

THÈSE

présentée

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR DE 3ème CYCLE

Spécialité : GÉOLOGIE DYNAMIQUE

Mention : GÉOLOGIE SOUS-MARINE

par

François DUGAS

Chargé de recherches stagiaire
à l'Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer

**ETUDE DU DÉPLACEMENT DES SABLES
SUR LA PARTIE NORD DU LITTORAL DES LANDES**

Soutenu le 2 mars 1966 devant la Commission d'Examen

MM. L. GLANGEAUD Président
R. BONNEFILLE }
A. CAIRE } Examineurs

AVANT - PROPOS

Je remercie Monsieur le Directeur de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer de m'avoir autorisé à entreprendre cette étude.

Je suis infiniment reconnaissant à Monsieur L. GLANGEAUD, Professeur à la Sorbonne, d'avoir orienté et dirigé mes travaux dans cette branche de l'Océanographie.

Mes remerciements vont également à Monsieur A. CAIRE, Professeur à la Sorbonne, qui a bien voulu faire partie du jury.

Que Monsieur l'Ingénieur R. BONNEFILLE, du Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou, qui m'a fait bénéficier de sa compétence et de son aide, trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

Mademoiselle S. DUPLAIX qui connaît bien le littoral des Landes m'a aidé à préciser cette étude et n'a cessé, ainsi que Monsieur M. GENESSEAU, de me prodiguer des conseils. Je tiens à les en remercier.

La dernière partie de ce travail a été réalisée grâce à la collaboration de Messieurs les Ingénieurs G. COURTOIS et A. CAILLOT de la Section d'Application des Radioéléments du Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, et également de Monsieur J.M. MARTIN du Laboratoire de Géologie Dynamique.

C'est grâce à Monsieur R. WEILL, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux, par son accueil à l'Institut de Biologie Marine d'Arcachon et grâce à l'amabilité de Monsieur AMANIEU le sous-directeur et du personnel que j'ai pu trouver toute l'aide matérielle nécessaire.

Les renseignements que Monsieur WELSCH du Centre de Météorologie de Mérignac et Monsieur DUVET, Ingénieur à Esso-Rep, ont bien voulu me faire connaître m'ont été très utiles.

J'ai pu bénéficier de l'expérience de Monsieur EYRIES, Ingénieur Hydrographe en chef du Service Hydrographique de la Marine, de Monsieur MIGNIOT, Ingénieur du Laboratoire Central Hydraulique de France, et de Monsieur DANGLADE, chef de la subdivision des Sondages du Port Autonome de Bordeaux. Je leur exprime ma profonde gratitude.

Que le Laboratoire de Sédimentologie de l'C.R.S.T.O.M. trouve ici le témoignage de ma reconnaissance pour l'aide indispensable qu'il m'a apportée dans la réalisation de cette étude.

+ +

+

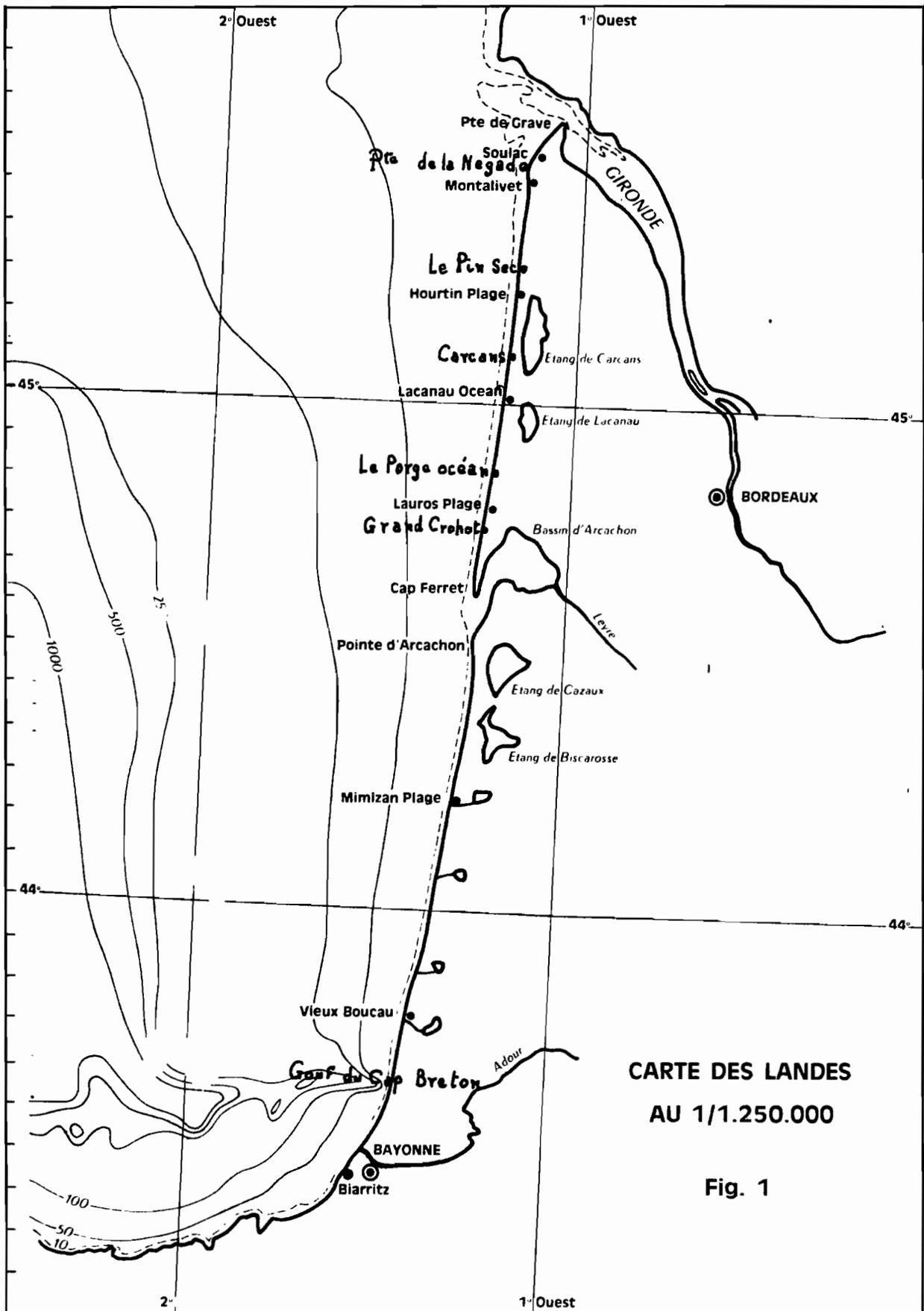
TABLE DES MATIERES

Introduction	p	5
Historique . . . . .	.	9
L'énergie de la mer		
A) La houle . . . . .	.	10
B) Le plan d'eau . . . . .	.	23
C) Les courants de marée . . . . .	.	24
D) Les courants généraux . . . . .	.	25
E) L'action des vents . . . . .	.	26
Morphologie		
A) Généralités . . . . .	.	27
B) Les directions du rivage par rapport à celles de la houle . . . . .	.	27
C) Les modifications de la ligne de rivage . . .	.	29
D) Les variations des Passes d'entrée du Bassin d'Arcachon . . . . .	.	31
E) Les variations de profil des plages . . . . .	.	33
Caractères physiques et chimiques des sables		
A) Carbonates . . . . .	.	36
B) Granulométrie . . . . .	.	36
C) Morphoscopie . . . . .	.	40
D) Conductivité hydraulique . . . . .	.	41
E) Seuil d'érosion . . . . .	.	42

Etude qualitative du déplacement des sables par différentes méthodes	45
I) Les minéraux lourds des sables	46
A) Technique	46
B) Résultats	47
C) Conclusions	49
II) La radioactivité naturelle des sables utilisée comme traceur	52
A) Technique	54
B) Résultats	57
C) Conclusions	58
III) Expériences de traceurs luminescents	60
A) Technique	61
B) Résultats	62
C) Conclusions	63
IV) Expériences de traceurs radioactifs artificiels	65
A) Technique	65
B) Résultats	68
C) Conclusions	70
Etude quantitative du déplacement des sables	72
Conclusions générales	75
Bibliographie	I

+ +

+



CARTE DES LANDES
AU 1/1.250.000

Fig. 1

INTRODUCTION

Le littoral des Landes de Gascogne formé d'une côte rectiligne de 250 Km (Fig.1) permet, tel un grand modèle d'étudier les effets de la houle et des courants sur les sables qui la constituent. Par suite de la pente faible du plateau continental, la plus grande partie de l'énergie de la houle se disperse près du rivage car une trop faible partie est perdue par réflexion.

Cette côte est géologiquement constituée par des sédiments meubles, détritiques, presque toujours sableux et recouverts par une couche de sable actuel dressé par le vent en dunes, face à sa direction prédominante. Un vaste plateau continental la prolonge sur une trentaine de milles avec une faible pente et des fonds réguliers sans accidents connus, sauf au large du Cap Breton. L'épaisseur des sédiments détritiques croît du Nord vers le Sud :

- à la Pointe de Grave, l'Eocène inférieur se trouve à 43 mètres de profondeur (L. GLANGEAUD, 1935).

- à Parentis, la base de l'Eocène inférieur est à 1.800 mètres, et la base du Plio-Quaternaire à 80 mètres.

- au Cap Ferret, la base du Plio-Quaternaire est à 100 mètres, et au large à plus de 100 mètres (sondages Esso-Rep).

Cet affaissement du bord Ouest du Bassin d'Aquitaine avait déjà été mis en évidence par le pendage des formations plio-

quaternaires (ELHAI et PRENANT, 1963).

La ligne rectiligne du rivage résulte donc de l'affaissement général de toute la partie Ouest du Bassin d'Aquitaine et de la disposition des dunes face au vent dominant. Pour FABRE (1939), ce serait le résultat d'une érosion au Nord et d'un comblement au Sud. Depuis le Flandrien, la mer a, dans son avancée, refoulé les sables entassés sur le plateau continental. Ils ont formé des dunes dites modernes qui progressent vers l'intérieur sous l'action des vents d'Ouest. Il s'agit donc d'une côte sableuse d'immersion.

L'étude portera sur la partie nord seulement : de la Pointe de Grave au Cap Ferret.

Les variations du plan d'eau en fonction de la marée sur ce littoral amènent à subdiviser celui-ci en deux zones :

- l'une constamment immergée, donc faisant partie du plateau continental mais aussi, par suite de la mobilité des sables, de la plage qu'elle prolonge. Sa limite au large serait déterminée par la profondeur moyenne très difficile à connaître où l'action de la houle ne se fait plus sentir.

- l'autre régulièrement découverte, "l'estran", prolongée par la haute plage.

Cette deuxième zone accessible à marée basse, et soumise aux pleines mers à l'action de la houle, sera seule l'objet de notre étude.

