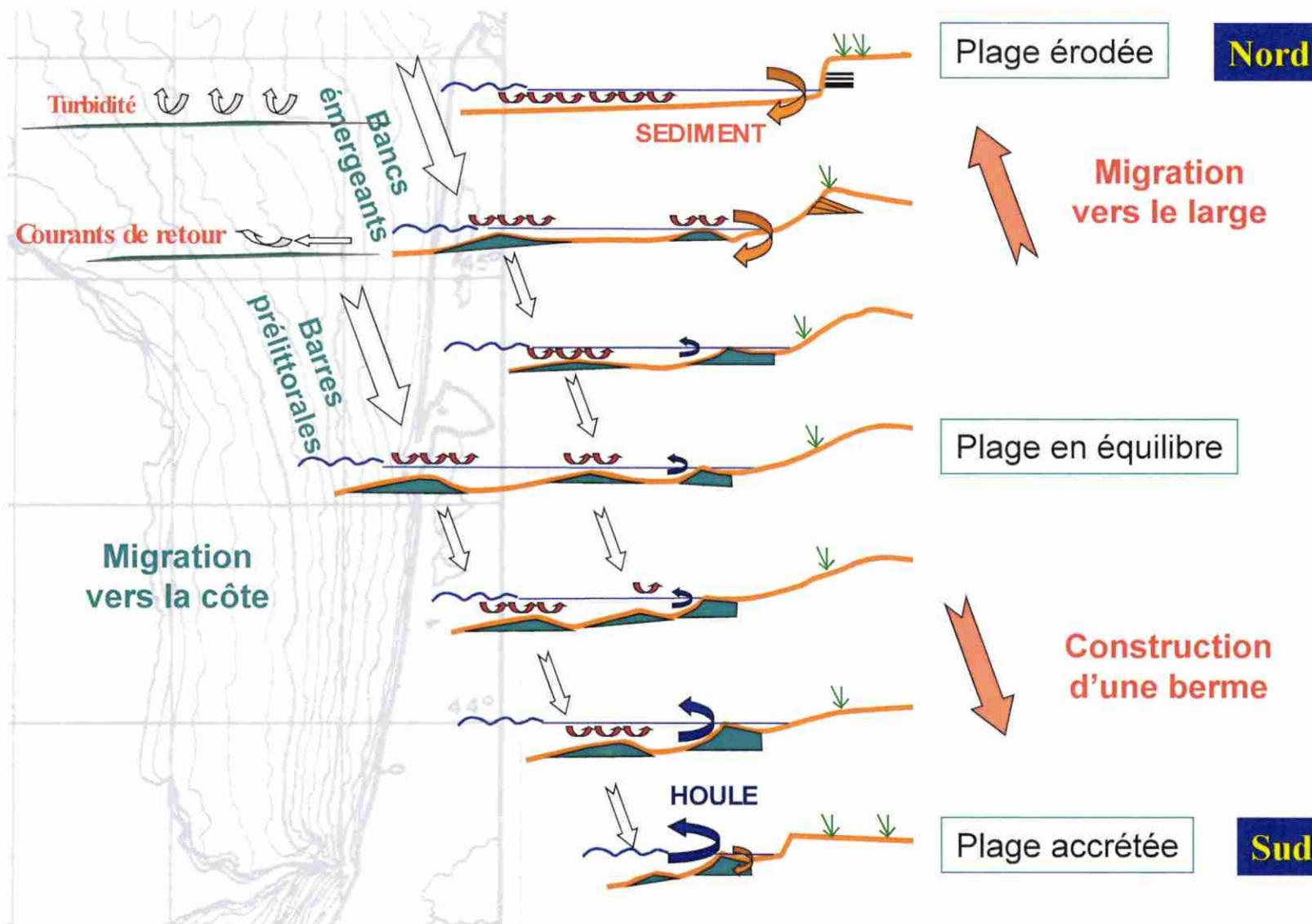
L'observation de la côte aux différentes échelles nous a conduit à proposer un schéma d'organisation et de fonctionnement d'ensemble des corps sédimentaires (fig. 40).

On peut considérer comme un état moyen d'équilibre celui des plages du nord des Landes, historiquement stables, qui comportent un grand volume sableux, un système de barres en croissant infralittorales très complet, une berme moyennement développée, une arrière plage large et une dune naturellement profilée. Par rapport à cet état intermédiaire dit en équilibre, en se déplaçant vers le nord on tend, par migration des sédiments vers le large, vers un type extrême de plage érodée ; au contraire, en se déplaçant vers le sud, on tend, par migration des sédiments vers la côte et construction d'une berme élevée à un autre type extrême de plage accrétée.

Si, parallèlement, on considère, du côté mer l'évolution des corps sédimentaires, on observe sur presque toute la partie située au nord d'Arcachon l'absence de barres pré-littorales (elles existent temporairement de manière discrète en aval de la presqu'île du Cap-Ferret). Elles sont remplacées par des épandages sableux sur le plateau, très étalés et remis en suspension sous forme turbide dans le nord Médoc (type 1, fig. 41 a), liés à une très forte activité des courants de retour dans le sud Médoc (type 2A à « set up » élevé, fig. 41 b). Les barres pré-littorales sont très développées dans les Landes (fig. 41 c). Elles assurent deux rôles : d'une part, elles constituent un stock variable de sédiment échangé avec la plage, d'autre part elles assurent, par leur rôle dissipatif, une forte protection dynamique de la plage.

Enfin, dans l'évolution spatiale du nord au sud, tout se passe comme si l'ensemble des corps inter- et infratidaux migraient de la mer vers la terre en se condensant de plus en plus près de la plage (fig. 40). On passe ainsi en même temps d'une zone infralittorale très large à épandages très étalés, à une zone infralittorale plus étroite à barre sableuses structurées périodiques, puis à une zone infralittorale très étroite, à faible stock sableux. Les barres intertidales se rapprochent pour venir s'agréger à la plage (fig. 41d). puis contribuer à la berme ; les barres infratidales, deviennent de plus en plus proches puis maigrissent

Il faut voir dans cette configuration générale un fort déterminisme de la morphologie du plateau continental (fig. 40), à gradient de plus en plus faible au nord d'Arcachon (limite due à une structure faillée géologiquement pérenne), à gradient de plus en plus fort vers le sud des Landes, et à l'influence du Gouf de Capbreton dès Seignosse. En même temps, la nature des sédiments hérités de la géologie locale joue dans le même sens, avec un fort contingent fluviatile ou biodétritique grossier au sud formant des corps robustes et d'anciennes pélites palustres au nord, facilement évacuées en laissant des falaises d'érosion et des blocs rocheux résiduels intransportables.



Outil de gestion prévisionnelle de la côte aquitaine

Fig. 40 - Schéma conceptuel de l'évolution spatiale des morphologies de plage

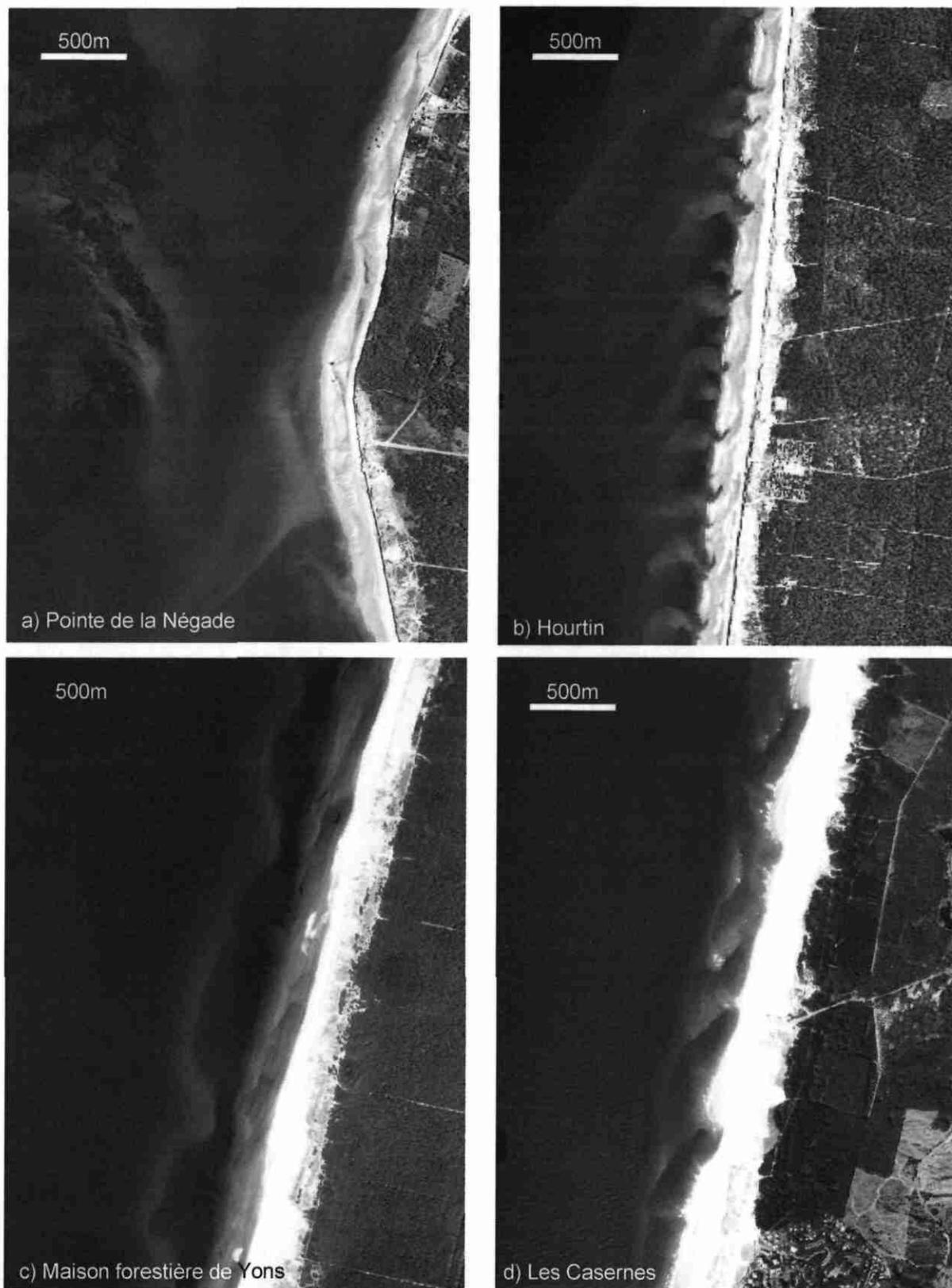


Fig. 41 - Variations nord-sud des relations entre la plage et les corps sédimentaires en mer

3.4.2. Fonctionnement et scénarios d'évolution par zones

Type 1A : De Soulac au Gurp (fig. 42)

C'est un type extrême en érosion active avec dissipation de l'énergie de la houle dans des zones plates et peu profondes du plateau continental où le sédiment est fortement mobilisé.

L'érosion actuelle de la pointe de la Négade se poursuit pour tendre vers une côte rectiligne ; la mer avance dans la lande au delà de l'ancienne dune avec formation de lagunes. Ce processus est facilité par la finesse du sédiment hérité qui est en grande partie entraîné. Du matériel rocheux résiduel des terrains anciens est laissé sur place, le sable est redéposé au nord sur la côte de Soulac.

Pour $T_{\text{houle}} 11 \text{ s}$, $H_{\text{brisants}} 2.5 \text{ m}$, $\epsilon_{\text{bancs}} > 200$, les vagues déversent, $\epsilon_{\text{côte}} > 50$, les vagues déversent.

Type 1B : Du Gurp à Montalivet (fig. 43)

Type résultant d'une érosion de très longue durée, en voie de stabilisation.

La formation d'une barre de matériel résiduel dans la zone de déferlement et de bourrelets sableux en hauts de plage montrent une certaine fixation du sédiment en avant de l'escarpement, qui tend à devenir une falaise morte, colonisée par la végétation et saupoudrée de sable éolien. Il existe, comme au sud de l'Aquitaine, une relation entre le comportement de cette zone et la nature du substrat : ici, le matériel emprunté au substratum ancien, est constitué en grande partie de particules fines ($< 0.3 \text{ mm}$) qui sont évacuées par la mer en laissant une microfalaise d'érosion et des blocs résiduels.

Pour $T_{\text{houle}} 11 \text{ s}$, $H_{\text{brisants}} 2.5 \text{ m}$, $\epsilon_{\text{bancs}} 227$, les vagues déversent, $K^* 23.8$ migration vers le large, $\Omega 6.7$ dissipatif, $\epsilon_{\text{côte}} 31$, les vagues commencent à plonger, $K^* 22.8$ migration vers le large, $\Omega 6.7$ dissipatif

Type 2A : De Montalivet à La Jenny (fig. 44)

Type intermédiaire en érosion lente, plus active au nord qu'au sud.

La formation de baïnes d'arrière-plage conduit à l'érosion de la berme ; de puissants courants de retour entraînent le sédiment en grands panaches vers le large. La mer érode les terrains plus anciens au pied de la dune ; le sable dunaire recouvre par gravité le versant externe, il est entraîné par le vent sur le talus interne où il tombe en avalanche.

Pour $T_{\text{houle}} 11 \text{ s}$, $H_{\text{brisants}} 2.5 \text{ m}$, $\epsilon_{\text{bancs}} 256$, les vagues déversent, $K^* 21.8$ migration vers le large, $\Omega 5.6$ ~intermédiaire./dissipatif. $\epsilon_{\text{côte}} 24$, les vagues plongent, $K^* 22.3$ migration vers le large, $\Omega 6.2$ dissipatif.

Type 2B : De La Jenny au cimetière de l'Herbe (fig. 45)

Type intermédiaire en accrétion par migration de sable longitudinalement et vers la plage.

Le sable s'accumule dans les barres intertidales puis dans la berme qui grossit d'été en été et dans l'arrière plage où se développent par accrétion et aggradation des banquettes à *Agropyrum* prolongeant la dune. Cet effet est dû aux apports venus du nord, au stockage temporaire dans des barres en croissant subtidales, au piégeage par le système tidal d'Arcachon et à l'action conjointe de la houle et du vent.

