



RESULTATS DU
SUIVI D'UN NOUVEAU SYSTEME
DE PROTECTION SOUPLE DES
LITTORAUX SABLEUX :

LE PROCEDE CORNIC A COMBRIT
(SUD FINISTERE)

89 SGN 348 BRE

Mars 1989

MM. A. BOUROULLEC⁽¹⁾
P. GUENNOC⁽²⁾
B. HALLEGOUET⁽¹⁾

- (1) U.B.O., Laboratoire de Géographie de la Mer et des Littoraux,
B.P. 814, 29285 Brest Cédex
- (2) B.R.G.M., Géologie de l'Aménagement Continental et Marin,
10, rue Henri Picherit, 44300 Nantes

PREFECTURE DE LA
REGION BRETAGNE

DELEGATION REGIONALE
A L'ARCHITECTURE ET A
L'ENVIRONNEMENT

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Service Géologique Régional Bretagne
14, avenue Sergent-Maginot - 35000 RENNES - Tél.: 99.30.94.51

RESUME

L'étude avait pour but de réaliser un constat d'un nouveau système de protection souple des littoraux sableux dit "procédé Cornic". Ce système a été mis en place pour la première fois à Combrit (Sud-Finistère) en 1985.

Compte-tenu de certains avantages du système (coût, fonctionnement, esthétique. ..), la Délégation Régionale à l'Architecture et à l'Environnement de Bretagne a confié au Bureau de Recherches Géologiques et Minières et à l'Université de Bretagne Occidentale, un suivi du site afin de vérifier les conditions de fonctionnement du procédé et les limites de son applicabilité.

Outre un suivi topographique, sédimentologique et météorologique réalisé de décembre 1987 à mai 1988, l'étude a porté sur une compilation et une synthèse des données existantes sur le site.

L'historique de l'évolution du cordon dunaire met en lumière le recul de celui-ci depuis sa formation, au centre et à l'est, au profit d'un engraissement important à l'ouest, vers l'île Tudy. Le cordon a été édifié par les agents naturels durant les périodes de montées du niveau marin au cours des derniers siècles. Ce n'est qu'en 1852 qu'il a été complètement fermé par la population locale désireuse d'assécher les terrains (basses palues) situés à l'arrière et de les cultiver. Depuis, la partie centrale, la plus fragile car la plus mince du cordon, n'a pu être définitivement consolidée et des brèches sont apparues à diverses reprises au cours des fortes tempêtes conjuguées à des coefficients élevés.

Malgré d'importants travaux de réaménagement de la dune de 1968 à 1972, de nouvelles brèches ont été occasionnées par la tempête de novembre 1984.

Afin de protéger le secteur le plus fragile, la Mairie de Combrit a donc décidé de confier à la Société de Protection du Littoral la mise en place d'un nouveau système de protection des milieux dunaires. En novembre 1985, ce système a été installé, à titre expérimental, sur 220 mètres de longueur de plage au droit du lieu-dit Le Treustel.

Le système mis au point par Mr CORNIC consiste à protéger le haut de plage et l'avant de la dune en constituant des modules de sable, juxtaposés, allongés et inclinés, de 15 mètres de longueur et de 1 à 2 mètres de largeur et de hauteur. Ces modules sont contenus dans un tissu géotextile (bidim) et maintenus en place par des filets ancrés, l'ensemble étant recouvert d'une couche de sable. Ce reprofilage est complété par un aménagement de la dune (plantations, ganivelles).

Des levés mensuels ont été réalisés de décembre 1987 à mai 1988, complétés par un levé intermédiaire en février et des levés supplémentaires à l'automne 1988. Les constatations suivantes ont pu être effectuées :

- Il n'y a pas eu d'événement météorologique grave qui ait introduit de désordres majeurs.

- Les modules de sable ont été découverts à plusieurs reprises au cours du suivi. Un rechargement de sable avait été réalisé avant le suivi et un autre a dû être effectué avant la saison estivale. Entretemps des engraisements naturels de sable ont pu être notés. Malgré cela, il y a nécessité d'assurer une gestion du site et le problème du rechargement (type de sable, provenance) doit être résolu.

- Les bilans sédimentologiques montrent que la dynamique sédimentaire peut être décomposée en des mouvements dans le profil (perpendiculaires à la plage), les plus importants, accompagnés de transits littoraux (parallèles à la plage) tantôt vers l'ouest, tantôt vers l'est. Ces derniers sont difficiles à mettre en évidence en l'absence de mesures complètes (traceurs, courantologie...) et du fait de la variabilité de la dynamique sédimentaire dans le secteur considéré (sur 700 mètres de plage); cette variabilité explique la difficulté d'élaboration d'une protection fiable de ce secteur fragile, qui serait susceptible d'assurer un engraissement significatif et durable.

- Schématiquement, les principales modifications intervenues sur les profils ont consisté en un démaigrissement du haut-estran et un engraissement du bas-estran entre l'hiver et le printemps. Cette évolution est à l'origine de l'apparition des modules avant la saison estivale.

- C'est au moment où les modules apparaissent que le procédé joue pleinement son rôle en empêchant des départs trop importants de sable et la création de microfalaises trop élevées accentuant l'érosion. La durée limitée du suivi n'a pas permis de vérifier si un rechargement naturel pouvait s'effectuer et dans quelles conditions avant que le système ne se dégrade : rupture de géotextile sous l'action des vagues, par vandalisme..., détérioration par les U.V... En effet, malgré ses caractéristiques mécaniques et physico-chimiques, le procédé ne doit pas supporter de mise à jour trop prolongée.

- Durant la période hivernale et de haut niveau des eaux dans les marais à l'arrière du cordon, des écoulements différents des eaux sur l'estran ont été observés d'une part au droit du secteur protégé, d'autre part de chaque côté de celui-ci. Ceci indique une influence du système sur les échanges marais-plage; toutefois les modalités de ces échanges ne peuvent être clairement identifiées. Par ailleurs, du fait de la juxtaposition des enveloppes de géotextile, le procédé était susceptible, selon le promoteur, de pouvoir assurer un meilleur drainage des eaux et donc d'accroître indirectement la tenue du sable sus-jacent. Au cours des levés, aucune influence du procédé sur le drainage des eaux en surface n'a été relevée.

Les observations et les mesures réalisées au cours de ce suivi montrent que le système de protection par modules souples dit procédé Cornic, peut s'adapter à la protection des milieux dunaires subissant un démaigrissement occasionnel; toutefois les sites à protéger ne doivent pas être soumis à des attaques frontales répétées. Le système évite des dépôts de sable trop volumineux lors des attaques de la mer; il limite donc les rechargements à réaliser. Néanmoins une gestion des sites est nécessaire. Pour que celle-ci soit optimale, il convient que les variations annuelles du profil de plage ainsi que les possibilités de prélèvement de sable pour les rechargements soient connues avant l'implantation du système.

Table des matières

	Page
RESUME	1
Table des Matières	4
Liste des Figures	6
INTRODUCTION	9
I. CADRE DE L'ETUDE	11
A. DEROULEMENT DES TRAVAUX	11
B. LE PROCEDE CORNIC	13
C. LE PROCEDE CORNIC A COMBRIT	14
D. LE SITE DE COMBRIT	14
1. Géologie :	14
2. Morphologie	17
II. FORMATION DU CORDON DUNAIRE	19
A. EVOLUTION "ANCIENNE"	19
B. EVOLUTION GENERALE DU CORDON AU 19 ^e ET 20 ^e SIECLE	19
C. EVOLUTION RECENTE DU SITE DE COMBRIT	23
D. EVOLUTION AU COURS DES DERNIERES ANNEES	25
III. DYNAMIQUE LITTORALE ET EROSION	30
A. LES AGENTS DE LA DYNAMIQUE LITTORALE	30
1. Les vents :	30
2. Les houles et mers du vent :	30
3. Les courants de marée :	34
B. LES TRANSITS SEDIMENTAIRES ET LES CAUSES DE L'EROSION	34
1. Le transit littoral :	34
2. Les transits perpendiculaires au rivage :	36
Conclusions	37
IV. SUIVI DU PROCEDE CORNIC (Déc. 1987 - Mai 1988)	39
A. PRECISIONS SUR LES LEVES	39
1. Topographie :	39
2. Sédimentologie :	39
B. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET OCEANOGRAPHIQUES LORS DU SUIVI	41
1. Les vents :	41
2. L' état de la mer et les marées :	43
C. EVOLUTION ENTRE LEVES SUCCESSIFS	44
1. 22/12/87 : situation au début du suivi	44
2. 20/01/88 :	47
3. 03/02/88 :	47
4. 17/02/88 :	48
5. 22/03/88 :	50

	Page
6. 19/04/88 :	54
7. 17/05/88 :	54
D. BILAN DE L'EVOLUTION DU 22/12/08 AU 17/05/88	56
E. SITUATION A L'AUTOMNE 1988	60
1. 15/09/88 :	60
2. 01/10/88 :	60
V. ANALYSE DE L'IMPACT DU PROCEDE CORNIC A COMBRIT	61
A. ROLE D'EPI :	61
B. PROTECTION DU HAUT DE PLAGES :	61
C. ROLE DU PROCEDE VIS A VIS DES ECOULEMENTS D'EAU	63
CONCLUSION	76
Bibliographie	68
Planches, Annexes	

LISTE DES FIGURES

- Fig. 1 - Localisation de la zone d'étude.
- Fig. 2 - Localisation du site protégé et implantation des profils topographiques.
- Fig. 3 - Mise en place des modules de protection souple.
- Fig. 4 - Carte géomorphologique.
- Fig. 5 - Carte simplifiée du cordon dunaire.
- Fig. 6 - Reconstitution de la formation du cordon dunaire.
- Fig. 7 - Carte de Cassini (1789).
- Fig. 8 - Carte de Beautemps - Beaupré (1818-1819).
- Fig. 9 - Brèches survenues en 1865 et 1896.
- Fig. 10 - Migration du trait de côte.
- Fig. 11 - Evolution du trait de côte de 1962 à 1987.
- Fig. 12 - Tempêtes enregistrées à Penmarc'h entre 1960 et 1987.
- Fig. 13 - Principaux reculs constatés entre 1975 et 1979.
- Fig. 14 - Rose des vents au sol (à Penmarc'h) entre 1949 et 1976 et résultante des vents entre 1962 et 1986.
- Fig. 15 - Plan de vagues de houles de l'Ouest-Sud-Ouest.
- Fig. 16 - Plans de réfraction des houles au large de l'anse de Bénodet.
- Fig. 17 - Localisation des traînées de sable grossier sur l'avant-plage.
- Fig. 18 - Positionnement des échantillons et des points de relèvement topographique.
- Fig. 19 - Conditions météorologiques durant le suivi.
- Fig. 20 - Roses des houles pour janvier et février 1988.
- Fig. 21 - Bilans sédimentologiques : accumulation et érosion entre deux levés.
- Fig. 22 - Profils topographiques transverses.
- Fig. 23 - Variations longitudinales de la granulométrie.
- Fig. 24 - Variations granulométriques le long du profil central.
- Fig. 25 - Cartographies du grain moyen.

Fig. 26 - Bilan sédimentologique global.

Fig. 27 - Pentes et ruptures de pente en hiver et au printemps.

Fig. 28 - Bilans sédimentologiques à l'automne 1988.

Fig. 29 - Variations granulométriques le long du profil central.

Tableau 1 - Historique des dommages subis par le cordon.

Tableau 2 - Evolution au droit du Treustel entre 1984 et 1987.

Tableau 3 - Tempêtes recensées depuis l'installation des modules.

Tableau 4 - Apparitions des modules de sable.

Annexe I - Caractéristiques du géotextile.

Annexe II - Résultantes et roses des vents mensuelles.

Planche I - Vues générales de la zone du suivi lors des levés.

Planche II - Situations particulières observées au cours du suivi.

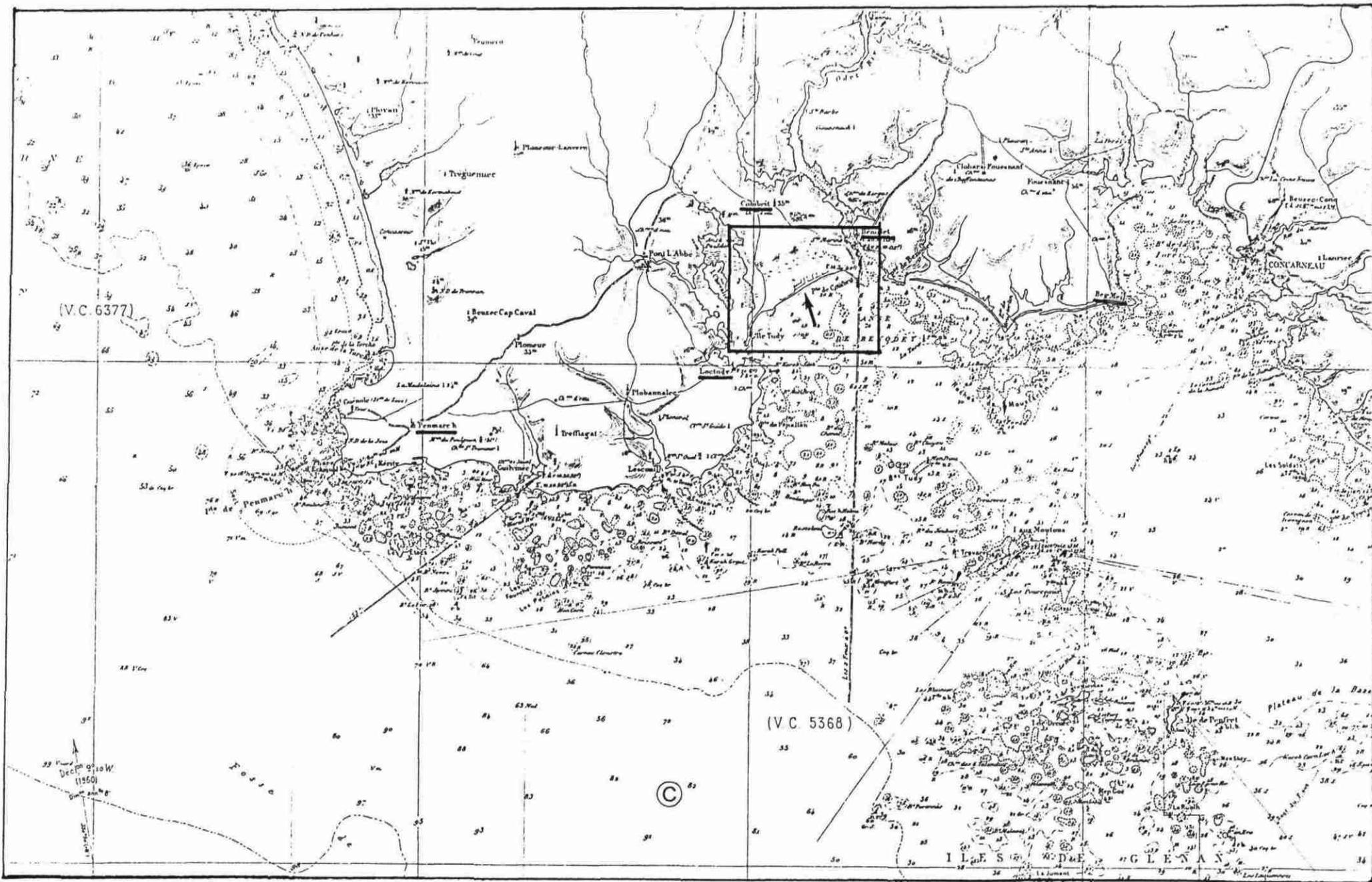


Fig. 1 - Carte de localisation de la zone d'étude (d'après carte SHOM n° 6030).

INTRODUCTION

Face à l'action érosive de la mer, les littoraux meubles et plus particulièrement les zones dunaires représentent des sites sensibles. Ce sont par ailleurs des zones en perpétuelle évolution où la dynamique sédimentaire sous l'action de la houle, des courants et du vent peut être complexe.

Aux différents facteurs naturels d'érosion se sont ajoutés les dommages divers, directs ou indirects, causés par l'homme : constructions juste en arrière, voire sur le cordon dunaire, destruction de la végétation par le piétinement répété, enlèvements de sable...

Dans le cas d'attaques frontales importantes, des protections variées par fagots, traverses de chemins de fer, et surtout enrochements et murs ont été mis en place avec plus ou moins de succès en divers endroits. Les enrochements susceptibles de résister aux fortes actions des vagues présentent un certain nombre de défauts : poids, coût élevé, esthétique parfois discutable, réflexion de l'énergie, interruption des échanges entre la dune et de plage...

C'est pour tenter de pallier à certains de ces problèmes, qu'un nouveau système de protection souple des dunes a été élaboré par la Société Protection du Littoral.

Ce système dit "procédé CORNIC" du nom de son inventeur utilise un filtre géotextile employé dans divers autres contextes de protection d'ouvrages en profondeur. Il comprend la constitution de modules de sable inclinés, juxtaposés et maintenus en place par des filets ancrés en profondeur. Recouverts d'une couche de sable, ces modules sont installés dans la zone comprenant le haut de plage et la base de la dune. Leur mise en place s'accompagne d'un réaménagement du site avec barrières et plantations.

Ce procédé a été installé pour la première fois en 1985 sur un linéaire de 220 mètres, dans la partie centrale du cordon dunaire de Combrit à l'Ile Tudy (Fig. 1).

Deux ans après son installation, ce système était toujours en place et n'avait pas subi de dommages.

Compte tenu de ses avantages en terme de coût, d'esthétique, notamment par rapport aux solutions d'enrochements, son application à d'autres sites devenait donc envisageable. Toutefois, un certain nombre de questions demeuraient posées quant à l'efficacité réelle du système.

C'est dans ce contexte que la D.R.A.E. - Bretagne a confié au BRGM et à l'Université de Bretagne Occidentale la charge d'une mission de suivi du site entre novembre 1987 et juin 1988.

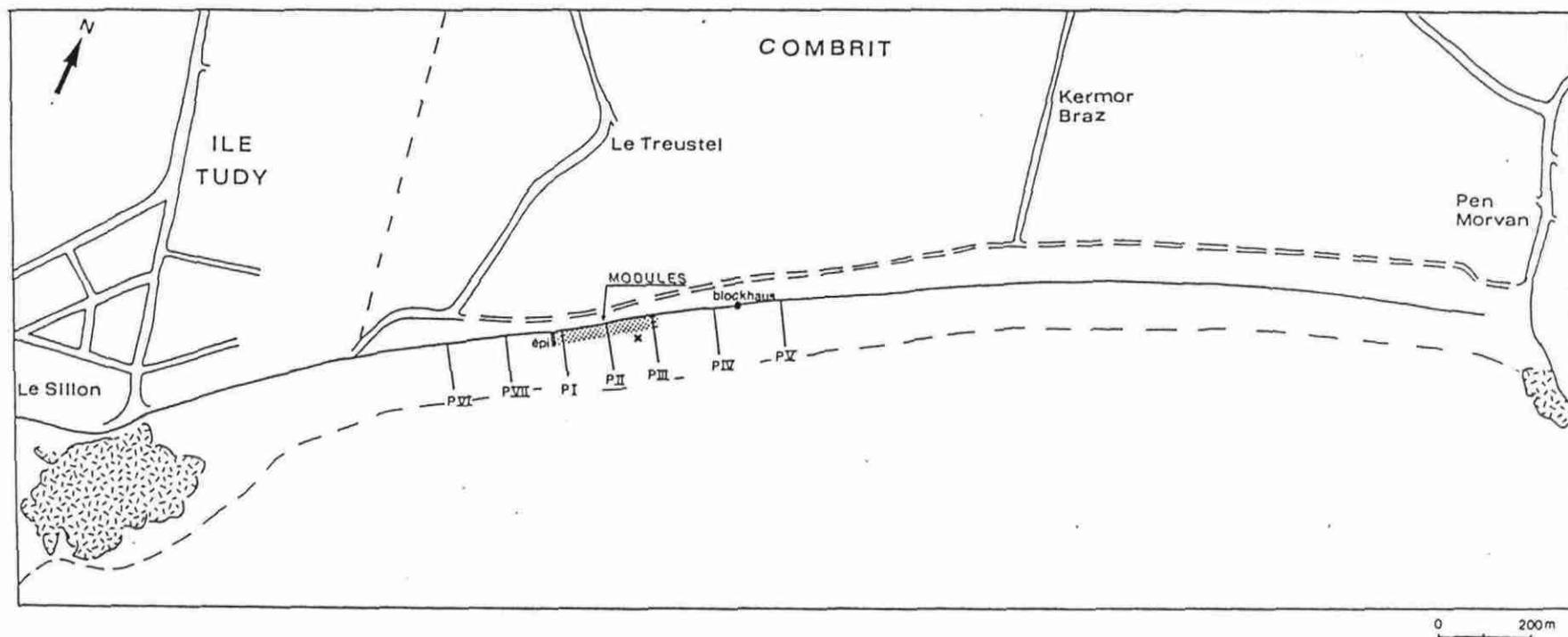


Fig. 2 - Plage du Teven à Combrit : localisation du site protégé par les modules et implantation des profils topographiques.
 x : repère visible sur les photographies de la planche I.

Outre la réalisation de levés sédimentologiques et topographiques accompagnés d'un suivi météorologique, l'étude a également porté sur l'évolution du site et sur l'historique des dégradations subies.

L'objectif de cette opération était avant tout de cerner les influences réelles du procédé de protection sur l'évolution du site et, dans la mesure du possible, d'en tirer des conclusions sur les conditions de sa mise en oeuvre, les éventuels paramètres à prendre en compte et les limites de son applicabilité.

I. CADRE DE L'ETUDE

A. DEROULEMENT DES TRAVAUX

Avant le démarrage de l'étude une réunion de concertation s'est tenue le 17 novembre 1987 en mairie de Combrit et sur la plage de Teven (site du Treustel) (Fig. 2). Les participants étaient :

- Mme Boucheron de l'Atelier Central de l'Environnement et M. Jean de la DRAE Bretagne
- M. Prigent, Maire de Combrit
- MM. Cornic et Vincent de la Société de Protection du Littoral
- MM. Bodéré et Hallégouët de l'Université de Bretagne Occidentale
- M. Merrien de la Direction Départementale de l'Equipement
- MM. Talbo et Guennoc du BRGM

Cette réunion a permis de faire un point sur les travaux réalisés par la Société de Protection de Littoral à l'initiative de la mairie de Combrit, ainsi que sur la tenue du système depuis son installation. Un protocole de levés répartis sur 7 profils a été établi, trois profils devant être réalisés sur le secteur protégé et deux profils de chaque côté (W et E) sur une distance d'environ 740 mètres (Fig. 2).

Le programme mis au point prévoyait la réalisation d'un ensemble de mesures (levés topographiques et prélèvements de sédiments) au moins une fois par mois durant 6 mois (décembre à mai) et des opérations intermédiaires en cas de perturbations météorologiques significatives.

Les différents levés ont été réalisés aux heures de marée basse le plus souvent en fin de période de vives eaux.

Au cours de la période des levés il n'y a pas eu d'événements météorologiques majeurs. Seules les tempêtes successives intervenues vers la fin janvier ont conduit à réaliser un levé intermédiaire en début février.

Comme convenu, les levés ont été interrompus à la fin mai avant l'été.

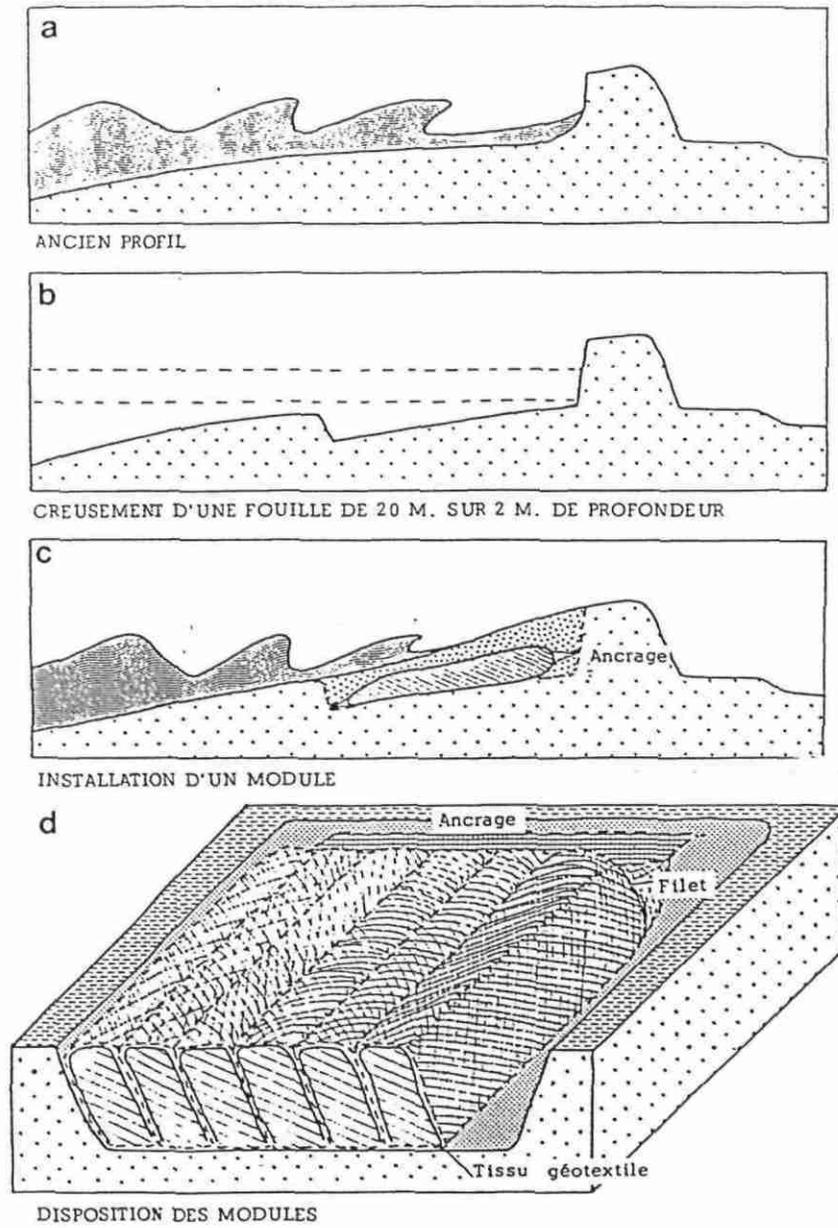


Fig. 3 - Schéma montrant la procédure de mise en place des modules de protection souple (Procédé Cornic).

Deux autres séries de levés ont été réalisés après les marées d'équinoxe mais leurs résultats n'ont pas été intégrés dans l'interprétation globale du fait d'apports de sable réalisés, sans que nous en ayons été avertis, avant la saison estivale.

Le suivi météorologique a été réalisé d'une part d'après le relevé mensuel les données météorologiques de la station de Penmarch'(Fig. 1) transmise au Centre de Guipavas (par période de 6 h : pression atmosphérique, nébulosité, visibilité, état de la mer, précipitations ; par période de 3 h : vitesse et direction du vent), d'autre part d'après les informations transmises par le sémaphore de la Marine Nationale de Beg-Meil.