L'évolution de cette zone est essentiellement fonction de la houle et a été étudiée en modèle réduit, en particulier par BAGNOLD (1947), MUNCH - PETERSEN (1950), SAUVAGE et VINCENT (1954), LARRAS (1957). Il est donc nécessaire de connaître les conditions hydrodynam-

miques régnant sur cette côte par l'étude de leurs différents facteurs. Ces mêmes auteurs ont essayé de donner une valeur quantitative des transports. Mais on ne peut en avoir qu'une approximation car l'énergie de la houle varie rapidement et, en modèle réduit, le jet de rive est prépondérant (SITARZ, 1963).

L'évolution du littoral, étudiée par les méthodes classiques morphologiques, cartographiques, minéralogiques et paramétriques des matériaux, en l'occurrence presque uniquement des sables, permettra de donner une direction d'ensemble du déplacement de ces sables.

L'utilisation d'une méthode récente : étude des variations des teneurs en éléments naturellement radioactifs des sables, conduira aux mêmes résultats que l'étude minéralogique.

Depuis 1954 on utilise en Europe des techniques d'observation directe des déplacements de matériaux en mer et en rivière : les traceurs luminescents et radioactifs. Les premiers ont déjà été utilisés en U.R.S.S. par ZENKOVITCH (1958), en Angleterre par RUSSEL (1961) et JOLIFFE (1961), en Allemagne par SEIBOLD (1963), en Belgique par BASTIN (1963) et en France par le L.N.H. de Chatou et par LEGORGEU et BOILLOT (1964). Les seconds sont actuellement utilisés dans tous les pays et en France depuis 1955 par la Section d'Application des Radioéléments du C.E.N. de Saclay.

Des expériences ont été effectuées à l'aide de ces dernières techniques pendant un mois à deux époques de l'année et permettent d'affirmer que ce déplacement est actuel.

L'examen des résultats obtenus par les différentes méthodes donne les directions de transit sédimentaire en fonction des caractéristiques océaniques sur la partie nord du littoral des Landes,

principalement entre la Pointe de Grave et le Cap Ferret, dont des études antérieures ont démontré l'existence sans s'accorder sur leur importance et leur direction.

+ +
 +
 .

HISTORIQUE

Dès 1939, L. GLANGEAUD s'est intéressé au déplacement général des sables le long de cette côte, notamment au Nord vers Soulac, et a donné une première indication sur le sens de ce déplacement, à savoir du Sud vers le Nord.

En 1956, S. DUPLAIX, par l'étude des minéraux lourds confirmait cette direction, de la Pointe de Grave à la Pointe de la Négade, et proposait de la Pointe de la Négade à Cap Breton, une direction du Nord vers le Sud.

+ +

+

L'ENERGIE DE LA MER

La mobilisation des sables, leurs dépôts, sont fonction de l'énergie de la mer, engendrée presque uniquement par la houle. Les courants généraux n'influencent pas les plages. De même que les courants de marée ils sont négligeables sur cette côte rectiligne, devant les courants de houle, excepté dans l'estuaire de la Gironde. Par contre, il faut tenir compte du coefficient de marée qui modifie la hauteur du plan d'eau d'où l'action et l'étendue de la houle sur la plage.

A) LA HOULE

1 - Généralités sur la houle.

L'énergie de la houle au large est, en première approximation : $E = \frac{1}{8} \rho gh^2L$, avec ρ la masse volumique, h l'amplitude ou hauteur verticale entre le sommet de la crête de la vague et la base de son creux, et L la longueur d'onde ou distance horizontale entre deux crêtes successives. Elle est moyennement fixe dans chaque volume d'eau et proportionnelle au carré de l'amplitude. Ainsi

une vague de 3 m de hauteur transmet 1.000 kilowatts par mètre de longueur de crête. Cette énergie ne se dissipe pas avec la même importance et varie avec l'inclinaison du fond, généralement faible et surtout l'angle entre la ligne de rivage et le direction de la houle (SAUVAGE et VINCENT, 1954; PELNARD-CONSIDERE, 1956; VERA-CRUZ, 1959).

En profondeur finie, soit à la profondeur H (inférieure à L/2) les molécules d'eau ne décrivent plus des cercles, mais des

ellipses formées de grand axe horizontal $a = h \frac{\text{ch} \left(\frac{2 \pi (H - Z)}{L} \right)}{\text{sh} \left(\frac{2 \pi H}{L} \right)}$

et de petit axe vertical $b = h \frac{\text{sh} \left(\frac{2 \pi (H - Z)}{L} \right)}{\text{sh} \left(\frac{2 \pi H}{L} \right)}$. Z est la pro-

fondeur de la molécule lorsque la houle se propage en profondeur constante et finie H.

L'excentricité des ellipses décrites par les molécules d'eau: $e = \frac{1}{\text{ch} \left(\frac{2 \pi (Z - H)}{L} \right)}$ croît avec la profondeur. Ainsi la

trajectoire des molécules d'eau se réduit sur le fond à un demi axe horizontal (Fig.2). D'où la vitesse alternative au fond :

$$u = \frac{\pi h}{T \text{sh} \left(\frac{2 \pi H}{L} \right)} \quad \text{avec } T \text{ la période.}$$

Près du rivage, la non fermeture des orbites (Fig.3), produit un transport de masse vers la plage, d'où d'énergie qui décroît rapidement en profondeur verticale.

La houle, par suite des réflexions et réfractions sur les fonds, se déforme; l'amplitude augmente jusqu'au déferlement

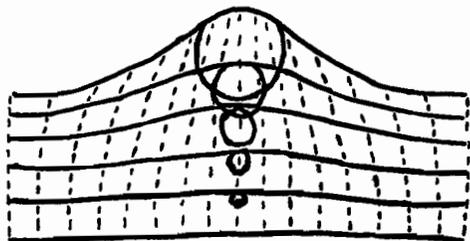
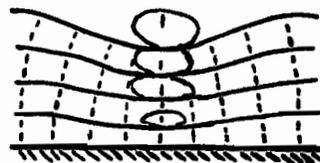


FIG. 2

HOULE CYLINDRIQUE SIMPLE EN PROFONDEUR INFINIE



HOULE CYLINDRIQUE SIMPLE EN PROFONDEUR FINIE

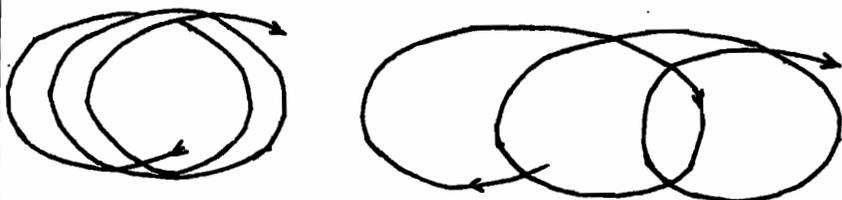


FIG. 3

DEFORMATION PROGRESSIVE DES TRAJECTOIRES DE LA HOULE A L'APPROCHE DE LA CÔTE

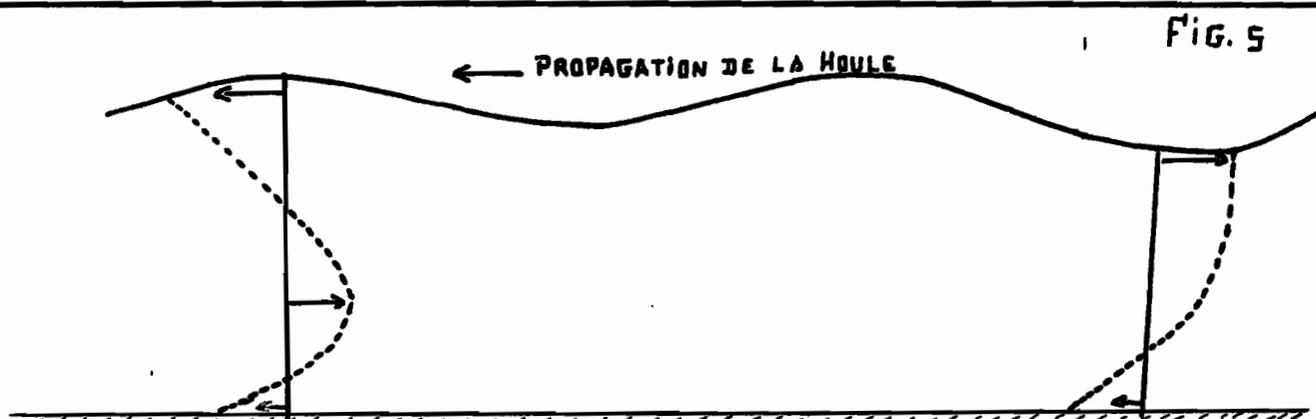
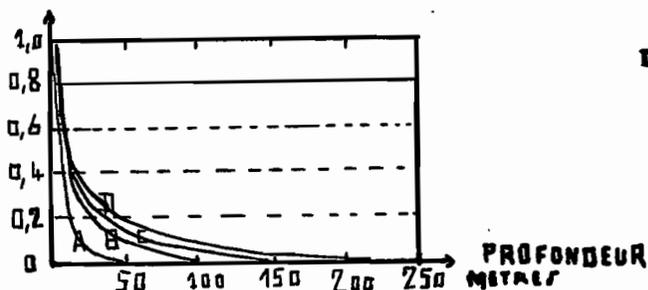


FIG. 5

COURANT DE HOULE SUR FOND HORIZONTAL (SAUVAGE ET VINCENT 1954)

m/s



COURBE	A	PERIODE	5 s
"	B	"	10 s
"	C	"	15 s
"	D	"	20 s

FIG. 6

RAPPORT DE LA VITESSE MAXIMUM SUR LE FOND A L'AMPLITUDE DE LA HOULE CYLINDRIQUE SIMPLE (LARRAS 1961)

alors que la célérité et la longueur d'onde diminuent. La direction des lignes de crêtes des vagues se modifie, car les variations de célérité ne sont pas identiques sur toute la longueur de la crête.

Le déferlement se produit lorsque la cambrure ($\gamma = \frac{h}{L}$) atteint sa forme limite et que la vitesse de la masse d'eau supérieure est plus grande que la vitesse de propagation de la masse d'eau sous-jacente. Seule l'énergie située au-dessus du plan de repos se détruit dans le premier déferlement. L'eau au-dessous continue à osciller, transmet son énergie vers le rivage et crée une nouvelle houle de hauteur réduite qui déferlera à son tour plus loin.

On ramène les formes de déferlement à trois types : déferlement plongeant (plunging), à déversement (spilling), à gonflement (surging) (Fig.4).