Pour $T_{\text{houle}} 11 \text{ s}$, $H_{\text{brisants}} 2.5 \text{ m}$, $\epsilon_{\text{bancs}} 116$, les vagues déversent, $K^* 22.9$ migration vers le large, $\Omega 6.4$ dissipatif, $\epsilon_{\text{côte}} 19$, les vagues plongent, $K^* 16.4$ migration vers la côte, $\Omega 4.2$ intermédiaire

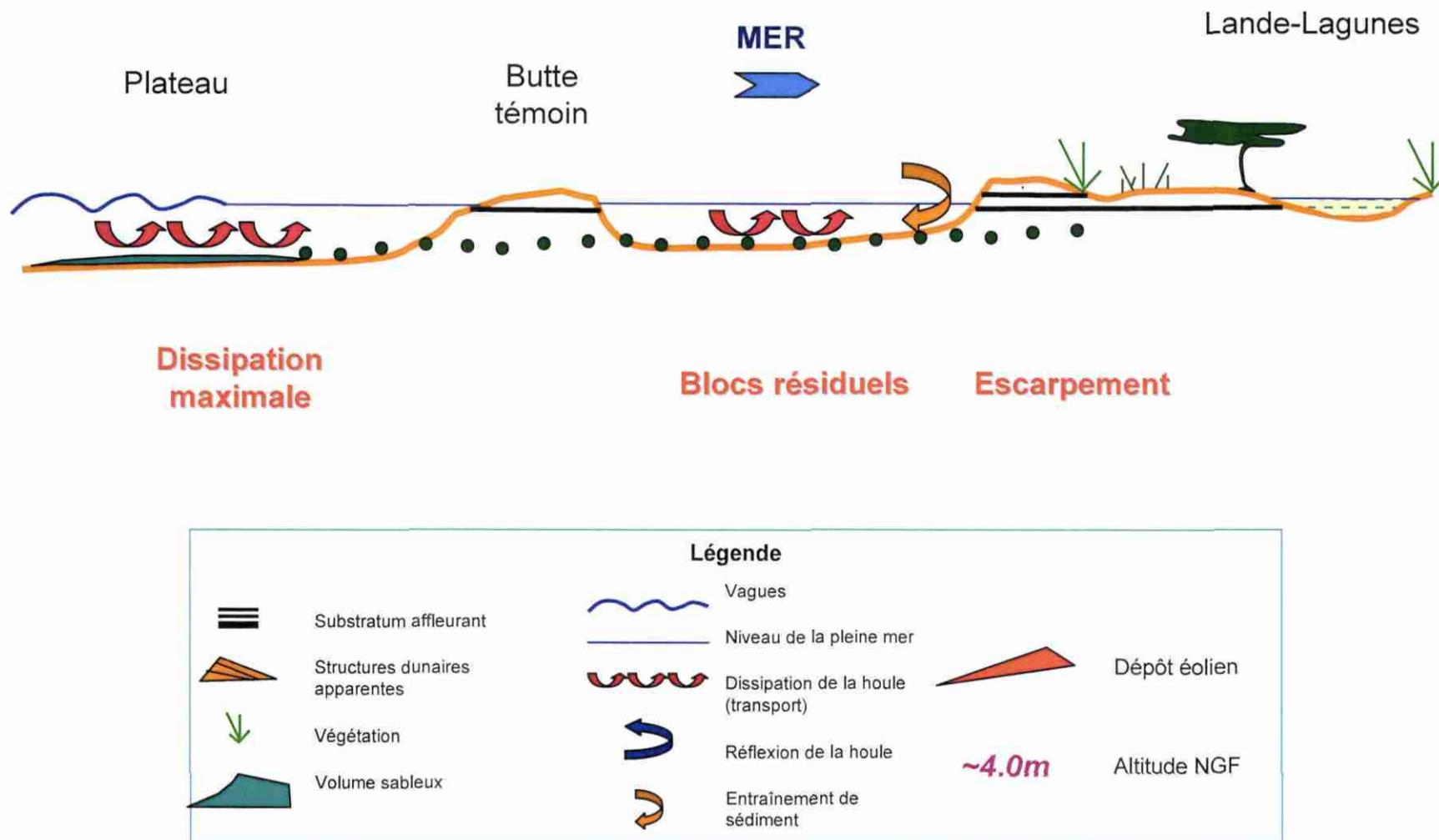


Fig. 42 - Evolution prospective du Type 1A entre Soulac et Le Gurg nord

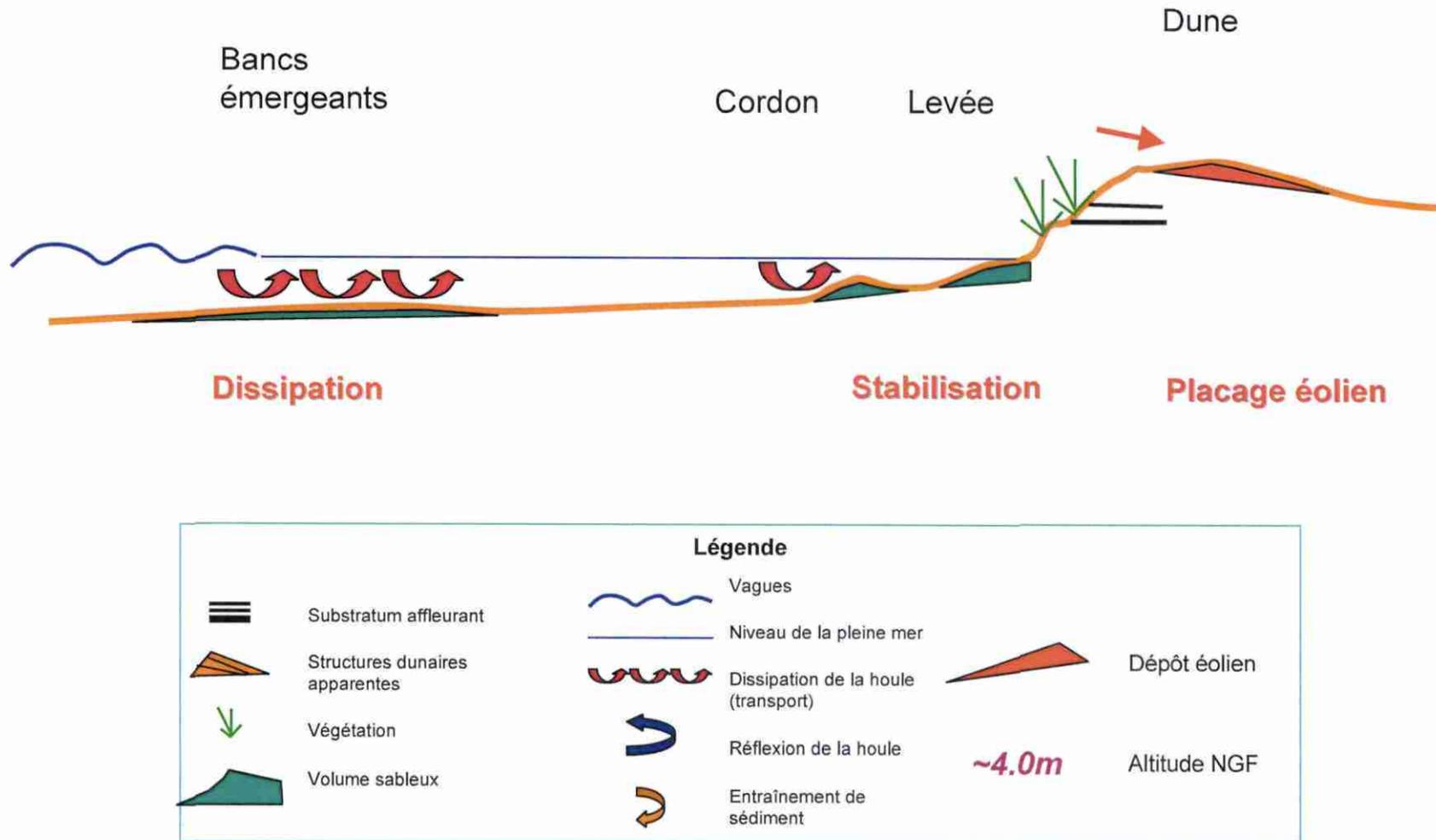


Fig. 43 - Evolution prospective du type 1B entre le Gurp nord et Montalivet

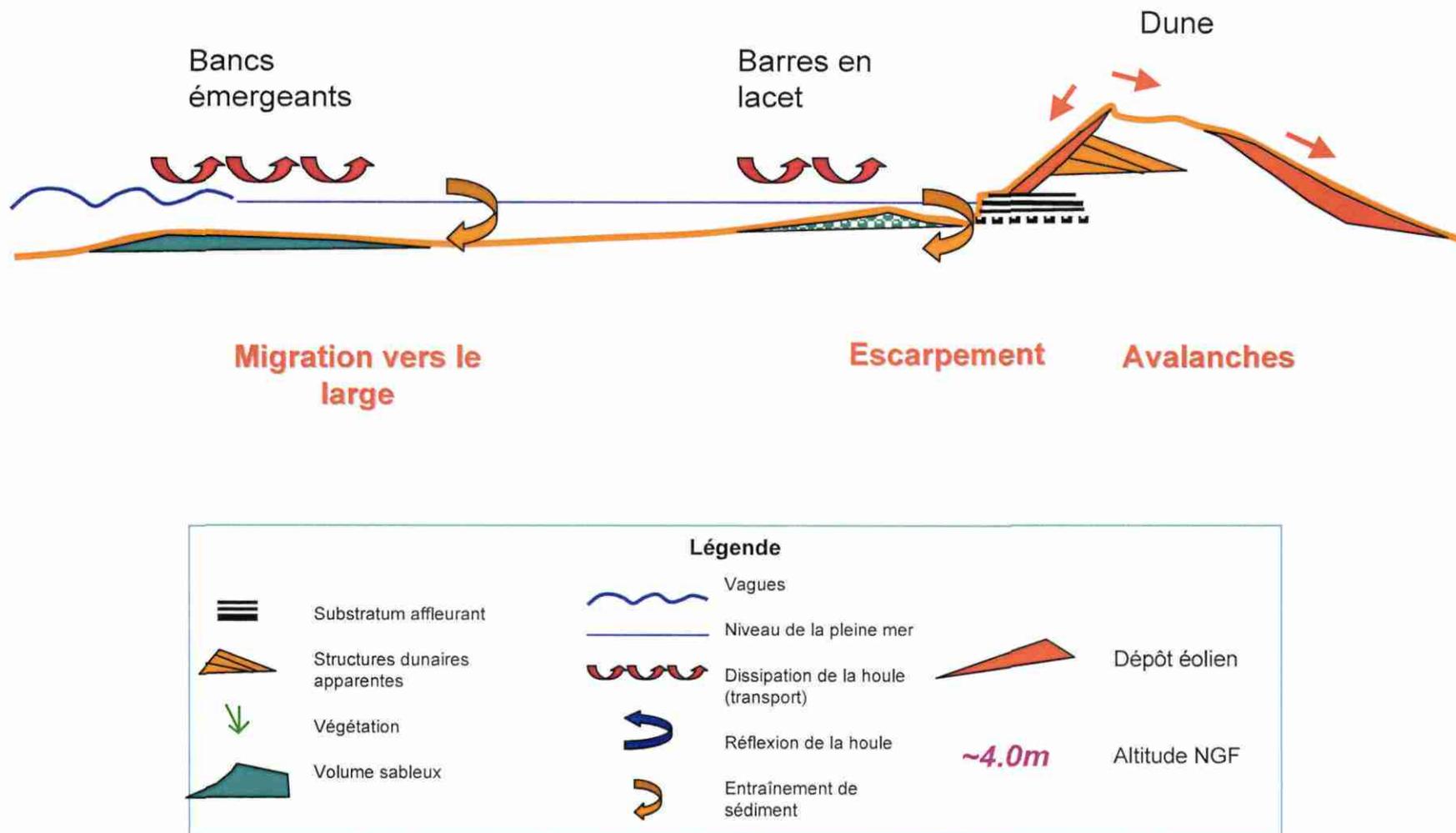


Fig. 44 - Evolution prospective du type 2A - Montalivet-La Jenny

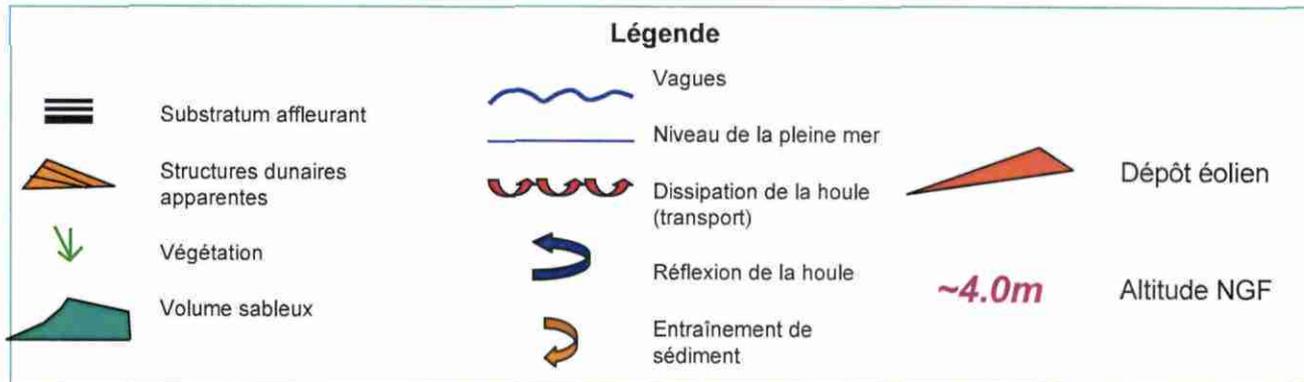
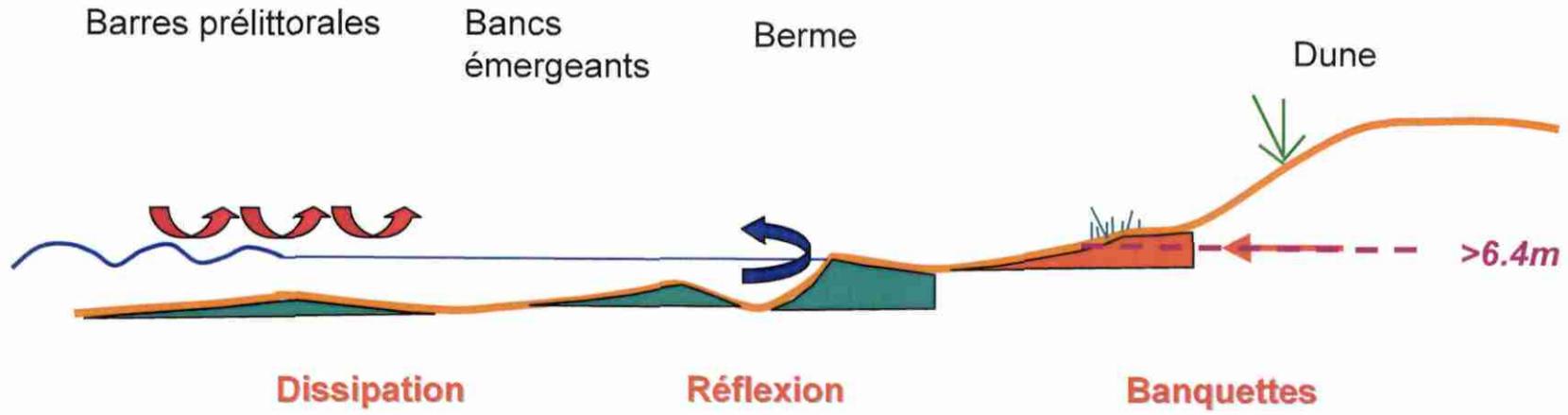


Fig. 45 - Evolution prospective du type 2B - La Jenny-L 'Herbe

Type 3 : De Biscarosse au nord de Mimizan (fig. 46)

Type intermédiaire stable à transit longitudinal important

Les transits essentiellement longitudinaux, la présence d'un système de barres subtidales très complet, et une morphologie de plage réfléchive à marée haute assurent à cette côte une bonne stabilité et le maintient d'un profil dunaire presque idéal. Une évolution suggérée par les comparaisons diachroniques et le gradient nord-sud pourrait être un glissement vers le type 4A par transfert de matériel des barres pré littorales vers les barres intertidales.