En ce qui concerne la houle, peu de données ont pu être obtenues. Les seules observations accessibles sont celles transmises au Centre de Guipavas par les navires, situés le plus souvent très au large et donc assez peu représentatives des conditions d'agitation pouvant exister près du site de Combrit.

Parallèlement une enquête a été menée afin d'établir l'historique du site et des dommages subis en complément aux synthèses réalisées auparavant, ainsi qu'une analyse de l'évolution du trait de côte d'après les photographies aériennes et des levés topographiques.

B. LE PROCÉDE CORNIC

Le procédé Cornic de protection des littoraux sableux est basé sur le reprofilage de plages subissant un démaigrissement important et la protection du nouveau profil par des modules de sable emprisonnés dans un filtre géotextile et un filet.

Le démaigrissement important est souvent marqué par l'existence en haut de plage de microfalaises (quelques décimètres à quelques mètres de hauteur) (Fig. 3a). Ces microfalaises favorisent le recul de la ligne de rivage que ce soit par l'action de la mer aux forts coefficients ou par celle du vent du fait de l'obstacle qu'elles forment.

La mise en place du procédé s'effectue en plusieurs étapes (Fig. 3 b-d) :

- 1 - Creusement d'une souille de 10 à 20 mètres de longueur environ à partir du haut de plage et de 2 mètres de profondeur,
- 2 - déploiement d'un filet à maille large (10 cm) sur le fond et le côté de la souille,
- 3 - mise en place du géotextile (bidim) sur le côté,
- 4 - remplissage de sable du contenu d'un module : 10 à 20 m x 2 x 1,6 m,

5 - recouvrement du sable par le bidim puis par le filet qui est ligaturé en bout.

Le sable se trouve donc emprisonné complètement dans le filet et par le bidim sur 3 côtés (pas à la base).

L'opération de mise en place d'un deuxième module est reprise (cf.1) en s'appuyant sur le 1er module. Les modules successifs de 1m50 de largeur environ sont ligaturés entre eux au niveau du filet de protection au fur et à mesure de leur constitution (Fig. 2d).

Lorsque la longueur de plage à protéger est ainsi "équipée", l'ensemble des modules est recouvert de sable jusqu'à obtenir un profil permettant d'éliminer la microfalaise et de constituer une pente continue entre la plage et la dune. Cette dernière est ensuite aménagée avec des plantations de plantes halophiles et la pose de ganivelles.

Tel que présenté par son promoteur, le procédé Cornic présenterait, outre son prix et un certain aspect esthétique, les avantages suivants :

- il conserve la possibilité d'échanges sédimentaires entre la dune et la plage,
- les caractéristiques du filet et du géotextile (voir annexe), assurent une bonne résistance à l'usure physico-chimique ou mécanique,
- il facilite le retour de la végétation en haut de plage (fixation des racines),
- il absorbe l'énergie de la houle du fait de la pente créée et de la souplesse du bidim,
- il facilite la dissipation plus rapide des sous-pressions créées par le marnage,
- il crée des pertes de charge du fait du drainage accéléré provoqué par les drains verticaux que constituent les doubles parois entre chaque module (le bidim est caractérisé par une grande transmissivité ou perméabilité dans son plan),
- il accroît l'humidité au voisinage du géotextile (20 % au lieu de 4 %) par les forces capillaires, ce qui favorise le développement de la végétation en partie haute.

La disposition du procédé est réalisée selon les caractéristiques du site qui déterminent la pente, la longueur, le mode de mise en place : (en épis ou protection enfouie), la granulométrie du sable à rapporter ...

C. LE PROCEDE CORNIC A COMBRIT

Mis au point en 1978 par M. CORNIC, le procédé de protection par modules souples a été pour la première fois mis en place sur le site de Combrit en 1985.

Le système, d'une longueur totale de 220 mètres a été installé à l'est de l'épi en gabions, dans le secteur considéré comme le plus sensible, au droit de la ferme du Treustel (Fig.3).

Aucun plan détaillé d'implantation n'a pu nous être communiqué. Les caractéristiques principales du système, telles que nous avons pu les obtenir sont :

- longueur des modules : 14 à 15 mètres, 17 mètres avec l'ancrage
- hauteur d'un module : 2 mètres, largeur : 1m50 (cf photo Planche II-8),
- position sous le niveau de la plage : les modules sont ensablés à 2 mètres de profondeur en pied. La tête des modules est 40 cm plus haut à l'ouest qu'à l'est. Cette position favoriserait, selon le promoteur, le rôle d'épi du système face à un transit littoral Est-Ouest.

Le système mis en place au Treustel comporterait : un filet en polyéthylène (maille de 73, fil de 2,3 mm) et un tissu géotextile (bidim U24) (cf. annexe 1).

D'un coût total de 216.413 F (financé par les Ministères de l'Intérieur et de la Mer, le Conseil Général, la Région, et le Syndicat Mixte) le procédé présente sur ce site un coût de revient faible (975 F le ml en 1984). Ce coût est 2,5 à 3 fois moins élevé que le coût de l'enrochement mis en place à Moustierlin et très inférieur à celui estimé pour la protection du site (7000 F le ml, Hallégouët et al., 1982-1984).

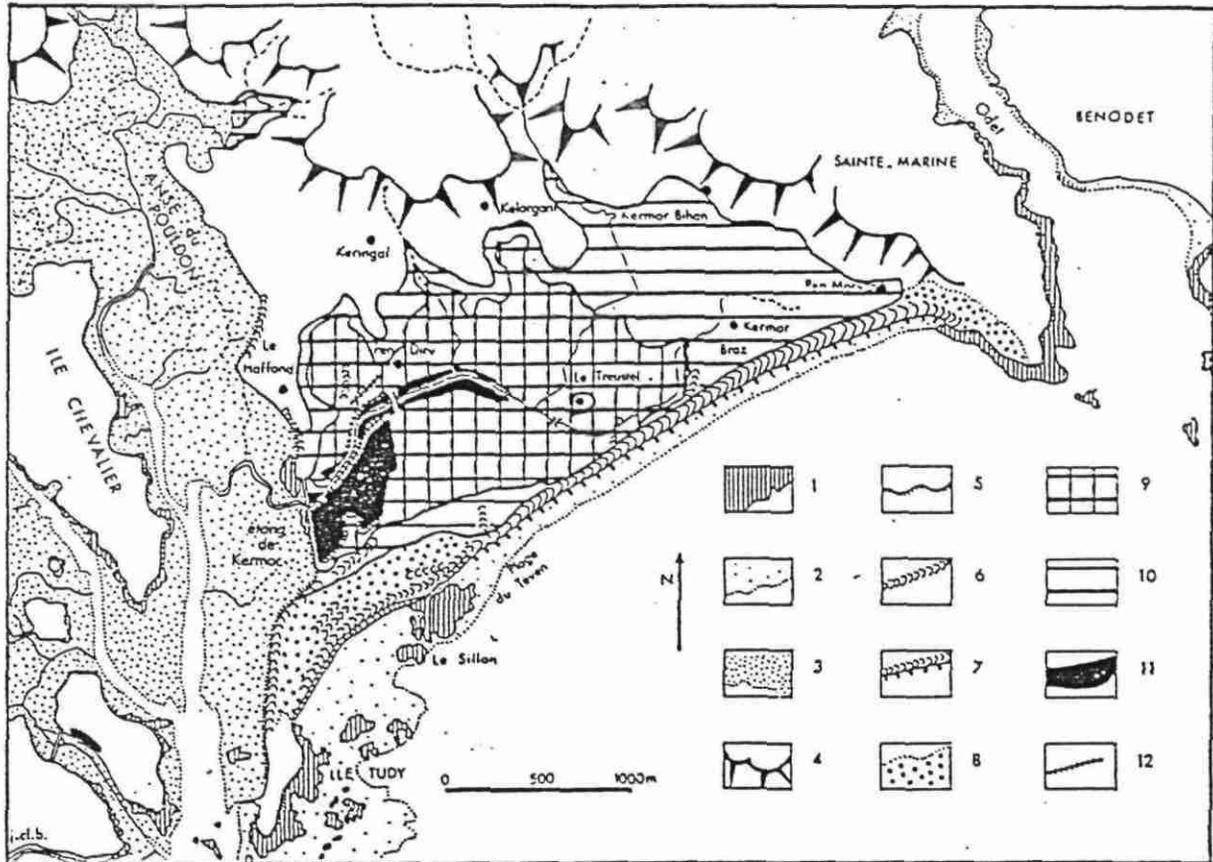
D. LE SITE DE COMBRIT

1. Géologie :

le site de Combrit est situé au fond de l'anse de Bénodet entre les pointes de Combrit et de Loctudy. Les roches granitiques anciennes constituant ces pointes forment dans l'arrière-pays un plateau culminant vers 35 mètres et sur l'estran elles constituent les platiers de l'Ile Tudy et du Sillon plus à l'est (roches du Téven).

La constitution de la dépression de l'anse du Pouldon et du marais de Kermor au sein du socle granitique daterait de l'époque tertiaire (environ 50 millions d'années) (Guilcher, 1948)

Outre les dépôts pliocènes et quaternaires observés sur la pente douce du plateau, les formations observées dans les zones basses sont très récentes (in Morinière, 1983) (Fig. 4) :



Les basses paluds de l'Ile Tudy-Sainte-Marine

(Fond de carte : Pont-l'Abbé 1 - 2 et 3 - 4 de l'I.G.N. à l'échelle 1/25 000)

- 1) Plاتier granitique — 2) Estran sableux — 3) Estran sablo-vaseux (anse du Pouldon, Odet) — 4) Falaise morte (rupture de pente) — 5) Petites falaises ou microfalaises — 6) Principaux bourrelets dunaires — 7) Cordon entaillé en microfalaise (en voie de recul) — 8) Placages de sables dunaires — 9) Basses paluds sableuses situées 2,75 m au-dessous du niveau des plus hautes mers — 10) Basses paluds sableuses situées au-dessous du niveau des plus hautes mers (entre 0 m et -2,75 m) — 11) Etangs et principales zones marécageuses — 12) Levées de terre artificielles.

Fig. 4 - Carte géomorphologique (d'après Nédélec et Bodéré, 1974).

- estran vaso-sableux de l'anse du Pouldon
- formation des polders : dépôts littoraux anciens et basses palues sableuses
- cordon dunaire de Combrit.

Au large le socle granitique affleure sous forme de quelques pointements rocheux dépassant des fonds sableux. Ces fonds sont caractérisés par l'existence de "trainées grossières" perpendiculaires au rivage (Delanoé et Pinot, 1975).

2. Morphologie

Le cordon dunaire de Combrit s'étend sur 3,5 km entre la pointe de Combrit et le Sillon (ou rocher du Teven) et au total sur 4,2 km en incluant la Grande Plage située entre le Sillon et l'île Tudy.

La largeur et la hauteur (au dessus du niveau moyen des mers) du cordon dunaire diminuent progressivement vers l'ouest :

- à l'Est (près de Pen Morvan) : h = 12 m, l = 70 mètres
- à l'ouest (avant le Sillon) : h = 4 m, l = 16 mètres.

Parallèlement à cette évolution est-ouest, on notera la diminution de la pente sous-marine qui passe de 11 % près de la pointe de Combrit à 4 % au Sillon. L'isobathe 5 mètres (côte marine) est ainsi située à moins de 500 mètres du rivage à l'est et à plus de 2 km à l'ouest.

Plus à l'ouest, entre le Sillon et l'île Tudy, le cordon, constitué par l'accolement de bourrelets dunaires, est bas et large (Fig. 5).

La linéarité du cordon est interrompue sur sa face interne par l'existence de crochets témoins de l'existence d'anciennes passes, ou graus, par où la mer pénétrait dans l'anse de Kermor (Fig. 6).

Sur le revers du cordon, les 260 ha de polder représentent une vaste zone inondable (près de 60 % de la superficie est sous le niveau marin) protégé de l'invasion de la mer par la digue de Kermor (Fig. 4 et 5) construite en 1852 - 53.

Seul domaine maritime subsistant, l'étang de Kermor, a été aménagé en arrière de la digue pour l'aquaculture; il communique avec les eaux du polder par un chenal d'eau saumâtre (Fig. 4).

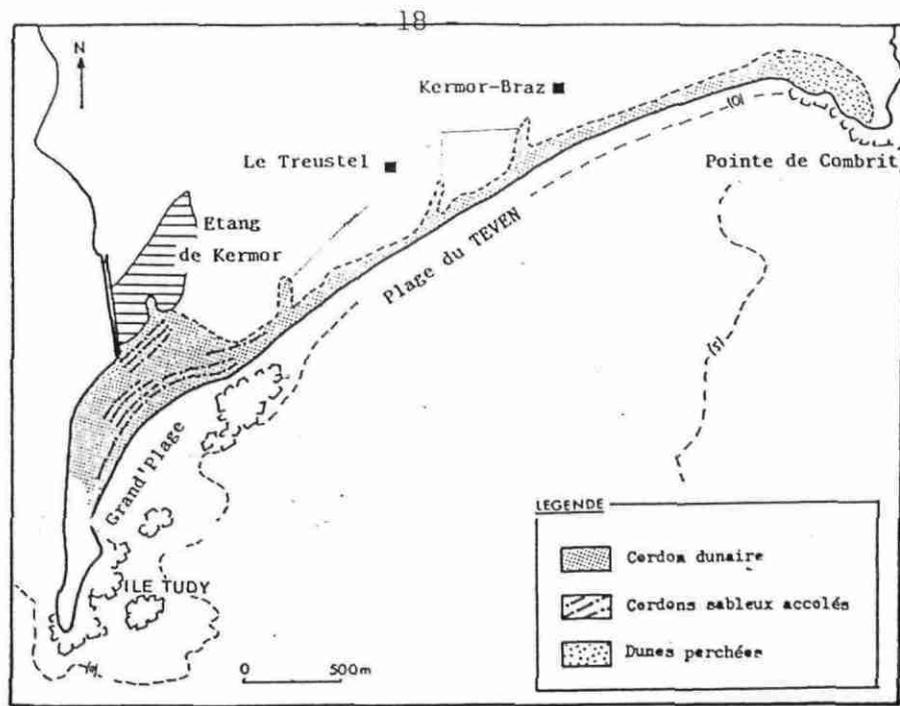


Fig. 5 - Carte simplifiée du cordon dunaire (Morinière, 1984).

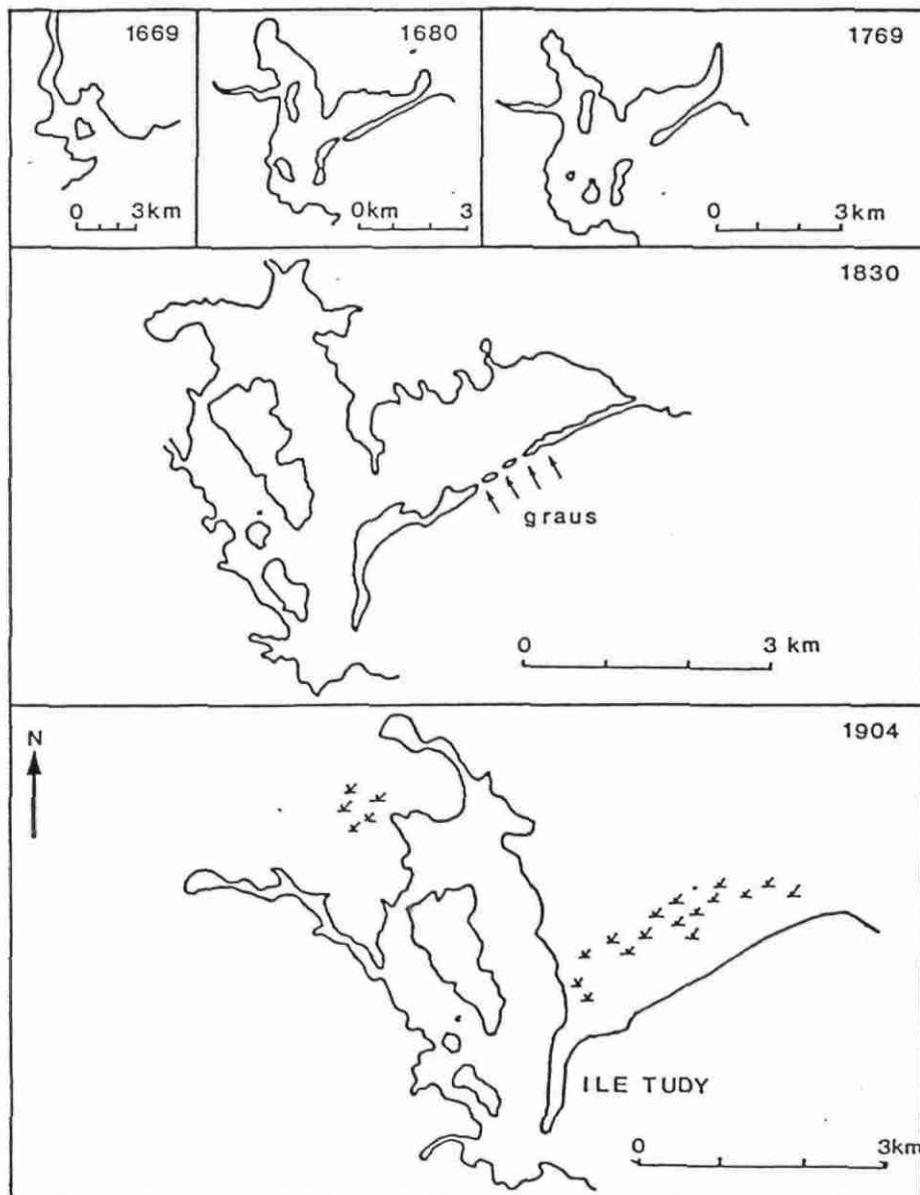


Fig. 6 - Reconstitution de la formation du cordon dunaire d'après les cartes anciennes (Guilcher, 1948).

II. FORMATION DU CORDON DUNAIRE

A. EVOLUTION "ANCIENNE"

Le cordon dunaire est une formation relativement récente comme l'attestent les reconstitutions établies d'après les cartes anciennes (Guilcher, 1948) (Fig. 6).

C'est lors de la transgression post-romaine, aux 17^e et 18^e siècles que s'est édifié le cordon depuis la pointe de Combrit sous l'influence d'une dérive littorale importante vers l'ouest.

La carte de Cassini (1789) (Fig. 7) montre un cordon apparemment continu entre la pointe de Combrit et l'île Tudy. Celui-ci devait toutefois être fragile et percé occasionnellement de brèches.

La carte de Beautemps-Beaupré (1818-1819) (Fig. 8) confirme l'existence de telles brèches dont l'emplacement est marqué actuellement par les crochets sableux (Fig. 5).

C'est au milieu du 19^e siècle que les propriétaires riverains décidèrent d'assécher la lagune située à l'arrière du cordon en construisant la digue de Kermor et en renforçant la partie la plus fragile du cordon au droit du Treustel par des remblais de terre (in Férec, 1980).

On doit donc souligner le fait que le cordon dunaire dans sa continuité actuelle est une forme artificielle sommairement renforcée dans sa partie la plus fragile. Les brèches ultérieures viendront confirmer la fragilité de cet aménagement (Fig. 9, tableau 1).

B. EVOLUTION GENERALE DU CORDON AU 19^e ET AU 20^e SIECLE

La comparaison des cartes et des photographies aériennes montre une évolution contrastée depuis le milieu du 19^e siècle.

Sous l'action d'un transit littoral prédominant vers l'ouest, la plage du Teven a connu un recul progressif au profit de la Grande Plage de l'île Tudy (Fig. 10).

Selon A. Guilcher (1948) la progression au niveau de la Grande Plage serait de 1m/an. La comparaison des cadastres de 1833 et de 1972 permet d'estimer le gain à environ 100 mètres au cours de cette période. Il est fort probable que le comblement des brèches du cordon a accentué cette sédimentation à l'ouest. Une partie du stock sédimentaire du transit littoral devant en effet être détourné vers la lagune (ex : formation des crochets).

A l'inverse entre le Sillon et Sainte-Marine, la tendance générale est au recul. Celui-ci a été très important à l'enracinement dans un premier temps puisque le cordon était à l'origine ancré à l'extrémité de la pointe de Combrit (dunes actuellement perchées : Fig. 5).

Par la suite, depuis un siècle, dans la partie orientale de la plage du Teven, le cordon est resté relativement stable (Fig. 10), tandis que



Fig. 7 - Carte de Cassini (1789).

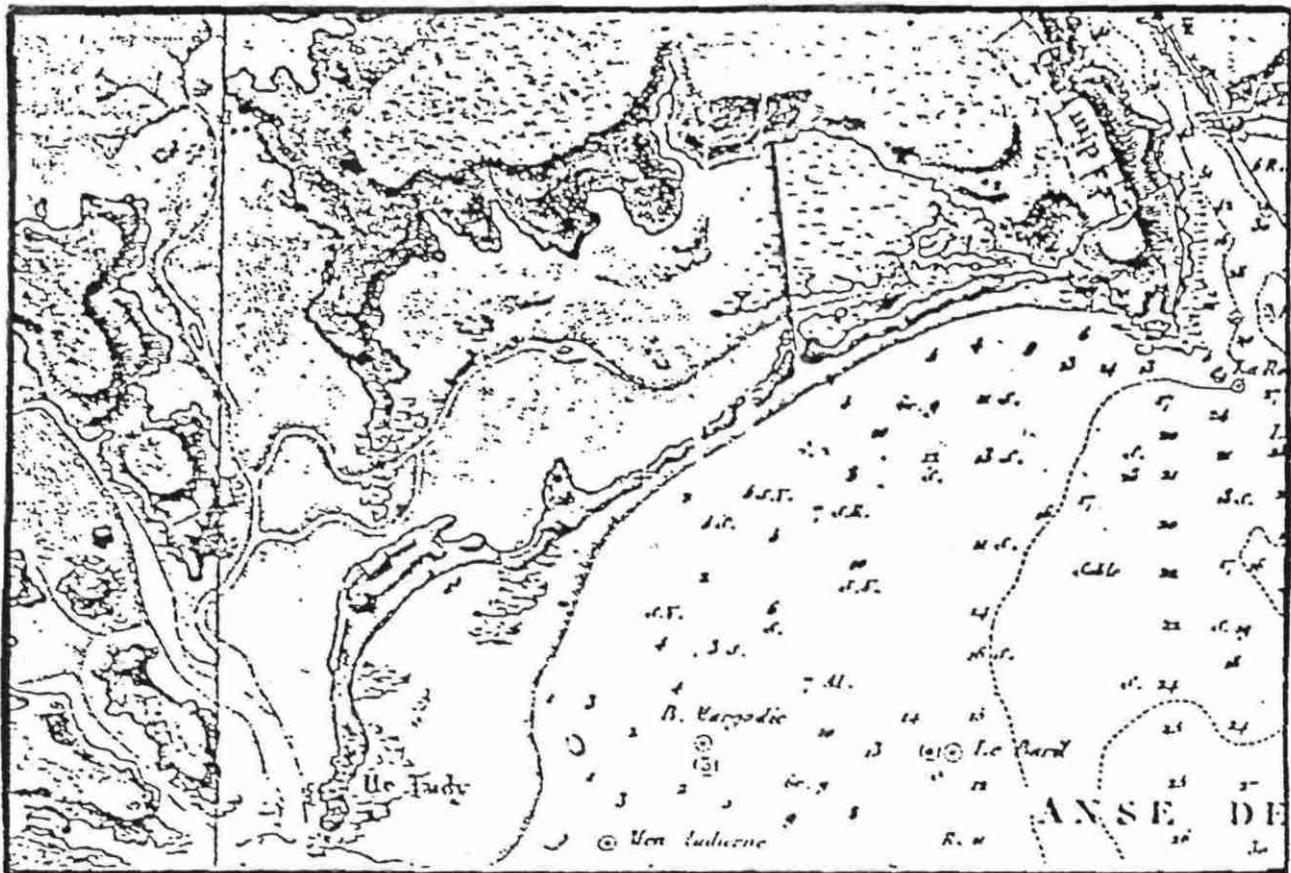


Fig. 8 - Carte de Beautemps - Beaupré (levés de 1818-1819).

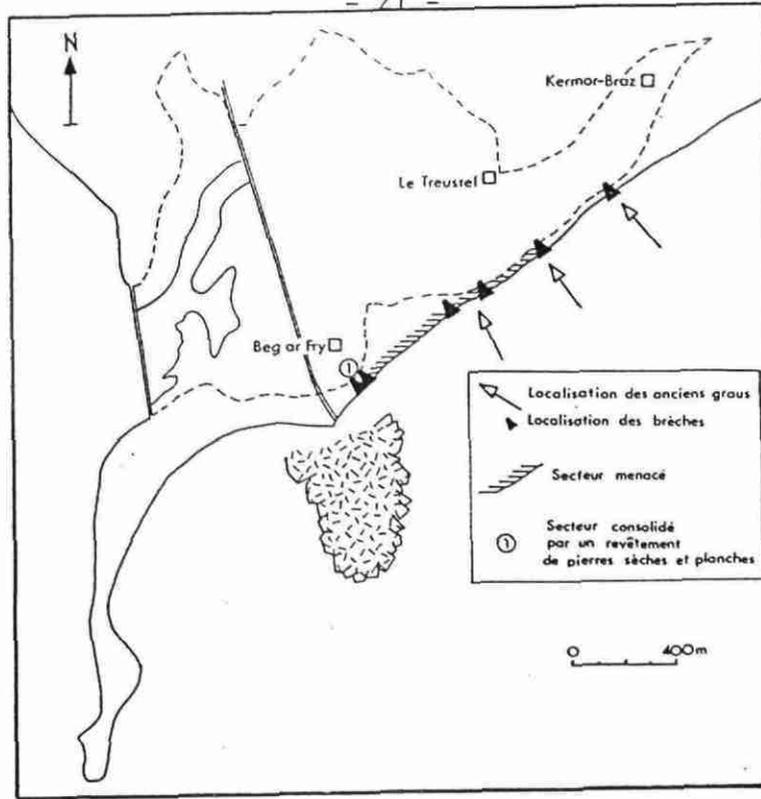


Fig. 9 - Carte des brèches survenues en 1865 et 1896 (in Morinière, 1984).