La profondeur de déferlement est proportionnelle à l'amplitude et à la cambrure. LARNAAS (1961) a pu établir les rapports suivants avec H' la profondeur de déferlement, h l'amplitude au large et L la longueur d'onde en mètres :

$$\frac{H'}{h} = 1,25 \text{ à } 1,50 \text{ sur fonds légèrement inclinés et lisses}$$

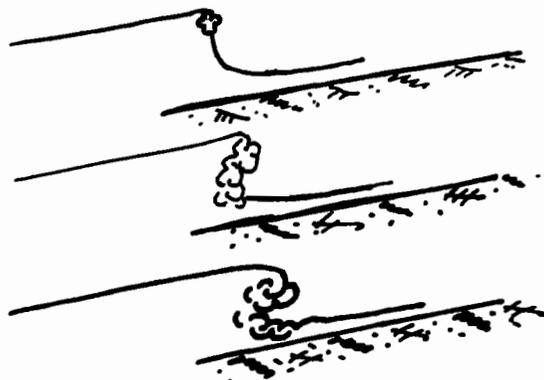
$$\frac{H'}{h} = 1,5 \text{ à } 2,5 \quad " \quad " \quad " \quad " \quad \text{et rugueux.}$$

Ce rapport diminue avec γ . On a également les rapports suivants :

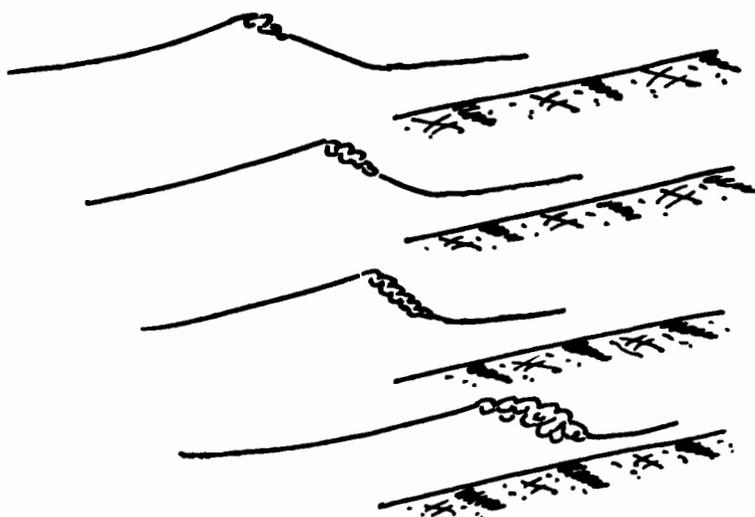
$$\frac{H'}{2L} = 0,1 \text{ pour une vague de vent de } \gamma = \frac{1}{15}$$

$$\frac{H'}{2L} = 1,5 \quad " \quad " \quad " \quad \text{peu cambrée de } \gamma = 0,005.$$

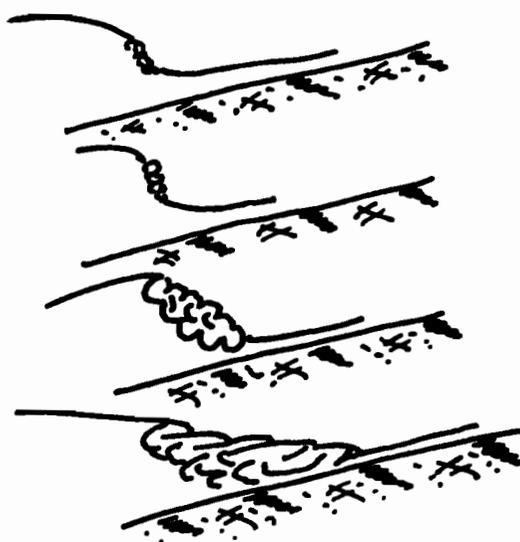
Déferlement
"plongeant"
(Plunging)



Déferlement
à déversement
(Spilling)



Déferlement
à gonflement
(Surging)



(d'après MASON)

En déferlant les vagues produisent des variations importantes de pression sur la plage, décomposées dynamiquement en :

- gifle : variation brutale sensible au droit même du déferlement de la vague,
- bourrage : variation continue.

Ces variations de pression contribuent à la mise en suspension des sédiments et modifient certainement leur seuil d'érosion.

L'action de la houle sur le fond.-

VINCENT et RUELLAN (1957) ont montré que la houle engendre un courant alternatif sur le fond (Fig.5) d'où dans la couche limite de vitesse horizontale $u = \frac{\pi h}{T} \times \frac{1}{\operatorname{sh} \frac{2\pi H}{L}}$ donc fonc-

tion de l'amplitude et de la période (Fig.6). D'après LARRAS (1961) la couche limite a une épaisseur moyenne en millimètres $\delta = 1,3\sqrt{T\nu}$ avec T en secondes et ν le coefficient de viscosité cinématique du liquide en cm^2/s . En réalité il faut tenir compte de la dimension des grains et surtout des phénomènes de turbulence et de la perméabilité.

Par suite du transport de masse dans les profondeurs H inférieures à $\frac{L}{2}$, le mouvement ascendant prévaut sur le mouvement descendant près du rivage. Il peut donc être plus fort que l'action conjuguée du mouvement descendant et de la pesanteur d'où l'engraissement des plages. Cependant les phénomènes de turbulence (agitation tourbillonnaire) plus forts au fond qu'en surface peuvent, près du rivage, prédominer sur le phénomène oscillatoire d'où l'érosion des profils.

Il faut rappeler la théorie de CORNAGLIA établie dès 1881 selon laquelle en fonction de la houle, existerait une ligne neutre sur laquelle les matériaux bien que déplacés alternativement en avant et en arrière ne subissent aucun déplacement résultant. Il y aurait de part et d'autre d'une ligne, un déplacement vers le large d'un côté, et vers le rivage de l'autre. LARRAS (1961) assimile cette ligne neutre à la limite entre le transport dans la zone côtière et l'immobilité du large c'est-à-dire la limite d'action de la houle en profondeur. Pour avoir cette limite il suffit de calculer les vitesses au fond compte tenu du seuil d'érosion du matériau.

En fait, L. GLANGEAUD (1941) a précisé que le déplacement pour une houle donnée était fonction des caractères du grain.

Mais la vitesse au fond est très variable car elle dépend des caractéristiques des vagues et LARRAS (1957) donne un tableau des profondeurs en mètres auxquelles on a encore une vitesse au fond de 0,10 mètre/sec. soit les 8% de leur valeur en surface :

Période de la houle en secondes	Amplitude de la houle en mètres					
	2	4	6	8	10	12
6 sec.	27	33				
9 sec.	53	67	75	81		
12 sec.	83	108	123	133	141	148
15 sec.	116	157	181	197	210	220
18 sec.	153	210	244	268	286	300
21 sec.	190	270	313	346	370	390

La houle peut donc "raboter" le plateau continental.

LARRAS (1961, p.88) émet des réserves sur une conclusion obtenue mathématiquement selon laquelle "le flot de fond serait d'autant plus violent que la houle proviendrait des plus grandes profondeurs et de plus loin". Or on constate qu'une houle bien régulière par temps calme engraisse énormément la plage.

SHEPARD (1950) attribue au type plunging de déferlement le plus d'action.

Long shore currents ou courants de houle parallèles au rivage.-

Ils sont bien étudiés en modèle réduit mais mal connus en nature quoique mis en évidence par BAGNOLD dès 1947. Ils sont périodiques et se produisent entre les différents rouleaux d'une plage (SITARZ, 1963). Leur vitesse dépend des caractères des vagues au déferlement. Elle est maximum dans la zone de déferlement et décroît de part et d'autre de celle-ci mais beaucoup moins rapidement vers le rivage. Elle varie de quelques décimètres/sec. à quelques mètres/sec.

Diverses formules permettent un calcul théorique obtenu en modèle réduit. La plus connue est celle déterminée par PUTNAM, MUNK, TAYLOR (1949) :
$$U = K \left(\frac{gh^2}{T} i \sin 2\alpha \right)^{1/3} ,$$

avec U la vitesse du longshore current, en mètres/seconde

h l'amplitude des lames déferlantes en mètres

T la période des lames déferlantes en secondes

i la pente moyenne du profil littoral en radians

α l'angle entre la direction des crêtes de houle et celle de la ligne de rivage en radians

g l'accélération de la pesanteur

K un coefficient sans dimensions dépendant de l'énergie de la houle, de la turbulence générale des lames et de la rugosité des fonds; LARRAS (1961) propose en moyenne $K = 2,58$.

On obtient des résultats moins dispersés avec la formule donnée par LARRAS (1961, p.205) :

$$U = 1,305 \frac{h_i \cos \alpha}{r T} \left[1 + 1,53 \left(\frac{r C T \operatorname{tg} \alpha}{h_i} - 1 \right) \right]^{1/2}$$

avec r la rugosité et C la célérité des lames dans les rouleaux.

Cette dernière formule a l'avantage de montrer que U est maximum pour une incidence comprise entre 46° et 58° soit en moyenne 52° . Cette valeur coïncide avec les résultats de SAUVAGE de St-MARC, VINCENT, VERA-CRUZ, BRUNN, PUTNAM, MUNK, TAYLOR et diffère de ceux de PELNARD-CONSIDERE. En effet, ce dernier donne un angle de 65° .

BREBNER et KAMPHUIS (1964) proposent deux autres formules valables dans le cas d'une côte rectiligne et d'une pente faible correspondant donc bien au littoral des Landes :

$$V1 = 2,5 \left[\frac{g_i h_o^2}{T} \right]^{1/3} \left[\sin (1,65 \alpha_o) + 0,1 \sin (3,30 \alpha_o) \right]$$

$$V2 = 6 \left[\frac{g_i h_o^3}{T^2} \right]^{1/4} \left[\sin (1,65 \alpha_o) + 0,1 \sin (3,30 \alpha_o) \right]$$

avec h_o (amplitude significative), α_o , et T , mesurés au large.

2 - Caractéristiques de la houle sur le littoral des Landes

Deux houlographes à capteurs de pression différentielle type Chatou étaient immergés l'un par le Port Autonome de Bordeaux au large de l'embouchure de la Gironde à 16 m au-dessous du zéro des cartes marines, et l'autre par Esso-Rep au large de Biscarosse à 26 m au-dessous du même zéro. Les valeurs obtenues sont presque identiques.

Une statistique de la période pendant l'année 1963 par Esso-Rep (Fig.7) donne comme moyenne 11 à 12 secondes pour des temps plus courts, le Port Autonome obtient également en moyenne 11,6 sec. (sur quelques mois). On note que, comparée à la période moyenne pour 1963 du point K (long. 16°W, lat. 45°N), la période moyenne de la houle côtière est plus longue. Ceci est probablement dû à la transmission de la houle et à sa réfraction sur le plateau continental, ou bien au fait que les plus longues périodes se propagent mieux.

Sur la côte Ouest du Portugal métropolitain au large du Port de Figueria da Foz, BARCELO (1964) a obtenu également pour la même année un maximum de fréquence entre 10 et 12 secondes. La longueur d'onde est connue par les relations suivantes :

- en profondeur infinie $L = g \frac{T^2}{2\pi} = 220$ m pour la période $T = 12$ s.