Pour $T_{\text{houle}} 11 \text{ s}$, $H_{\text{brisants}} 2.5 \text{ m}$, $\varepsilon_{\text{bancs}} \sim 90$, les vagues déversent, $K^* 23.5$ migration vers le large, $\Omega 6.6$ dissipatif, $\varepsilon_{\text{côte}} \sim 15$, les vagues plongent, $K^* 18.3$ migration vers la côte, $\Omega 4.8$ intermédiaire.

Type 4A : Du sud de Mimizan à Soustons (fig. 47)

Type intermédiaire à forte réserve sableuse et échanges actifs entre la plage et le large

Le système des barres sableuses et la tendance à la coalescence des différents corps conditionne des variations rapides des morphologies et des bilans dans le profil dus à la présence de baines très ouvertes en regard des barres pré littorales ou de larges bancs intertidaux en alternance dont la position varie d'une année à l'autre. Une évolution de ce type pourrait être l'amaigrissement des barres pré littorales au profit des bancs intertidaux avec tendance à l'érosion en fond de baine au contact de la dune où le bilan sableux peut être localement déficitaire.

Au nord : Pour $T_{\text{houle}} 11 \text{ s}$, $H_{\text{brisants}} 2.5 \text{ m}$, $\varepsilon_{\text{banc}} 37$, les vagues déversent, $K^* 15.7$ migration vers la côte, $\Omega 5.4$ intermédiaire, $\varepsilon_{\text{côte}} 53$, à $\varepsilon_{\text{côte}} 10$ les vagues déversent ou plongent, $K^* 12.2$ migration vers la côte, $\Omega 3.9$ intermédiaire.

Au sud : $\varepsilon_{\text{banc}} 88$, les vagues déversent, $K^* 11.0$ migration vers la côte, $\Omega 3.4$ intermédiaire, $\varepsilon_{\text{côte}} 7$, les vagues plongent, $K^* 8.3$ Construction d'une berme, $\Omega 2.0$ intermédiaire.

Type 4B : De Soustons à la plage des Casernes (fig. 48)

Type en forte accretion avec variations locales

Ce dispositif qui possède à la fois de bonnes caractéristiques pour dissiper la houle en pics sur les barres pré littorales et la réfléchir au niveau de la plage a montré par son évolution historique sa robustesse et sa tendance à l'accrétion naturelle grâce aux apports venus du nord et au blocage des sédiments sur la marge nord du gouf de Capbreton.

Pour $T_{\text{houle}} 11 \text{ s}$, $H_{\text{brisants}} 2.5 \text{ m}$, $\varepsilon_{\text{côte}} 15$, les vagues plongent.

Type 5 : De Hossegor à l'Adour (fig. 49)

Type extrême après accretion maximale, fortement réfléchif sans réserve sableuse

Cette configuration montre une capacité maximale à réfléchir la houle et à la propager le long du littoral par des ondes (edge waves) à l'origine des croissants de plage. La hauteur et la pente de la berme, à l'échelle de celle des vagues de l'hiver, sont généralement suffisantes pour maintenir l'équilibre. Une granulométrie élevée héritée du contexte géologique local favorise ce comportement. Toutefois, au delà d'un seuil critique, ce système pourrait évoluer vers l'érosion. La configuration et l'évolution historique de la zone située au nord de Ondres, et le profil de printemps à Hossegor illustrent ce risque, bien que les dépôts de tempête énormes en hiver donnent une idée de la robustesse de la côte.

Pour $T_{\text{houle}} 11 \text{ s}$, $H_{\text{brisants}} 2.5 \text{ m}$, $\varepsilon_{\text{bancs}} 11$, les vagues plongent, $K^* 12.9$ migration vers la côte, $\Omega 3.0$ intermédiaire, $\varepsilon_{\text{côte}} 7$ à 15 , les vagues plongent, $K^* 3.7$ construction d'une berme, $\Omega 0.8$ réfléchif.

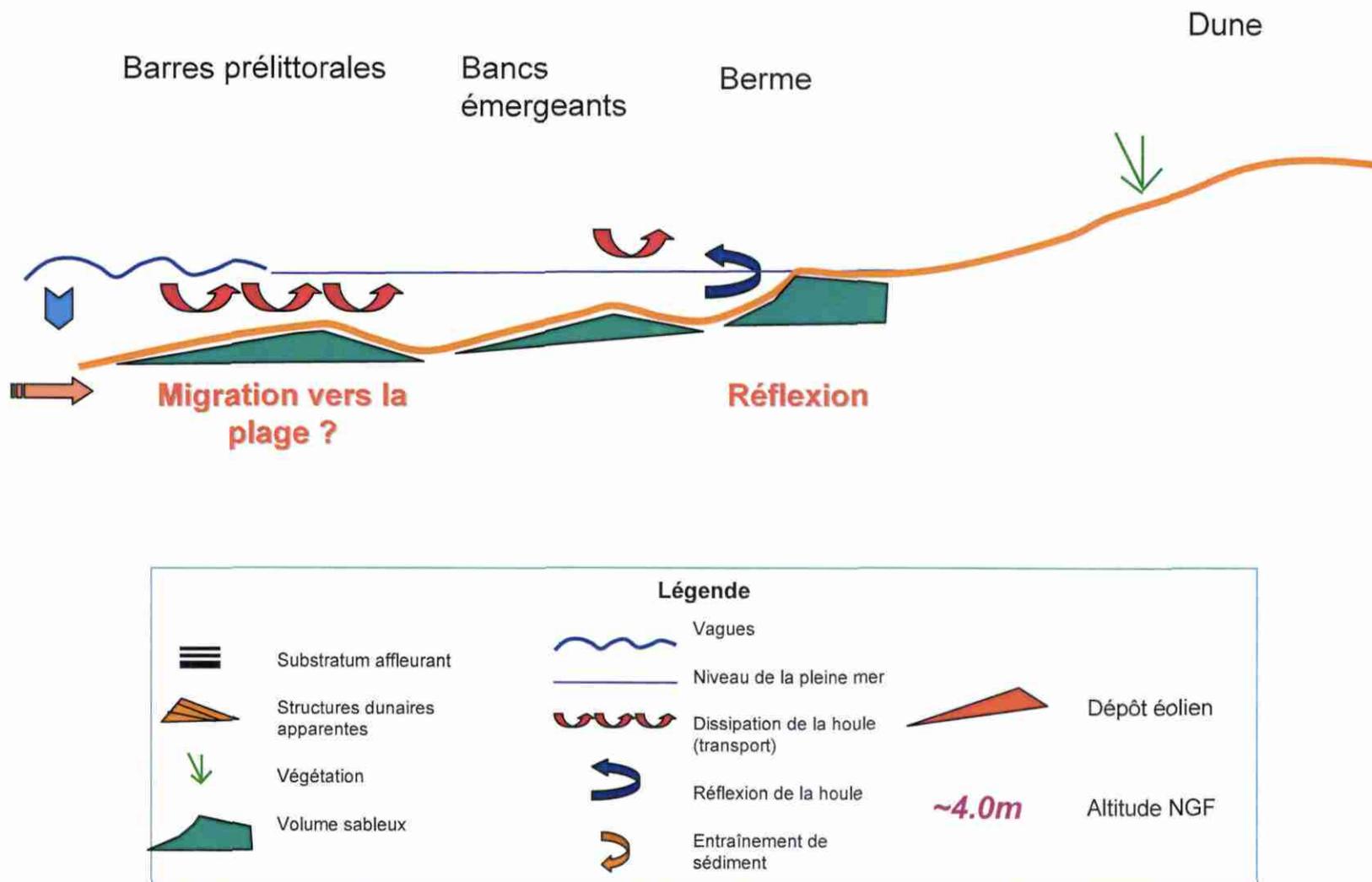


Fig. 46 - Evolution prospective du type 3 - Biscarrosse-Mimizan

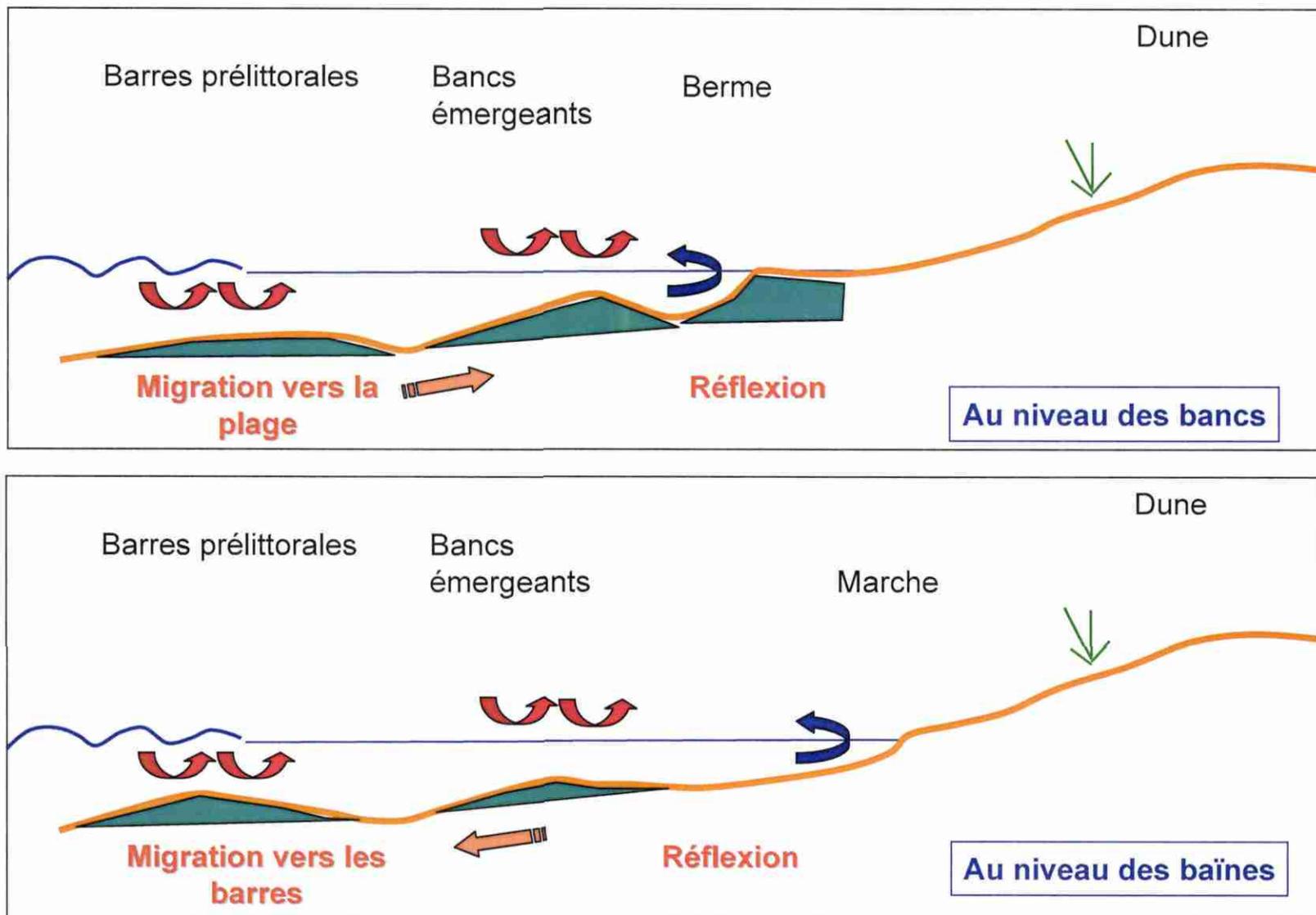


Fig. 47 - Evolution prospective du type 4A - Mimizan-Soustons (même légende que figures voisines)