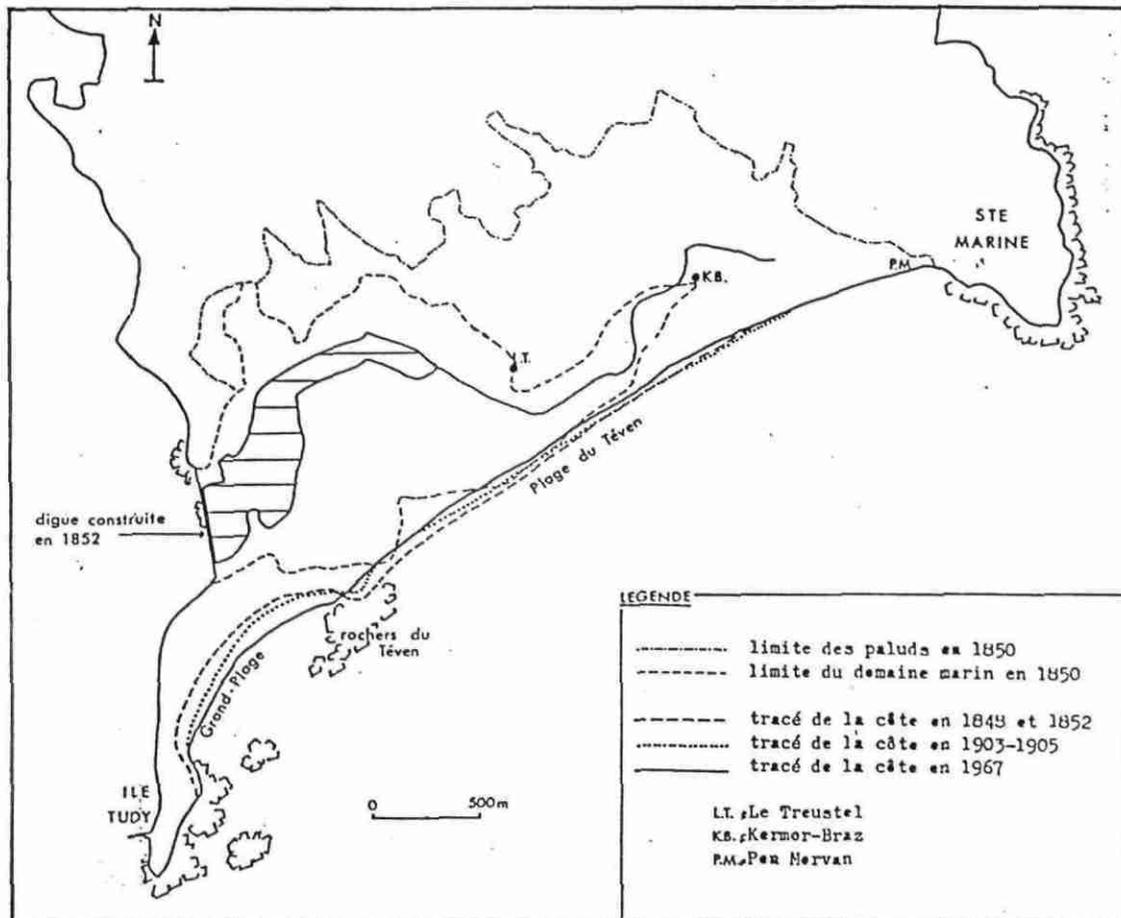


Fig. 10 - Migration du trait de côte (d'après Fisher, 1976).

date	principaux dégâts	localisation	protections entreprises
1830	-3 brèches déjà observables en 1789 (fig 3) interrompent le cordon	Le Treustel (fig 5)	colmatage en 1852
4 oct. 1865	-5 brèches ouvertes lors d'une tempête	entre le Treustel et Beg ar Fry	remblais par apports de sable
1867	-dégâts probables car subventions de l'état pour réparations (1)		
10 fev. 1879	-1 brèche	Beg ar Fry	dune consolidée par revêtement de pierres sèches sur 40m et de planches sur 75m
1881	-"une rupture est imminente"		
1896	-5 brèches s'ouvrent à nouveau (2)	entre le Treustel et beg ar Fry	remblais
9-10-11 fev.1936	-recul brutal de la dune sur 450m -sur 80m, la largeur de crête passe de 5m à 1,50m	Le Treustel	remblais et fagots d'ajoncs retenus par des piquets en chataigner
fev.1941	-destruction de la dune sur 500m -sur 90m, crête réduite à 1m (3)	Le Treustel	1942: sur 90m, 4 épis en pieux et fascines de 15m de long installés "pour arrêter le déplacement longitudinal des sables sous l'effet de la houle d'Est"
dec.1945	-la mer a franchi la dune et détruit les protections de 1942 -sur 200m, crête réduite à 0,50m	Beg ar Fry Le Treustel	
1951	-"une partie des récoltes est déjà détruite par la mer passant au dessus des dunes"	Ile-Tudy	
1962	-la mer a gagné plusieurs mètres en 48 heures	entre l'Ile-Tudy et Sainte-Marine	déc.1962: construction d'un épi en gabion au Treustel et d'épis en fagots à l'Ile-Tudy (4)
1967	-3 brèches de faible largeur		colmatage 1968 -consolidation de la dune sur 1,25km, secteur ouest -plantations de conifères, gazonnement -pose de ganivelles sur la crête de la dune -dispositif expérimental de contre-plaqué incliné au Treustel 1972 1977 -pose de ganivelles -reprofilage avec du sable de la plage -pose d'escaliers d'accès -plantations (oyats) 1978
12-13 dec.1978	-brèches ouvertes en plusieurs endroits -destruction des protections		
janv-fev 1979	-recul du front de dune de 1,5 à 2m - " " " de 2 à 3m -destruction des protections de 1977-78	Ile-Tudy Téven	-pose de ganivelles et d'escaliers -reprofilage et plantations -remblai argilo-caillouteux entre le Sillons et le Treustel 1980 -pose de ganivelles -plantations: arbustes et oyats -remblai dans les secteurs menacés 1983
22-23 nov.1984	-recul de la dune: 4 à 5m localement -protections et escaliers détruits -remblai réalisé en 1983 détruit	le Sillon et le Treustel	nov.1985 mise en place du dispositif expérimental Cornic

Tableau 1 - Historique des dommages subis par le cordon et des réparations et aménagements établi d'après les publications antérieures (voir bibliographie) et les archives communales.

vers l'Ouest le recul a été important atteignant 80 mètres au droit du Treustel.

Cette évolution n'a pas été constante dans le temps mais s'est effectuée essentiellement par à coups au cours des grandes tempêtes. D'après Sogreah (1976), certaines périodes de "relative stabilité" pourraient être distinguées. Ainsi un recul de 45 mètres en 121 ans se décomposerait de la façon suivante :

- de 1852 à 1941 : un recul de 35 mètres
- de 1941 à 1952 : une avance de 20 mètres
- de 1952 à 1973 : un recul de 30 mètres.

On notera cependant que cette subdivision en grandes phases ne coïncide pas avec la chronologie des tempêtes et des dégâts importants (brèches) occasionnés notamment en 1945 et 1951.

C. EVOLUTION RECENTE DU SITE DE COMBRIT

L'analyse de l'évolution récente du site de Combrit a porté sur un ensemble des renseignements de nature diverse.

L'étude des photographies aériennes, abordée par divers auteurs, a été complétée. Elle a permis la confirmation d'une tendance à un recul d'ensemble de la plage du Teven. On soulignera toutefois les limites de l'interprétation basée sur l'examen de documents ponctuels, pris à des périodes différentes de l'année et sur lesquels la détermination d'une ligne de rivage est parfois incertaine et déterminée au mieux avec une précision de 3 mètres environ.

En réalité, dans l'exemple du site de Combrit, le recul du littoral est estimé d'après la limite de la végétation dunaire ce qui peut conduire à des estimations de recul trop importantes en cas d'apports de sable par le vent sur la dune (ex : photographie IGN de 1948 et estimations de recul de 17 à 20 mètres du recul entre 1948 et 1969, Sogreah, 1976).

L'ensemble des informations disponibles comprenait :

- les photographies aériennes (IGN principalement) de 1948, 52, 60, 61, 66, 67, 69, 78, 82 et 87),
- l'historique des dégâts et des réparations d'après les rapports de divers auteurs (Fisher, 1976 ; Morinière, 1983 ; Dubreuil 1984...) complétés par une enquête locale,
- les levés topographiques établis par Sogreah sur 5 profils entre 1975 et 1979 et par la Société Protection du littoral sur 4 profils de plage entre 1984 et 1987. (Fig. 13, tableau 2),
- les relevés de la Météorologie Nationale concernant les tempêtes.

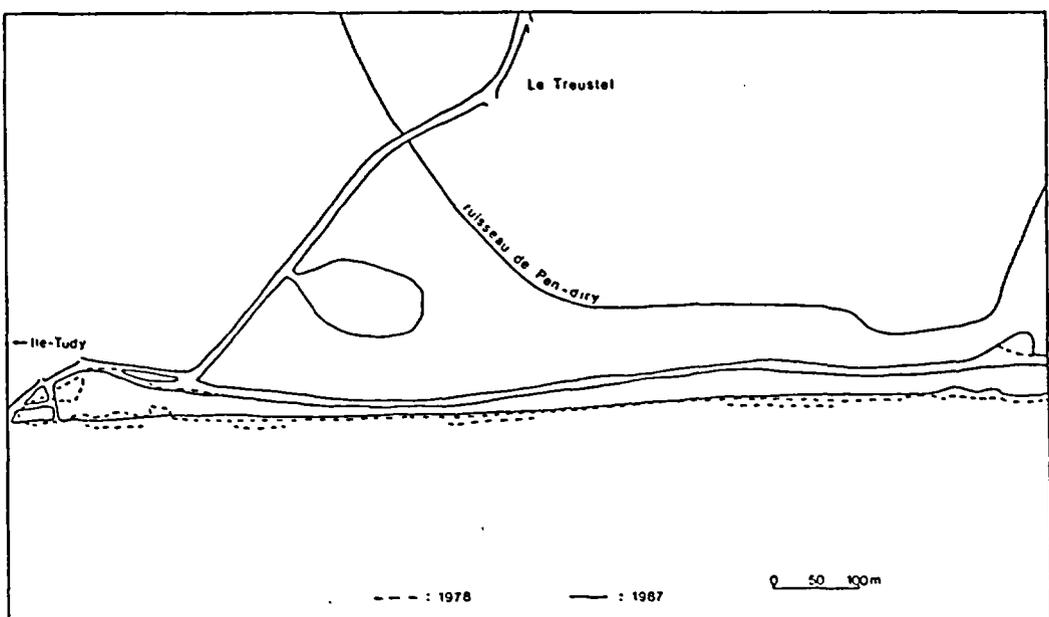
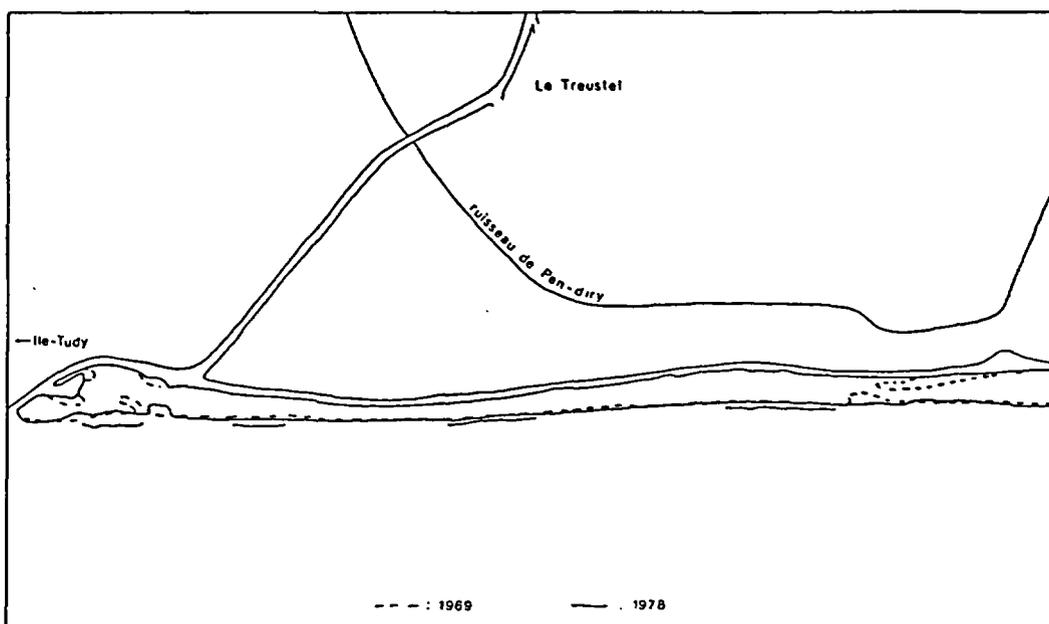
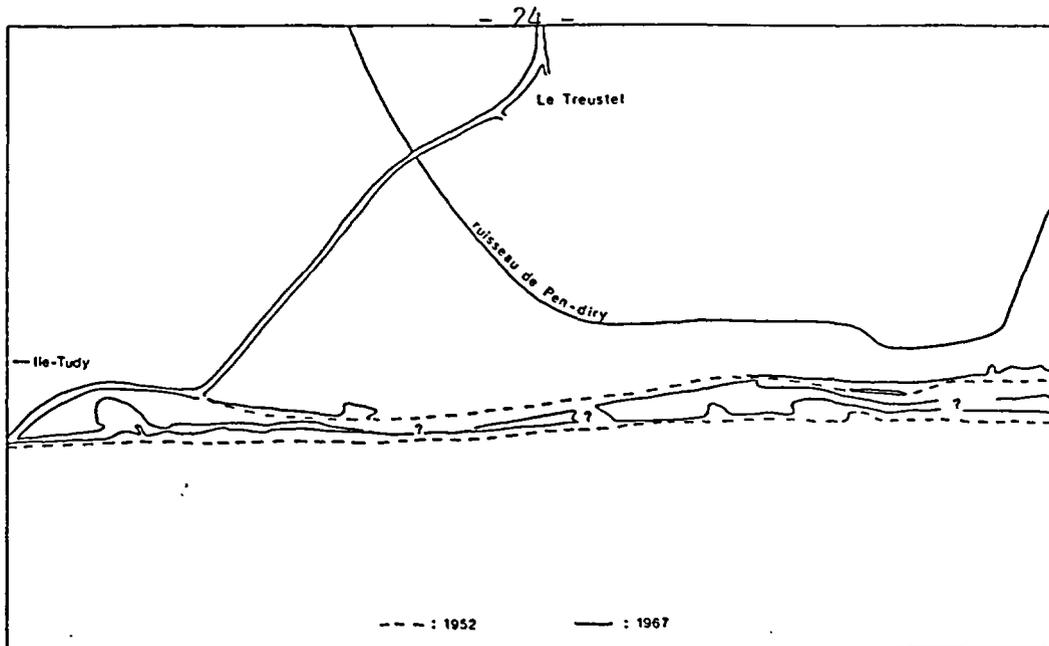


Fig 11.a,b et c - Comparaison de l'évolution du trait de côte en 1962 et 1967, 1969 et 1978, 1978 et 1987 d'après les photographies aériennes de l'IGN.

L'analyse des photographies aériennes a permis de cerner 3 périodes principales au cours des deux dernières décennies (Fig. 11a à c) qui, en premier examen, se corrélaient relativement bien avec des "périodes de tempêtes" (Fig. 12) :

a) 1962 - 1967 : le recul de la côte a été significatif, de 5 à 15 mètres selon les endroits. Ceci doit être principalement lié aux dégradations causées par la fréquentation touristique en très forte progression à cette époque et à la destruction de la végétation dunaire.

b) 1969 - 1978 : la comparaison des photographies aériennes (Fig. 11b) montre une relative stabilité du littoral voire un engraissement en certains points. Ceci peut être lié au régime des tempêtes moins nombreuses, (Fig. 12). Toutefois les travaux de réaménagement entrepris de 1968 à 1972 (Dubreuil, 1984) ont contribué à empêcher la dégradation et à fixer le sable.

A l'inverse, les levés réalisés par Sogreah entre 1975 et 1979 indiquent un léger recul au centre de la plage du Teven (0,30 et 0,90 m) (Fig. 13), plus net à l'est (2m10). Outre le fait que d'aussi faibles reculs ne peuvent être repérés sur la photographie aérienne, ils tiennent compte des effets des tempêtes destructrices de l'hiver 1978-79. En revanche le recul de 15 mètres constaté par Fisher (1976) au droit du blockhaus est moins explicable. Celui-ci se trouvait sur la crête de la dune en 1967 et sur la plage en 1976. Sans doute une érosion très locale et un basculement de l'édifice peuvent-ils expliquer en partie cette "régression".

c) 1978 - 1987 : la tendance est à nouveau au recul d'ensemble, de 5 à 10 mètres, selon les endroits mais ce recul a été limité par divers aménagements. Les tempêtes de l'hiver 1978-79 (décembre et janvier) marquent le début d'une nouvelle période de tempête (Fig. 12). Elles ont causé des dégâts importants avec créations de brèches dans le cordon dunaire et des reculs instantanés importants (2 à 3 mètres localement) avec destructions des aménagements entrepris depuis 1977 (Dubreuil, 1978).

Par la suite, l'hiver 80 - 81 n'a pas connu de tempêtes destructrices et une relative stabilité du trait de côte a pu être notée d'après les observations topographiques (SOGREAH, 1976).

D. EVOLUTION AU COURS DES DERNIERES ANNEES

C'est en 1984 que la situation s'est à nouveau dégradée et que la tempête des 22 et 23 novembre (vent SW-SSW, 108 Km/h, coefficient 109) a occasionné des dégâts et un recul important (4 à 5 mètres) de la dune avec création d'une "microfalaise" importante. Cette observation relativise la signification d'un découpage des reculs en périodes d'évolution, puisqu'il est basé sur l'examen de photographies aériennes qui ne représentent qu'une vue très fragmentaire de l'évolution d'ensemble.

Ce nouveau désordre a motivé la décision d'installation (en novembre 85) à titre expérimental du nouveau système de protection mis au point par M. CORNIC.

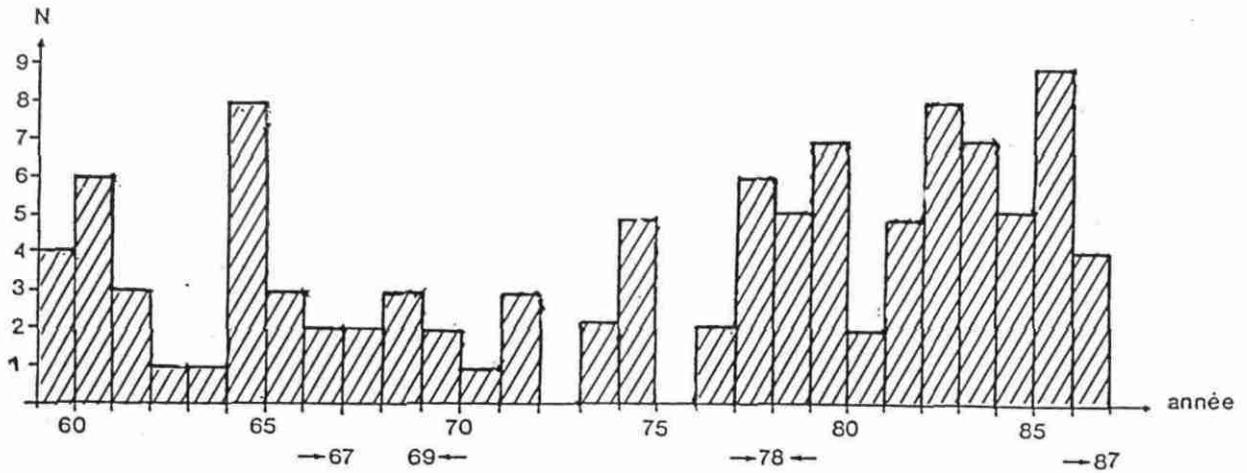


Fig. 12 - Régime des tempêtes enregistrées à Penmarch' entre 1960 et 1987. Noter la correspondance des périodes avec l'évolution générale du trait de côte déduite de l'examen des photographies aériennes. Les "tempêtes" sont les vents dont la plus forte rafale a dépassé 100 Km/h (définition Météorologie Nationale).

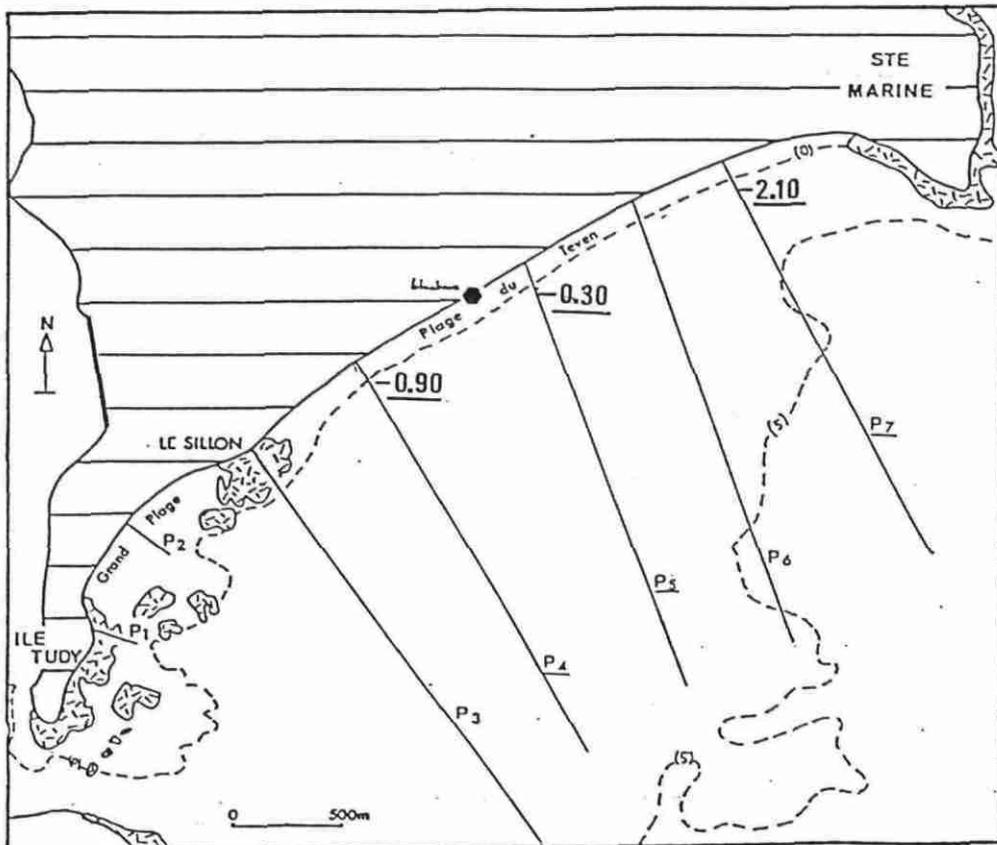


Fig. 13 - Localisation des profils topo-bathymétriques réalisés par la SOGREA et principaux reculs constatés entre 1975 et 1979.

Depuis, quelques profils topographiques simplifiés ont été réalisés sur le secteur protégé à l'initiative de la Société de Protection du Littoral. Les dates exactes des levés n'ont pu nous être communiqués (?), ce qui empêche toute corrélation précise avec les événements météorologiques. En particulier on ne peut savoir si le levé de 1984 a été réalisé avant ou après la tempête de novembre de la même année.

La comparaison des profils (tableau 2) indique :

- une tendance à l'engraissement dans la partie W du procédé (près de l'épi en gabion),
- un léger démaigrissement vers l'E (profil 3) entre 1986 et 1987,
- un fort démaigrissement (entre 84 et 86) à l'E (tempête de novembre ?) puis plus faible entre 86 et 87 (similaire à celui du profil 3).

Si ces variations semblent en faveur d'un rôle positif du procédé notamment dans sa partie ouest, leur interprétation est fortement limitée compte tenu :

- du reprofilage réalisé en 1985 dans la zone protégée lors de l'implantation du système,
- de la possibilité de variations saisonnières significatives du profil dont l'importance ne peut être jugée en l'absence de relevé de date des levés.

Par ailleurs le récapitulatif des tempêtes réalisées depuis l'installation des modules montre (tableau 3) :

- que peu de tempêtes (30 %) avaient pour origine des vents de direction défavorables au site de Combrit,
- que ces tempêtes s'étaient produites en grande majorité (exceptée celle du 7 - 8 octobre 87 de secteur W) par petits coefficients de marée,
- qu'aucun maximum de tempête n'a été noté au moment de la pleine mer.

En conclusion, l'étude historique permet de rappeler ou de montrer :

- que le cordon dunaire dans sa continuité actuelle est une construction artificielle,
- que sa "zone fragile", depuis l'origine, s'est toujours située au centre de la plage du Teven,

Profil	distance (*)	différence en mètre		
		1984-1986	1986-1987	1984-1987
1	5,5	+1,40	-0,65	+0,75
	23,5	+0,35	+0,2	+0,55
	43,5	+0,30	+0,25	+0,55
2	8	+0,85	+0,75	+1,60
	36	+0,50	+0,15	+0,75
	48	0	+0,65	+0,55
3	4	+0,90	0	+0,90
	12	+0,70	-0,50	+0,20
	37	+0,30	0	+0,30
4	8	-1,90	0	-1,90
	24	-2,10	-0,50	-2,60
	34	-0,90	-0,60	-1,50
	59	-0,10	0	-0,10

(*): distance cumulée en mètre depuis la crête de la dune.

(d'après les levés topographiques réalisés à l'initiative de la société Protection du Littoral.)

Tableau 2 - Evolution au droit du Treustel entre 1984 et 1987 d'après les profils établis à l'initiative de la société de Protection du Littoral.

date	vitesse km/h*	direction	coefficient de marée
25-12-85	104	SW	62
02-01-86	140	W	64
05-01-86	108	N	59
23-01-86	119	WNW	55
24-01-86	104	WNW	59
21-04-86	108	WSW	59
25-10-86	104	W	29
22-11-86	108	W	45
23-11-86	101	W	42
08-12-86	108	W	53
15-12-86	104	W	71
16-12-86	101	W	72
18-12-86	122	W	70
19-12-86	115	W	68
19-03-87	104	WNW	92
07-10-87	101	W	107
08-10-87	126	W	107
15-10-87	187	SSE	26
16-10-87	198	WSW	26
11-11-87	115	WSW	45
12-11-87	108	W	40
13-11-87	108	WSW	33

*: Vitesse maximale instantanée.
(données enregistrées à Penmarc'h)

Tableau 3 - Tempêtes recensées depuis l'installation des modules.

- que la tendance générale a été au démaigrissement et au recul le long de la plage du Teven "au profit" d'une stabilité (après un premier recul important) à l'est et d'un engraissement généralisé à l'ouest,
- qu'une certaine corrélation semble exister entre les principales phases de recul d'une part et des périodes de tempêtes plus nombreuses (l'analyse des données météorologiques serait à approfondir),
- qu'une seule tempête, en période dite "calme", peut occasionner d'importants dégâts pour peu que la direction du vent et de la houle, et le coefficient de marée se conjuguent.

III. DYNAMIQUE LITTORALE ET EROSION

A. LES AGENTS DE LA DYNAMIQUE LITTORALE

L'historique de l'évolution du site et des dégâts occasionnés montre qu'à côté des événements catastrophiques existe une évolution plus lente et complexe où interviennent différents facteurs :

1. Les vents :

Ce sont des facteurs d'érosion qui assurent l'évolution morphologique des formations dunaires.

Dans le secteur de Combrit, les données les plus proches proviennent du sémaphore de Penmarc'h. La rose des vents pour la période 1949-1976 indique une prédominance nette des vents forts de secteur W à NW (Fig. 14).