- en profondeur finie L varie avec la profondeur H :

$$L = \left(\frac{gL T^2}{2\pi} \operatorname{th} \frac{2\pi H}{L} \right)^{1/2}$$

FREQUENCE

HOULOGRAPHE de Biscarosse

Frégate-Météorologique du point K

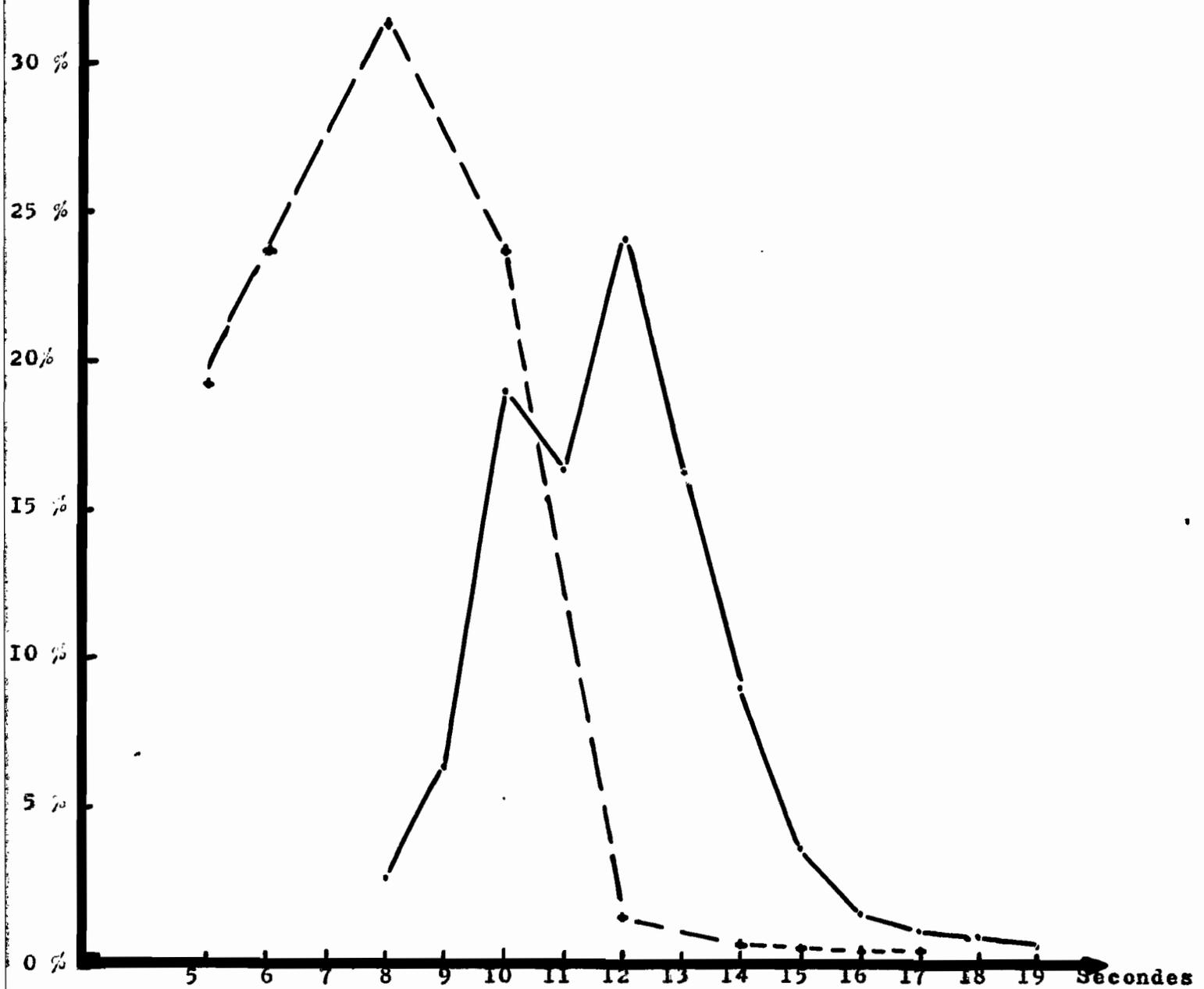


FIG. 7- DISTRIBUTION ANNUELLE de la PERIODE

La houle longue se réfracte plus que la houle courte.
Son action sur le fond est donc plus importante.

L'amplitude se définit par :

- la hauteur moyenne $H_m = \frac{1}{N} \sum_i^n H_i$

- la hauteur significative définie par SVERDRUP et MUNK comme la
moyenne des $\frac{N}{3}$ vagues les plus fortes d'un train de N vagues

$$H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_i^n h_i$$

- la hauteur maxima : H_{max}

- la hauteur la plus probable H_o

Des fonctions de distribution des amplitudes adoptées
par LONGUET-HIGGINS, on déduit les relations suivantes entre l'am-
plitude la plus probable H_o et les autres amplitudes :

$$H_m = 1,25 H_o$$

$$H_{1/3} = 2 H_o$$

BARCELO (1964) trouve pour le Port de Figueria de Foz
des rapports différents tels $\frac{H_{1/3}}{H_m} = 1,26$. Or la loi statistique
n'est pas la même suivant la profondeur à laquelle est placé l'appa-
reil de mesure ou à laquelle se fait l'observation. De plus les ob-
servations de BARCELO sont visuelles et il trouve donc une loi ap-
proximativement de GAUSS-LAPLACE.

A partir des observations des sémaphores de la Coubre,
du Cap Ferret, du Boucau, DUVET (Rapport Esso-Rep) a établi une sta-
tistique de l'état de la mer sur dix années (Fig.8) avec \bar{E}_o état
mensuel moyen observé, \bar{E}_o moyenne des états les plus forts obser-
vés chaque jour, $H_{1/3}$ hauteur significative de la houle mensuelle

Evolution cyclique de l'état de la mer Périodicité annuelle

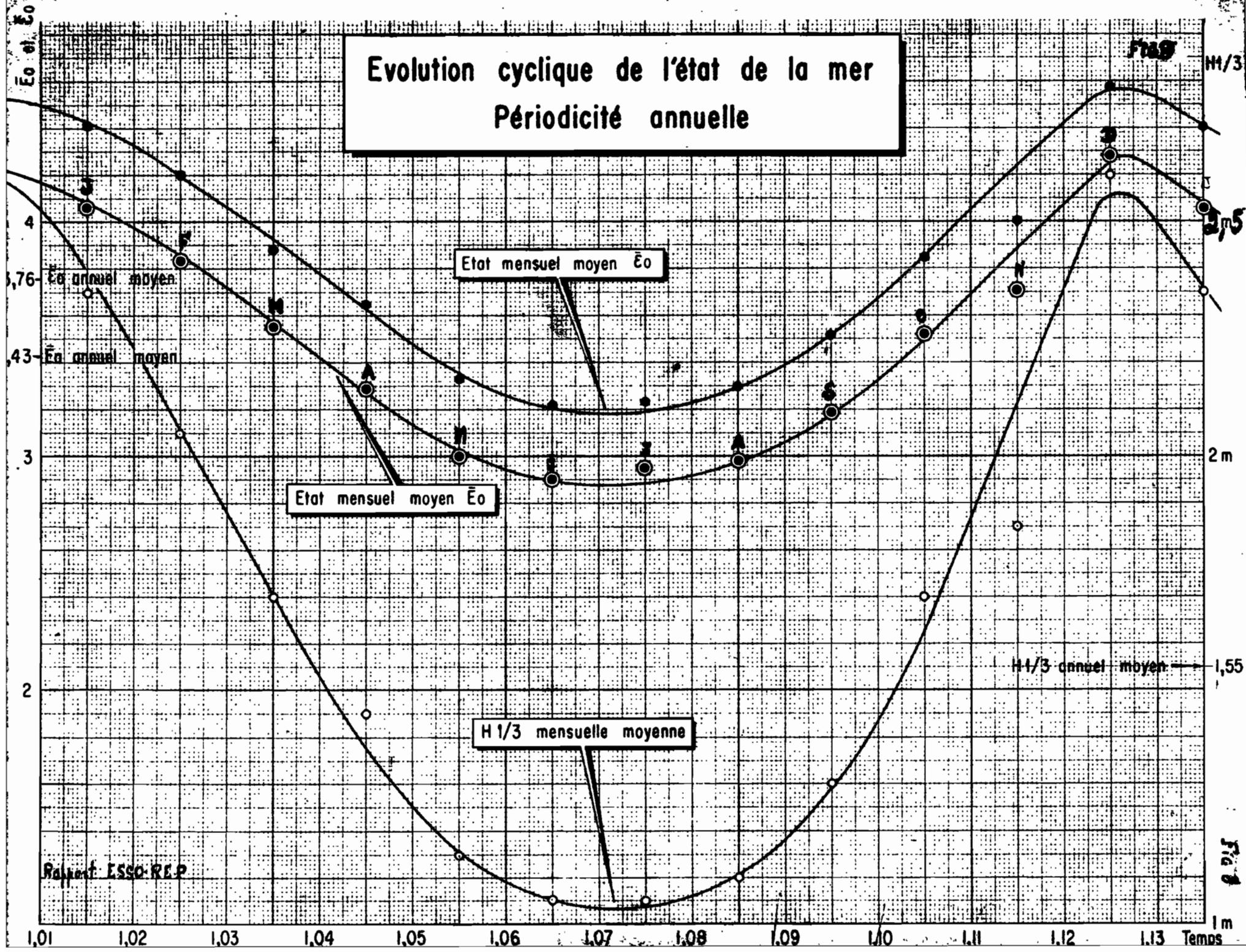


Fig. 9

Correspondance entre l'échelle des états de la mer
et la hauteur caractéristique de la houle