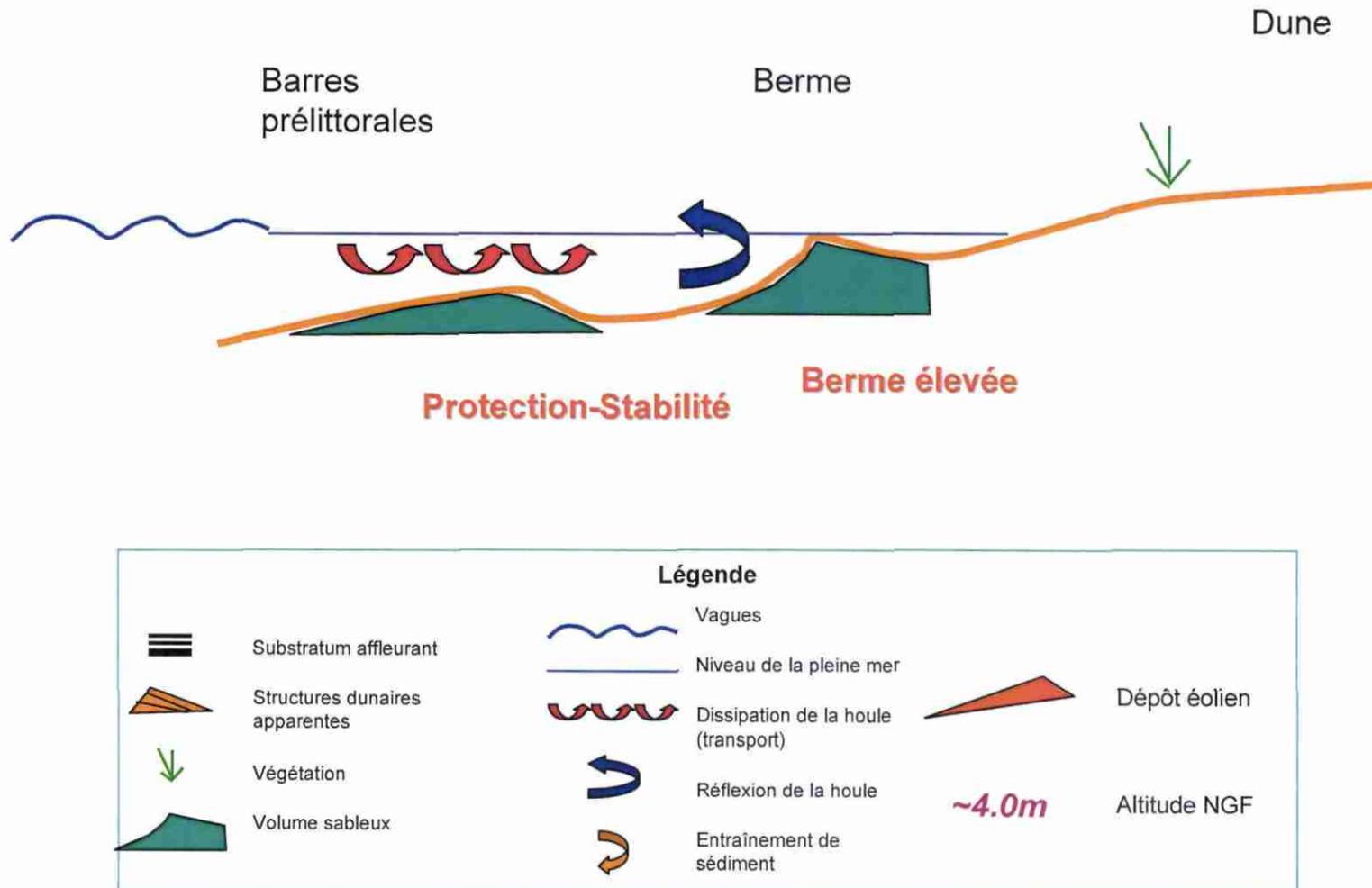


Fig. 48 - Evolution prospective du type 4B - Soustons-Les Casernes

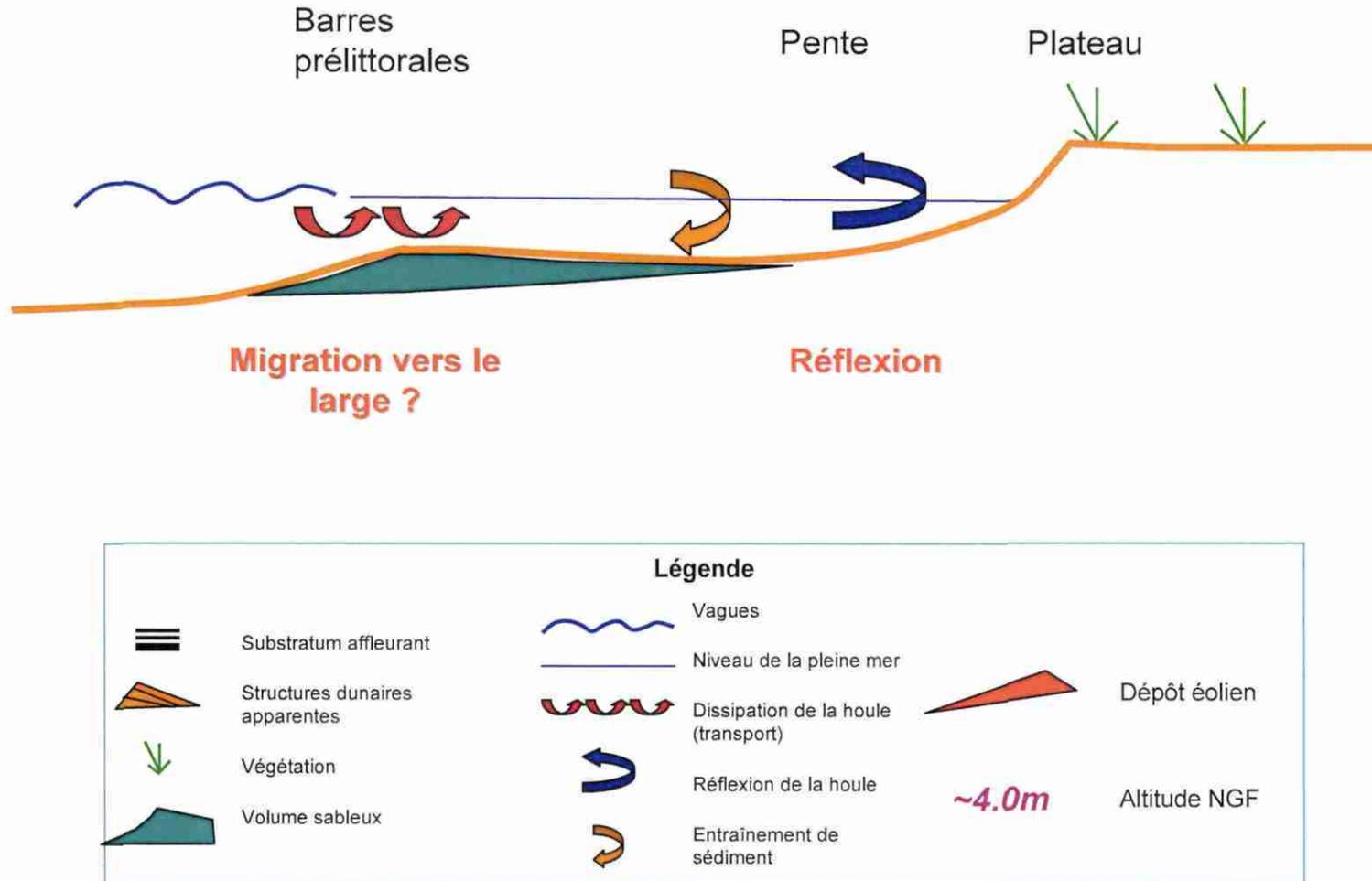


Fig. 49 - Evolution prospective du type 5 - Hossegor-Adour

3.5. ATTITUDES PROPOSEES FACE A L'EVOLUTION DU LITTORAL

D'un point de vue régional, nous proposons pour les différents tronçons du littoral d'adopter les attitudes suivantes :

- De la pointe de Grave à Soulac, les apports venus du sud et les travaux de défense garantissent la stabilité ; seuls les secteurs des huttes, où ne se dépose aucun sédiment, et celui des Cantines, formant pédoncule, continueront d'être surveillés (fig. 50 a).
- De Soulac au Gurg nord, la pointe de la Négade sera inéluctablement en érosion jusqu'à régularisation du trait de côte. Les protections en dur de l'Amélie, ne protègent que ce secteur et forment un point de réfraction de la houle néfaste pour les zones adjacentes (fig. 50 b)
- Entre le Gurg nord et Montalivet, les observations aux différentes échelles montrent une stabilisation de la côte due à l'élargissement de la zone de déferlement après une longue période d'érosion (fig. 50 c)
- Entre Montalivet et la Jenny, la côte est en érosion lente ; ceci se manifeste dans le haut de plage, sous l'effet de la houle et sur la dune sous l'effet des vents après érosion marine. ; en fonction des zones d'intérêt, il est prudent de renforcer la surveillance de cette côte particulièrement au voisinage des zones défendues, dont l'effet latéral peut être néfaste. Vis à vis de la conservation de l'espace naturel et de la protection des habitats et de la qualité de vie, nous considérons comme exemplaire l'aménagement de la côte du Porge :: ensemble collectif de la Jenny permettant une gestion sûre, construction légère intégrée au paysage, installation sur le deuxième cordon dunaire, juste en arrière de la dune grise démontrée stable, avec vue sur l'Océan (fig. 50d).
- De La Jenny au nord du village du Cap-Ferret, le sable venu du nord s'accumule dans une zone à faible transit longitudinal, créant une accréation de la haute plage et du versant au vent de la dune, totalement bénéfiques (fig. 51 a).
- Du nord du village du Cap-Ferret à la pointe, une érosion de plus en plus importante vers le sud a eu lieu antérieurement. Les processus éoliens ont joué un rôle majeur dans le déplacement des sédiments ; il est donc important de maintenir ce stock à la côte. C'est essentiellement la pointe qui subit les assauts des houles croisées et des courants du chenal au jusant. La présence de barres obliques et baïnes actives au sud de Gagnot montre pourtant un transfert important vers la pointe (fig. 51 b), perturbé toutefois par la présence des blockhaus formant un point dur au nord duquel se forme une baie (fig. 51 c). La construction d'une berme observée sur la face ouest est un élément positif ; la migration, naturelle ou encouragée, du chenal de jusant et de la passe nord vers le sud, devrait aider à la reconstruction de la pointe.
- De la Salie à Biscarosse, l'évolution de la côte, avec ses érosions est liée conjointement au fonctionnement du banc de Pineau à la pointe d'Arcachon, dont l'influence semble cesser à environ 3 km au nord de Biscarosse, et à l'aménagement de Biscarosse. Un suivi particulier de la zone intermédiaire doit être envisagé (fig. 51 d).



a - De la pointe de Grave à Soulac



b - De Soulac au Gurp nord



c - Entre le Gurp et Montalivet



d - Entre Montalivet et la Jenny

Fig. 50 - Zones de surveillance entre la pointe de Grave et la Jenny



a - De la Jenny au nord du village du Cap-Ferret



b - Village du Cap-Ferret



c - Pointe du Cap-Ferret



d - De la Salie à Biscarosse

Fig. 51 - Zones de surveillance entre la Jenny et Biscarosse

- De Biscarosse à Mimizan, il n'y a pas lieu de procéder à des levés denses. Cependant, la présence du CEL ayant limité les observations, il conviendrait de mieux renseigner cette zone, où manquent mesures et descriptions comparables aux autres régions (fig. 52 a).
- Entre Mimizan et Soustons, le rôle joué par des barres pré littorales en croissant permanentes est très important. Ces corps atténuent l'effet de la houle mais sont responsables par stockage de sédiment de variations importantes dans les profils. Deux zones ont un comportement légèrement différent : au nord de Saint-Girons, où une plus grande fragilité est enregistrée, les plages seront l'objet d'un suivi plus attentif. Au sud, au contraire, il faudra privilégier les suivis à long terme et se garder d'une interprétation trop hâtive des variations à court terme (fig. 52 b).
- Entre Soustons et Hossegor, on observe une grande robustesse des plages due au blocage du sable par les ouvrages et par l'effet de la houle sur le gouf, déviée vers le NE, et au facteur granulométrique hérité du contexte géologique local (fig. 52 c).
- Au sud de Capbreton, le passage latéral d'une plage très accrétée et robuste comme à Ondres, à une plage d'un type intermédiaire susceptible d'évoluer comme en direction de Labenne nécessite une surveillance accrue et une vigilance vis à vis des zones déjà urbanisées (fig. 52 d). Au sud et au nord de Labenne, des aménagements collectifs ont été réalisés aux dépens de la dune dans des zones en érosion (fig. 53). Le centre de vacances réalisé au sud est niché dans une excavation artificielle du versant interne de la dune. L'érosion marine a été suivie par une forte érosion éolienne avec des "siffle vents" qui constituent autant de voies de pénétration possible. La dune n'est qu'à 13 m, le lotissement à 5 m d'altitude. Une des formes de suivi de la côte consiste à repérer sur photo aérienne des contextes de ce type
- Enfin, d'une manière générale, il serait bon, connaissant de mieux en mieux la topographie et l'altitude absolue d'influence maximale des vagues des différents sites, de procéder à des simulations pour connaître l'aptitude à la submersion des zones très plates ou très basses de l'arrière pays.



a - De Biscarosse à Mimizan



b - Entre Mimizan et Soustons



c - Entre Soustons et Hossegor



d - Au sud de Capbreton

Fig.52 - Zones de surveillance entre Biscarosse et l'Adour

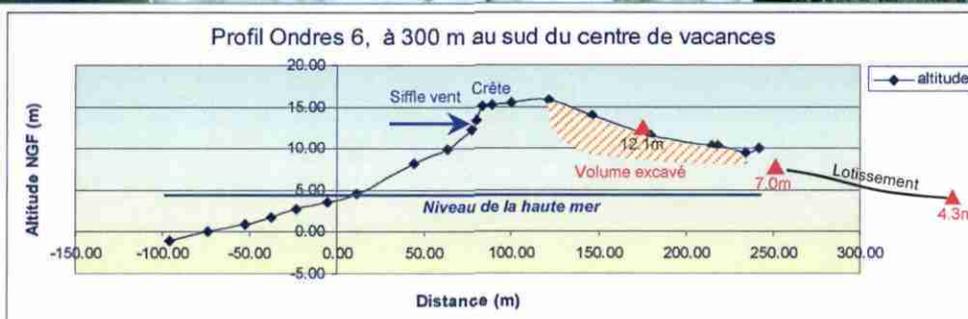
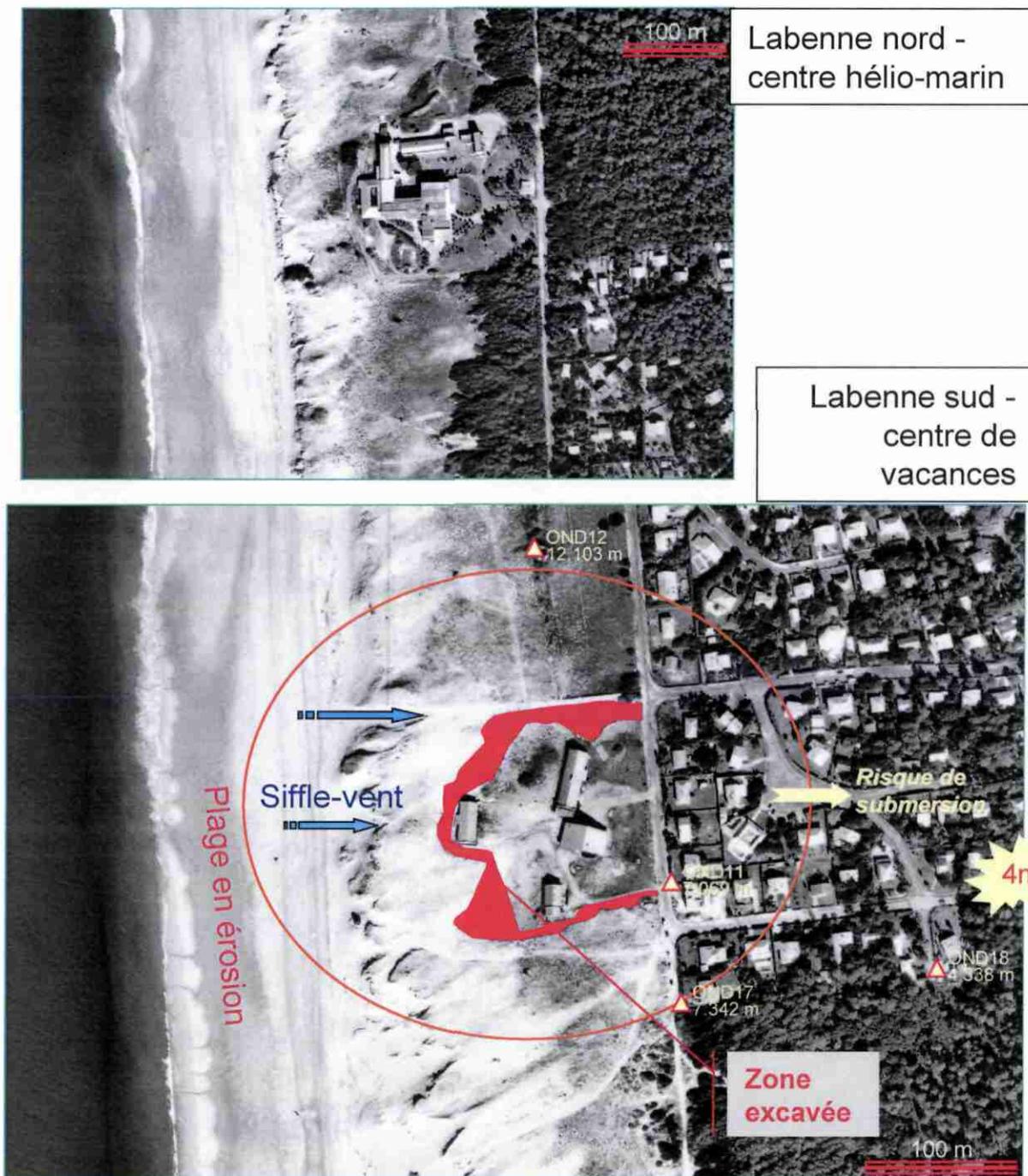


Fig. 53 - Exemples de zones menacées à détecter pour agir

4. Programme de suivi de la côte

La continuité du suivi représente un impératif.