Ainsi le cordon dunaire de Combrit orienté ENE - WSW (Fig. 1 et 4) et relativement abrité au fond de l'anse de Bénodet est-il protégé des vents dominants W à SW (Fig. 14). Toutefois les vents de secteur E à SE sont peu nombreux en été et plus fréquents en hiver. Ainsi les vents du secteur 100 à 120 peuvent-ils attaquer directement la plage au moment où les profils sont amaigris. On peut ainsi leur attribuer un rôle non négligeable dans la déflation et le transport vers l'ouest des sables, mais la résultante générale des vents, orientée vers l'est, détermine une dérive éolienne vers la pointe de Combrit, ce qui explique le renforcement du cordon dunaire dans ce secteur (Fig. 14).

2. Les houles et mers du vent :

Elles sont le principal facteur d'érosion des littoraux meubles du fait de l'énergie qu'elles contiennent et libèrent à la côte. Leurs caractéristiques au large sont déterminées par la vitesse du vent, sa durée et son fetch (longueur de la course du vent sur la mer). Les traits de la géomorphologie côtière peuvent modifier considérablement la propagation de houle à la côte.

Ainsi le domaine péri-littoral dans le secteur de Combrit présente un certain nombre de caractères qui modifient la houle. On notera en particulier, une diffraction importante des houles d'W et surtout de SW au niveau de la pointe de Loctudy. De ce fait, la plage du Teven peut être attaquée directement par les houles de SW malgré sa position relativement protégée (Fig. 15).

Des travaux de modélisation numérique ont été réalisés dans le cadre du projet de port de Moustierlin par le LCHF en 1981. Les plans d'orthogonales de houles établis pour diverses directions, périodes et hauteurs sont cependant délicats à interpréter dans le cas de la plage du Teven en raison des nombreux croisements d'orthogonales provoqués par le plateau rocheux des Glénan et les hauts fonds à l'approche de la côte (Fig. 16 a,b). On observe :

- pour les houles de SSW (T = 7 sec) (Fig. 16b), une concentration des orthogonales dans la partie orientale de la plage du Teven
- pour les houles de SSE (T = 5 sec) une concentration des trajectoires dans le secteur du Sillon (Fig. 16c),

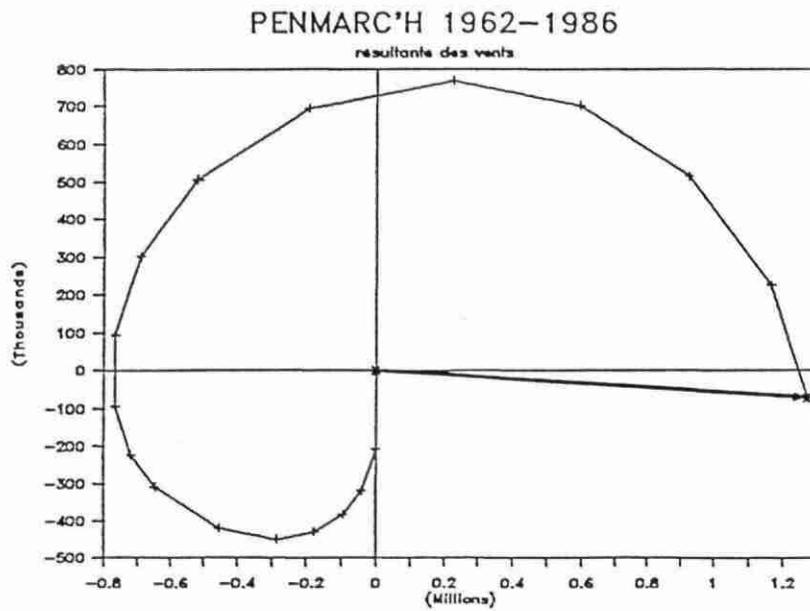
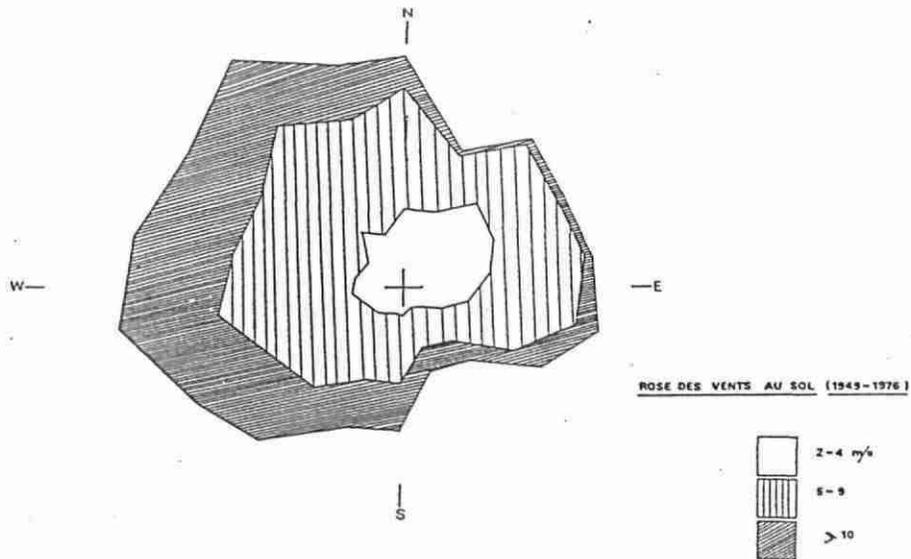


Fig. 14 - Rose des vents au sol relevés à la station de Penmarch¹ entre 1949 et 1976 et diagramme montrant la résultante des vents entre 1962 et 1986 établie à partir de roses mensuelles (explication du diagramme : voir annexe 2).

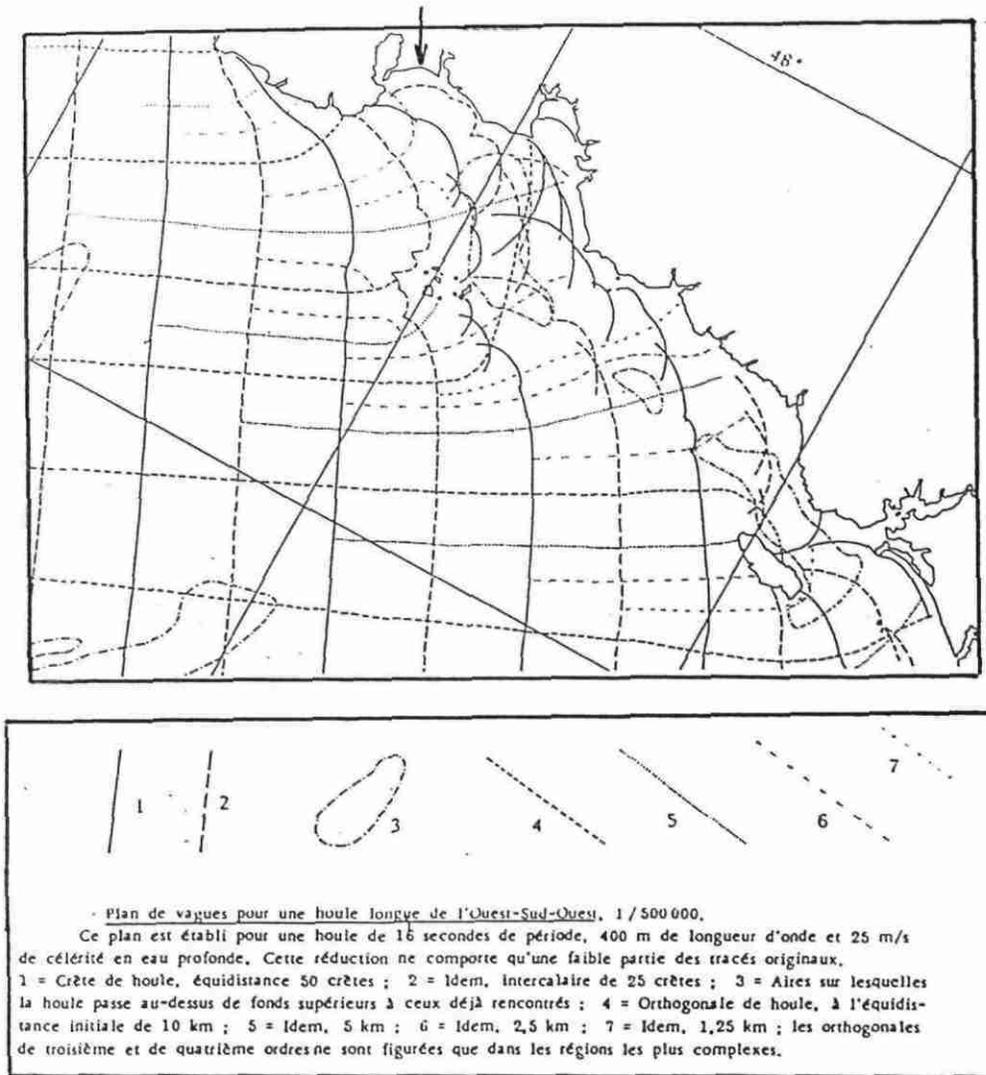


Fig. 15 - Plan de vagues de houles de l'Ouest-Sud-Ouest d'après Pinot (1974). Noter la réfraction de ces houles (direction dominante) au Sud de la pointe de Penmarch' et leur direction parallèle au cordon dunaire de Combricit.

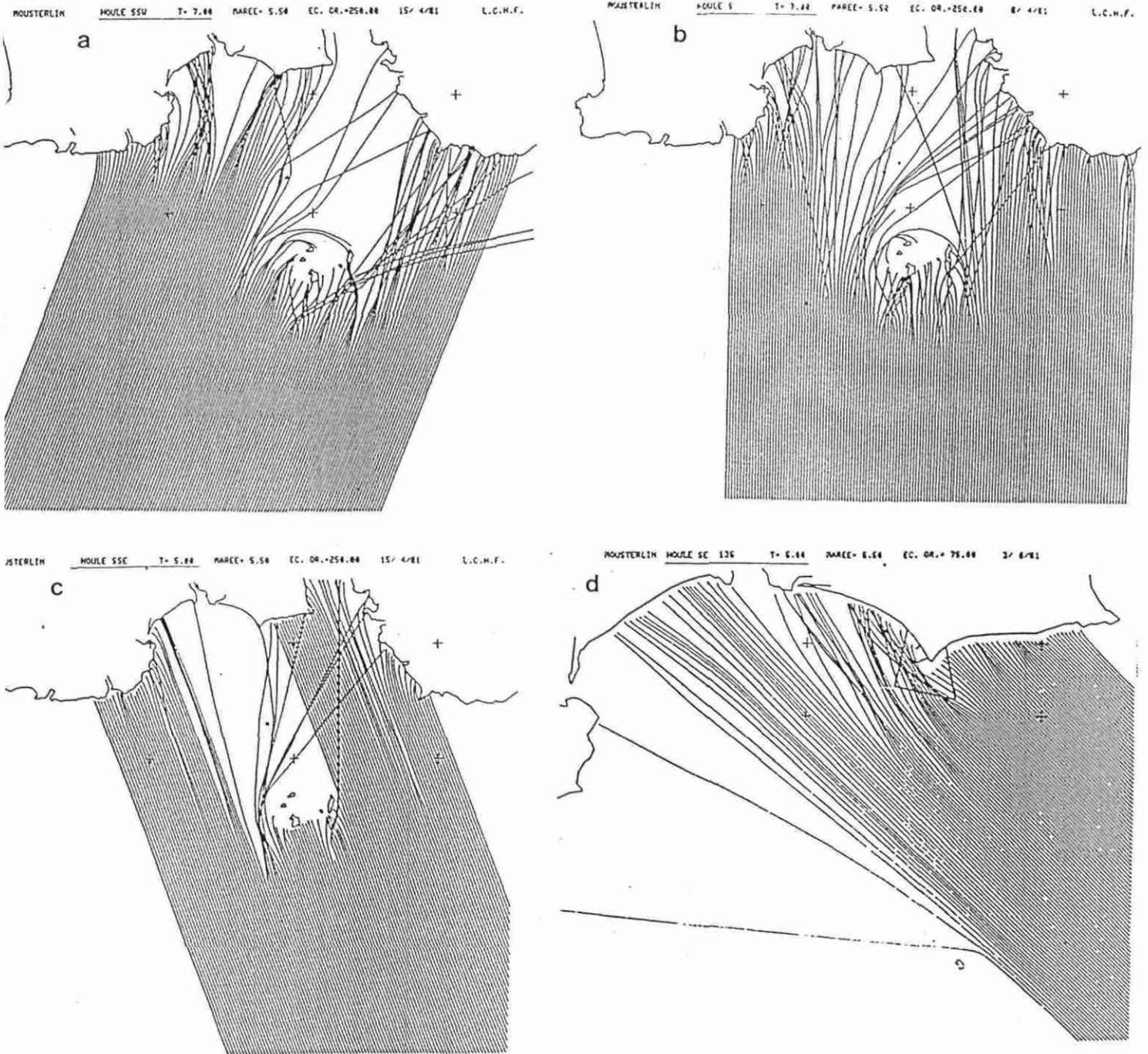


Fig. 16 - a à d - Epures de plan de réfraction des houles (L.C.H.F., 1981). Les nombreux croisements d'orthogonales pour les houles de SW et de S indiquent que la direction et la concentration des houles résultantes dans l'anse de Bénodet est incertaine. Noter l'influence des houles de SE.

- pour les houles de SE (T = 5 sec) une répartition plus large sur l'ensemble de la plage (Fig. 16d).

Il convient d'ajouter que, pour une direction donnée de houle au large, la modification de la période conduit à des changements dans l'incidence de la houle à la côte (orthogonale).

On notera qu'en tenant compte de la prépondérance des houles d'W à SSW, des orthogonales calculées, de leur incidence sur le cordon de Combrit et de l'énergie résultante, on en a conclu à un transit littoral important vers l'Est (LCHF, 1981), à l'inverse de celui déduit de l'évolution géomorphologique du site (voir ci-après).

Il apparaît donc que la modélisation de la propagation de la houle à la côte dans le secteur de Combrit ne permet pas d'analyser précisément son incidence sur l'évolution de la plage du Teven.

Les vagues donnent naissance lors de leur déferlement au jet de rive puis à une nappe de retrait. Les caractéristiques des vagues d'une part et des divers secteurs de la plage d'autre part, induisent des différences dans la direction et la capacité de transport du jet de rive et de la nappe de retrait d'où naissent des figures sédimentaires.

Parmi celles-ci, les croissants de plage (beach-cusps) sont des accumulations de haut de plage avec des crêtes souvent étroites, plus ou moins triangulaires et ouvertes sur le large. Ces croissants se formeraient en période de morte eau plutôt que de vive eau avec des houles parallèles au rivage. De telles formes, de plusieurs dizaines de mètres de longueur d'onde, sont observées (Fig. 3) fréquemment sur le site de Combrit dans le secteur de Pen Morvan tandis qu'elles n'existent qu'occasionnellement (en hiver) au centre de la plage.

3. Les courants de marée :

Ils sont relativement bien connus en surface mais leurs caractéristiques au niveau du fond sont plus incertaines. Fortement canalisés par l'embouchure de l'Odet et la ria de Pont l'Abbé, ils doivent être moins efficaces au niveau de la plage. Les thermographies semblent indiquer que les courants divergent le plus souvent du centre de la plage vers les extrémités (CNEXO in Hallégouët et Moign, 1977). Sur les thermographies, on observe une dérive des courants de jusant vers l'ouest au niveau des estuaires de l'Odet et du Pouldon représentant une influence de la déviation due à la force de Coriolis. Au niveau de la plage du Teven les courants de marée n'ont pas d'incidence sur le déplacement des sables.

B. LES TRANSITS SEDIMENTAIRES ET LES CAUSES DE L'EROSION

Du fait des caractères du site de Combrit et de son avant-côte, divers phénomènes de dynamique sédimentaire peuvent coexister :

1. Le transit littoral :

IL est lié à la période, à l'amplitude et à l'obliquité de la houle par rapport au trait de côte ainsi qu'à la nature des sédiments de la plage. Du fait des changements possibles de la direction des houles dominantes, de la pente plus élevée de l'avant plage, le secteur E. de

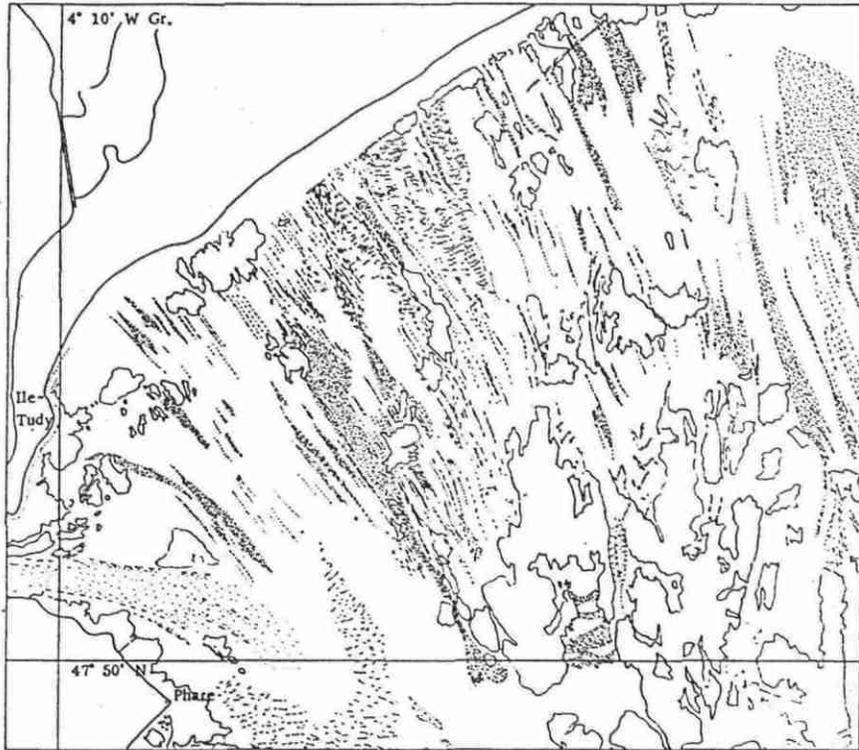


Fig. 17 - Localisation des traînées de sable grossier sur l'avant-plage entre Combrit et l'Ile Tudy (Pinot, 1974).

la plage du Teven est celui où la plus grande part de l'énergie de la houle est supposée être dissipée selon le L.C.H.F. (1981)(in Morinière (1983)).

A l'inverse, l'évolution historique du système dunaire indique un transfert important de matériel sédimentaire de l'est vers l'ouest.

Ainsi, les conclusions divergent sur la direction du transit littoral selon que l'on examine les critères géomorphologiques ou sédimentologiques d'une part, les modélisations et les bilans d'énergie d'autre part.

Dans la réalité il est vraisemblable que le transit littoral est variable en intensité et direction. Cependant, à long terme, la résultante des actions qui se conjuguent (houles, courants) doit être orientée vers l'ouest.

2. Les transits perpendiculaires au rivage :

Ils sont liés aux courants de retour naissant de l'afflux important d'eau à la côte lors du déferlement et que l'on subdivise en :

* courants d'arrachement (ou undertow) engendrés en l'absence de dérive littorale marquée. Ils sont caractérisés par "une série de veines étroites et peu épaisses cheminant au ras du fond sous la masse d'eau animée par une houle d'un mouvement général vers la côte" (Delanoë et Pinot, 1975);

* courants de refend (rip current) plus fréquemment observés, sont des courants très localisés, formés par deux dérives littorales convergentes.

Au large de la plage du Teven, différentes missions photographiques aériennes ont permis de mettre en évidence des traînées de sables grossiers et coquilliers perpendiculaires au rivage. Delanoë et Pinot (1975) ont mis en relation ces traînées avec l'existence de courants d'arrachement susceptibles, lors des tempêtes hivernales, de transporter les particules les plus fines en laissant un pavement plus grossier.

De telles traînées ont été observées au droit du Treustel en contrebas de la zone sensible de la plage du Teven (Fig. 17).

La signification exacte de ces traînées et l'importance des courants à l'origine de ces formes ne peuvent être complètement précisées. Elles suggèrent néanmoins l'existence d'une dynamique sédimentaire perpendiculaire au rivage pérenne.

Cependant selon une étude du L.C.H.F. (in Morinière, 1983), les courants de fond perpendiculaires seraient surtout dirigés vers la côte, les courants de retour s'effectuant à profondeur intermédiaire .

A l'évidence des données plus détaillées de courantologie font défaut pour pouvoir juger :

- de l'importance du transit sédimentaire vers le large,
- de la dynamique de la plage sous-marine où certaines levées sédimentaires (parallèles à la ligne de rivage) ont été notées (Sogreah, 1976),

- de l'influence éventuelle des extractions de sable effectuées au large (estimée à 2,5 millions de m³ durant les derniers 50 ans) et arrêtées en 1980.

Conclusions de l'analyse des agents de la dynamique côtière et de l'évolution historique.

Bien que mal définie au niveau de l'anse de Bénodet, l'influence des agents de la dynamique côtière peut être appréciée d'après la morphologie :

- l'installation du cordon dunaire reflète l'existence d'une dérive littorale est-ouest important qui a permis cette construction, malgré l'existence d'une dérive éolienne orientée en sens inverse sur le haut-estran;

- ce cordon était instable puisqu'il a nettement reculé à l'est près de la pointe de Combrit. Néanmoins le stock de sable, constitué à l'abri de la pointe rocheuse était tel que, tout en diminuant de largeur, le cordon a pu se maintenir dans ce secteur. La pente sous-marine plus forte à l'est traduit une plus forte agressivité des houles dans ce secteur;

- à l'ouest, les pointements rocheux sur l'avant plage du Sillon ont servi de point d'appui à une accumulation sédimentaire importante. Ces pointements rocheux ont contribué à freiner les courants et abriter le secteur de la Grand-Plage.

Ces deux points d'ancrage rocheux sont reliés par un cordon fragile et mince, qui n'a été définitivement constitué que grâce à l'action humaine. Il n'y avait pas suffisamment de matériel sédimentaire en transit et de dépôt dans ce secteur. Par ailleurs l'absence de barre rocheuse sur l'avant côte n'a pas permis la constitution d'une forme naturelle suffisamment large et protectrice pour l'arrière-pays au droit du Treustel.

Au gré des tempêtes conjuguées à de forts coefficients, d'importants retraits instantanés du stock sédimentaire peuvent être effectués et directement évacués vers la zone infratidale. La fragile construction établie au niveau du Treustel par une dynamique sédimentaire variable ne pouvait résister d'une manière naturelle à ces "prélèvements".

C'est l'action de l'homme qui a permis la fermeture complète du cordon et c'est cette action qui a également permis son maintien jusqu'à ce jour.

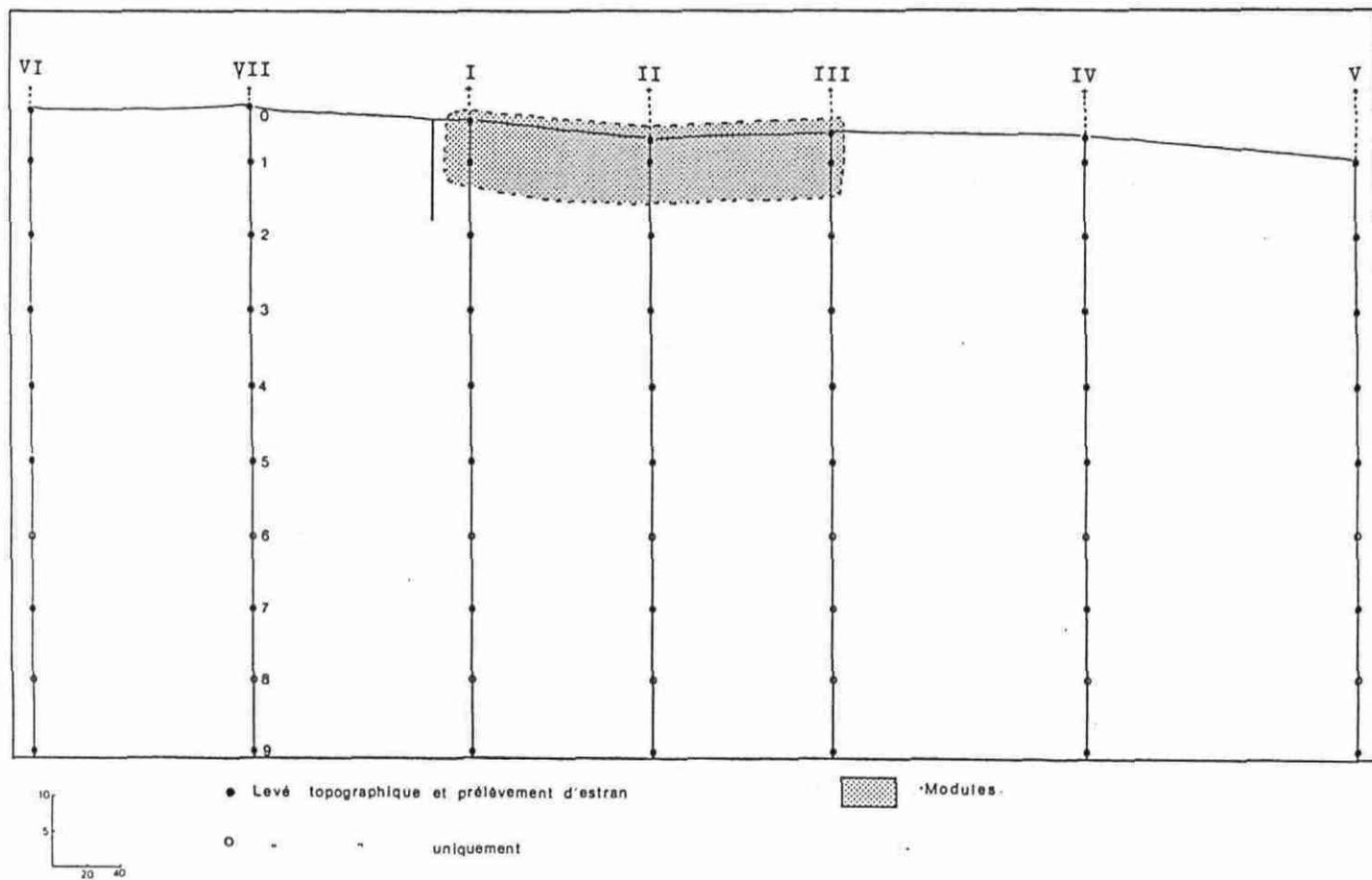


Fig. 18 - Carte de positionnement des échantillons et des points de relèvement topographique. Noter la différence entre les échelles longitudinales et transversales (x 4).

IV. SUIVI DU PROCEDE CORNIC (Déc. 1987 - Mai 1988)

A. PRECISIONS SUR LES LEVES

Les levés topographiques et les prélèvements d'échantillons ont été réalisés le long des sept profils sélectionnés lors de la visite du site (Fig. 2, 18); les profils I, II et III concernent la zone où a été appliqué le procédé Cornic et se superposent aux profils antérieurs réalisés par la Société de Protection du Littoral.