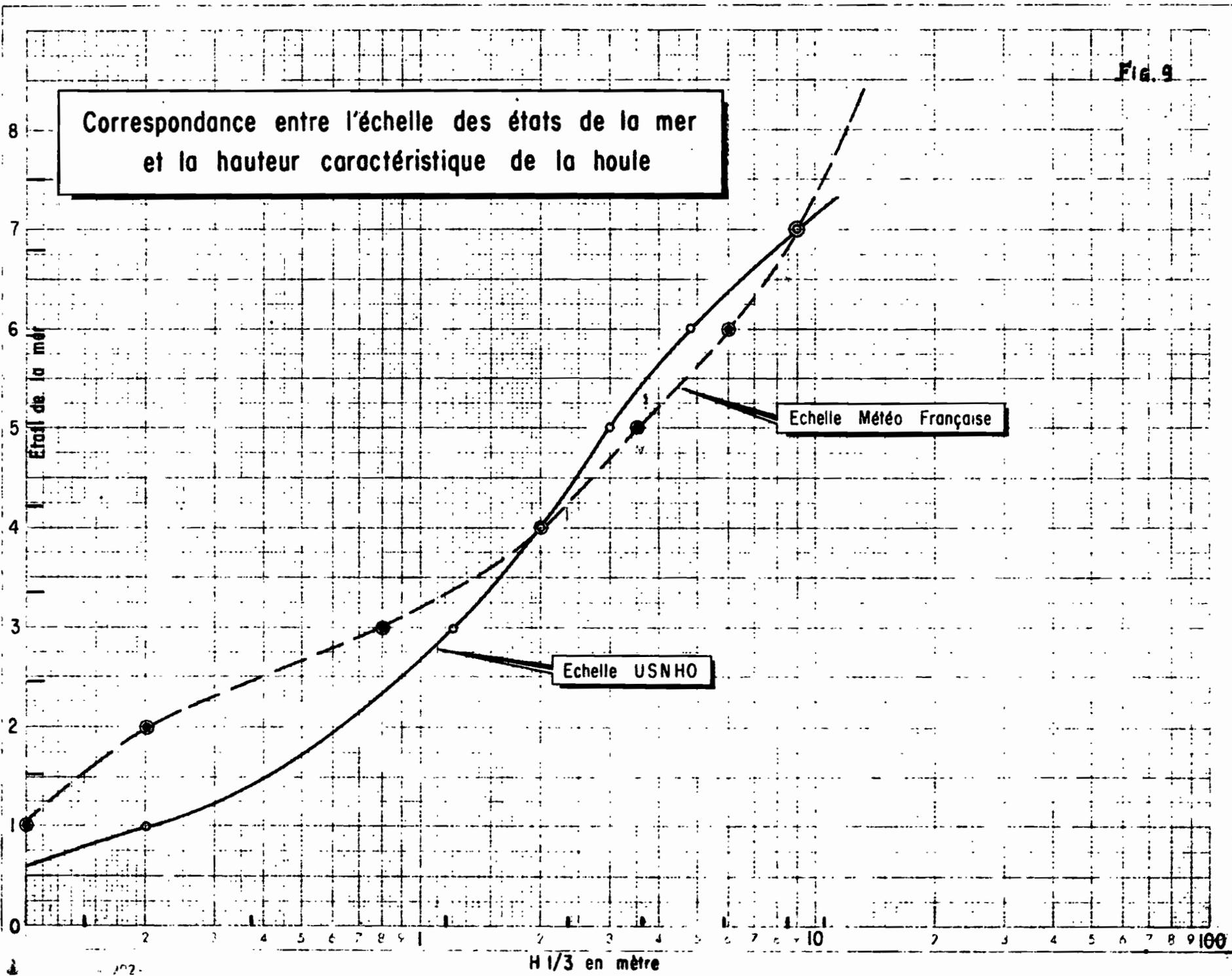


Fig. 9

moyenne. On constate que les distributions sont sensiblement gaussiennes.

On passe directement d'un état de la mer observé à la hauteur significative grâce à une courbe établie par la météorologie nationale (Fig.9). Cependant, comparant les résultats avec les valeurs obtenues d'après les enregistrements du houlographe, DUVET fut obligé d'effectuer une correction. Ainsi d'après 300 mesures, il a constaté que les observations sont trop faibles pour les états de la mer inférieurs à 5 et trop forts au-dessus (Fig.10). Il est cependant à remarquer que des sémaphores, on observe non pas la houle du large, mais celle correspondant à des fonds de 26 mètres, semblables à ceux où était installé le houlographe d'Esso-Rep. Toutefois, la mesure de l'état de la mer est une mesure assez grossière et ses écarts semblent dus aux erreurs humaines d'observation augmentant les états de la mer forts, et diminuant les faibles.

Distributions annuelles des états de la mer en % :

<u>Etat de la mer</u>	<u>Cap Ferret</u>	<u>La Coubre</u>	<u>Point K</u>
0 (calme)	0,028	0	0
1 (ridée)	0,1966	3,899	2,953
2 (belle)	21,054	28,787	19,784
3 (peu agitée)	39,146	30,131	20,301
4 (agitée)	24,010	21,387	31,492
5 (forte)			

ETAT REEL déduit de l'amplitude significative
donnée par le houlographe de Biscarosse

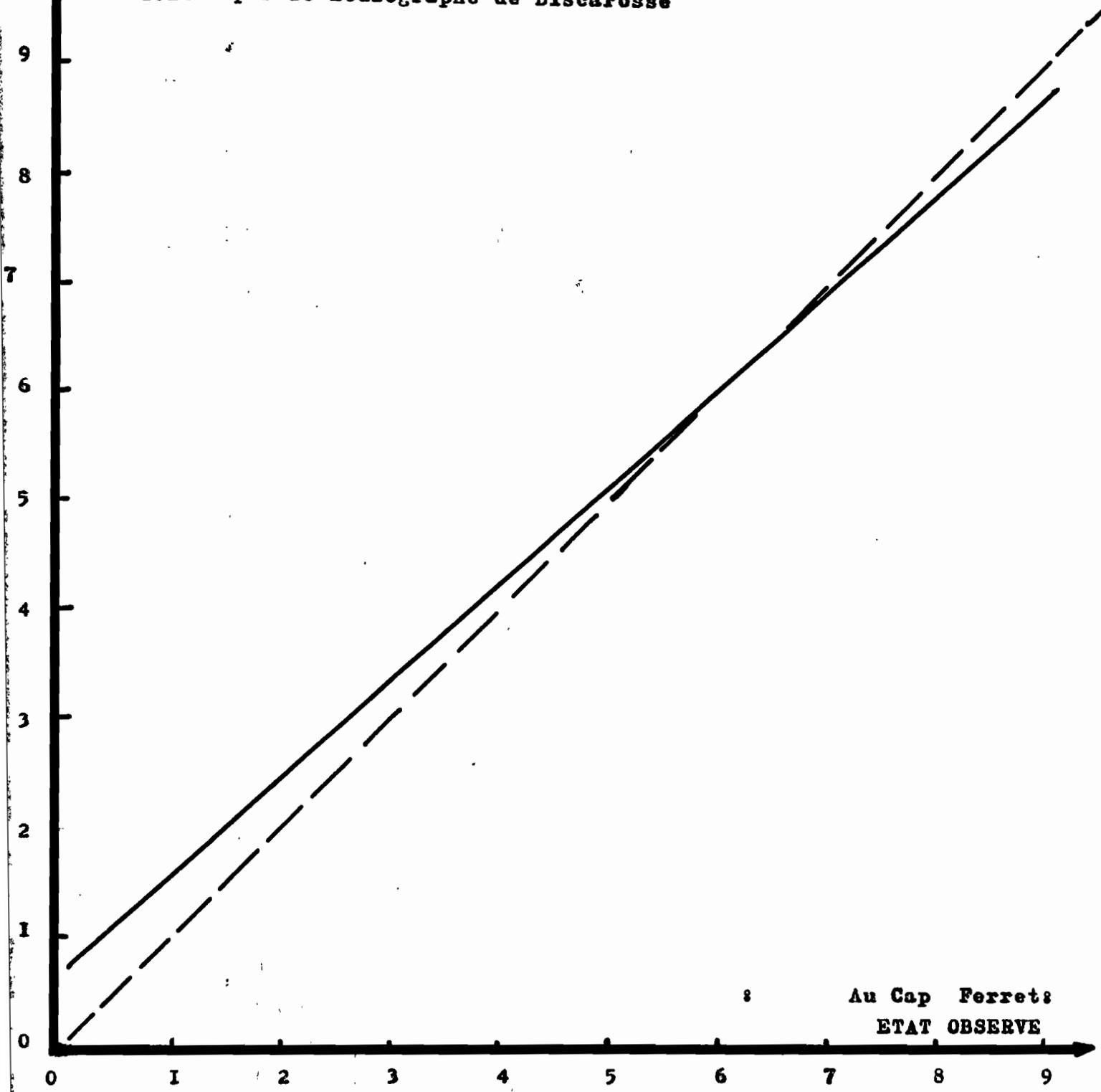


FIG. 10. CORRELATION DES ETATS DE LA MER
d'après 300 mesures. (Esso-Rep).

En pointillés: corrélation théorique.

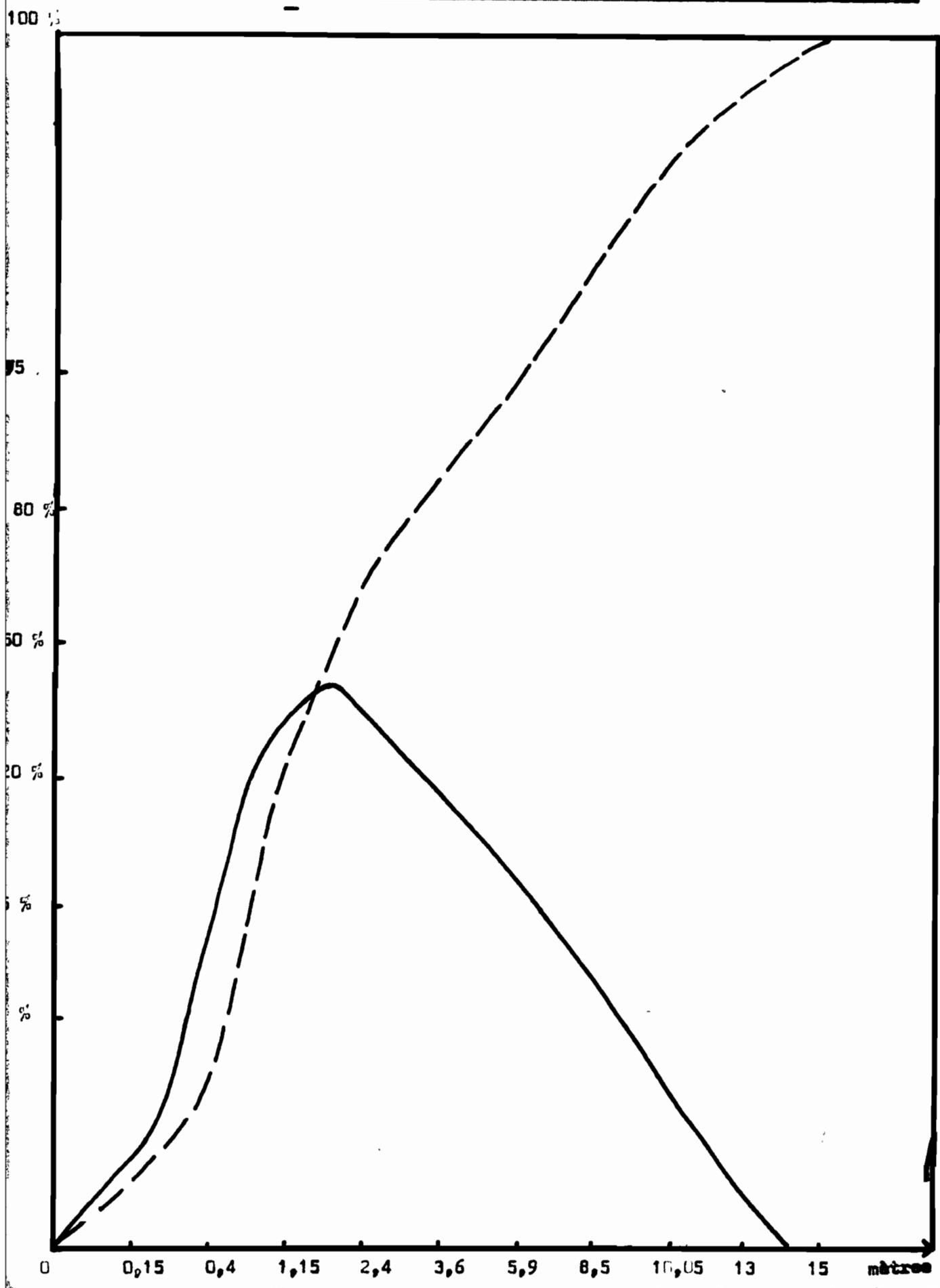
<u>Etat de la mer</u>	<u>Cap Ferret</u>	<u>La Coubre</u>	<u>Point K</u>
5 (forte)	10,496	11,855	20,158
6 (très forte)	4,100	3,069	9,529
7 (grosse)	0,8425	0,705	3,838
8 (très grosse)	0,1193	0,166	0,825
9 (énorme)	0,0070	0	0,112

Il est ensuite facile d'établir la probabilité de l'amplitude significative de la houle (Fig.11). Par la méthode classique d'extrapolation Gaussienne, on peut déterminer l'amplitude maximum pour un intervalle donné. Ainsi DUVET (Esso-Rep) donne au Cap Ferret la hauteur de la plus haute vague annuelle : 15 mètres; ce qui correspond à la valeur du point K (stationnement de la Frégate Météo). La plus haute vague décennale atteint 17,5 mètres alors que l'on obtient 19 mètres au point K. La plus haute vague centenaire atteint 21,5 mètres alors qu'au point K elle atteindrait 23,5 mètres.