Les conclusions tirées de l'analyse de l'évolution de la côte aquitaine ont conduit à évaluer les méthodes de suivi les plus appropriées.

Nous préconisons la création d'un référentiel de mesures à usage universel et différents types de levés, soit périodiques soit justifiés par des événements exceptionnels.

Les administrateurs du Système d'Information Géographique veilleront à la régularité de l'approvisionnement en données actualisées de la part des organismes fournisseurs

4.1. OBSERVATION CONTINUE DES INDICATEURS DE TERRAIN

Ce travail consiste en relevés naturalistes réguliers sur la plage et dans la dune, d'indicateurs de l'état de santé du cordon littoral, selon un protocole pré-établi (voir rapport BRGM-IFREMER BRGM R 40718, avril 1999, annexe 5).

4.1.1. Morpho-sédimentologie

Ce travail sera fait en grande par les agents de l'ONF présents en permanence sur le terrain avec l'aide des ingénieurs thématiques de l'ONF et du BRGM. Les résultats attendus en sont les suivants :

- Préciser par une observation continue sur le terrain le comportement des plages face à la mer ; dégager des tendances évolutives en enregistrant les déplacements, vers le N ou vers le S, des limites de types morpho-dynamiques,
- Localiser de manière systématique les zones les plus mobiles sous l'effet de la mer et du vent en consignait la nature et la position de changements morphologiques ou écologiques significatifs ; établir des corrélations avec les facteurs moteurs de l'évolution en consignait les circonstances des changements observés.

4.1.2. Suivi des communautés végétales :

Les espèces végétales de la dune sont groupées en associations caractéristiques d'un certain milieu ; leur nature, leur extension et leur déplacement rendent compte des modifications du milieu et en particulier des mouvements de la dune, eux-mêmes influencés par la plage (stock sableux, déflation, érosion marine). La cartographie écodynamique des communautés végétales est donc un bon moyen d'appréhender des tendances évolutives.

4.2. REFERENTIEL GEODESIQUE

Le suivi morphologique de la côte ne peut se faire que par rapport à des points de référence dont les coordonnées dans le plan et l'altitude sont connus avec précision ; pour cela on s'appuie sur un réseau de repères matérialisés par exemple sous forme de bornes, installés et mesurés avec précision par l'Institut Géographique National.

4.2.1. Validation des repères

La nécessité de disposer sur le terrain de repères bien identifiés et fiables conduit à envisager un complément, une remise en état et une validation du référentiel géodésique à proximité de la côte. En Aquitaine, la pose et la mesure de repères sur le littoral a été successivement le fait

de l'IGN 1961), de l'ONF (1996), du BRGM (2000). Des mesures de ces repères ont également été faites en Gironde par l'Université de Bordeaux I. Bien des bornes posées à l'époque par l'IGN n'existent plus ou ont été déplacées, pour certaines, la précision absolue n'est pas inférieure au décimètre ; d'autres ont été récemment nivelées (programme RGF) avec une précision centimétrique. Les valeurs d'altitudes de certaines bornes de l'ONF sur le cordon du Cap-Ferret présentent des anomalies dues à une référence initiale erronée (~+5m).

L'ensemble des opérateurs sur le littoral doit désormais se fixer des règles de travail communes :

- Utilisation d'un référentiel vérifié et validé unique, disponible sous forme d'une base de données,
- Protocoles de mesures incluant type de matériel, systèmes de coordonnées, datum, modélisation du géoïde, identiques.

4.2.2. Mise en place d'un balisage permanent

Le traitement des prises de vues aériennes pour la réalisation d'ortho-photos géoréférencées et de modèles numériques de la topographie demande de pouvoir utiliser les coordonnées de points au sol physiquement identifiables sur les images.

En raison du travail sur la plage et de la présence systématique de la mer dans la partie ouest des prises de vues, l'installation d'un balisage permanent visible en prise de vue aérienne, pérennisant l'expérience de 1998, est nécessaire. Il sera réalisé en dur (et non sous forme de bâches) sous le contrôle de l'IGN selon des normes de dimensions adaptées à la résolution des prises de vues et un espacement défini par la fauchée ou la nécessité de suivi de sites particuliers.

4.2.3. Base de donnée de points d'appui au sol

Dans le même but, des points d'appui naturels au sol sont mesurés par les uns et par les autres pour leurs propres besoins. Ces points viennent en complément des balises fixes au sol, des points acquis lors des prises de vue, et de la Base de Donnée Topographique de l'I.G.N.

Les caractéristiques de tous ces points, balises et points naturels, doivent être collectées et regroupées dans une base de donnée unique de points d'appui au sol à usage commun. Pour les points pérennes, il est en effet inutile et coûteux d'avoir à refaire ce type de mesure à chaque campagne de prise de vue ou de traitement des images. La qualité des points en x, y et z doit être précisée. Une esquisse de ce dispositif a été constituée en 1999 par le BRGM dans ce projet à L'Amélie, au Cap-Ferret, à Saint-Girons, et à Ondres ainsi que sur le Bassin d'Arcachon en 2000.

4.3. PROFILS DE PLAGES ET DE DUNE

4.3.1. Définition d'un protocole de mesures

Afin que la qualité et la comparabilité des mesures soient garanties, un protocole de levé sera établi et devra être respecté par les différents opérateurs. Il concernera :

- La mesure : périodicité, repères utilisés, orientation des profils, matériel utilisé, calibrations du système de coordonnées ;
- La nature des informations complémentaires à consigner qui permettront une interprétation de la lecture du profil : corps sédimentaires, repères morphologiques, granulométrie, constituants du sédiment, associations végétales.

4.3.2. Densification des levés

Les profils ONF ont été traditionnellement levés par le travers de 40 stations, 20 dans les Landes et 20 en Gironde, régulièrement réparties le long du Littoral. Cependant, en raison de la non linéarité de la côte, un profil ne suffit pas, dans bien des endroits, à caractériser l'évolution d'un site. C'est pourquoi il faudra dans certains cas augmenter la densité des levés (voir § 3.5)

4.3.3. Exploitation géostatistique des profils

Le principal problème posé par des profils répartis dans l'espace et dans le temps est celui de leur représentativité.

Une étude a été réalisée par le BRGM dans le cadre de ses activités de recherche (Bourguine et Chilès, 2000, Chilès *et al.*, 2000) pour évaluer si différentes techniques géostatistiques :

- sont adaptées au traitement de ce type de données,
- peuvent apporter des éléments de compréhension et de quantification de l'évolution des profils dans l'espace et dans le temps,
- permettent d'optimiser les levés ou le suivi.

Elle a porté sur un jeu de données provenant de l'île de Terschelling (Pays-Bas) acquises dans le cadre du projet européen NOURTEC (Innovative Nourishment Techniques Evaluations). Ces données concernent une zone de 8 Km de long et 1 Km de large – dont 600 m en mer - levée chaque année de 1965 à 1992 ; les profils perpendiculaires à la côte sont espacés de 200 m ; le long de chaque profil l'altitude a été mesurée tous les 5 m dans la dune, tous les 5 ou 10 m sur la plage, tous les 10 (zone intertidale) puis 20 m (zone infralittorale) sous la mer. La géostatistique permet de quantifier l'incertitude attachée à l'estimation d'une variable (par exemple l'altitude ou la profondeur) grâce au calcul d'une variance d'estimation qui permet d'accéder à un intervalle de confiance. Les résultats obtenus à partir de ces données sont les suivants :

- Une modélisation directe de l'ensemble englobant les dunes, la plage et la partie marine paraît difficile, car chacune de ces unités présente un comportement bien distinct ;
- La modélisation séparée de chaque unité est par contre relativement aisée : à l'échelle considérée, les variations spatio-temporelle de topographie ou de bathymétrie peuvent se modéliser par combinaison de trois facteurs, respectivement fonction de la distance à la côte, de la distance le long de la côte et du temps.
- A titre d'exemple, trois applications de ce modèle permettent de rationaliser un réseau de mesure ainsi que la fréquence des levés pour suivre l'évolution des bancs de sable, décider d'actions d'aménagement, ou évaluer l'efficacité des aménagement réalisés.

Estimation ponctuelle : le calcul de l'écart type de krigeage ponctuel là où il est maximum, c'est à dire pour un point équidistant de deux profils bathymétriques, permet de déterminer un espacement optimal des profils en fonction de la précision que l'on veut obtenir (par exemple 300 m pour ± 50 cm)

Evolution en un point : Si l'on s'intéresse aux variations de profondeur entre deux années consécutives, on aura une précision du même ordre de grandeur car, dans le cas présent, les données de deux années successives sont assez peu corrélées.

Evolution moyenne sur une grande surface : Si l'on souhaite estimer une différence de volume de sédiments entre deux dates de levés, on devra recourir à une interpolation des données de profils pour obtenir une donnée spatialisée (MNT) ou effectuer directement un krigeage de la différence moyenne de bathymétrie. Si l'on s'intéresse à

une valeur moyenne sur une grande surface on obtiendra une bien meilleure précision (par exemple 0.13 m pour une zone de 1000 m sur 100 m avec des profils espacés de 300 m).

4.4. PROFILS TOPO-BATHYMETRIQUES DE LA PLAGES SOUS MARINE

Il résulte des exposés précédents (§ 3.4) que la connaissance de la partie sous marine de la plage (shoreface) est indispensable à la compréhension du fonctionnement de l'ensemble.

Plusieurs techniques ont été ou peuvent être utilisées pour parvenir à cette connaissance : télédétection (spatiale ou aéroportée), LIDAR/LBS – voir ci-dessous § 4.6.2 -, bathymétrie par sondeur. Cette panoplie de moyen permettra d'accéder soit à une définition des volumes sableux soit, au minimum, à la construction de profils topo-bathymétriques. Le prolongement, par une topo-bathymétrie de la plage sous marine (~600 m du bas de plage), de profils à terre sélectionnés jugés représentatifs des contextes dynamiques est indispensable à une compréhension du comportement de la plage aérienne (fig. 54).

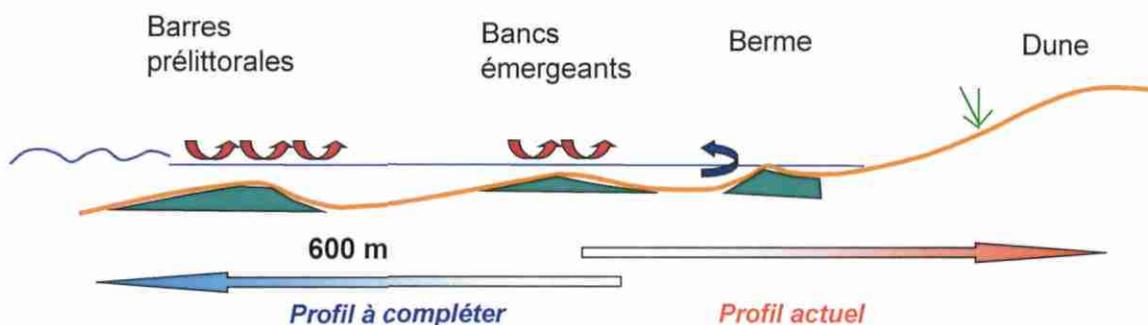
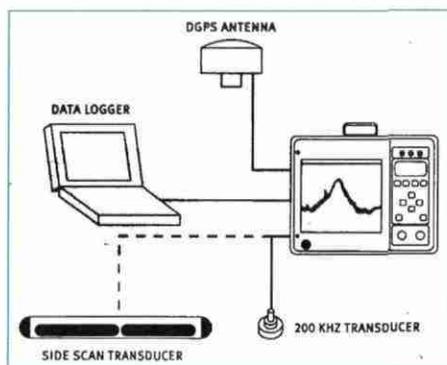


Fig. 54 – Prolongement en mer des profils de plage



La bathymétrie est acquise au moyen d'un sondeur adapté aux faibles profondeurs et à la rugosité provoquée par la houle, par exemple Hydrotrac™ ou Echoscan™ Odom et un DGPS couplé ; les mouvements de la marée et de la houle sont filtrés et les reliefs seront donnés en altitude, dans le repère IGN 69 utilisé dans la partie terrestre. Divers logiciels de traitement peuvent être utilisés : HYDROpro et Trimble Survey Office (Trimble), Hypack™.

4.5. TOPO-BATHYMETRIE D'ENSEMBLE

En 1998, IFREMER avait réalisé une topo-bathymétrie du haut-estran de la pointe de Grave à l'Adour. Compte tenu des changements observés, de la période de retour des grandes houles et des tempêtes (~10 ans) et de l'évolution des techniques (voir ci-dessous § 4.6) une couverture topographique plage-dune complète de l'ensemble de la côte, de la Pointe de Grave à la Frontière Espagnole devrait être réalisée tous les 10-20 ans.