1. Topographie :

Lors de chaque levé, le profil topographique (réalisé par le cabinet Le Guellec de Pont L'Abbé) a été effectué, à l'exception de celui du 22 12 87, en tenant compte des éventuelles ruptures de pente et selon un quadrillage fixé. Ce plan de mesures comprenait le levé d'un point tous les 10 mètres en haut de plage et tous les 20 mètres en bas de plage (Fig. 18).

Les levés topographiques ont été fournis sous forme de graphiques à l'échelle du 1/500 pour les distances et du 1/100 pour les hauteurs.

Les conclusions des levés seront discutées dans les chapitres suivants en se basant sur :

- .. la cartographie du bilan "sédimentologique" (variations topographiques en plus ou en moins par rapport à la visite précédente) (Fig. 21-1 à 6)
- .. les profils de plages le long des deux profils extrêmes (V et VI) et du profil central (II) pour 4 levés (Fig. 22).
Les levés intermédiaires n'ont pas été reportés sur ces figures afin de conserver une bonne lisibilité.

Par ailleurs, les planches photographiques illustrent par des vues d'ensemble (planche I) ou des points particuliers (planche II) les principales conclusions présentées.

2. Sédimentologie :

Le quadrillage retenu pour la topographie a été celui également utilisé pour les prélèvements de sédiments à la surface de l'estran. Toutefois des prélèvements systématiques n'ont pas été réalisés lors de chaque visite du site mais ont été répartis de la façon suivante :

- 22 12 87, 20 01 88 et 17 05 88 : prélèvements de sédiment à chaque point de tous les profils,
- 03 02 , 17 02, 22 03 et 19 04 88 : prélèvements limités aux points du profil II et à tous les points situés à 20 mètres de la crête de la dune sur les autres profils.

Après lavage et séchage à l'étuve, les sédiments ont été passés dans une colonne de tamis normalisés (de 8 mm à 0,05 mm : AFNOR).

Les caractéristiques granulométriques ont été analysées en construisant les courbes cumulatives rétrogrades. Ces courbes prennent en compte le total des classes granulométriques. Elles permettent de bien évaluer l'influence des sédiments grossiers, les premiers déposés.

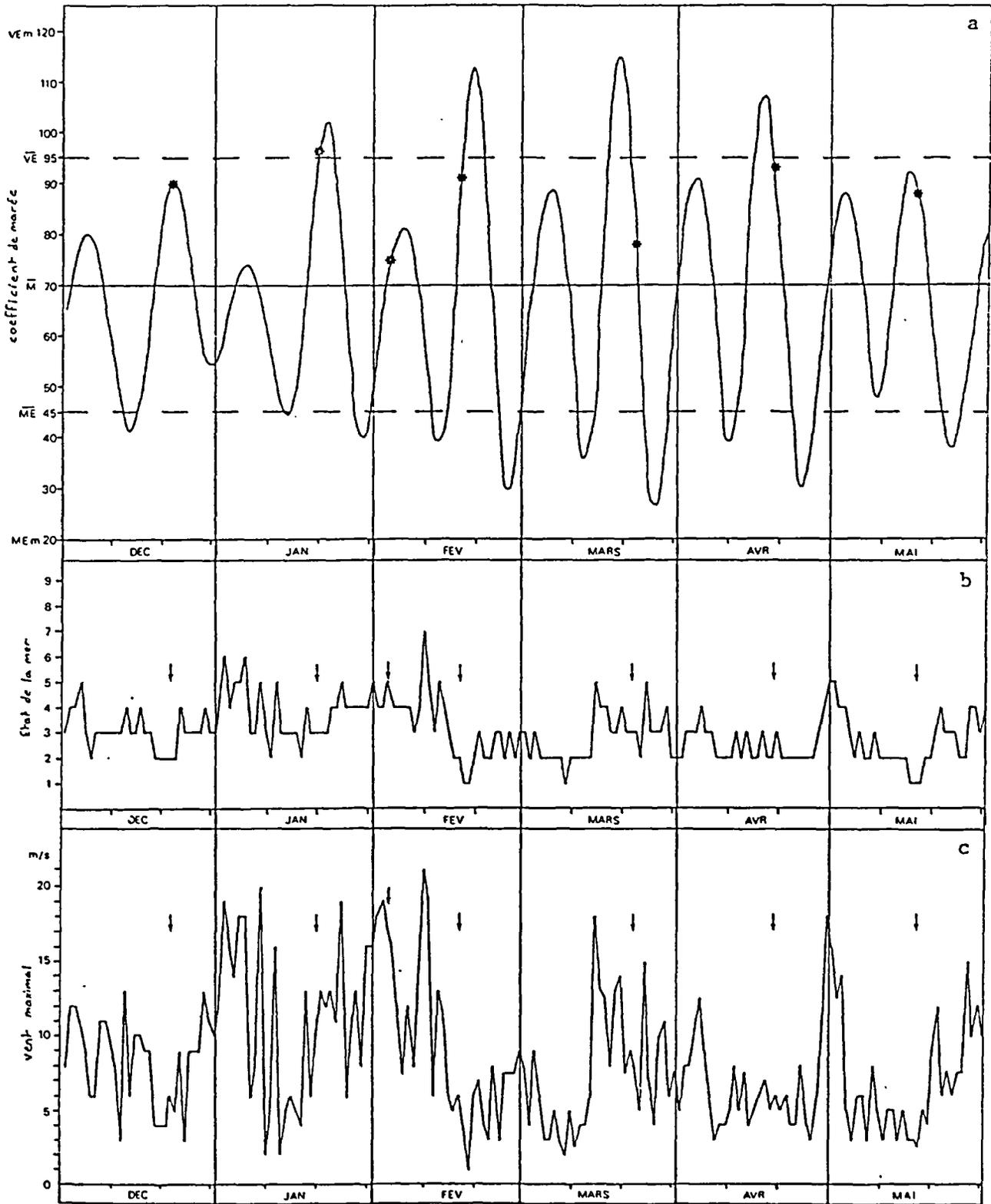


Fig. 19 - Diagramme montrant les conditions météorologiques durant les levés et la "représentativité" des levés (flèches et astérisques).

A partir de ces courbes ont été déterminés :

- la médiane qui est le diamètre moyen des grains tel que 50% du poids de l'échantillon est constitué de particules plus grandes et 50% de particules plus petites;

- l'indice de mauvais triage de Task déterminé à partir des mêmes courbes granulométriques selon la formule suivante:

$$S_o = \sqrt{Q_{.75} / Q_{.25}}$$

où $Q_{.25}$ = diamètre du grain qui a pour ordonnée (poids cumulé) : 25%

$Q_{.75}$ = diamètre du grain qui a pour ordonnée : 75%.

Plus S_o croît, plus le sédiment est hétérométrique ou mal classé.

Les résultats des données sédimentologiques seront analysés en examinant :

- .. les variations longitudinales du grain moyen à 20 mètres de la crête de la dune (Fig. 23)
- .. les variations transversales le long du profil II (Fig. 24)
- .. la cartographie du grain moyen de l'estran lorsque des prélèvements complets ont été réalisés (Fig. 25).

B. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET OCEANOGRAPHIQUES LORS DU SUIVI

L'analyse des conditions hydroclimatiques lors du suivi a porté sur la vitesse et la direction des vents ainsi que sur l'état de la mer.

1. Les Vents :

Les données mensuelles du sémaphore de Beg-Meil (Fig. 1) concernant les vents maximum par période de 8 heures ont été reportées sous forme de diagrammes indiquant la résultante (cf. annexe 2). Cette résultante traduit la direction du bilan des déplacements théoriques engendrés par transport éolien.

Les roses des vents représentent sous une autre forme la répartition statistique des vents en force et direction.

L'histogramme de la figure 19 ne concerne que les vents maximaux enregistrés lors de chaque journée; il montre ainsi les différentes phases de vents, fort ou faible, durant la période du suivi et permet d'analyser la représentativité des levés par rapport à ces phases.

Les diagrammes de résultante des vents montrent des régimes contrastés de vent d'un mois à l'autre (cf. annexe 2) :

- décembre : vents forts de secteur ESE à SW,

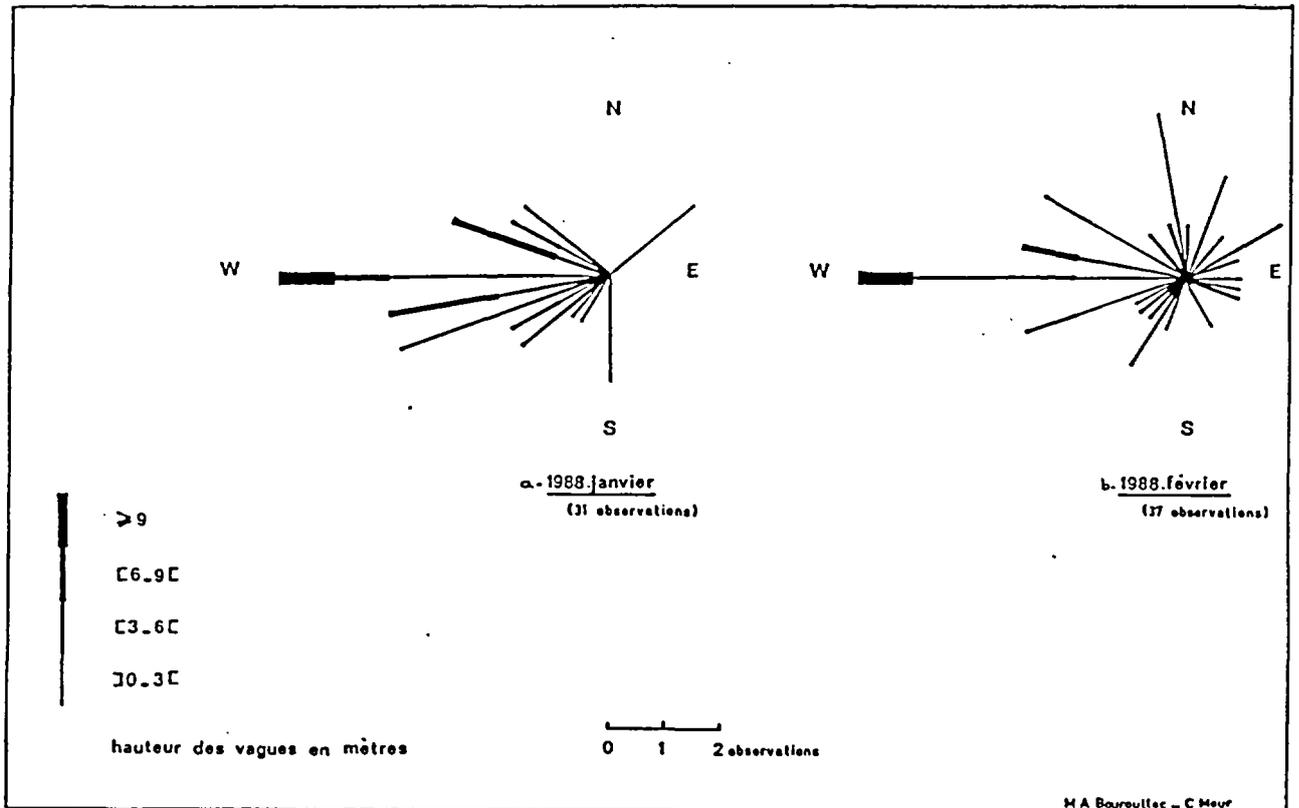


Fig. 20 - Roses des houles pour janvier et février 1988, établies d'après les informations transmises par les navires au large, au Centre Météorologique de Guipavas.

- janvier : vents forts de secteur W à SW,
- février : vents moyens de secteur W à SW,
- mars : vents moyens de secteur W à WSW,
- avril : vent faible de secteur W à E,
- mai : vent moyen de secteur W à SW.

2. L' Etat de la Mer et les Marées :

une analyse identique peut être réalisée pour l'état de la mer et les coefficients de marée également reportés sur la figure 19.

L'histogramme de l'état de la mer a été également établi d'après les observations du sémaphore de Beg-Meil. Il montre clairement que la période la plus agitée a été celle s'étendant de janvier à mi-février, laquelle a coïncidé avec la période des mortes eaux ou de vives eaux peu importantes (20 janvier).

On rappelle que les degrés d'estimation de l'état de la mer correspondent aux amplitudes estimées des creux de vagues soit :

- pour une mer de force 2, des creux de 0.1 à 0.5 mètres,
- " " " " " 4, " " " 1.2 à 2.5 "
- " " " " " 6, " " " 4.0 à 6.0 " .

La compilation des observations de houles par les navires au large a montré la prédominance des houles d'ouest durant la période de vent maximal (en janvier et février) (Fig. 20).

On notera que les levés de la période hivernale (janvier et février) ont été réalisés au moment de la période de revif (avant les plus hautes mers). Ceci implique que les modifications les plus importantes sur le haut estran ont pu intervenir immédiatement après les levés et n'ont été constatées que 15 jours après. A la fin-janvier et au début février, les coefficients les plus forts n'ont été que de peu supérieurs à celui du jour du levé (différence de la hauteur de marée théorique : 11 à 14 centimètres). Par contre le niveau de haute mer a été supérieur de 50 centimètres après le levé de la mi-février. Par ailleurs il est à souligner que les observations réalisées à la fin mars traduisent l'influence de deux périodes de fort coefficient (Fig. 19) et donc l'action de la mer à deux reprises sur la partie la plus haute de l'estran. Toutefois seule la période de vives eaux de la mi-mars a été accompagnée de vents assez forts.

C. EVOLUTION ENTRE LEVES SUCCESSIFS

1. 22/12/87 : situation au début du suivi

Au mois de novembre 1987, un rechargement de la plage a été effectué par la mairie de Combrit du fait du découverture des modules entre les profils I et II. De ce fait, nous n'avons pu réaliser des comparaisons précises avec les profils topographiques antérieurs (1987 ?) fournis par la Société de Protection du Littoral (limités à quelques points de relèvements). Une comparaison simple indique un démaigrissement (30 à 50 cm) sur la majeure partie des profils 1 et 3 depuis l'installation des modules et le premier levé (22 12 87). Ce démaigrissement explique l'apparition des filets en décembre 1987 (Planche II-5).

Le premier levé topographique indique l'existence :

- d'une continuité entre le haut de plage et la dune au centre (Fig. 22-2),
- d'une microfalaise vers le haut de plage à l'Est (Fig. 22-3),
- d'une rupture de pente forte au niveau de la dune à l'ouest (Fig. 22-1).
- d'une différenciation nette, à l'ouest et au centre, entre un haut-estran et un bas-estran, la limite se placant à 35 mètres environ de la crête de la dune. Les deux parties de la plage se différencient par leurs pentes respectives de 12-15° et 2-3°. Cette distinction est moins nette à l'est, du fait de l'augmentation de la pente et de la réduction de la largeur de l'estran.

La cartographie du grain moyen (Fig. 25-1) montre la prédominance du sable moyen à grossier en haut de plage, notamment dans le secteur aménagé, et un passage net aux sables fins sur le bas-estran qui est d'une grande uniformité granulométrique. L'existence d'une bande transversale de sable moyen, mal trié, au niveau du profil I (Fig. 23-1, 25-1) est liée à un écoulement différent de l'eau vers le large du fait d'une rupture de pente plus proche de la crête de dune sur ce profil. La distribution sous forme de "lentilles" dans le secteur protégé (P.I à P.III, Fig. 25-1) peut être due à une reprise progressive des matériaux rechargés au préalable.

Les principales figures sédimentologiques observées lors de ce levé initial étaient :

- des croissants de plage (beach-cusps) de 25 à 30 mètres de longueur d'onde, plus marqués à l'est,
- de rides d'oscillations parallèles au rivage sur le bas-estran pouvant traduire une attaque frontale de la mer.

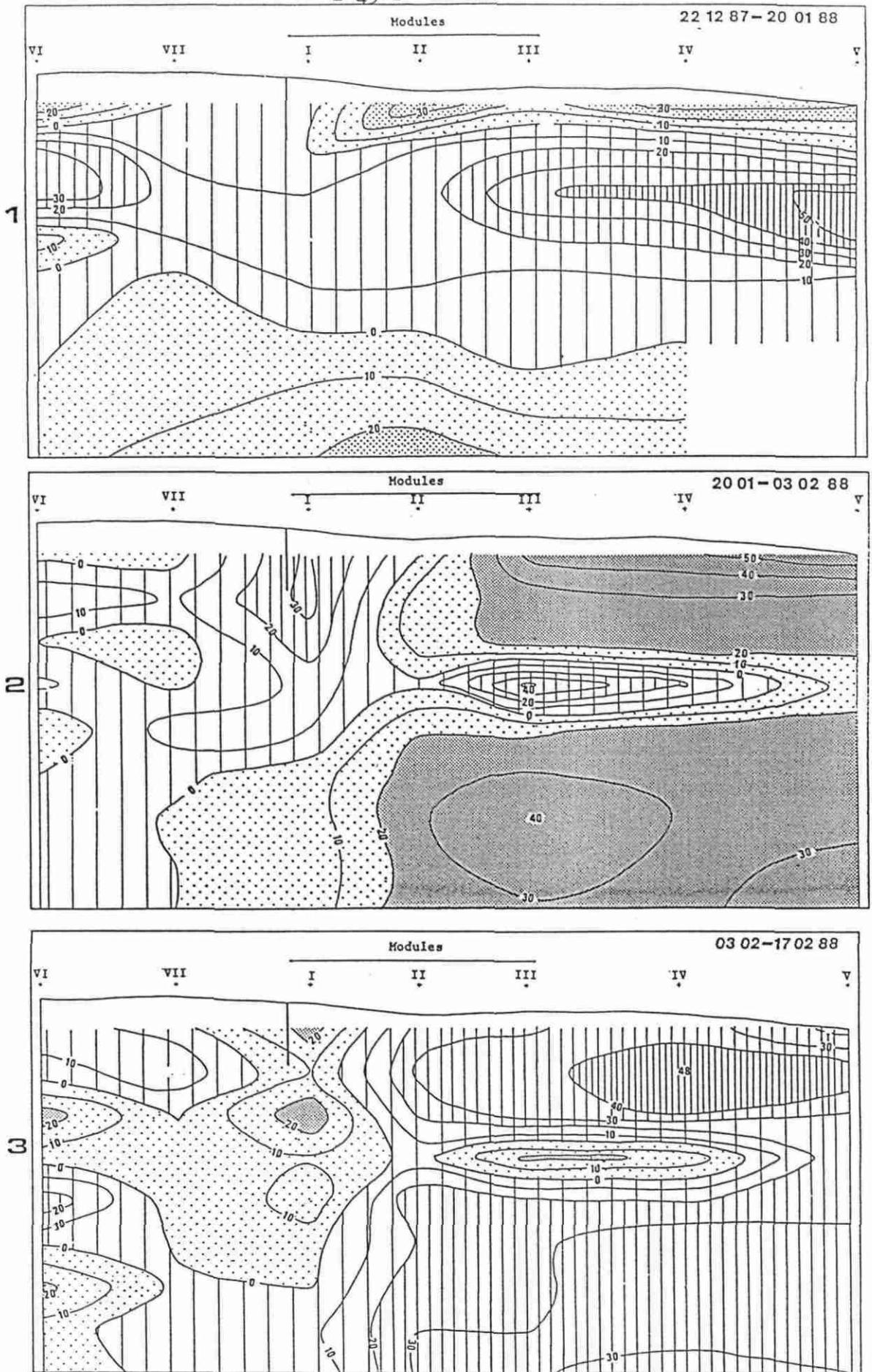


Fig. 21 - 1 à 6 - Bilans sédimentologiques (importance de l'accumulation ou de l'érosion en centimètres) entre deux levés successifs. Localisation des mesures et échelle : voir Figure 18.

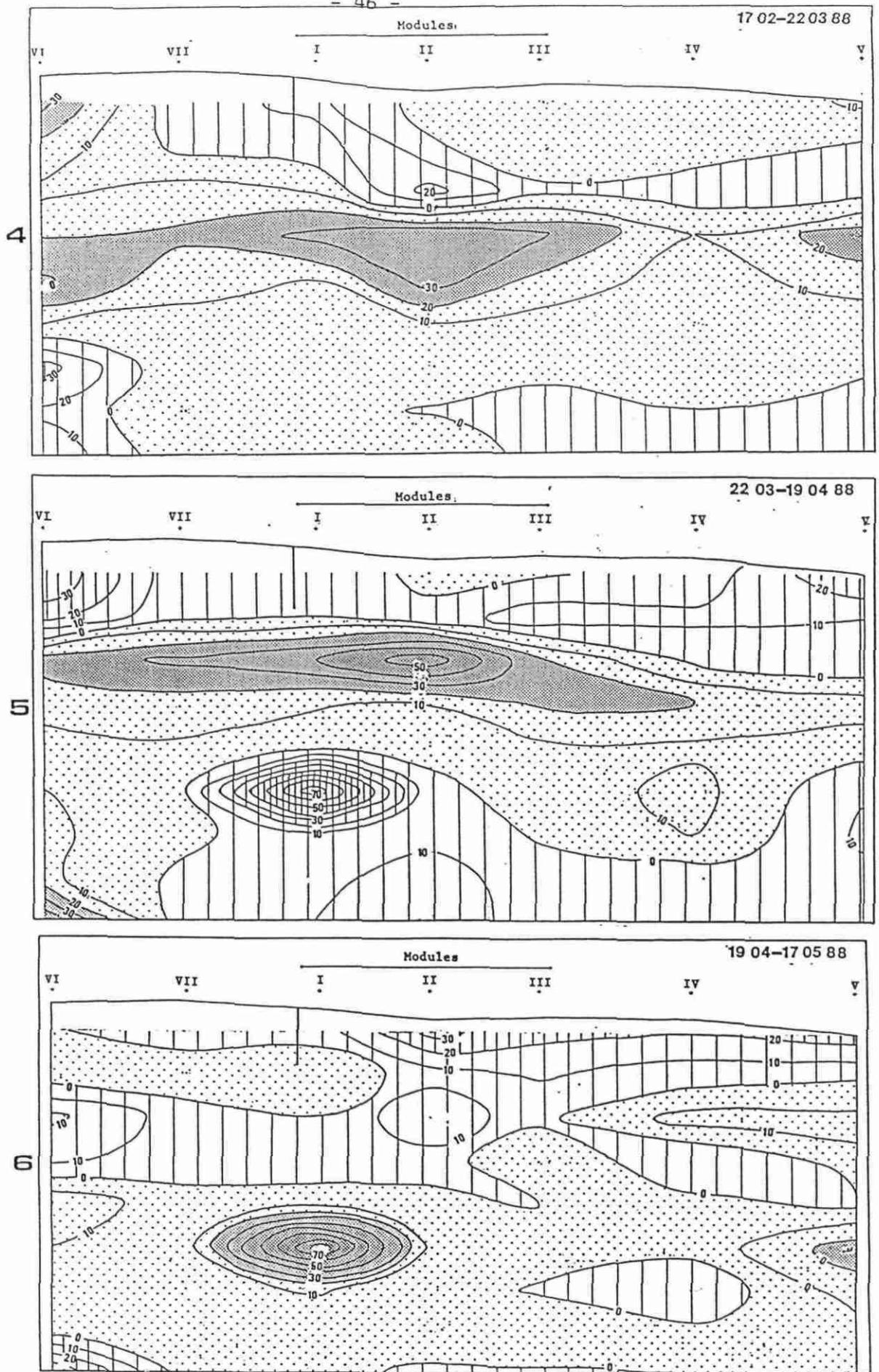


Fig. 21 - Suite

2. 20/01/88 :

La période du 22/12/87 au 30/01/87 a été caractérisée par des vents forts de WSW durant la première quinzaine de janvier; toutefois, ceux-ci se sont produits durant une période de coefficients de marée assez faibles (Fig. 19).

Réalisés au moment des plus hautes marées de janvier après une période calme, les levés montrent (Fig. 21, 22) :

- un engraissement en haut de plage à l'exception de la zone à l'ouest de l'épi en gabions comprise entre les profils I et VII. Les houles et les vents susceptibles d'engendrer un transit vers l'ouest ayant été assez rares, il faut donc supposer soit l'existence d'une réfraction importante de la houle, soit des apports éoliens;

- un démaigrissement général de la partie inférieure du haut estran en partie lié à l'existence d'un chenal d'écoulement des eaux (entre les profils VI et VII); ce démaigrissement est moins net entre les profils VII et II. Ce démaigrissement explique l'apparition du niveau de tourbe à l'ouest de la zone étudiée (Planche II-4).

La cartographie du grain médian montre une reprise du matériel sur le haut-estran par rapport au mois précédent (Fig. 25-2) avec un sable plus grossier que précédemment dans le secteur du profil I, ainsi qu'à la jonction entre bas et haut estran.

Les variations granulométriques longitudinales (Fig. 23-2) et transversales (Profil II, Fig. 24-2) montrent la reprise du matériel et son homogénéisation dans la partie centrale.

Le fort gradient de triage (Fig. 23-2) s'explique par un remaniement éolien assez important, les sédiments bien classés étant pauvres en particules fines et les mal classées ayant subi un dépôt de ces particules fines après une première sédimentation.

3. 03/02/88 :

Du fait des vents forts de la fin janvier, un levé "intermédiaire" a été réalisé au début février par coefficient moyen (Fig. 19).

Le bilan sédimentologique (Fig. 21-2) montre un remaniement très important et très contrasté de l'estran :

- à l'ouest : modifications légères, notamment comblement du chenal d'écoulement,

- à l'est : accumulation importante sur le haut et le bas estran et érosion entre les deux parties. Cette "érosion" s'explique en bonne partie par la présence d'un chenal d'écoulement décalé par rapport au levé précédent, à proximité du profil III (Planche I).

- une érosion importante près de l'épi en gabions.

Ces changements topographiques concordent avec ceux de la granulométrie qui montrent (Fig. 23-3) :

- un gradient de sable plus grossier de l'est vers l'ouest,
- une homométrie très marquée et constante des sédiments.

Les courbes granulométriques cumulatives sont en général symétriques et montrent, pour les profils III, IV et V, une partie centrale quasi rectiligne et des inflexions identiques aux extrémités qui témoignent d'une sédimentation rapide par excès de charge.

Les caractères granulométriques témoignent donc d'une diminution des capacités de transports vers l'ouest, c'est à dire de l'existence d'un transit littoral vers l'ouest.

Les conditions météorologiques précédant le levé ont été caractérisées par un tempête de SW (Fig. 19) et des houles de même direction.

On doit donc conclure d'après ces observations :

1. à la possibilité d'un transit littoral significatif vers l'ouest en présence de houles de SW contrairement aux conclusions de l'étude du LCHF (1981), ce qui confirmerait que des phénomènes complexes de réfraction et/ou diffraction se produisent au large.

2. que la dynamique sédimentaire a été complexe dans le secteur de l'épi, puisqu'au lieu d'un dépôt plus important à l'est, susceptible de se produire en cas de transit E-W, c'est une érosion significative que l'on observe. Il apparaît donc difficile d'appréhender un rôle "d'épi" que pourrait éventuellement jouer les modules en position haute au niveau du profil I et ce malgré les contrastes observés (Fig. 21-2) de part et d'autre de la zone protégée.