Les directions annuelles de la houle ne peuvent actuellement être déterminées que visuellement. Esso-Rep s'est basé sur les directions du point K (stationnement de la Frégate Météo), mais le point K est très éloigné des côtes landaises. J'ai obtenu d'après les relevés du bateau pilote de la Gironde sur une année (1963) la statistique suivante :

PROBABILITE ANNUELLE DE L'AMPLITUDE SIGNIFICATIVE DE LA HOULE

FIG.11



N	=	0,2849 %	} 21,4450 %
NNW	=	0,2916 %	
NW	=	7,1911 %	
WNW	=	13,6774 %	
W	=	77,8918 %	
WSW	=	0,5649 %	
calme	=	0,0983 %	

Ce maximum à l'Ouest est un peu exagéré car l'observation a lieu à l'embouchure de la Gironde à des profondeurs où la houle est déjà réfractée (Fig.17), et les secteurs d'observations sont très larges. Ainsi au large de la Pointe de Grave, la courbe 200 m se trouve à 200 Km de la côte alors qu'elle n'est plus qu'à 60 Km au large du Cap Ferret et la distance va en diminuant jusqu'à la fosse du Cap Breton. On peut cependant noter que les plus fortes houles proviennent de l'W et surtout du NNW.

Par ailleurs, au large du Port de Figueria da Foz, BARCELO (1964) observe un maximum de fréquence entre 10°N et 20°N sur des secteurs répartis de 5 degrés en 5 degrés.

Il faut tenir compte de la cambrure $\delta = \frac{h}{L}$ dont la valeur moyenne annuelle est $\delta = 0,007$. On cherche actuellement à formuler le déplacement en fonction de la cambrure car on sait depuis SHEPARD (1950) qu'elle modifie le profil des plages.

Les effets de la houle sur le fond.-

Les vitesses alternatives engendrées au fond par la houle, transversalement au rivage, dépendent des caractéristiques de celle-ci et se manifestent par des érosions ou des engraisse-

ments du profil littoral. Mais ceux-ci varient avec la pente du profil qui doit donc entrer en considération. Sur tout le plateau continental du littoral des Landes, les vitesses sont importantes car les dépôts vaseux sont rares.

Les long shore currents se produisent dans toute la zone des brisants soit sur plusieurs centaines de mètres. Un calcul simple suivant les formules de BREBNER et KAMPHUIS (1964) avec : $T = 8$ sec. $\alpha_0 = 45^\circ$, $H = 5,5$ mètres et $\theta = 0,017$ radians, nous donne entre $V_1 = 1,4$ mètre/seconde et $V_2 = 1,2$ mètre/seconde.

Leur vitesse est maximum dans le premier déferlement et décroît plus rapidement vers le large que vers la côte. La séparation de la masse d'eau relativement calme au-delà du déferlement et la masse d'eau trouble en deçà est marquée, en particulier sur le littoral des Landes, par des aspects très différents.

Ceci s'observe surtout lors des houles, accompagnées par un fort vent du large, à vagues de type "spilling" et "surging" (Fig. 4) qui produisent une forte turbulence amenant une nette coloration des eaux côtières différentes de celle au large, dans toute la zone de déferlement ainsi que l'avait déjà constaté BAGNOLD (1947). Sur la côte des Landes, au Sud de la Pointe de la Négade, on voit ainsi ces eaux troubles pénétrer dans les eaux claires et se terminer en pointe vers le SW avec les mêmes formes que les bancs de sables de la photographie aérienne du Cap Ferret (Pl. G), mais sur de plus vastes étendues.

Les houles, existant en l'absence de vent, ou avec un vent de terre, à vagues surtout "plunging" (Fig. 4), qui déferlent près du rivage, ne produisent qu'une très faible turbulence. C'est à la suite de ces houles et pour des amplitudes moyennes que l'on

COURBES DE FREQUENCE ANNUELLE DES HAUTEURS D'EAU A CORDOUAN EN 1964

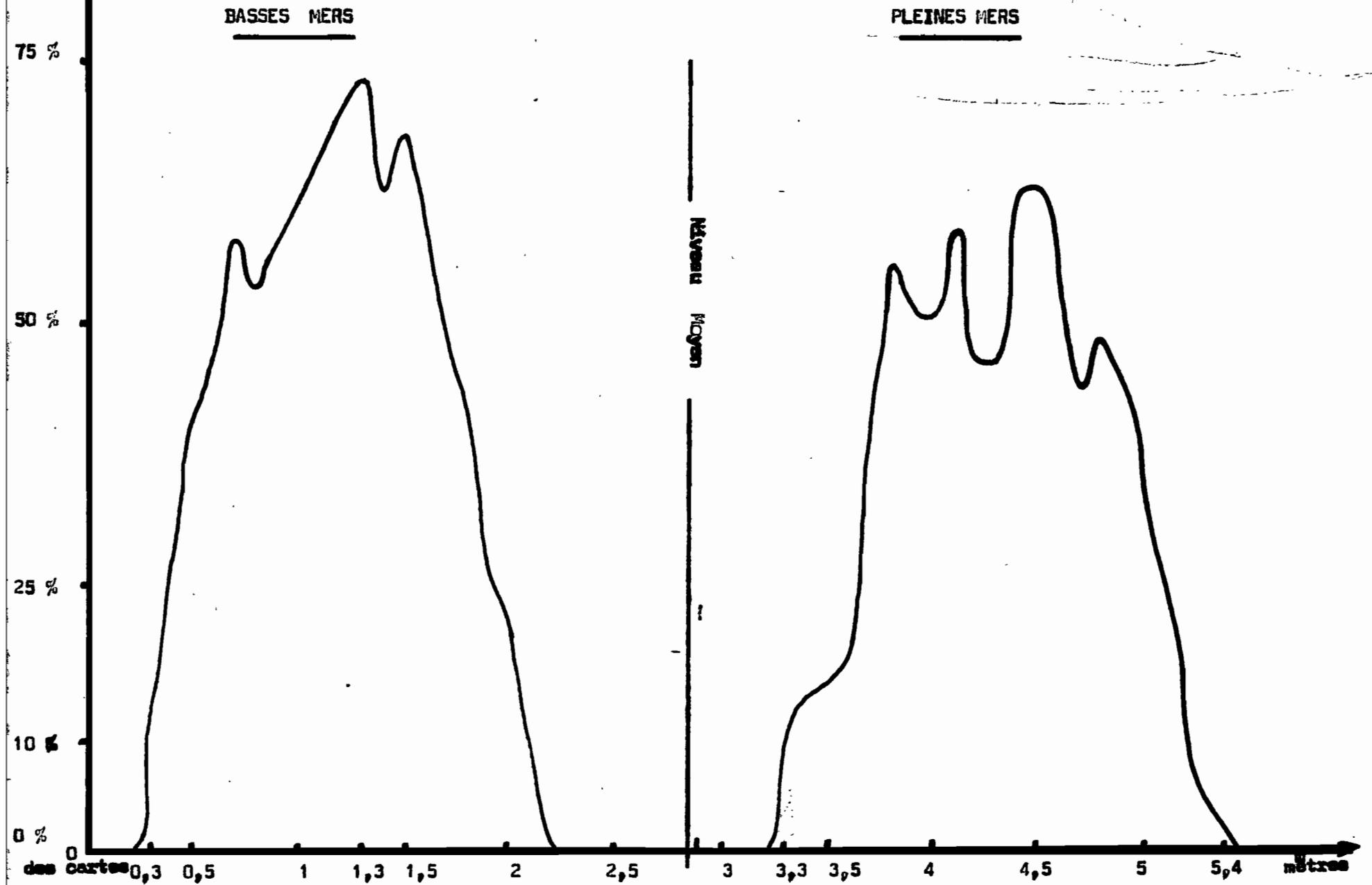


FIG. 12

GRAPHIQUE VI

Fig. 13

ELEVATION DE LA HOULE AU DESSUS DU NIVEAU DES EAUX CALMES

(de BRETSCHNEIDER, Proceedings of the ASCE mars 1958.)