La bathymétrie côtière dans l'intervalle entre les embouchures n'a pas été faite depuis Beautemps-Beaupré en 1825 ; en conséquence, compte tenu de ce que nous venons de rappeler (§ 4.4), il serait important de reconsidérer cette question en concertation avec le SHOM.

4.6. ANALYSE MORPHOLOGIQUE QUANTITATIVE DES DEPLACEMENTS SABLEUX

Une des clés possibles de la surveillance fine de l'évolution du littoral consiste à associer ou à coupler les informations géomorphologiques continues données par la prise de vue aérienne et des mesures topographiques discrètes réalisées au sol. La précision des résultats doit être en rapport avec l'ordre de grandeur des variations spatiales et temporelle des reliefs.

4.6.1. Prises de vues

Les prises de vue aériennes, dans le cas des littoraux français, doivent correspondre à une échelle d'observation optimale comprise entre le 1/25 000 et le 1/7 500. Elles doivent être réalisées avec des techniques récentes et rigoureuses pour être exploitable en aérotriangulation et pouvoir réaliser des ortho-photoplans numériques. Les spécifications portent sur le choix et la géométrie des axes de vol, la position des centres de phase et les certificats de calibration des caméras embarquées. Les prises de vues peuvent être de type argentique classique, qui supporte de forts agrandissement (x10) ou réalisées avec des caméras numériques mono- ou multi-capteurs en utilisant des filtres appropriés et des tailles de pixel au sol comprises entre 0.8 et 0.4 m. Le traitement de ces images nécessite des logiciels spécifiques. Il faut savoir que si d'un côté la réalisation d'ortho-photos numériques en milieu urbain se fait sans difficultés, à l'opposé, leur réalisation sur les estrans se heurtent encore à plusieurs difficultés ; la principale réside dans l'absence de points de liaison homologues caractéristiques d'une image à une autre facilement détectable par les logiciels couramment employés. Il faut donc dans certains cas générer physiquement ces points sur le terrain.

4.6.2. Géoréférencement, prise en compte du relief

Le calage au sol nécessaire au « géoréférencement » et la prise en compte du relief se font par levé de points d'appui naturels ou artificiels et de points topographiques au GPS différentiel centimétrique bifréquence calé sur un ou plusieurs points de référence géodésique RGF de précision absolue décimétrique ou centimétrique, fournis par l'I.G.N. La densité de ces points dépend de l'opération et des axes de vol.

Restitution photogrammétrique

Un grand nombre de points supplémentaires peut ensuite être généré par aérotriangulation, en mode automatique ou sous supervision manuelle en s'appuyant sur les motifs géomorphologiques. Le nombre de points à générer dépend de la précision souhaitée. Un MNT à facettes est alors créé par photogrammétrie.

C'est une technique bien au point qui utilise des couples de prises de vue aérienne et des points de calibration au sol. S'adaptant facilement au niveau de précision requis, elle n'est pas toujours utilisable en urgence car tributaire des conditions météorologiques. En revanche, elle se prête bien aux observations récurrentes dans la mesure où le paysage ne s'est pas trop modifié entre deux observations.

A partir de clichés au 1/20 000, le coût de production d'un MNT et d'une orthophoto couvrant l'ensemble plage-dune est d'environ 1000 francs par kilomètre s'il est possible de disposer d'un réseau de points d'appui fiable et permanent.

D'autres manières de générer un MNT sont possible, en parcourant le terrain à pied ou avec un véhicule, ou au moyen du Lidar.

Lidar

Le LIDAR (Light Detection and Ranging) est une technique utilisant un balayage laser de la surface du sol ou de la canopée depuis un hélicoptère ou un avion léger (Twin Otter DeHavilland DHC6 par exemple). Le relief est mesuré à l'aide d'une base GPS fixe au sol et d'un GPS embarqué. La précision, moins bonne que le décimètre dépend de la finesse du balayage et donc de la vitesse d'intervention ; la méthode permet de distinguer entre le sol et la canopée lorsque leur différence d'altitude est supérieure au mètre. Ce dispositif est capable de mesurer des profondeurs sous faible tranche d'eau (Laser Bathymetry Systems (LBS), par différence entre le signal de la surface et le signal réfléchi par le fond, et jusqu'à 40 m selon la transparence de l'eau) aussi bien que l'altitude à l'air libre.

Technique récente pas encore fixée, elle n'est pratiquée que par peu d'opérateurs en Europe : Geodan Geodesie bv (Pays-Bas info.geodesie@geodan.nl), Aerosurvey (Grande-Bretagne), Topscan (Allemagne), Saab Survey System (TopEye™, Suède), Mesuris (France). Hors Europe le Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Survey (SHOALS) system, propriété du US Army Corps of Engineers, représente l'état de l'art en matière de LIDAR. Il est opéré en Nouvelle Zélande par John E. Chance and Associates Inc. de Lafayette, en Floride par Joint Airborne Lidar Bathymetry Technical Center of Expertise (charles.e.wiggins@sam.usace.army.mil). Elle nécessite une station DGPS à terre tous les 20 km. Elle est moins sensible que la photogrammétrie aux conditions météorologiques, bien qu'il soit recommandé de coupler les mesures laser avec des photos pour permettre une interprétation. Elle est utilisable en urgence et les résultats sont obtenus très rapidement. Elle est toutefois liée aux techniques actuelles de trajectographie de précision et sa mise en œuvre sur de longs tracés est encore problématique.

A ce jour, les coûts sont encore globalement plus élevés que ceux de la photogrammétrie.

4.6.3. Exploitation, comparaisons volumétriques

L'utilisation combinée des prises de vues aériennes et des calibrations au sol permet :

- la restitution en coordonnées géographiques à l'échelle du littoral ou du site des photos aériennes en format numérique
- une morphologie quantitative (altitude, pentes, volumes) des corps sédimentaires

Des comparaisons entre les profils réalisés à terre et ceux du modèle numérique sur le site de Saint-Girons (Landes) montrent la fiabilité de cette méthode (§ 2.2.2). Il est important de noter que la comparaison des profils mesurés sur le terrain au DPGS centimétrique au moment du vol et des mêmes profils issus du MNT a montré des écarts d'altitude de l'ordre de quelques centimètres seulement, sauf pour de rares points situés sur le versant au vent de la dune où les gradients sont très forts. Dans ce cas des balises avaient été placées en outre sur les bancs intertidaux dans la partie la plus aval de l'estran au moment de la plus basse mer et mesurées au moment du vol. La simulation du rôle de ces dernières a montré qu'en leur présence une précision verticale de l'ordre de 12 cm était obtenue à cette échelle, alors qu'en les enlevant, cas général, la précision se dégradait à une trentaine de cm.

Une autre opération a consisté à faire une comparaison diachronique de l'évolution de la côte ouest du Cap-Ferret (§.2.2.3). L'utilisation de documents d'échelle et de provenance variée a montré qu'il était possible de réaliser de bonnes comparaisons de MNT même à partir de bonnes prises de vue au 1/20 000 dans la mesure où elles avaient été réalisées dans des conditions rigoureuses ; inversement certains documents au 1/5 000 n'ont pu être utilisés.

4.7. DONNEES HYDRO-CLIMATIQUES

La prévision nécessite de longues séries de mesures. Un enrichissement des statistiques hydro-climatiques peut être fait. La connaissance des périodes de retour des évènements climatiques exceptionnels (environ 10 ans, fig. 17) permet d'estimer la périodicité des remises à jours importantes.

4.7.1. Houle

Une documentation suivie sur la houle peut être obtenue par :

- La réinstallation de houlographes pour suppléer la disparition de celui du CEL à Biscarosse en 1993,
- Une connection avec la base CANDHIS du CETMEF (Ministère de l'Équipement),
- Un Suivi de la qualité des vagues dans la zone de déferlement (*Surf report*)

Tous les jours, 2 fois par jour en hiver, trois fois par jour en été, Océan Surf Report diffuse un bulletin où sont consignées des observations de qualité concernant le vent, la houle et les vagues dans la zone de surf d'une douzaine de stations du littoral ; cette information précieuse n'est pour l'instant pas conservée. Dans le cadre de ce projet, un protocole de saisi a été élaboré qu'il serait souhaitable de mettre en pratique par convention avec Océan Surf Report.

4.7.2. Vents

Des tempêtes avec des vents supérieurs à 140 Km/h se produisent en moyenne tous les 11 ans (cycle solaire) (fig. 55). Des vitesses proches de cette valeur atteinte tous les 5.5 ans environ. Les vents les plus forts soufflent de l'ouest et en février. Mai est le mois le plus calme. Une mise à jour des données climatiques peut être obtenue par connection à la base COLCHIQUE TRANSCLIM de Météo-France.

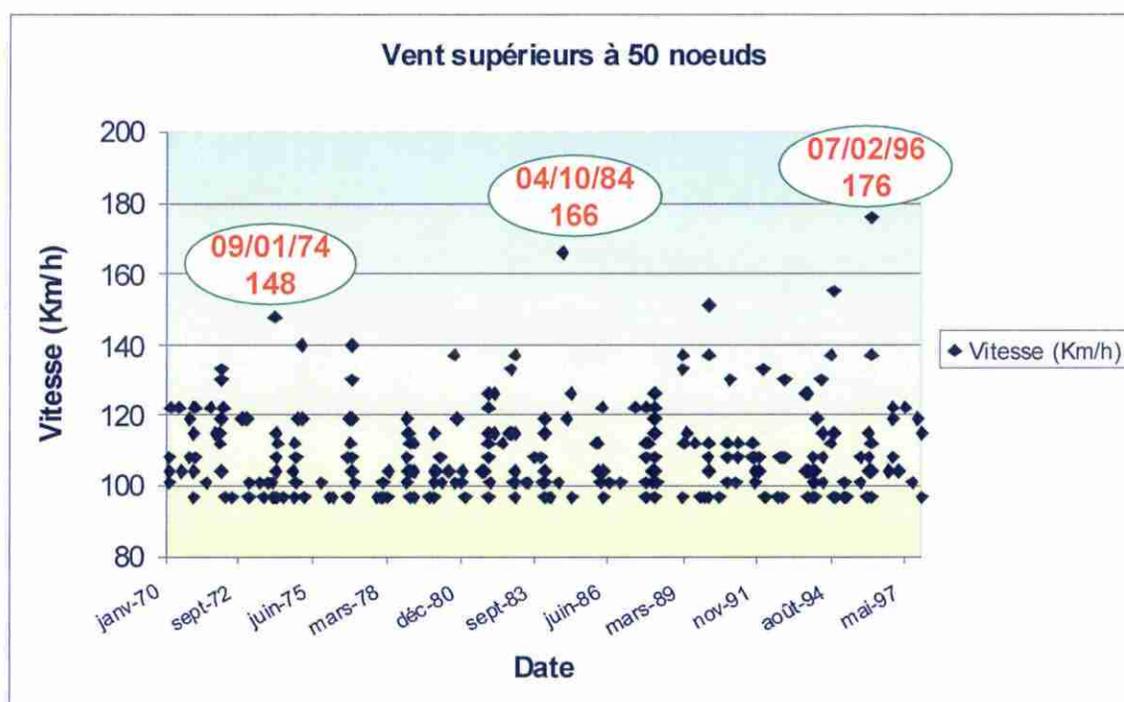


Fig. 55 - Vents supérieurs à 50 nœuds au Cap-Ferret

5. Conclusion

5.1. APPORTS NOUVEAUX

Les apports nouveaux de ce projet concernent trois aspects :

- une meilleure compréhension du fonctionnement de la côte et de ses problèmes : elle permet de dégager une logique d'ensemble et d'en tirer une ligne de conduite.
- une évaluation des techniques de suivi et de l'état de l'infrastructure actuelle : elle permet de mettre l'accent sur la rigueur du suivi spatio-temporel des entités littorales et les moyens de quantifier un minimum de paramètres.
- une prise de conscience de la nécessité d'un programme pérenne de suivi concerté pour un d'aménagement côtier de qualité : elle débouche sur une mise en commun des connaissances, des méthodes de mesure et de communication pour optimiser les prises de décision et les coûts de fonctionnement.

5.2. PROPOSITION DE PROGRAMME POUR 2001-2006

5.2.1. Mise en place du SIG

Passage à un nouveau système de projection :

L'ancien référentiel géodésique de 1961 possédait une dérive de positionnement de 1 cm/Km ; dans le nouveau référentiel RGF 93 cette dérive n'est plus que de 1cm/10 KM. Ces considérations sont importantes pour un chantier de 230 Km de long à cheval sur 2 zones Lambert. A terme, une nouvelle directive devrait préconiser l'utilisation d'une projection cartographique associée nouvelle dite Lambert 93 (information en cours auprès de l'IGN. Dans cette perspective, il sera nécessaire d'homogénéiser dans ce nouveau système l'ensemble des données du SIG.

Adaptation des fonctions du SIG aux besoins des utilisateurs :

Contrairement à la démarche plus classique d'élaboration initiale du concept d'un système d'information géographique basé sur l'identification d'un besoin précis, la base de données littorale devra répondre à des questions variées. Dans le cas du projet « Observatoire du littoral aquitain », la démarche employée jusqu'ici a privilégié la recherche d'information et la constitution de base de données ; il est donc maintenant nécessaire d'identifier clairement les utilisateur futurs : clients, opérateurs pour adapter l'architecture de l'outil à leurs besoins. Ce travail implique les étapes suivantes :

- Identification préalable des utilisateurs potentiels ; on distinguera les opérateurs techniques, organismes institutionnels chargés d'études thématiques, les utilisateurs extérieurs, élus et administrations, qui recherchent une aide à la décision et enfin les bureaux d'études,
- Réunions des opérateurs techniques et des utilisateurs. Constitution d'un comité d'utilisateurs et définition du cahier de charges du système,
- Conception du système,
- Test sur un échantillon représentatif des différents de données, première présentation au comité d'utilisateurs.

Développement des méthodes de mise à jour/consultation :

Le système aura à fonctionner sur trois niveaux :

- Alimentation périodique en données diverses, dont le protocole d'acquisition et le format numérique auront été fixés,
- Traitement thématique, à la demande des utilisateurs, par les organismes habilités,
- Production et diffusion de résultats sous forme de documents synthétiques.

Il faut donc définir les modes d'accès de chaque intervenant pour la mise à jour de la base et la consultation des documents finaux d'aide à la décision. Le système sera géré avec l'aide d'un administrateur thématique, garant de la conformité de l'information et d'un administrateur informatique.

Mise à disposition sous Internet

Quelle que soit la localisation physique du serveur qui reste à décider, la manière la plus souple d'utiliser le SIG paraît passer par un accès Internet. Ceci suppose :

- La mise en place des routines concernées,
- L'achat des licences nécessaires : logiciels SIG, exploitation du site Internet.