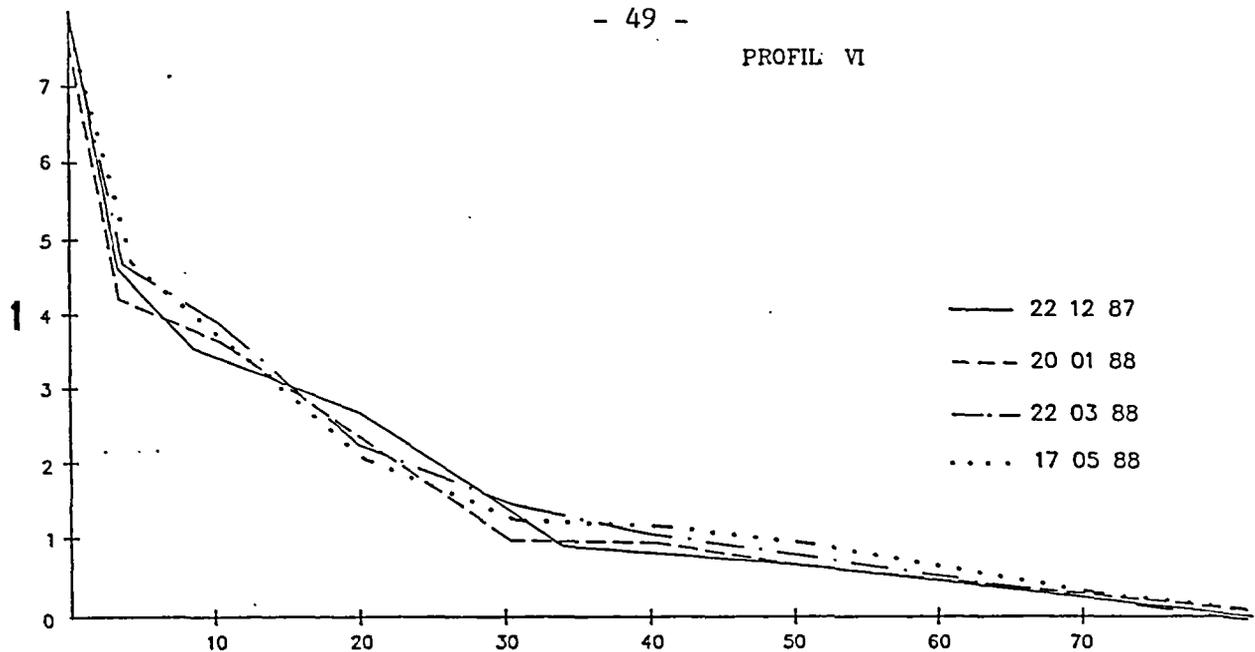
4. 17/02/88 :

Après une période de quinze jours de mauvaises conditions météorologiques, un levé a été réalisé par coefficient assez fort en période de revif (avant les plus forts coefficients de vives eaux) (Fig. 19). Il montre à nouveau des changements significatifs et un réajustement important par rapport au levé précédent.

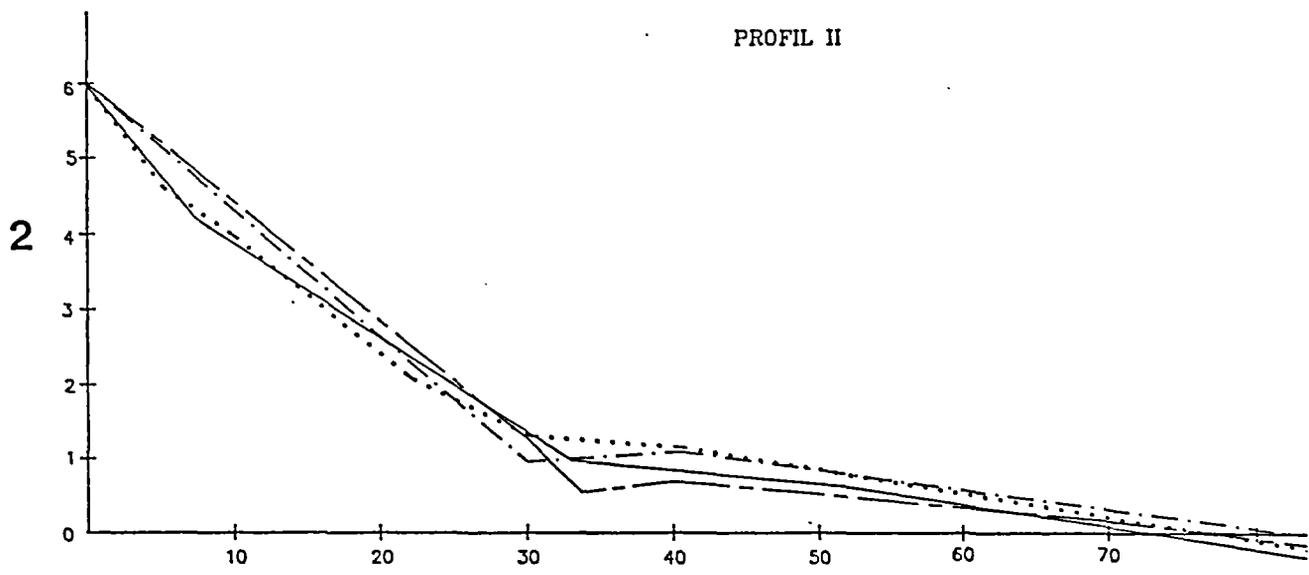
Le bilan sédimentologique (Fig. 21-3) présente une image presque inverse par rapport à celle du 3/02 (Fig. 21-2).

La période intermédiaire ayant été caractérisée par des vents de NW (tempête) à WSW, il est peu probable que des houles significatives aient affecté le littoral de Combrit. On peut conclure à une homogénéisation par une mer très agitée, des "irrégularités" précédemment créées (voir Planche I).

PROFIL VI



PROFIL II



PROFIL V

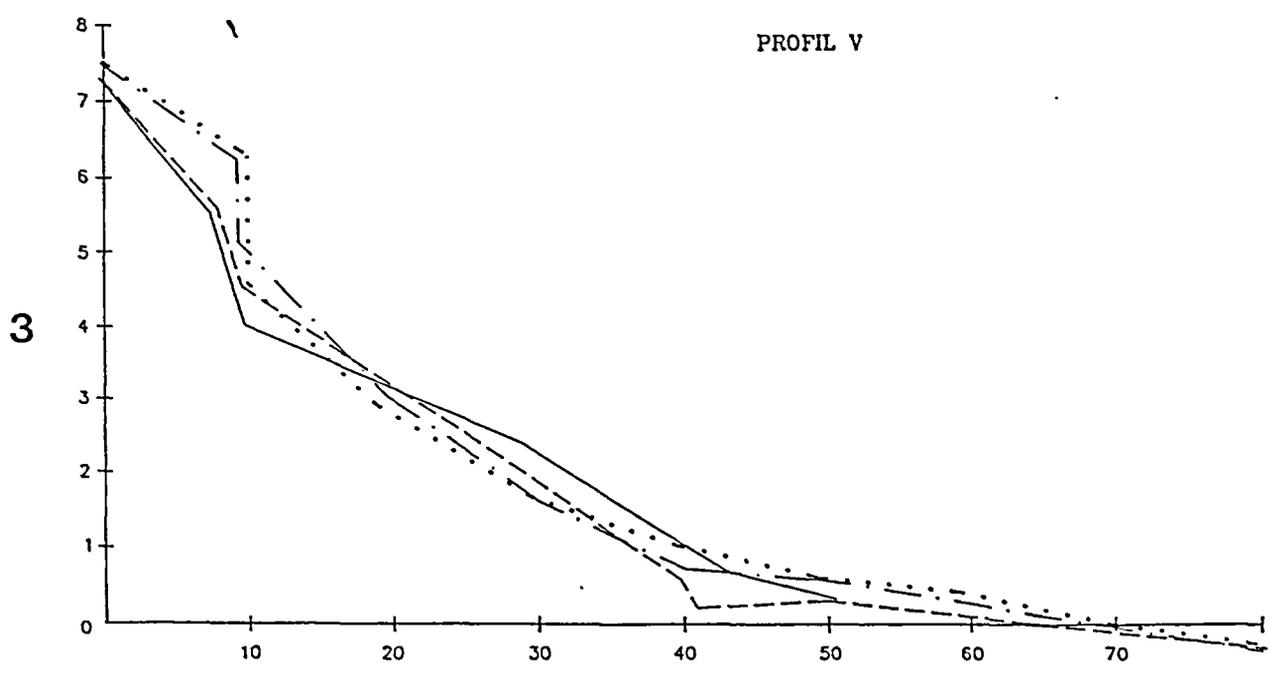


Fig. 22 - 1 à 3 - Profils transverses montrant les variations topographiques le long du profil central (II) et des profils latéraux (V et VI) lors de quelques levés.

Cette homogénéisation se retrouve dans la granulométrie du haut estran où l'on n'observe plus de gradient vers l'ouest. Le triage des échantillons est constant et bon (Fig. 23-3). Seul le secteur près de la pointe de l'épi en gabions se caractérise par des sédiments un peu plus grossiers et corrélativement par une agitation plus forte.

L'évolution de la granulométrie des sables le long du profil II (Fig. 24-3) montre une diminution importante de la médiane du haut estran reflétant l'homogénéisation de cette zone du fait de l'agitation de la mer et/ou de l'efficacité d'apports éoliens, plus fins, par des vents soufflant sur le haut-estran parallèlement à l'orientation de celui-ci.

5. 22/03/88 :

Après une période d'hiver calme de fin février au 10 mars, les vents de WSW à SW ont été plus forts et la mer plus agitée avant et au moment des marées d'équinoxe. Réalisé après ces marées, le levé du 22/03 ne montre pas de bouleversements majeurs et une prédominance de l'accumulation. Néanmoins, quelques changements importants ont été relevés :

- la topographie est surtout marquée par l'existence de deux systèmes d'écoulement des eaux en bas de plage, et notamment d'un chenal assez profond entre bas et haut estran en contrebas du secteur protégé (voir planche II-1,3 et chapitre suivant). En bordure de ce chenal, la partie haute du bas estran est caractérisée par une zone d'accumulation, plus élevée, (Fig. 21-4, 22-2) de quinze mètres de large sur 200 mètres de long environ, encadrée par deux chenaux perpendiculaires (Planche II-3).

Ces écoulements différents coïncident avec la position du procédé; ils témoigneraient donc de l'influence de celui-ci sur les circulations d'eau et les phénomènes de compaction de sable en période de haut niveau des eaux.

La granulométrie du sédiment atteste des changements intervenus et de la plus forte agitation dans la partie centrale où les sédiments sont les plus grossiers comme cela était le cas au mois de janvier (cf. Fig. 23-2, 23-5. Vers l'est, le triage était moins bon (échantillons IV-2 et V-2 : Fig. 23-5) sans doute en raison des apports éoliens dus au vent de SW ayant soufflé le jour du levé.

Afin d'apprécier la réalité de la dynamique sédimentaire, dont la complexité était apparue au cours des levés précédents, un ensemble de briques plates et légères ont été posées le 20/03, avant les plus forts coefficients, sur trois profils. Bien que les vents furent relativement faibles et la mer peu agitée durant les deux jours avant le levé, seules deux briques sur les 27 déposées furent retrouvées légèrement à l'est de leur site de dépôt. Par la suite, ce n'est que deux mois plus tard que les débris de briques ont réapparu sur l'estran.

En l'absence de mesures par traceurs, fort coûteuses, cet essai bien que peu significatif du fait du faible nombre de briques retrouvées, montre l'existence à ce moment d'une légère dérive vers l'est mais aussi d'une dynamique importante du transport vers l'avant-plage.

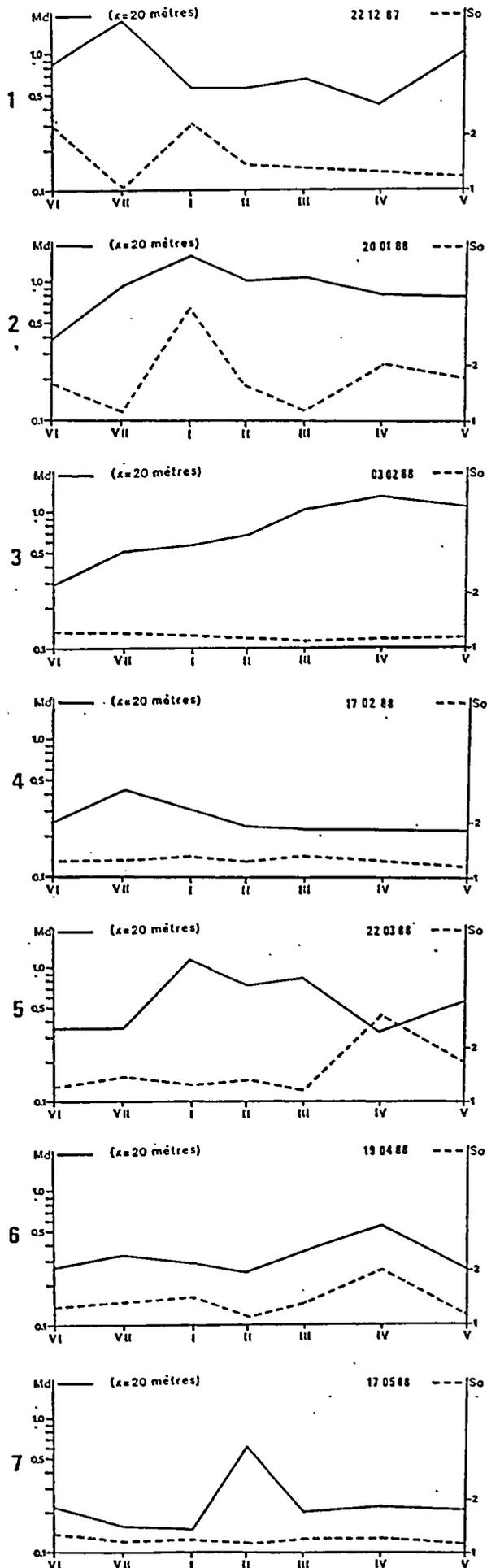


Fig. 23 - 1 à 7 - Variations longitudinales, à 20 mètres de la crête de la dune du grain moyen (Médiane : Md) et du triage des sédiments (Indice de Trask : So).

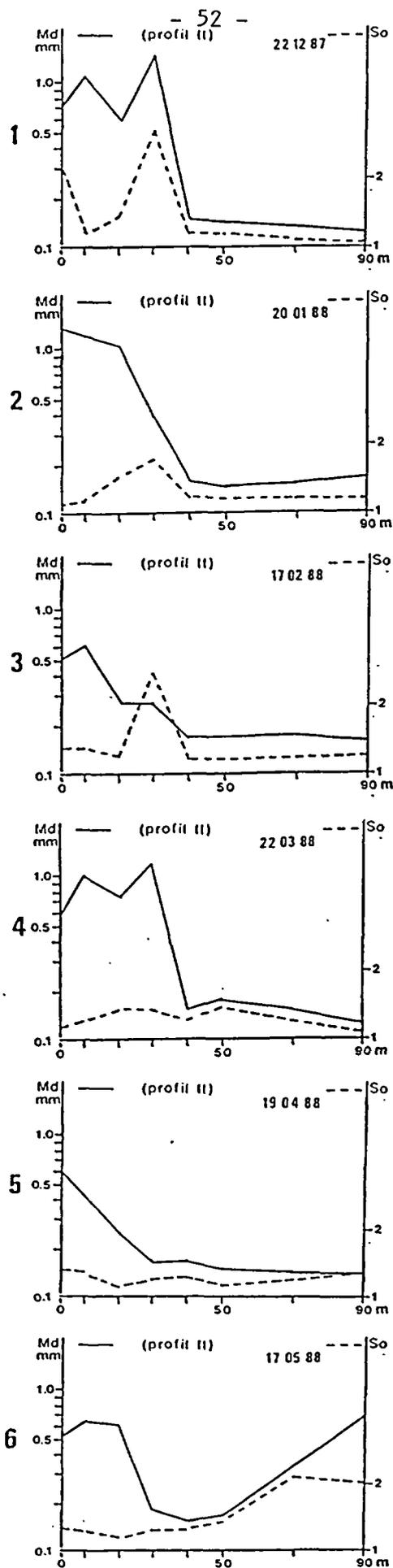


Fig. 24 - 1 à 6 - Variations le long du profil Central (Profil II) du grain moyen et de l'indice de mauvais triage des sédiments.

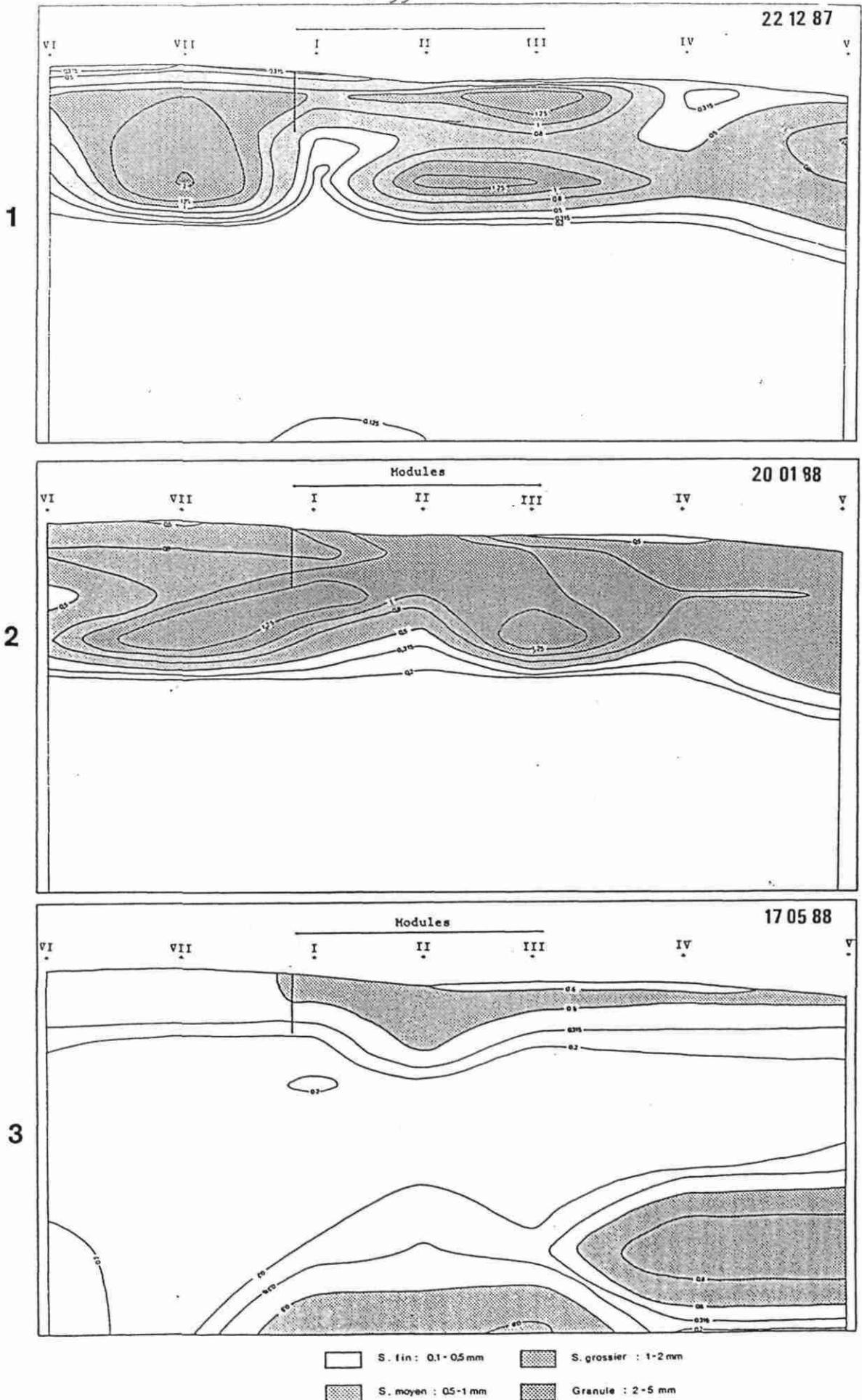


Fig. 25 - 1 à 3 - Distribution spatiale des grains moyens réalisée à partir des levés sédimentologiques complets (voir Fig. 18). Noter la différence entre le haut-estran à sable moyen à grossier et le bas-estran très homogène à sable fin ainsi que l'évolution et les échanges haut/bas-estran entre l'hiver et le printemps.

6. 19/04/88 :

Le début de la période de printemps et le mois d'avril ont été marqués par un changement du régime des vents et une prédominance des vents des secteurs est à nord-est au détriment de ceux du secteur ouest (Annexe II-5). C'est également au cours de ce mois que les vents de sud ont été les plus fréquents.

Le bilan sédimentologique est caractérisé par des modifications sensiblement parallèles au rivage (Fig. 21-5) :

- un démaigrissement en haut de plage, fort à l'ouest, faible voire nul dans le secteur des modules (profils II et III),

- une accumulation à la limite entre le bas et le haut estran, marquant le comblement du chenal d'écoulement des eaux. Cet engraissement s'est produit au détriment du bas-estran, amaigri, situation inverse à celle observée le mois précédent.

Le léger démaigrissement du haut estran est accompagné d'une diminution de la taille du grain moyen (Fig. 23-6). La légère augmentation du grain moyen au niveau du profil IV pourrait traduire l'existence de courants de dérive convergents, engendrés par temps calme. Ceux-ci provoqueraient localement une accumulation de sédiments (in Morinière, 1983).

7. 17/05/88 :

La période avril-mai a été dans l'ensemble calme avec une seule période de vent fort de SW à WSW de la fin avril au début mai (Fig. 19).

Le bilan sédimentologique montre (Fig. 21-6) :

- un démaigrissement se poursuivant en haut de plage même dans la zone des modules (profils II et III) (Planche II-6),

- une relative stabilité entre le haut et le bas-estran,

- un engraissement du bas-estran, plus important dans le secteur démaigri auparavant.

Ce bilan de la dynamique sédimentaire, engraissement du bas-estran au dépens profit du haut-estran, est bien visible sur les profils transverses (Fig. 22). Ces changements expliquent la "migration" vers le haut de la plage de la rupture de pente qui a tendance à s'atténuer.

Ces échanges se traduisent dans la granulométrie du sédiment par :

- une diminution de la taille du grain moyen sur le haut-estran à l'exception du profil II (Fig. 23-6, 24-7),

- une augmentation de la taille du grain moyen sur la partie distale du bas-estran (Fig. 25).

La distribution du grain moyen (Fig. 25) montre un sable plus fin à l'ouest de l'épi en gabions, pouvant suggérer un effet lié à la présence de ce dernier. Toutefois on notera que des sables plus fins

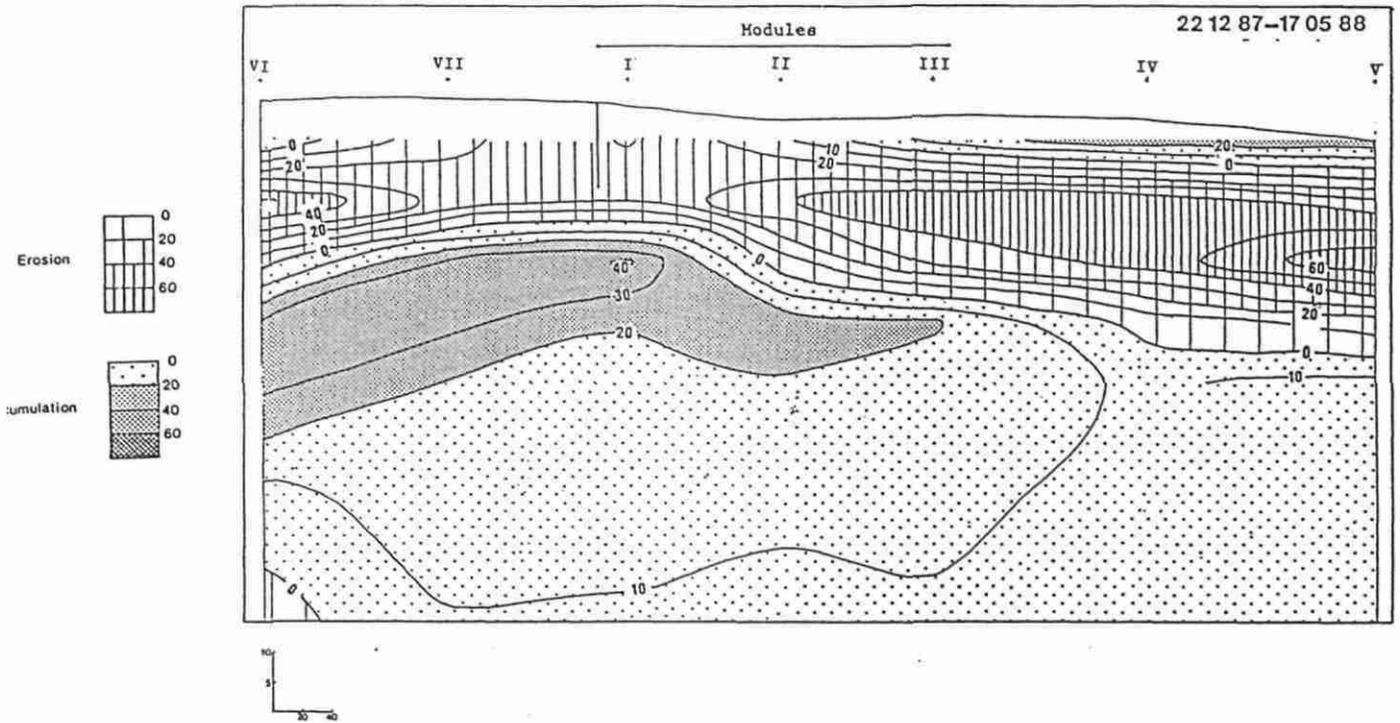


Fig. 26 - Bilan sédimentologique global du 22 décembre 1987 au 17 mai 1988.

sont aussi observés en bas de plage à l'ouest. De plus, l'irrégularité relevée sur le haut-estran, sur le profil II, se retrouve également sur le bas-estran. Ainsi, sans ignorer le rôle qu'a pu jouer cet épi dans la distribution de la granulométrie en haut de plage, les phénomènes observés sont trop étendus pour pouvoir être attribué à cet épi.

La distribution latérale hétérogène peut s'expliquer par une attaque frontale des houles de WSW de la fin avril-début mai, entraînant, outre le démaigrissement d'une partie du bas estran, les différenciations granulométriques entre les divers secteurs ouest, centre et est. Cette attaque se produisant sur des profils de bas de plage différents d'un secteur à l'autre, la dynamique sédimentaire résultante, issue du déferlement, a pu varier très localement.