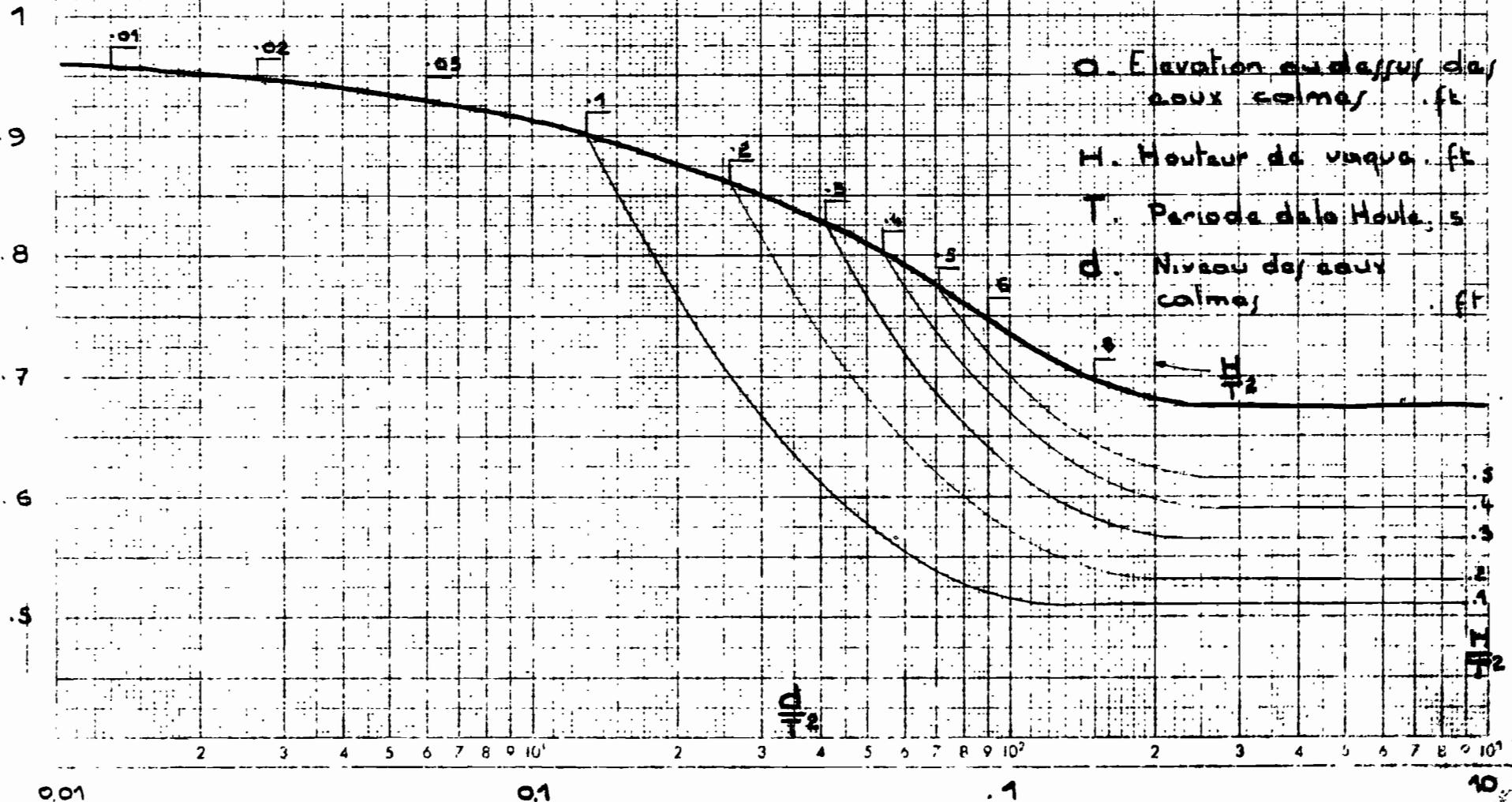


Fig. 13

constate sur certaines plages, Soulac et Pointe d'Arcachon, des concentrations de minéraux opaques : (28% de minéraux lourds contre 3% généralement), constitués presque seulement d'ilménite avec un peu de magnétite (déterminés en spectrographie par le Laboratoire de Bondy). Etant donné leur forte masse volumique (ilménite : $\rho_s = 5$) ils sont nécessairement apportés sur le rivage par un courant de fond dû à la houle. Ceci a été observé en Mai lors de l'engraissement des plages.

B) LE PLAN D'EAU

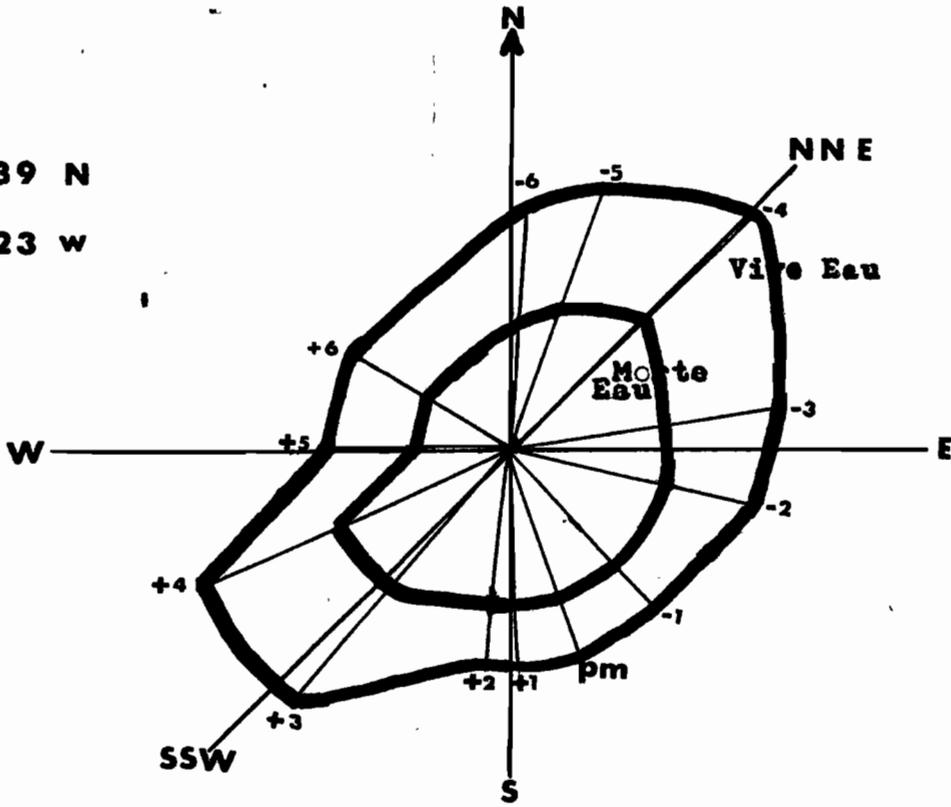
La hauteur d'eau au-dessus du 0 mètre des cartes marines est liée aux variations de l'amplitude de la marée et à ses oscillations semi-diurnes. Le coefficient de marée donné par l'annuaire des marées du Service Hydrographique, est un nombre proportionnel à l'amplitude de la marée. Il est exprimé en centièmes. Par définition le coefficient 100 est attribué à l'amplitude moyenne de la marée lors des vives eaux voisines des équinoxes (21 Mars, 23 Sept.).

A Cordouan on a :

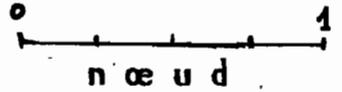
PMVEEq	Fleine mer vive eau	Equinoxe	coef. 110-120,	Haut. Eau	5,3 à 5,5m
PMVE	"	"	"	moyenne	" 95 " 4,9
NMPM	Niveau moyen pleine mer	"	70	"	4,3
PMME	Pleine mer morte eau moyenne	"	45	"	3,8
Horizon moyen à Cordouan					2,79

FIG.14

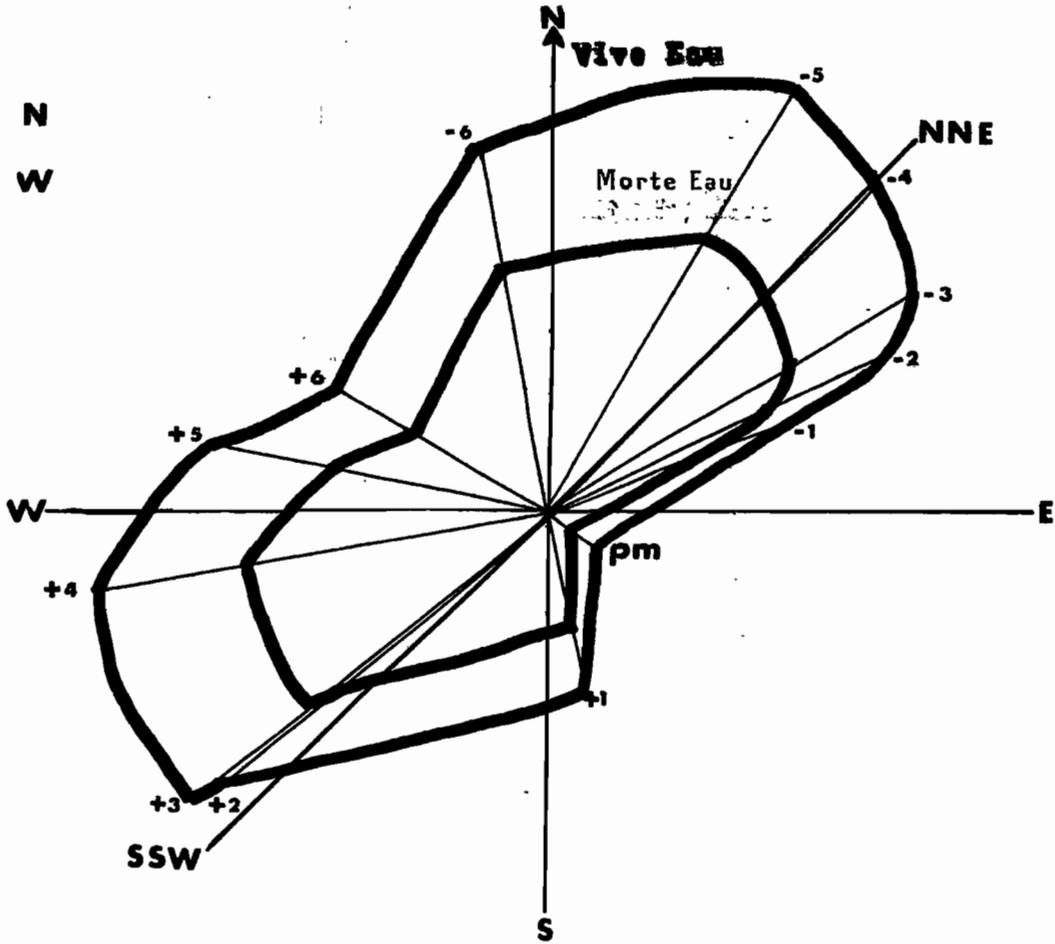
45° 39 N
1° 23 W



COURANTS DE MAREE



45° 31 N
1° 14 W



BMME	Basse mer morte eau moyennecoef.45	Haut.d'eau	1,8 m
NMBM	Niveau moyen basse mer	" 70	" 1,3
BMVE	Basse mer vive eau moyenne	" 95	" 0,6
BMVEEq	" " " " équinoxe	" 110-120	" 0,3 à 0,1 m

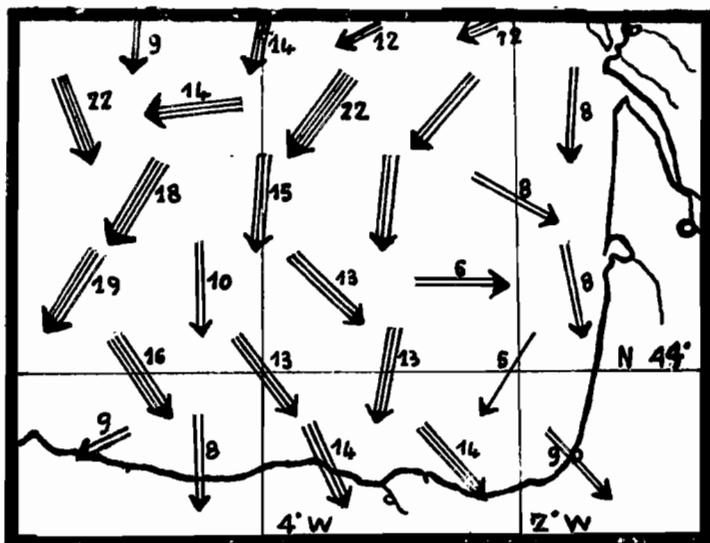
Le o des cartes marines sur lequel sont basées les hauteurs d'eau est à 2,71 m au-dessous du o du nivellement général de la France à Cordouan (unité de hauteur : 2,24 m).