5.2.2. Organisation du réseau de collecte des données

Recensement exhaustif des producteurs de données :

Au cours des travaux précédents, un certain nombre de producteurs de données ont participé au thesaurus actuel ; d'autres organismes réputés procéder à des levés périodiques sur le littoral et certains opérateurs, qui n'ont peut être pas encore identifiés, pourront être sollicités pour participer à la mise en place d'un outil le plus exhaustif possible.

Organisation du suivi :

La continuité du suivi représente un impératif. Les conclusions tirées de l'analyse de l'évolution de la côte aquitaine ont conduit à évaluer les méthodes de suivi les plus appropriées. Un référentiel géodésique de terrain à usage universel sera créé, sur la base duquel différents types de levés, soit périodiques soit justifiés par des événements exceptionnels seront effectués. Dès lors, les administrateurs du système veilleront à la régularité de l'approvisionnement en données actualisées de la part des organismes fournisseurs.

Définition des protocoles :

Les travaux BRGM-IFREMER antérieurs ont montré qu'une des grandes lacunes dans le suivi passé du trait de côte était le manque de séries de mesures et d'observations longues et homogènes ; divers groupes de travail réalisent dans ce but des mesures sur le littoral. Pour en garantir la qualité et l'exploitation correcte, il faut que toutes ces mesures ou observations soient réalisées sur des bases et avec des méthodes communes. Ces méthodes peuvent être choisies à partir des conclusions des tests précédemment faits.

On établira en concertation, dès le début, des protocoles qui ensuite seront obligatoirement utilisés par tous les participants.

Action de formation des agents de terrain :

Cette action consiste en une préparation, puis un accompagnement des agents ONF présents sur le terrain pour le relevé sur les plages et dans la dune de phénomènes indicateurs d'une évolution des plages vers un état différent. Leur travail consistera principalement à noter, à l'aide d'une charte qui leur sera fournie, la date, la localisation et la nature de modifications morphologiques ou écologiques indicatrices d'une transformation. Pour cela, ils ont besoin d'une formation complémentaire pratique dans le domaine de la sédimentologie marine pour leur faciliter la lecture et la transcription des phénomènes.

La collecte de ces données, systématique ou guidée par l'événement servira à réaliser des cartes de tendances et aidera à comprendre les processus.

Confortement des réseaux de mesure :

Il s'agit du référentiel géodésique de terrain. La nécessité de disposer de repères bien identifiés et fiables conduit à envisager un complément, une remise en état et une validation du référentiel géodésique à proximité de la côte

Le traitement des prises de vues aériennes pour la réalisation d'ortho-photos géoréférencées et de modèles numériques de la topographie demande l'installation d'un balisage permanent visible en prise de vue aérienne, pérennisant l'expérience de 1998.

Ces repères artificiels et tous les points d'appui naturels collectés dans le même but seront regroupés dans une base de donnée unique de points d'appui au sol à usage commun.

5.2.3. Recueil périodique et événementiel des données

Topo-bathymétrie de la plage sous-marine :

Le comportement et l'évolution de la plage aérienne, ainsi que les déplacements de la ligne de rivage qui en résultent sont très fortement conditionnés par la morphologie et les corps sédimentaires de la plage sous marine, entre -2 et -8 m NGF (0 à -6 m hydrographique). Ces corps ne sont actuellement appréhendés que par l'imagerie aérienne ou spatiale. Il est donc nécessaire de prolonger en mer, sur un certain nombre de transects types, les profils réalisés à terre.

Mesures de profils :

Le levé de profils de plage et de dune réalisé désormais aisément avec du matériel numérique de précision et accompagné par des observations naturalistes permettant leur interprétation sera poursuivi ; il s'agit là d'une information économique et riche en enseignements.

Il est nécessaire de procéder à une densification locale des profils de plage et de dune avec un espacement permettant leur exploitation à l'échelle d'une zone

Le protocole de levé concernant périodicité, orientation, matériel, repères, inclura aussi des informations complémentaires (entités morphologiques, associations végétales, granulométrie)

Suivi morpho-sédimentologique :

Ce travail consiste en relevés naturalistes réguliers sur la plage et dans la dune, d'indicateurs de l'état de santé du cordon littoral, selon un protocole pré-établi. Ce travail sera fait en grande par les agents de l'ONF présents en permanence sur le terrain avec l'aide des ingénieurs thématiques de l'ONF et du BRGM. Les résultats attendus en sont les suivants :

- Préciser par une observation continue sur le terrain le comportement des plages face à la mer ; dégager des tendances évolutives en enregistrant les déplacements, vers le N ou vers le S, des limites de types morpho-dynamiques,
- Localiser de manière systématique les zones les plus mobiles sous l'effet de la mer et du vent en consignant la nature et la position de changements morphologiques ou écologiques significatifs ; établir des corrélations avec les facteurs moteurs de l'évolution en consignant les circonstances des changements observés.

Surf report :

Tous les jours, 2 fois par jour en hiver, trois fois par jour en été, Océan Surf Report diffuse un bulletin où sont consignées des observations de qualité concernant le vent, la houle et les vagues dans la zone de surf d'une douzaine de stations du littoral ; cette information précieuse pour compléter celle qui est faite au niveau de la plage et de la dune n'est pour l'instant pas conservée. Dans le cadre du projet antérieur, un protocole de saisi a été élaboré qu'il serait souhaitable de mettre en pratique par convention avec Océan Surf Report.

Connexion avec les bases de données houle et météo :

L'état morpho-dynamique de la plage et son évolution potentielle est conditionné par des caractéristiques intrinsèques de la plage et par les agents dynamique que sont la houle et le vent ; leur connaissance est indispensable à une gestion éclairée du littoral. Ces données hydro-climatiques sont acquises et traitées par plusieurs organismes fournisseurs de données. Des bases de données sont maintenant accessibles directement aux professionnels par Internet par exemple, pour la houle (*CANDHIS*, Ministère de l'Équipement)) et la climatologie (*Colchique Transclim*, Météo-France)., des connections vers ces sites pourront être établies afin de maintenir à jour le SIG régional.

Suivi des communautés végétales :

Elles est destinée à accompagner le suivi morpho-sédimentologique au niveau de la dune. Les espèces végétales de la dune sont en effet groupées en associations caractéristiques d'un certain milieu ; leur nature, leur extension et leur déplacement rendent compte des modifications du milieu et en particulier des mouvements de la dune, eux-mêmes influencés par la plage (stock sableux, déflation, érosion marine). La cartographie écodynamique des communautés végétales est donc un bon moyen d'appréhender des tendances évolutives.

Interprétation d'imagerie aérienne ERIKA :

Cette couverture aérienne est en cours de réalisation sur le littoral français par l'IGN à la demande du CIAT à l'échelle du 1/25 000. Elle est actuellement disponible en Gironde où la base de donnée topographique IGN est constituée. Dans le cadre de l'avenant tempête ces

photos permettront de localiser des sites perturbés qui pourront faire l'objet de comparaison avec l'état de Juin 1998.

Couverture altimétrique :

Cette tâche est citée pour mémoire. Prévue en phases 2 et 5, elle est destinée à accompagner l'exploitation des missions aériennes par réalisation de modèles numériques de la topographie sur des sites sélectionnés.

L'utilisation combinée des prises de vues aériennes et des calibrations au sol permet :

- la restitution en coordonnées géographiques à l'échelle du littoral ou du site des photos aériennes en format numérique,
- une morphologie quantitative (altitude, pentes, volumes) des corps sédimentaires.

Des comparaisons entre les profils réalisés à terre et ceux du modèle numérique montrent la fiabilité de cette méthode.

Mesures occasionnelles à la suite d'événements brutaux :

Ce poste correspond à une provision qui sera indispensable aux mesures et observations à faire à la suite d'événements météorologiques majeurs.

5.2.4. Intégration des données dans le SIG

Consolidation de la base de données existante :

Cette tâche consiste à mettre au format souhaité et à incorporer dans les base toutes les données actuellement acquises ou élaborées qui ne seraient pas présentes dans les versions de démonstration précédemment réalisées.

Mise à jour des métadonnées :

Tous les jeux de données doivent faire l'objet d'une description (nature, étendue géographique, thème, précision, accès etc.) pour compléter le catalogue qui permet une connaissance immédiate de l'existant.

Lors du fonctionnement du SIG débiteront en phase 2 :

- Saisie
- Administration thématique
- Informatique

Exploitation des données

Cette tâche correspond à l'exploitation à terme du système d'Information géographique, pour les utilisateurs potentiels, à l'aides des données anciennes et périodiquement acquises. Elle sera réalisée par les opérateurs techniques habilités. C'est à dire :

- Test et utilisation du SIG
- Modèle prédictif
- Simulations

Elle ne peut débiter qu'une fois le système opérationnel, à partir de la phase 2.

5.2.5. Expertise régulière et occasionnelle

Ce poste est destiné à couvrir autant que nécessaire :

- la recherche et le signalement des sites menacés, de manière naturelle, ou à la suite d'aménagements (par exemple la fragilisation du cordon dunaire, et les risques de submersion potentielle),
- la réalisation périodique de bilans sur l'état de santé du trait de côte,
- les interventions qui pourraient être demandées ou nécessitées sur des sites d'intérêt particulier ou lors d'événements importants.

6. References bibliographiques

- Abé J. (1984)** - Etude des mouvements sédimentaires dans la zone du canyon de Capbreton à l'aide de traceurs radioactifs et fluorescents (France). Thèse 3^o cycle Université Bordeaux I, 233 p., 19 tab., 4 pl. (dont 1 bloc diagr.), 12 p. réf. bib. (PASCAL-GEODE-BRGM 85-03299084 et 85-0019617)
- Allen G.P. (1971)** - Relationship between grainsize parameter distribution and current patterns in the Gironde Estuary (France). *J. Sed. Petrol.*, n° 41, pp 74-88.
- Allen G.P. (1972)** - Etude des processus sédimentaires dans l'estuaire de la Gironde. Thèse Doctorat ès Sciences, Université de Bordeaux, 314 p.
- Allen G.P. (1973)** - Suspended sediment transport and deposition in the Gironde estuary and adjacent shelf. *In* : Proc. Int. Sympos. on Interrelationships of Estuarine and Continental Shelf sedimentation. *Mem. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, Bordeaux, n° 7, pp. 27-36.
- Allen G.P., Bouchet (J.M.), Carbonnel P., Castaing P., Gayet J., Gonthier E, Jouanneau J.M., Klingebiel A., Latouche C., Legigan P, Ogeron C, Pujos M., Tesson M. and Vernet G. (1973)** - Environments and Sedimentary Processes of the North Aquitaine Coast. Guidebook, Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, 183 p.
- Aloisi J.C., Barusseau J.P., et Monaco A. (1975)** – Rôle des facteurs hydrodynamiques dans la sédimentation des plateaux continentaux. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 280, 3 février 1975. Série D, pp. 579-582.
- Bascom W.N. (1951)** – The relationship between sand size and beach-face slope. *Trans. Am. Geophys. Union*, vol 32, pp. 866-874.
- Birkemeier W.A. (1984)** - Time scales of nearshore profile changes. *Proc. 19th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, pp. 1507-1521.
- Boillot G., Dupeuble P.A., Hennequin-Marchand I., Lamboy M. et Leprêtre J.P. (1973)** - Carte géologique du plateau continental nord-espagnol entre le canyon de Capbreton et le canyon d'Aviles. *Bull. Soc. Géol. Fra.*, vol. 15, n° 3-4, pp 367-391. (PASCAL-GEODE -BRGM 74-2-0025356)
- Bourgine B. et Chilès J.P. (2000)** – Modélisation géostatistique spatio-temporelle de profils de plage (île de Terschelling, Pays-Bas). 65 p., 26 fig. 1 tabl. 2 ann. Rapport BRGM RP-50441-FR
- Brookfield M.E. and Ahlbrandt T.S. (ed., 1983)** – Eolian sediments and processes. 660 p. *Developments in sedimentology* n° 38. Elsevier, Amsterdam, 1983.
- Caratini C., Legigan P. (1970)** - Précisions sur la transgression flandrienne à Capbreton (Landes). *C.R. Soc. Géol. Fra.*, n° 6, pp. 203-205. (PASCAL-GEODE-BRGM 70-18-026-823)

- Carbonel P., Duplantier F. et Turon J.L. (1977)** - Mise en évidence d'un paléorivage vers - 30 m sur le plateau continental de la région de Capbreton (Golfe de Gascogne). *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, n° 21, pp. 127-143, 1p. réf. bib., 11 ill. (PASCAL-GEODE-BRGM 78-2-0011913)
- Carter R.W.G. and Balsillie J.H. (1983)** - A note of the amount of wave energy transmitted over nearshore sand bars. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 8, pp 213-222.
- Castaing P. (1981)** - Le transfert à l'océan des suspensions estuariennes. Cas de la Gironde. *Mém. Inst. Géol. bassin Aquitaine*, n° 12, 605 p., réf. bib.43 p., 12 tab. (PASCAL-GEODE-BRGM 82-2-0257531)
- Chappell J. and Eliot I.G. (1979)** – Surf-beach dynamics in time and space – An Australian case-study, and elements of a predictive model. *Mar. Geol.*, n° 32, pp. 231-250.
- Chilès J.P., Bourguin B. et Watremez P. (2001)** – Space-time modelling of sand beach data : a geostatistical approach. 12 p. P. Monestiez, D. Allard, and R Froidevaux (eds), *GeoENV 2000 : Geostatistics for environmental Applications*. 2001, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Cremière P., Deserces R, Klingebiel A. et Muraour P. (1973)** - Les prolongements sous-marins du réseau hydrographique du bas Adour sur le plateau continental. *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, n° 13, pp. 101-109. (PASCAL-GEODE-BRGM 74-2-0008843)
- Darvus R.A. and Fox W.T. (1972)** – Coastal processes and nearshore sand bars. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 42, n° 2, pp. 401-412, June 1972, 7 figs.
- Davis R.A, Jr, Fox W.T., Hayes M.O., Boothroyd J.C. (1972)** – Comparison of ridge and runnel systems in tidal and non tidal environments. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 2, pp. 413-421, 11 figs, June 1972.
- Dean R.G. (1973)** - Heuristic model of sand transport in the surf zone. *Proc. Engineering Dynamics in the Surf Zone*, Inst. Engineers, Australia, pp. 208-214.
- Dejean N. (1989)** – Guide du surf. Editions Pierre Tournon, 192 p.
- Dolan R., Fenster M.S., and Holme S.J. (1992)** – Spatial analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, vol. 8, n° 2, pp.263-285
- Dolan R., Hayden B, and Felder W. (1979)** – Shoreline periodicity and edge waves. *Journal of Geology*, 1979, vol. 87, pp. 175-185.
- Duplantier F. (1976)** - Etude sédimentologique de la zone côtière et du proche plateau continental de la région de Capbreton. Paléogéographie et évolution actuelle. Thèse Doct. 3° Cycle Sci. de la Terre, mention Géol. Mar., Université Bordeaux I), 161 p., 70 pl. h.t., 20 p. réf. bib. (PASCAL-GEODE-BRGM 77-2-0198253)
- Duplantier F. (1976)** - Système dunaire de Capbreton. *Photo-interprétation*, vol. 15, n° 6, pp. 22-28. (PASCAL-GEODE-BRGM 78-3-0051566)