D. BILAN DE L'EVOLUTION DU 22/12/08 AU 17/05/88

Le bilan sédimentologique global sur six mois (Fig. 26) montre une évolution dans l'ensemble parallèle à la côte, mais avec une différenciation entre les secteurs :

- à l'est, léger engraissement du haut de plage et démaigrissement de la mi-estran le long de la rupture de pente,
- au centre, dans la zone des modules, érosion du haut de plage (notamment près de l'épi en gabions) et engraissement du bas estran,
- à l'ouest, la situation est identique à celle de l'Est pour le haut estran mais l'engraissement est plus important sur le bas estran.

Le solde de ces changements peut être évalué en terme de volume de sédiments, en plus et en moins, entre ces deux périodes en tenant toujours compte de l'imprécision liée à l'interpolation entre les profils.

Sur le territoire examiné, ce solde est positif et le volume de l'apport est de 1 870 m³ ce qui correspond à une couche de 3,5 cm pour l'ensemble du secteur étudié.

Il y a donc eu globalement un engraissement de la plage dans le secteur concerné, à partir de l'avant-plage.

Ce léger engraissement s'est accompagné, au cours du passage de la période hivernale à la période printanière :

- de la diminution du grain moyen sur le haut-estran,
- d'une légère augmentation du grain moyen sur le bas-estran,
- d'une migration vers la dune de la rupture de pente entre le haut-estran et le bas-estran
- d'une atténuation de cette rupture de pente du fait du démaigrissement du haut-estran et de l'engraissement du bas-estran.

Ces évolutions traduisent l'action de houles surtout destructrices ayant mobilisé les sédiments de façon variée au cours de l'hiver

(transit littoral, mouvements dans le profil) et de houles plus constructrices sur le bas-estran au cours du printemps.

Cette évolution se retrouve dans la cartographie des pentes en hiver (20/01) et au printemps (17/05) (Fig. 27). La comparaison des deux situations montre :

- d'une part, les corrélations existant entre les granulométries du haut et du bas estran (sable grossier et sable fin respectivement) et leur pente respective (12 à 17 % et 1 à 3 %). Par ailleurs, le secteur central à plus forte pente est celui où le grain médian est le plus grossier en hiver (Fig. 25-2) ;

- d'autre part, l'homogénéisation du haut-estran, avec diminution des pentes maximales au centre, l'atténuation de la rupture de pente et les changements (légers) de topographie sur le bas estran.

Cette évolution s'est vraisemblablement poursuivie au cours du mois de juin. En effet, alors que les levés étaient interrompus durant la période d'été, supposée calme, le démaigrissement continu du haut de plage a conduit à l'affleurement des modules de sable à la fin juin. La proximité de la saison estivale a amené la Mairie de Combrit à un rechargement de sable.

Le fait que nous n'ayons pas été contactés avant cette opération nous a empêché de réaliser des levés avant le rechargement, ce qui aurait permis de préciser l'évolution ayant conduit à la mise à l'affleurement des modules. Par ailleurs, le rechargement (non quantifié) a également empêché toute comparaison détaillée des profils réalisés après l'été avec la situation au printemps.

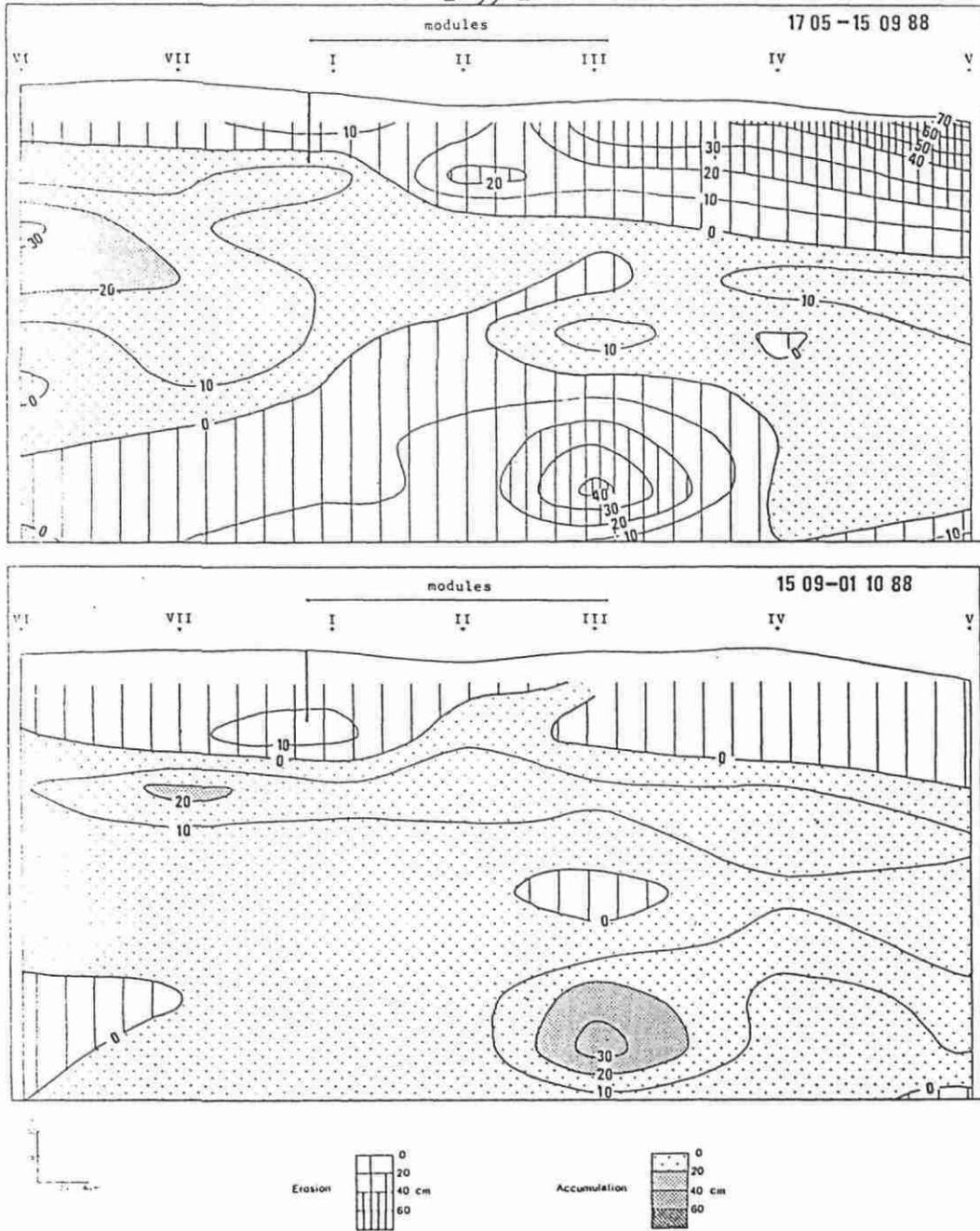


Fig. 28 - Bilans sédimentologiques après la saison estivale et les grandes marées d'équinoxe.

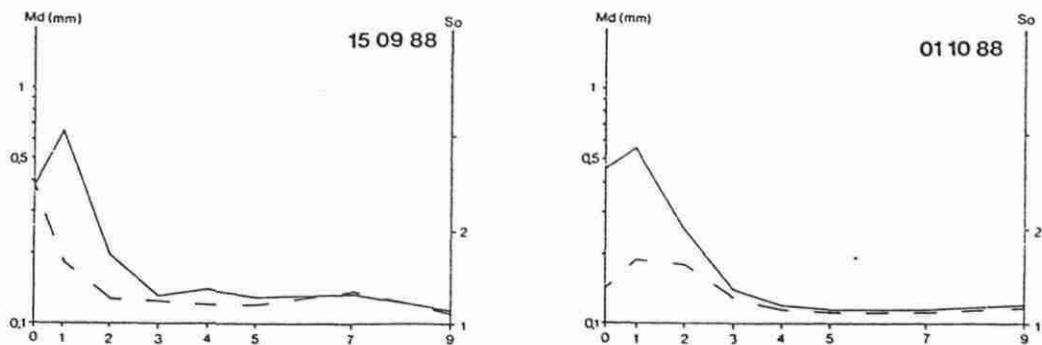


Fig. 29 - Variations le long du profil central (II) du grain moyen et de l'indice de Trask (cf Fig. 24) à l'automne : noter le retour à une granulométrie fine en bas de plage et à une transition nette entre le haut et le bas estran.

E. SITUATION A L'AUTOMNE 1988

1. 15/09/88 :

Le bilan sédimentologique (Fig. 28) montre principalement que le haut-estran à l'est et le bas estran au centre ont subi un démaigrissement important au cours des quatre mois d'été qui ont séparé les deux levés. Ce démaigrissement s'est traduit par l'apparition des modules et ce malgré le rechargement effectué à la fin juin. Ce rechargement a été effectué en prélevant du sable sur le bas de plage comme l'atteste le mélange sédimentaire observé en haut de plage et montrant un apport important de particules fines micacées.

A l'évidence cette opération n'a pas suffi à résoudre le problème de l'apparition des modules (Planche II-7 et 8). Cela peut provenir de deux causes :

- la solution du rechargement par du sable de bas de plage n'est pas viable car le profil de plage se rééquilibre assez vite d'une part, et d'autre part la granulométrie de ce sable est trop fine,

- l'implantation des modules en haut de plage ne convient pas pour le profil d'équilibre de la saison estivale.

2. 01/10/88 :

Réalisé en période de mortes eaux, ce levé avait pour but de vérifier l'incidence des grandes marées de vives eaux de septembre (coefficient 117 le 27-09-88). L'impact de ces marées sur le site a été faible ainsi que le montre le bilan sédimentologique (Fig. 28-2), comparé aux amplitudes des changements observés en janvier et février.

Du point de vue granulométrique les courbes de variation de la médiane et du grain moyen montrent le retour à la différenciation marquée entre le haut et le bas estran (cf Fig. 24-1 et 2) et à des sables fins sur le bas estran comparé à la situation de mai (cf Fig. 24-6). Les grandes marées ont renforcé cette tendance à l'affinement du grain sur le bas estran.

Les variations longitudinales du grain moyen ont été perturbées par l'existence d'une microfalaise de 40 à 70 centimètres de hauteur à environ 20 mètres de la dune (Planche II-7 et 8). Cette microfalaise s'est sans doute formée lors des marées de la fin août.

V. ANALYSE DE L'IMPACT DU PROCÉDE CORNIC A COMBRIT

Reprenant les avantages présentés par le promoteur et les résultats des levés effectués, les différents aspects de l'impact éventuel du système de protection par modules souples peuvent être analysés :

A. ROLE D'EPI :

considérés de manière isolée, certains bilans sédimentologiques montrent une coïncidence entre les zones d'accumulation et la limite ouest des modules (et l'emplacement de l'épi en gabions) (Fig. 21-1, dans une moindre mesure Fig. 21-2 et 22-5).

Il apparaît certain que l'épi en gabions engendre des perturbations dans la dynamique sédimentaire du haut de plage (Fig. 21-2), tout en ne jouant pas le rôle que l'on pourrait en attendre vis à vis d'un transit littoral significatif.

Divers bilans montrent des réajustements très localisés de la topographie de l'estran (ex : Fig. 21-3 et 22-2, 22-6 et 22-5) se superposant à une évolution générale décrite au chapitre précédent. Cela montre bien les limites de l'interprétation que l'on doit imposer à l'examen d'une seule situation. Cela permet aussi de souligner que globalement le rôle joué par l'épi en gabions étant faible (voire nul si l'on en juge d'après le bilan du 22-12 au 17-05), celui du procédé Cornic vis à vis du transit littoral doit l'être encore plus (faible) du fait de sa disposition.

Les levés réalisés ont permis de montrer la non-uniformité de la dynamique sédimentaire sur le secteur considéré et partant, la difficulté de proposer une solution de protection (et d'engrèvement) efficace. Il apparaît que des mouvements longitudinaux vers l'ouest (voir analyse du bilan au 3/02) et vers l'est (plaques de briques), peuvent se succéder. En réalité, les mouvements perpendiculaires au profil sont les plus significatifs comme le montre l'évolution générale des profils de pente.

B. PROTECTION DU HAUT DE PLAGE :

Le principe de base du "procédé Cornic" est de réaliser un reprofilage d'un secteur ou d'une plage attaquée, et d'empêcher l'accroissement en hauteur d'une microfalaise, point faible où la dégradation risque de s'accroître rapidement.

C'est donc lorsque les modules de sables apparaissent que le procédé joue pleinement son rôle en conservant une certaine pente à l'estran, en permettant des échanges dune-plage, en ne présentant qu'une incidence minimale vis à vis de l'énergie libérée par le déferlement; dans certains cas il peut "amortir" les mouvements de l'eau, tout au moins par rapport aux protections verticales "en dur" qui elles, réfléchissent l'énergie des vagues. L'action des vagues peut même être accrue sur le haut estran par les murs ou enrochements dans certaines conditions de marée et d'agitation. De plus, ces protections stoppent complètement les échanges dune-plage dans les deux sens :

<u>8-10-87</u>	tempête, vents d'W, coefficient 107, les modules apparaissent. Selon M. CORNIC : "le sable est revenu naturellement au-cours des marées suivantes"
<u>11 au 13-11-87</u>	les modules sont à nouveau découverts dans leur partie haute (partie ouest du procédé)
<u>17-11-87</u>	rechargement récent de sable
<u>8-12-87</u>	modules recouverts de sable de manière naturelle processus d'engraissement qui se poursuivra par la suite
<u>5-01-88</u> <u>13-01-88</u>	les modules sont recouverts de 50 cm de sable
<u>22-03-88</u>	20 cm de sable
<u>17-05-88</u>	filets apparents sur environ 10 mètres
<u>06-88</u>	affleurement plus important et rechargement du haut de plage
<u>17-09-88</u> et <u>22-10-88</u>	modules à nouveau apparents sur 17 m de long et 3 à 4 mètres de large

Tableau 4 - Apparition des modules de sable.

- d'une part l'apport de sable de la plage vers la dune par les vents pour la constitution d'un stock de sable,

- d'autre part le prélèvement de sable mis en réserve à la base de la dune en période de démaigrissement de la plage.

Les deux facteurs importants dans l'étude de l'érosion du contexte dune-plage doivent donc être la pente et le stock sédimentaire. La difficulté de la prise en compte de ces facteurs réside dans l'obtention d'une bonne connaissance de l'amplitude des variations saisonnières et de l'évolution générale du site.

C'est la connaissance de ces paramètres qui permettra de préciser au mieux la pente et l'altitude des modules de sable dans un site donné.

Dans le cadre du fonctionnement normal du procédé, les modules doivent apparaître, de temps à autre afin de jouer leur rôle. Ceci implique qu'ils doivent aussi être recouverts de manière naturelle, grâce aux différents agents de la dynamique sédimentaire.

Sur la plage du Combrit, les modules sont apparus à diverses reprises sur une période d'un an (cf. tableau 4). Si un recouvrement annuel s'est produit en période hivernale en liaison avec l'engraissement du haut de plage, des rechargements ont été nécessaires notamment avant la saison touristique. Il y a donc bien nécessité d'un suivi et d'un entretien du procédé selon la fréquentation du site.

C. ROLE DU PROCÉDE VIS A VIS DES ECOULEMENTS D'EAU

Selon son promoteur, la juxtaposition des modules et la forte perméabilité dans le plan du géotextile doit permettre au système de jouer le rôle de drains verticaux susceptibles, en accroissant la vitesse de circulation de l'eau de favoriser les écoulements. Outre le fait que cette "fonction" souterraine est particulièrement difficile à apprécier, aucune trace visible en surface indiquant une circulation préférentielle de l'eau, et une compaction différente du sable, parallèlement aux modules n'a été observée. Par ailleurs, si l'on considère que les limites entre les modules ne sont pas verticales, mais que ceux-ci inclinés, reposent les uns sur les autres, l'effet "d'accélération" d'une circulation verticale de l'eau doit être réduite.

Plus significatifs doivent être les rôles joués par le procédé dans le maintien d'une zone de sable saturée en eau et vis à vis des écoulements marais-plage à travers le cordon.

L'affleurement des modules en septembre 1988 a permis de constater des déformations sous forme de bourrelets. Ceux-ci indiquent que, dans la partie supérieure, le sable a progressivement glissé vers le bas de pente. Ces déformations suggèrent :

- l'existence de mouvements d'eau et de sable à l'intérieur des modules assez importants pour provoquer de tels déplacements à l'ouest;

- qu'il n'y aurait pas toujours une perméabilité suffisante du géotextile puisque du sable saturé en eau imprégné y serait resté piégé;

- une déficience possible de l'ancrage supérieur des modules qui aurait mal résisté aux tractions exercées vers le bas.

Echanges marais-plage : lorsqu'un marais est situé en arrière d'un cordon dunaire, il est fréquent que la nappe phréatique sourde sur l'estran au voisinage du niveau de mi-marée.

Les écoulements d'eaux, saumâtres le plus souvent, sur le bas-estran se produisent surtout en hiver lorsque les précipitations provoquent un relèvement de la nappe phréatique.

Durant les mois d'hiver, deux types d'écoulement ont été observés sur la plage du Treustel (planche II) :

1. concentration des eaux dans un chenal parallèle au rivage localisé le long de la rupture de pente et écoulements vers le large, le long d'une ou deux branches perpendiculaires;

2. écoulements en nappes diffuses sur le bas estran.

L'apparition de ces divers types d'écoulements est complexe et dépend des niveaux d'eau à l'arrière, de la perméabilité donc de la granulométrie du sable de l'estran et de sa morphologie.

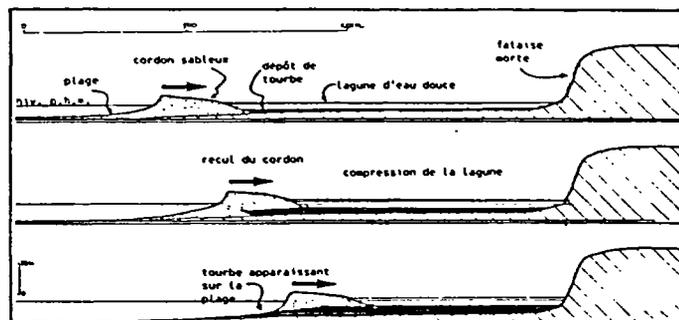
Les chenaux d'écoulements apparus en janvier et qui ont persisté jusqu'au printemps, ont été observés préférentiellement dans la partie centrale (Planche II) ainsi qu'à l'ouest en janvier. Cette localisation en face du secteur protégé de ce système d'écoulement particulier peut être lié :

- à la présence d'une nappe plus importante à l'arrière,

- à une plus grande circulation des eaux dans le secteur du fait de la présence de sable grossiers et des modules du procédé Cornic.

Par ailleurs le creusement du chenal dans la partie centrale est certainement favorisé pas la présence d'un niveau de tourbe peu profond à la rupture de pente.

La présence de ce niveau de tourbe est lié à la formation d'un marais littoral à l'arrière du cordon dunaire initial puis au refoulement de ce dernier vers le nord (voir figure ci-dessous). L'affleurement de la tourbe souligne par ailleurs le faible volume du stock sédimentaire présent dans ce secteur.



Coupe schématique montrant la migration d'un cordon sableux et l'affleurement d'un niveau de tourbe sur la plage (in Dubreuil, 1984)

Malgré l'absence de plan précis d'implantation des modules il semble que la base de ceux-ci repose dans la partie ouest sur le niveau de tourbe d'après quelques documents photographiques pris au moment de l'installation. La question se pose donc de connaître l'influence exacte, en profondeur, des modules sur les échanges d'eau marais-plage en période de remontée du niveau d'eau et l'incidence de cette remontée de la nappe sur la tenue et le comportement des modules.

Plus à l'est, la nappe phréatique s'écoule par dessous les modules.

CONCLUSION DE L'EVALUATION DU PROCÉDE CORNIC SUR LE SITE DE COMBRIT

Le procédé Cornic apparaît comme une opération financièrement rentable pour le Syndicat Mixte chargé de la gestion de la dune car il s'est maintenu en bon état sur le site plus de 3 ans après son installation.

Plusieurs fois dénudés sous l'action de la mer, les modules ont été dans certains cas recouverts naturellement, tandis que dans d'autres cas ils ont dû faire l'objet de rechargements.

Il s'agit donc d'un système qui nécessite une surveillance et qu'il convient d'entretenir comme tout site dunaire fragile.

L'intérêt majeur du procédé Cornic est avant tout celui d'un maintien d'un profil continu en haut de plage sans microfalaise susceptible d'accentuer l'érosion.

Les autres aspects positifs résident dans son adaptation au site tant au point de vue esthétique puisqu'il ne crée pas de discontinuité dans le paysage, sédimentologique puisqu'il n'interrompt pas les échanges entre la dune et la plage et mécanique puisque de par sa disposition et sa constitution, il peut, dans une mesure qui reste à déterminer, amortir l'effet de la houle.

Par ailleurs, du fait qu'il contient un matériau naturel, le sable, et qu'il est enfoui, il ne peut créer de fortes surcharges locales ni d'effets de poinçonnement comme ce peut être le cas pour des enrochements.

Les caractéristiques du géotextile utilisé, perméabilité et transmissivité sont également un atout du système puisqu'ils permettent les échanges d'eau et de sédiments entre les modules et l'extérieur. Néanmoins aucun de ces paramètres n'a été mesuré in situ. Ni la fonction drainante, ni le rôle exact, positif ou négatif, des modules vis à vis des échanges d'eau entre la surface et la profondeur et entre le marais et la plage ne peuvent être établis avec certitude.

Par ailleurs si le caractère multidirectionnel (non-tissé) de la fibre lui confère une bonne résistance mécanique, sa résistance à l'usure sous l'action du brassage des grains de sable lorsque la fibre est longuement exposée est moins connue.

Surtout, la fibre utilisée (polyester) résiste mal aux ultraviolets et est donc susceptible de se détériorer assez rapidement en cas d'expositions prolongées à la lumière.

Le procédé Cornic permet donc la protection des sites dunaires de manière souple et esthétique mais son application :

- est limitée aux sites où l'attaque frontale n'est pas trop forte et les démaigrissements de type cyclique ne sont pas trop continus ni importants. En effet, dans ce dernier cas, les modules étant susceptibles d'être trop souvent apparents, ils peuvent être dégradés plus ou moins rapidement par l'érosion mécanique, physico-chimique; en outre leur apparition à l'air libre nuit à l'aspect esthétique et accroît les possibilités de dégradation rapide par la fréquentation humaine;

- nécessite une prise en compte de tous les facteurs naturels jouant sur l'ensemble du site : action des houles, variations saisonnières du niveau de plage, évolution dans le temps du site, granulométrie de la plage, présence d'aquifères et de niveaux imperméables proches. Les caractéristiques du système peuvent varier d'un site à l'autre: longueur et pente des modules, granulométrie du sable utilisé à l'intérieur des modules (perméabilité globale du système);

- implique un suivi et une gestion du site comme tout milieu naturel sensible (gestion des rechargements éventuels).

Son adaptation à d'autres sites dunaires pourrait donc être envisagée si d'une part les conditions morphodynamiques s'y prêtent, avec éventuellement des adaptations, et si d'autre part les tarifs pratiqués par le promoteur restent compétitifs, comme cela a été le cas à Combrit, par rapport à d'autres solutions considérées comme plus fiables.

B I B L I O G R A P H I E

- BERANGER C. 1978 - Contribution à l'étude géomorphologique et biogéographique d'un milieu littoral à faciès meuble : franges maritimes et dunaires de la pointe de Penmarc'h, mém. maîtrise, Paris XII, 2 vol., 159 p. annexe 104 p.
- DELANOE Y., PINOT J.P. 1975 - Sédimentologie sous-marine et télédétection : les traînées graveleuses de l'avant côte de l'Ile Tudy (Bretagne méridionale), Bull. Soc. Sciences naturelles Ouest de la France, tome LXXIII, p 130-139.
- DUBREUIL J.P.L. 1984 - Les dunes de Bretagne : aménagement et gestion, Ministère de l'Environnement, Délégation à la qualité de la vie, 96 p.
- FEREC C. 1980 - Modifications des accumulations littorales dues à l'action humaine, entre Plovan et Beg Meil, dans le sud-ouest du Finistère, mém. maîtrise, Brest, 166 p.
- FISCHER J.C. 1976 - Rapport sur l'évolution du littoral, SOGREAH, 1976, p 1-8.
- GUILCHER A. 1948 - Le relief de la Bretagne méridionale, Thèse Lettres, Paris, La Roche sur Yon, 682 p.
- HALLEGOUET B., BODERE J.C., PIRIOU N. et coll. 1982-1984 - Eléments pour une politique départementale de protection du littoral contre la mer. DDE du Finistère, 27 dossiers, 2 900 p. cartes h.t.
- L.C.H.F. 1981 - Moustierlin, Aménagement d'un port de pêche. Etudes en laboratoire, DDE du Finistère, commune de Fouesnant.
- MOIGN A., HALLEGOUET B. 1976 - Téléinterprétation de la zone littorale et marine de la région de Concarneau. CNEXO, 324 p., 24 pl..
- MORINIERE C. 1983 - Communes de Combrit et de l'Ile Tudy. Zone de Kermor. Schéma Directeur de Protection du Littoral finistérien contre la mer, DDE du Finistère et Département de Géographie de l'UBO, 164 p. pl. h.t.
- NEDELEC L., BODERE J.C. 1974 - Pour la défense de l'environnement à Combrit-Ile Tudy, Penn ar bed, vol. 9, Fasc. 3, n° 78, p. 393-398.
- PINOT J.P. 1974 - Le précontinent breton entre Penmarc'h, Belle Ile et l'escarpement continental. Etude géomorphologique, Thèse Lettres, Brest, Lannion, 256 p.
- SOGREAH 1976 - Base littorale de nature et de loisirs de Combrit, étude préliminaire d'aménagement, DDE.

Planche I - Vues obliques vers l'ouest (à gauche) et vers l'est (à droite) de la zone du suivi à partir du repère situé près de la transition haut et bas estran entre les profils II et III (localisation du repère : cf. Fig. 2).

On notera l'existence du chenal d'écoulement des eaux parallèles au rivage qui a été comblé entre le 3 et le 17/02 ainsi que l'engraissement très marqué du bas estran entre l'hiver et le printemps bien visible au niveau de la borne.