- Duplantier F. (1977)** - Etude sédimentologique de la zone côtière et du proche plateau continental de la région de Capbreton. Paléogéographie et évolution actuelle. *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, n° 21, 87-114, 1 p. réf. bib., 17 ill. (PASCAL-GEODE-BRGM 78-2-0011912)
- Duplantier F. et Froidefond J.M. (1980)** - Estimation du volume sédimentaire théorique remanié au cours de la transgression holocène sur le proche plateau continental de Bayonne-Capbreton. 26° Congrès Géol. International, Paris, 1980, vol. 2, p.461. (PASCAL-GEODE-BRGM 80-2-0403970)
- Eliot I.G. (1973)** - The persistence of rip current patterns on sandy beaches. *Proc 1st Australian Conf. Coastal Engineering*, Inst. Engineers, Australia pp. 29-34.
- Eliot I.G., Clarke D.J. and Rhodes A. (1982)** – Beach-width variations at Scarborough, Western Australia. *J. R. Soc. West. Aust.*, 1982, vol. 65, n° 4, pp. 153-158
- Fenster M.S. and Dolan R. (1993)** – Historical shoreline trends along the Outer Banks, North Carolina : processes and responses. *Journal of Coastal Research*, vol. 9, n°1, pp. 172-188. 1993.
- Fisher N.A., Dolan R., Hayden B.P. (1982)** – Analysis of shorezone topography along the Outer Banks, North Carolina. Masters Thesis, NTIS order n° AD-A124 136/3. Virginia University, Charlottesville (USA), Dept. Of Environmental Sci. 1985, 85 p.
- Fox W.T, Ladd J.W and Martin M.K (1966)** – A profile of the four moments pressure perpendicular to a shoreline, South Haven, Michigan. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol 26, pp. 1126-1130.
- Fox W.T. (1985)** – Modelling coastal environments. *In Coastal Sedimentary Environments (10)*, pp. 666-705, 16 figs. Richard A. Davis Jr, edit. 716 p., 376 fig. 1985 Springer Verlag. Berlin.
- Froidefond J.M., Castaing P. et Weber O. (1983)** - Evolution morphosédimentaire de la tête du canyon de Capbreton d'après les cartes de 1860 à 1963, utilisation des méthodes informatiques. *Bull. Soc. Géol. Fra.*, vol. 25, n°5, pp. 705-714, 1p. ref. bib. (PASCAL-GEODE-BRGM 84-2-00736558)
- Galvin C.J., Jr. (1968)** – Breaker type classification on three laboratory beaches. *Journ. of Geophysical Research*. Vol. 73, n° 12, June 15, 1968, pp. 3651-3659
- Gérard B. (ed., 1999)** – Le Littoral : problèmes et pratiques de l'aménagement. Manuels et méthodes n°32. 351 p. Editions du BRGM, 3 avenue Cl. Guillemin, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2. Février 1999.
- Goldsmith V., Bowman D., and Kiley K. (1982)** - Sequential stage of development of crescentic bars - Hahoterim beach, Southeastern Mediterranean. *J. Sedimentary Petrology*, Vol. 52 pp. 233-249.
- Goldsmith V.D., Bowman K., Kiley B, Burdich B., Mart Y., and Sofer S. (1982)** - Morphology and dynamics of crescentic bar systems, *Proc. 18th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, pp. 941-953.

- Greenwood B. and Davidson-Arnott R.G.B. (1979)** – Sedimentation and equilibrium in wave formed bars – a review and case study. *Canadian J. Earth Sci.*, vol. 16, pp. 312-332.
- Guza R.T. and Bowen A.J. (1975)** - The resonant instabilities of long waves obliquely incident on a beach. *J. Geophys. Res.*, vol. 80, pp. 4529-4534
- Guza R.T. and Bowen A.J. (1977)** - Resonant interactions from waves breaking on a beach. Proc. 15th Conf. Coastal Engi. , pp 560-579
- Guza R.T. and Davis R.E. (1974)** - Excitation of edge waves by waves incident on a beach. *J. Geophys. Res.*, vol. 79, n°9, pp. 1285-1291
- Guza R.T. and Inman DL. (1975)** - Edge waves and beach cusps. *J. Geophys. Res.*, vol. 80 n° 21, pp. 2997-3012
- Hardisty J. (1986)** – A morphodynamic model for beach gradients. *Earth Surf. Process. Landforms*, 1986, vol. 11, n° 3, pp. 327-333.
- Hayes M.O. (1972)** – Forms of sadiment accumulation in the Beach zone. In *Waves on beaches and resulting sediment transport* (ed. by R.E. Meyer) Academic Press, New York, pp. 297-356.
- Hennequin-Marchand I. (1973)** - Le plateau continental basco-cantabrique : sa structure et son évolution géologique en rapport avec les pyrénées et les zones basco-cantabriques. Le problème du canyon de Capbreton. Thèse Doct. 3° Cycle, spécialité Géol. Sous-marine, Université Rennes, 155 p. (PASCAL-GEODE-BRGM 74-2-0021413)
- Hino M. (1975)** - Theory on formation of rip current and cuspidal coast. *Proc. 14th Conf. Coastal Eng.*, pp. 901-919
- Hino M. (1977)** - Rip current and coastal topography. Proc. 15th Conf. Coastal Eng., pp. 1326-1341
- Holman R.A. et Bowen A.J. (1982)** - Bars, bumps, and holes - Models for the generation of complex beach topography. *J. Geophys. Res.*, Vol. 87, pp. 457-468
- Homma M. and Sonu C.J. (1962)** - Rhythmic pattern of longshore bars related to sediment characteristics, *Proc. 8th Coastal Engin. Conf.*, ASCE, pp. 248-278.
- Horikawa K. (ed., 1988)** – Nearshore dynamics and coastal processes : theory, measurement, and predictive models. 522 p. University of Tokyo Press, Tokyo, 1988. ISBN 4-13-068138-9.
- Ippen A.T. (ed., 1966)** – Estuary and coastline hydrodynamics. 744 p. McGraw-Hill, 1966. New York.
- Kolmer J.R. (1973)** – A wave tank analysis of the beach foreshore grain size distribution. *Journ. of Sedimentary Petrology*, vol. 43, n° 1, pp. 200-204, 8 figs, march 1973.
- Komar P.D. (1976)** – Beach Processes and Sedimentation. Prentice-Hall, Englewood Cliffs N.J., 429 p.

- Lévêque P.C., Gros J.C., Maurin C., Severac J., Siméon C. et Viguiier C. (1972)** - Utilisation de la télédétection infrarouge et des mesures isotopiques - Tritium et Oxygène 18 - pour l'étude des résurgences d'eau douce le long du littoral aquitain. C.R. Acad. Sci. Paris, vol. 274, n° 21, pp. 2841-2844. (PASCAL-GEODE-BRGM-73-226-421)
- Lins H.F. (1985)** – Storm generated variations in nearshore beach topography. *Marine Geology*, n° 62, pp. 13-29.
- Loustalet G. (1972)** - Etude de la nappe phréatique des environs de Capbreton (Landes). Thèse Doctorat 3^e Cycle, mention Hydrogéologie, Université Bordeaux I. 96 p. (PASCAL-GEODE-BRGM 74-2-0004587)
- Manaud F. (1997)** – Le Bassin d'arcachon – le Bassin se comble-t-il ? *Recherches Marines*, n° 17, Nov. 1997, pp 14-19.
- Mason C., Sallenger A.H., Holman R.A., and Birkemeier W.A. (1984)** - DUCK 82 - A coastal storm process experiment. *Proc. 19th Coastal Eng. Conf.* ASCE, pp. 1913-1928.
- Mathieu C. (1986)** – Histoire géologique du sous bassin de Parentis. *Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, vol. 10, n° 1, pp. 33-47, 16 fig., Pau juin 1986.
- Montano Ley Y., Gutierrez Estrada M., and Aldeco Ramirez J. (1988)** – Analisis de funciones empiricas de Eigen en perfiles de playa de Mazatlan, Sinaloa, Mexico. *An. Inst. Cienc. Mar Limol. Univ. Nac. Auton. Mex.* Vol. 15, n° 2, pp. 121-128
- Oceanography Course Team (1989)** – Waves, tides, and shallow water processes. 1st ed. Pergamon Press, in association with the Open University, Milton Keynes, England. 187 p.
- Ogawa N. et Tauzin P. (1973)** - Contribution à l'étude hydrologique et géochimique du Gouf de Capbreton. *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine.*, n° 14, pp. 19-46 (PASCAL-GEODE-BRGM 74-2-0029428)
- Passega R., Rizzini A. and Borghetti G. (1967)** - Transport of sediments by waves, Adriatic coastal shelf, Italy. *Bull. Amer. Ass. Petroleum. Géol.*, n° 51, pp. 1304-1319.
- Phillips J.D. (1985)** – Estimation of optimal beach profile sample intervals. *Journ. Coastal Research*, vol. 1, n° 2, 1985, pp. 187-191.
- Prat M.C. et Salomon J.N. (1997)** – L'évolution récente du littoral charentais : lignes de rivage et systèmes dunaires. *Quaternaire*, vol. 8, n°1, pp21-37, 1997.
- Pruszek Z. (1993)** – The analysis of Beach profiles changes using Dean's method and empirical orthogonal functions. *Coastal Engineering*, 1993, vol. 19, n° 3-4, pp. 245-261
- Rahman M. (1988)** – The hydrodynamics of waves and tides, with applications. In Computational mechanics, 1. Coastal waters hydrodynamic mathematical models. 322 p. ISBN 0-905451-71-6. (BRGM L/11847)

- Sallenger A.H., Jr, Holman R.A. and Birkemeier W.A. (1985)** - Storm-induced response of a nearshore bar system. *Marine Geol.*, Vol. 64, pp. 237-257.
- Sasaki T. (1983)** - Three-dimensional topographic changes on the foreshore zone of sandy beaches, *Sci. Report (A)*, Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, Vol. 4, pp. 69-95
- Short A.D. (1978)** - Wave power and beach changes - A global model. *Proc. 16th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, pp. 1145-1162
- Short A.D. (1979)** - Three-dimensional beach-stage model, *J. Geol.*, vol. 87, pp. 553-571
- Sonu C.J. (1968)** - Collective movement of sediment in littoral environment, Proc. 11th Coastal Eng. Conf.
- Sonu C.J. (1973)** - Three dimensional beach changes. *J. Geol.*, Vol. 81, pp. 42-64
- Sonu C.J., McCloy J.M., and McArthur D.S. (1966)** - Longshore currents and nearshore topographies. *Proc. 10th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, pp. 1051-1070.
- Sunamura T. (1984a)** – Onshore-offshore sediment transport rate in the swash zone of laboratory beaches. *Coastal Eng. in Japan*, vol. 27, pp. 207-212.
- Sunamura T. (1984c)** – Quantitative prediction of beach-face slopes. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 95, pp. 242-245.
- Sunamura T. (1985a)** - Morphological changes of beaches. Lecture Notes 21st Summer Seminar on Hydraulics, B, JSCE, pp. (B7) 1-17 (in Japanese)
- Sunamura T. and Takeda I. (1984)** - Landward migration of inner bars, *Marine Geol.*, Vol. 60 pp. 63-78.
- Takeda I. (1984)** - Beach changes by waves, *Sci. Rep. (A)*, Inst. Geosci. Univ. Tsukuba, Vol. 5, pp. 29-63.
- Takeda I. and Sunamura T. (1982)** – Formation and height of berms. *Trans. Japan. Geomorphological Union*. Vol. 3, pp. 145-157 (in Japanese with english abstract).
- Takeda I. and Sunamura T. (1983a)** - Formation and spacing of beach cusps, *Coastal Eng. in Japan*. Vol. 26, pp. 121-135
- Turcq B. (1984)** - Faciès et formes sédimentaires du plateau continental nord-aquitain : réponse aux processus hydrodynamiques actuels. Thèse 3^o Cycle Océanologie, Université Bordeaux 1. 227 p., ref. bib. 17 p. n° 1967. (PASCAL-GEODE-BRGM 85-0329077)
- Vassal J.P. (1980)** - Les houles exceptionnelles et leurs conséquences : estimation des conditions maximales de l'état de la mer sur le Golfe de Gascogne ; analyse d'une forte tempête récente, 30 novembre-5 décembre 1976. Thèse Université, Sciences, Université Bordeaux 1, 1980, n° 111. 129 p., ill., ref. bib. 3p. (PASCAL 81-3-0238815)

- Weishar L.L. and Wood W.L. (1983)** – An evaluation of offshore and beach changes on a tideless coast. *Journal of Sedimentary Petrology* ; vol. 53, n° 3, September 1983, pp. 847-858.
- Wright L.D., Thom B.G. and Chappel J. (1978)** – Morphodynamic variability of high-energy beaches. *Proc. 16th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, pp 1180-1194.
- Wiegel R.L. (1964)** - *Oceanographical Engineering*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 532 p.
- Wiegel R.L. (1964)** - *Oceanographical Engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Wright L.D. (1980)** – Beach cut in relation to surf zone morphodynamics. *Proc. 17th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, pp. 978-996.
- Wright L.D. (1982)** - Field observation of long period, surf zone standing waves in relation to contrasting beach morphologies. *Australian J. Mar. freshwater Res.*, n° 33, pp. 181-201
- Wright L.D. and Short A.D. (1984)** - Morphodynamic variability of surf zones and beaches. A synthesis, *Marine Geol.*, Vol. 26, pp. 93-118.
- Wright L.D., Chappell J., Thom, B.G., Bradshaw M.P., and Cowell P. (1979)** - Morphodynamics of reflective and dissipative beach in inshore systems; south-eastern Australia. *Mar. Geol.*, n° 32, pp. 105-140
- Wright L.D., Guza R.T. and Short A.D. (1982)** - Dynamics of high-energy dissipative surf zone. *Mar. Geol.* n° 45, pp. 41-62
- Wright L.D., Short A.D., and Green M.O. (1985)** - Short term changes in the morphodynamic states of beach and surf zones: an empirical predictive model, *Marine Geol.*, Vol. 62, pp. 339-364.