1	2
3	4
5	6
7	8

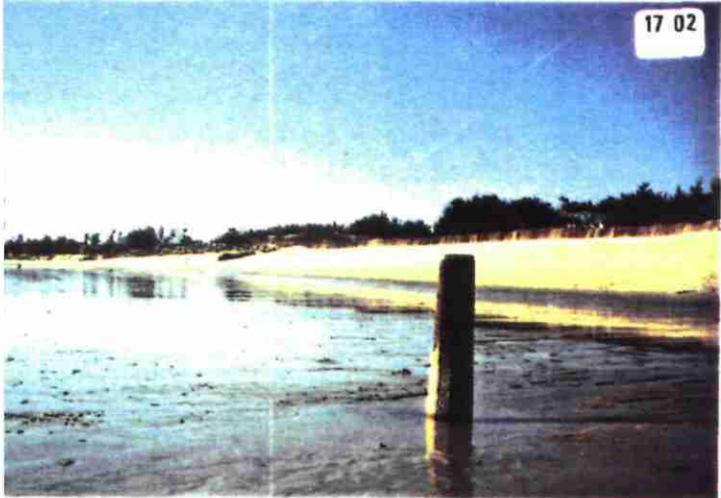


Planche II - Situations particulières observées au cours du suivi :

- 1 et 2 : évolution de la situation entre la fin de l' hiver et le printemps près de l'épi en gabions (Fig. 2); noter l'engraissement du bas de plage,

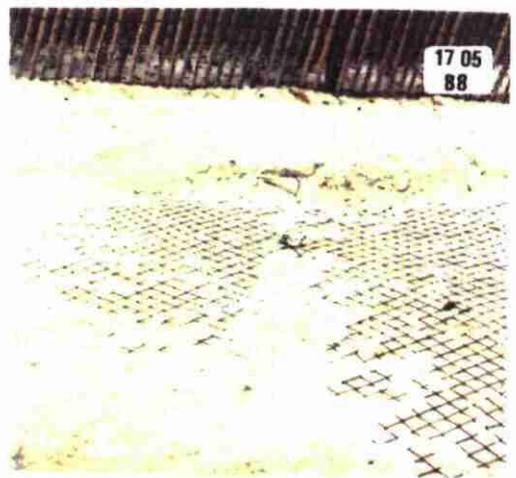
- 1 et 3 : systèmes d'écoulement des eaux à la fin de l'hiver comprenant un chenal perpendiculaire (1) et un chenal parallèle au rivage en bas de la zone protégée (3),

- 4 : apparition du niveau de tourbe situé sous la plage ainsi que de blocs (provenant du démantèlement antérieur de l'épi ?) lors du démaigrissement hivernal entre haut et bas estran,

- 5 à 8 : apparition des filets de protection et des modules de sable au cours du suivi,

- 8 : détail de la partie du procédé (partie haute et ouest de l'ensemble) affleurante à l'automne 1988. On distingue au sein des 3 modules juxtaposés des "plis" : écoulements internes (?). Noter la microfalaise en tête de la zone d'"affleurement".

1	2
3	4
5	6
7	8



ANNEXES

PRINCIPALES PROPRIETES DES GEOTEXTILES
ECHELLES DE CLASSIFICATION

Les principales propriétés des géotextiles, mesurées par des essais appropriés, sont résumées par rapport à des échelles de classification. Une échelle de doute classe est établie pour chaque propriété. Ces échelles sont données dans le tableau ci-dessous.

Des remarques sur le contenu du tableau et des indications sur les modes d'essai à respecter pour l'obtenir sont fournies ci-après.

		CLASSES												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
RESISTANCE A LA TRACTION KN/m	SENS PRODUCTION	1	4	8	12	16	17	20	23	30	40	50	75	100
	SENS TRAVERSE	2												
ALLONGEMENT A L'EFFORT MAXIMAL %	SENS PRODUCTION	3	8	11	15	20	25	30	37	40	50	60	80	100
	SENS TRAVERSE	4												
RESISTANCE A LA DECHIRURE KN	SENS PRODUCTION	5	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	1.6	1.7	2.3	3	4	6
	SENS TRAVERSE	6												
PERMEABILITE	PERMITTIVITE $K_n/e \text{ s}^{-1}$	7	10^{-2}	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	0.1	0.2	0.5	1	1.6	2	5	10	50
	TRANSMISSIVITE $K_{ts} \text{ m}^2/\text{s}$	8	10^{-8}	$2 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-8}$	10^{-7}	$2 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	10^{-6}	$2 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	10^{-5}	$5 \cdot 10^{-5}$	
POROMETRIE $\text{Oes } \mu\text{m}$		9	600	400	200	150	125	100	80	60	40	20	10	
		10												

A. REMARQUES SUR LE TABLEAU

1. Le tableau a été établi en vue des applications les plus courantes des géotextiles. Pour des applications particulières d'autres propriétés que celles figurant sur le tableau peuvent être à considérer (résistance au poinçonnement, fluage, sensibilité à la température, déchirure dynamique, etc.). La ligne n° 10 du tableau, qui n'est pas utilisée présentement, pourra l'être ultérieurement pour une de ces propriétés.

2. RESISTANCE A LA TRACTION ET ALLONGEMENT

Par souci de simplicité dans l'établissement de ce tableau destiné surtout aux applications courantes des géotextiles, on n'a retenu, pour le comportement en traction, que la résistance (F) et l'allongement (E) à la rupture, sans faire appel aux notions de module ou d'énergie de rupture. On admet en effet que pour la majorité des applications le choix des deux valeurs F et E peut être considéré comme suffisant sous l'angle du comportement en traction. Cependant, on pourrait concevoir des géotextiles répondant aux conditions demandées et dont l'énergie de rupture (ou capacité de travail, mesurée par l'aire située sous la courbe effort-allongement dans un diagramme F-E, voir figure 1) serait insuffisante (ex. : fig. 2). En général de tels matériaux ne conviendraient pas.



FIGURE 1: ENERIE DE RUPTURE.



FIGURE 2: DIAGRAMME D'UN MATERIAU A ENERIE DE RUPTURE TRES FAIBLE.

3. ALLONGEMENT A L'EFFORT MAXIMAL E_R

L'allongement dont il s'agit dans le tableau est une valeur conventionnelle E_R calculée à partir de l'allongement à la rupture et de la déformation transversale

correspondante mesurée dans des essais déterminés (voir B.1.b pour le mode de calcul de E_R).

4. TRANSMISSIVITE

Il n'y a qu'une échelle de classification relative à la transmissivité, et il n'est pas précisé s'il s'agit du sens production ou du sens travers. Pour les matériaux présentant une transmissivité notablement différente dans les deux sens, on utilisera le tableau en prenant la valeur correspondant à la direction de l'écoulement si celle-ci est connue et on prendra la plus faible des deux valeurs si la direction de l'écoulement par rapport au géotextile n'est pas connue.

B. INDICATIONS SUR LES MODES D'ESSAI A RESPECTER POUR L'USAGE DU TABLEAU

1. RESISTANCE A LA TRACTION ET ALLONGEMENT A L'EFFORT MAXIMAL

a) règles générales
Le géotextile doit être testé dans des conditions telles que l'éprouvette se déforme peu dans la direction perpendiculaire à la traction. Par ailleurs, l'éprouvette ne doit pas être trop petite; sa plus petite dimension doit être d'au moins 100 mm. Enfin la vitesse de déformation doit être comprise entre 10 et 100 % par minute. La résistance à la traction est exprimée en KN/m .

b) essai à utiliser
L'essai retenu pour l'établissement et l'emploi du tableau est l'essai de traction sur éprouvette de 100 mm entre pinces et 500 mm dans la direction parallèle aux pinces. L'allongement à la rupture utilisée dans le tableau est une valeur calculée conventionnelle E_R ; en appelant E_1 la déformation moyenne à la rupture et E_2 la déformation correspondante dans la direction perpendiculaire, au milieu de l'éprouvette, l'allongement à l'effort maximal E_R (valeur de référence utilisée) est calculé par la relation:
 $E_R = E_1 + E_2 + E_1 E_2$, les déformations étant comp-

tes positivement pour un allongement et négativement pour un raccourcissement. Le but de ce calcul est de rapprocher la valeur mesurée dans l'essai sur éprouvette de 100 x 500 mm de l'allongement à la rupture théorique correspondant à la condition de déformation latérale nulle ($E_2 = 0$).

c) autres essais
D'autres modes d'essais (manchon cylindrique type Laboratoire de Saint-Brieuc, éclatometre rectangulaire, éprouvette avec règles à pioles) ont été développés pour satisfaire également aux conditions énoncées plus haut en a). Leurs résultats peuvent être utilisés pour l'échelle de classification relative à la résistance à la rupture, mais les limites dans lesquelles les valeurs de E_R fournies par ces différents essais peuvent être considérées comme équivalentes restent à préciser. En revanche, les résultats de certains essais - notamment l'essai sur bande de 200 x 60 mm, l'essai d'arrachement (Grab-test), l'éclatometre circulaire - ne doivent pas être utilisés comme données d'entrée dans le tableau.

2. RESISTANCE A LA DECHIRURE

Il s'agit de la résistance à la déchirure amorcée mesurée sur éprouvette trapézoïdale de grande dimension. En effet, l'essai doit être fait sur une éprouvette assez grande pour que le processus de rupture de l'éprouvette soit bien une déchirure, même pour les géotextiles non tissés les plus déformables. Or le choix d'une éprouvette de faibles dimensions conduit, sur beaucoup de géotextiles non tissés, à une pseudo-traction et non pas à une véritable déchirure. Pour cette raison, l'essai de déchirure adopté pour les géotextiles est l'essai sur éprouvette trapézoïdale de grande dimension, dans lequel les deux bases du trapèze ont pour longueur 870 et 225 mm, la hauteur du trapèze étant égale à 445 mm. La déchirure est amorcée sur une longueur de 50 mm au milieu de la petite base. Les pinces se déplacent à une vitesse relative de 60 mm/min. La force nécessaire pour propager la déchirure est mesurée et si possible enregistrée. La valeur retenue est la moyenne des cinq valeurs maximales notées pendant l'essai. Le résultat est exprimé en KN .

Le processus de passage du matériau en suspension à travers le géotextile doit être tel qu'il n'y ait pas accumulation de particules sans mouvement à la surface du géotextile pendant l'essai. Oes est exprimé en micromètres (μm).

3. PERMITTIVITE

On appelle permittivité le rapport de la perméabilité à l'eau normale au géotextile, K_n (coef-

cient de Darcy) à l'épaisseur e du géotextile. On utilise ce rapport car le débit pouvant traverser un géotextile, par unité de surface et pour une charge donnée, est proportionnel à la permittivité K_n/e .

K_n étant exprimé en mètre par seconde (m/s) et e en mètre (m), K_n/e s'exprime en s^{-1} . Les valeurs de la permittivité à comparer avec celles de l'échelle de classification doivent être mesurées sous un gradient assez faible pour se trouver dans les conditions de validité de la loi de Darcy et avec de l'eau désaérée.

4. TRANSMISSIVITE

On appelle transmissivité le produit de la perméabilité à l'eau, dans le plan du géotextile, K_i (coefficient de Darcy) par l'épaisseur e du géotextile. On utilise ce produit car le débit pouvant circuler dans l'épaisseur d'un géotextile, par unité de largeur de bande et pour un gradient longitudinal donné, est proportionnel à la transmissivité $K_i e$.

K_i étant exprimé en mètre par seconde (m/s) et e en mètre (m), $K_i e$ s'exprime en m^2/s . Les valeurs de la transmissivité à comparer avec celles de l'échelle de classification doivent être mesurées sous un gradient assez faible pour se trouver dans les conditions de validité de la loi de Darcy, avec une pression de $2 \cdot 10^5$ pascal appliquée au géotextile dans le sens de l'épaisseur et avec de l'eau désaérée.

5. POROMETRIE

La porométrie est la mesure des dimensions des pores d'un géotextile. Les géotextiles ont des pores de différents diamètres; la porométrie complète s'exprime par une courbe qui en donne la répartition. Pour simplifier l'expression de la porométrie, on utilise un seul diamètre Oes , qui est par définition tel que 95 % des pores aient un diamètre inférieur à Oes et 5 % un diamètre supérieur.

En pratique on détermine cette valeur en faisant passer à travers le géotextile un matériau de granulométrie connue et appropriée en suspension dans l'eau; on admet que la valeur Oes cherchée est égale au Oes de la courbe granulométrique du matériau ayant traversé le géotextile.

Le processus de passage du matériau en suspension à travers le géotextile doit être tel qu'il n'y ait pas accumulation de particules sans mouvement à la surface du géotextile pendant l'essai. Oes est exprimé en micromètres (μm).

Annexe I-2 - Caractéristiques principales et classification des géotextiles.

bidim®

			U 24	Mesuré d'après
		Unités		
CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES	Masse surfacique (grammage)	g/m ²	210	AFNOR G07-104
	Épaisseur sous	0,005 bar	mm	1,9
		2 bar	mm	0,8
	Porosité sous	0,005 bar	%	92
2 bar		%	81	
Surface spécifique	surfacique	m ² /m ³	22,5	Calcul
	massique	m ² /kg	107,2	

PERMÉABILITÉ	Perméabilité normale sous	0,020 bar	10 ⁻³ m/s	3	LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris) et INSA Lyon (Institut National des Sciences Appliquées)	
		2 bar	10 ⁻⁴ m/s	7		
	Débit	Sous charge de 0,10 m d'eau		l/m ² /s	158	Calcul
Perméabilité radiale sous	0,020 bar	10 ⁻⁴ m/s	6	LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris) et INSA Lyon (Institut National des Sciences Appliquées)		
	2 bar	10 ⁻⁴ m/s	4			
Porométrie théorique (retenue aux fines)	0,005 bar	micron	94 à 59	LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris)		
	2 bar	micron	50 à 28			

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES	Traction mono directionnelle Epreuve 5x20cm	Résistance à la Rupture	daN/5 cm kN/m	52 ± 10	AFNOR G.07001 DIN 53857 (feuille 1)
		Allongement	%	60 à 80	
	Traction mono directionnelle Epreuve 10x20cm Replée	Résistance à la Rupture	daN/5cm	62	DIN 53857 (feuille 1)
	Grab Test	Résistance à la Rupture	N	850	AFNOR G.07120 DIN 53858
		Force sous 30% d'Along.	N	120	
	Traction bidirectionnelle	Résistance	kN/m	16	LR (Laboratoire Régional Equipement SI-Breuc) Laborat. FUGRO CESCO (France)
		Allongement Module	kN/m	27 à 30 / 41	
Déchirure amorcée	Force	daN	9	AFNOR G.07055 C	
Déchirure trapézoïdale	Force	daN	42	ASTM D.2263	
Eclatométrie (à titre indicatif)		bar	22	AFNOR G.07112 DIN 53851	
Fluage en traction mono directionnelle	Sous 20 % de la charge de rupture stabilité obtenue après 1 h. Sous 40 % de la charge de rupture stabilité obtenue après 6 h.				

N.B. : Point de fusion du Polyester : 260 °C.

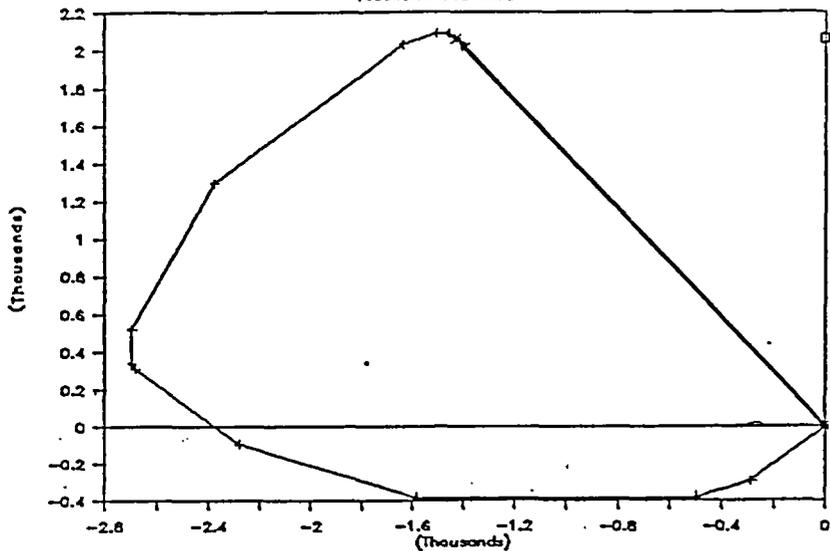
Remarques :

- Cette fiche contient les informations techniques relatives à une gamme de produits de base, qui peut être, sur demande, complétée par des qualités intermédiaires.
- Les valeurs indiquées correspondent à la moyenne de résultats obtenus en laboratoire et sont communiquées à titre indicatif.

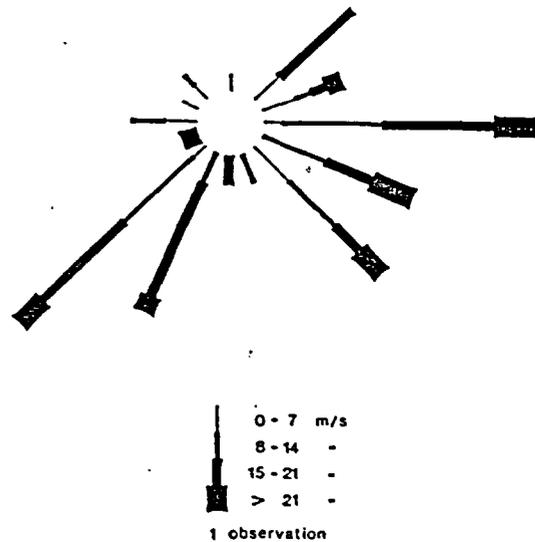
Annexe I-1 - Tableau des caractéristiques du géotextile (Bidim U 24) utilisé à Combrit.

BEG-MEIL DECEMBRE 1987

résultante des vents

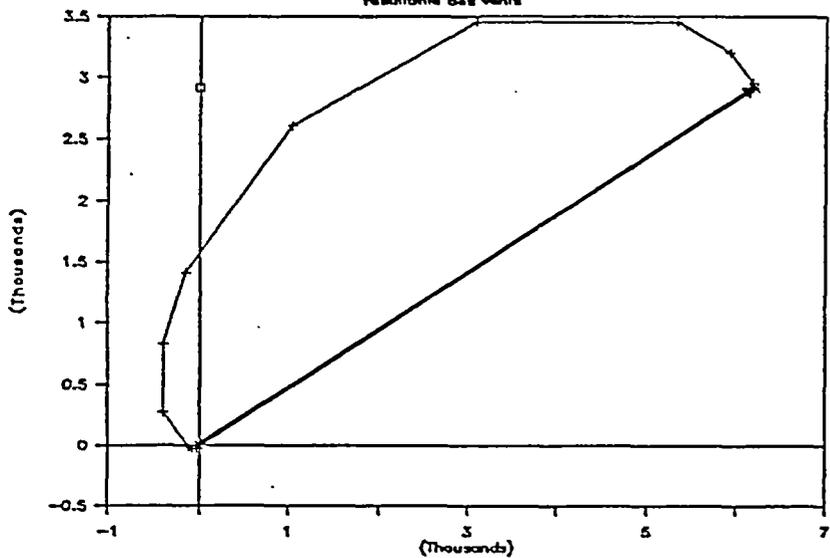


1

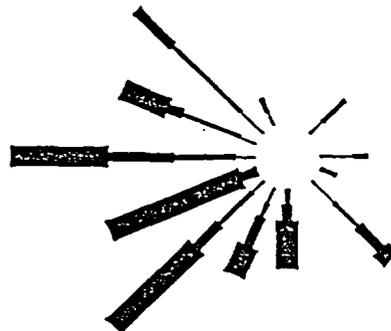


BEG-MEIL JANVIER 1988

résultante des vents

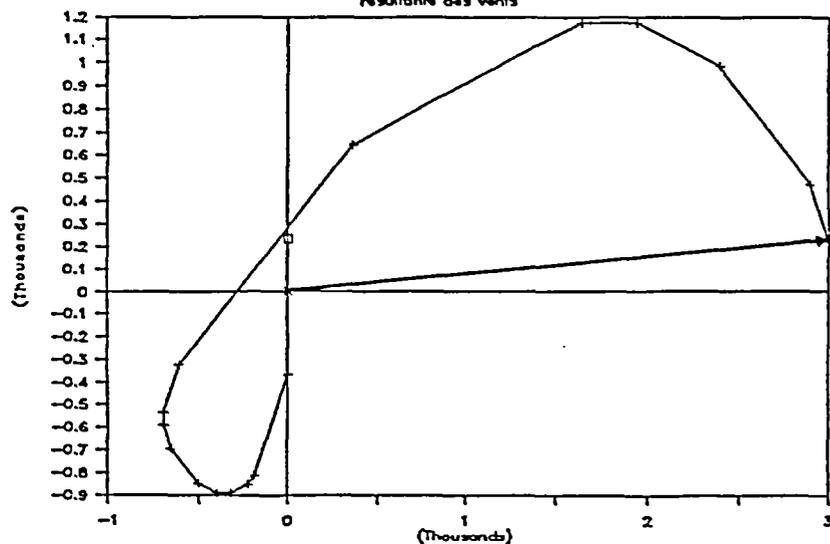


2

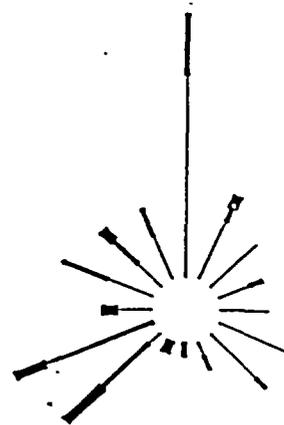


BEG-MEIL FEVRIER 1988

résultante des vents



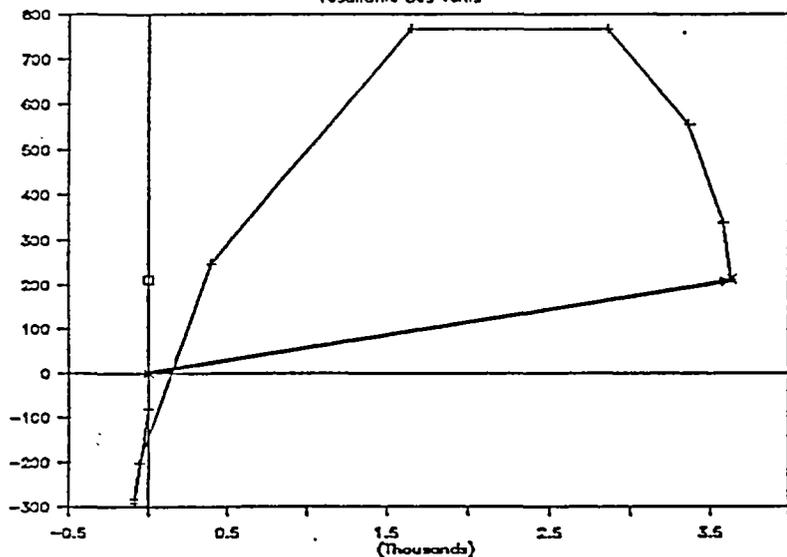
3



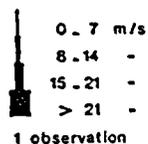
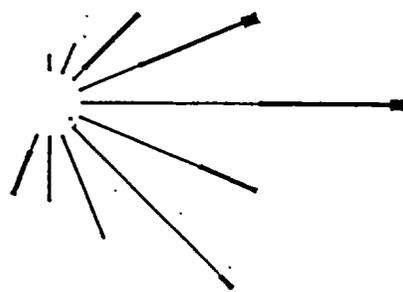
Annexe II-1 à 6 - Résultantes et roses des vents mensuelles établies d'après les données communiquées par le Sémaphore de Beg-Meil.

BEG-MEIL MARS 1988

résultante des vents

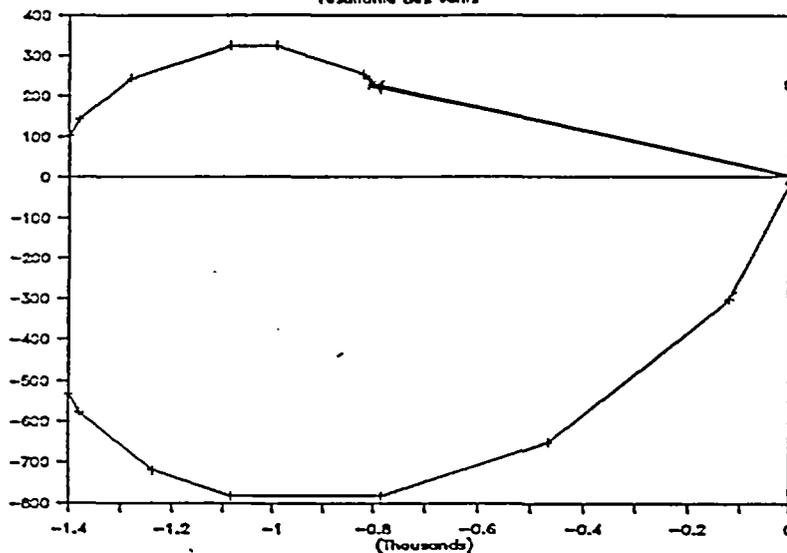


4

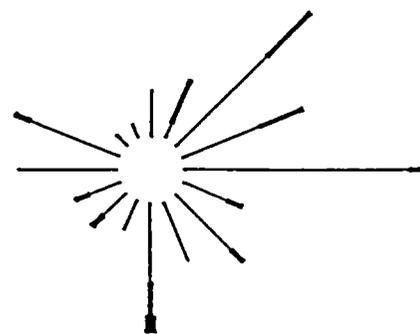


BEG-MEIL AVRIL 1988

résultante des vents

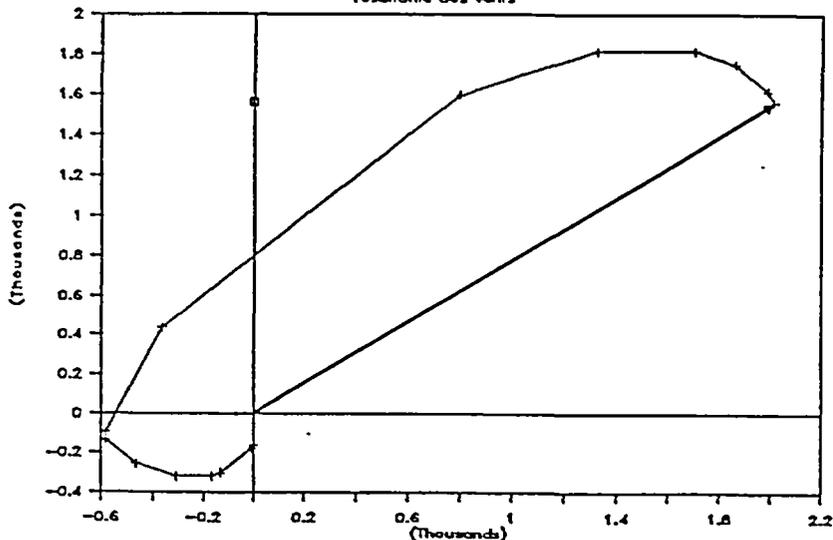


5

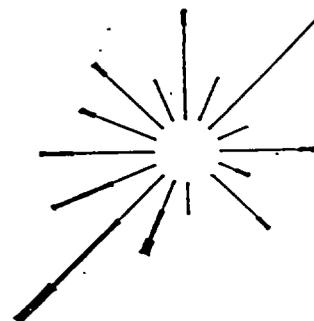


BEG-MEIL MAI 1988

résultante des vents



6



La résultante des vents est établie à partir d'un point origine en additionnant les vecteurs représentant chaque secteur (16°) de la rose des vents. La longueur de chaque vecteur est proportionnelle à la somme des observations mensuelles dans chaque secteur et sa direction est celle vers où soufflait le vent. La résultante, joignant le point origine à l'extrémité du dernier vecteur, traduit la direction du bilan des déplacements par transport éolien.