Pour le Cap Ferret, il y a lieu de faire en ME et en VE des corrections négatives pour les hauteurs d'eau, mais de faible importance. La fréquence des hauteurs d'eau à Cordouan est donnée par la Fig.I2 pour l'année 1964. On constate que pour un coefficient de 110 on a un marnage de 5 mètres d'où une extension considérable de l'action des vagues sur les plages en pente faible du littoral des Landes.

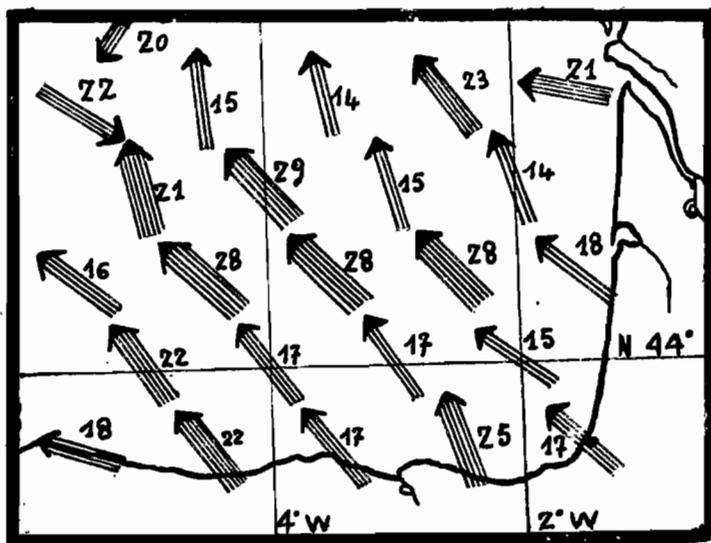
La houle s'ajoutant à la marée produit une surélévation importante du plan d'eau moyen, dépendante de la hauteur de la vague et de la profondeur (Fig.I3). Il faut donc ajouter une valeur à la hauteur d'eau théorique.

C) LES COURANTS DE MAREE (Fig.I4)

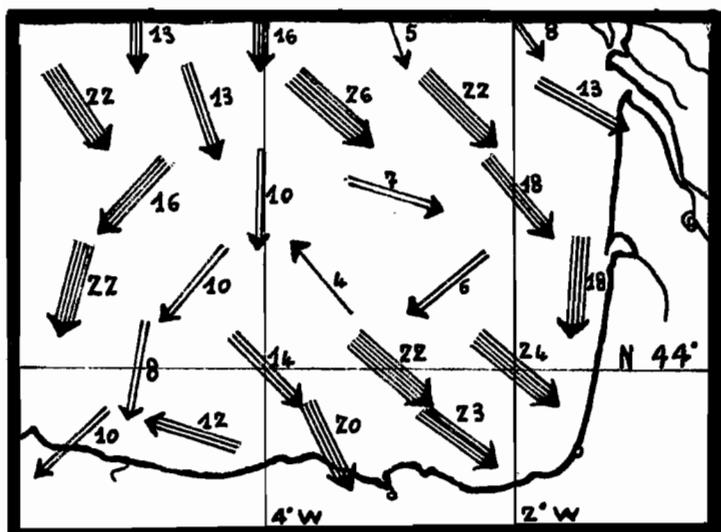
Ils sont dirigés Nord-Est - Sud-Ouest, mais leur action est négligeable devant les courants de houle et les courants de dérive, sauf dans l'estuaire de la Gironde.



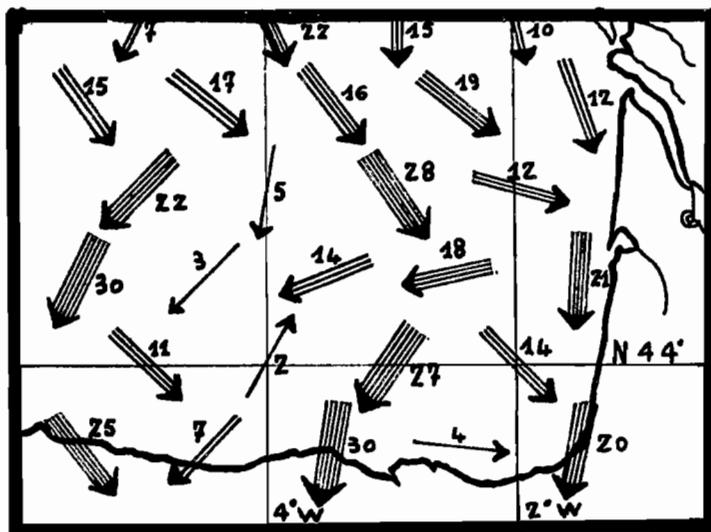
MOYENNE ANNUELLE



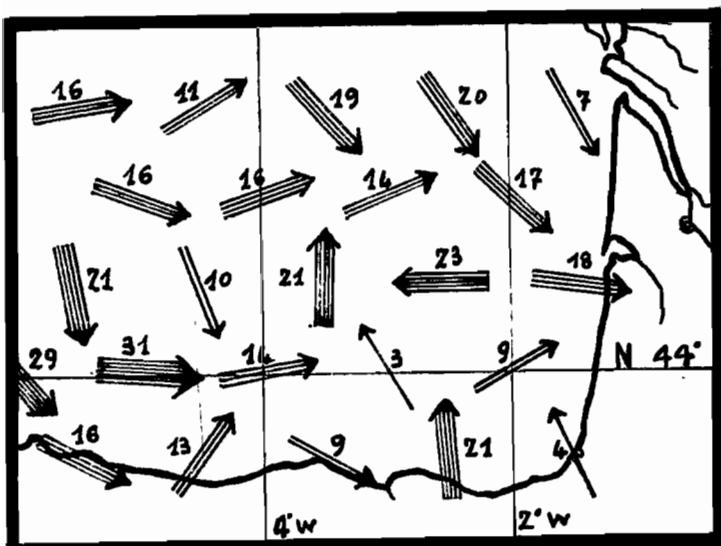
MOYENNE EN JANVIER



MOYENNE EN AVRIL



MOYENNE EN JUILLET



MOYENNE EN OCTOBRE

FIG. 15.

DIRECTIONS ET VITESSES

DES COURANTS DANS LE SUD DU
GOLFE DE GASCogne.

Les vitesses sont exprimées en cm/s. Chaque trait de flèche représente 5cm/s. Extrait de "Atlas Strömungen der Biskaya-bucht 1941"

D) LES COURANTS GENERAUX

Les courants généraux, ou de dérive, sur le plateau continental donc en profondeur finie, ne sont plus soumis à l'effet géostrophique. Ce sont des courants dirigés pratiquement dans la direction de tension du vent.

Les directions mensuelles de courant figurant dans l'"Atlas strömungen der Biskayabucht" (1941)-(Fig.15) et celles représentées dans le "Climatological and Oceanographic Atlas" (1959) ne coïncident pas. Cependant elles présentent dans les deux Atlas une résultante annuelle du Nord vers le Sud, malgré une résultante hivernale dirigée Sud-Nord. En effet, en hiver, de forts vents du Sud-Ouest sont fréquents. Une étude en cours par Monsieur l'Ingénieur en chef EYRIES du Service Hydrographique de la Marine, met en évidence des variations hebdomadaires de la direction avec les mêmes préférences saisonnières.

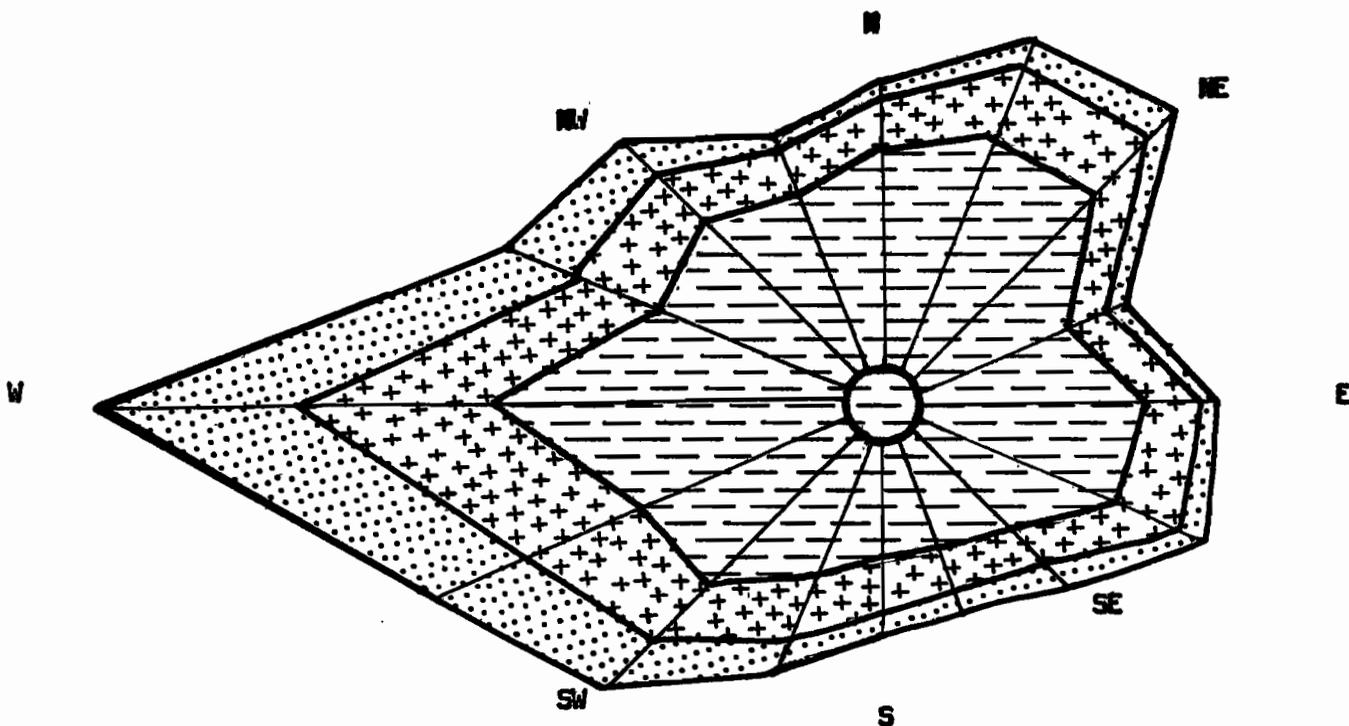
Des flotteurs lâchés par SITARZ (1955) accusent nettement une dérive Nord-Sud. Toutefois leur trajet douteux repose sur l'hypothèse qu'une branche du Gulf Stream décrit en toutes saisons une boucle Nord-Sud dans le Golfe de Gascogne.

La direction du courant de dérive sur le littoral des Landes de Gascogne, est donc fonction de la direction du vent. Malgré des variations hebdomadaires, la direction Nord-Sud est la plus fréquente, sauf de Décembre à Février. Les vitesses des courants sont de l'ordre de 10 à 20 centimètres par seconde.

DIRECTIONS ANNUELLES DU VENT A MERIGNAC (Gironde)

d'après la station météorologique

43827 Observations



Répartition des observations : 0 ————— 2000

Vitesses :

-  2 à 4 mètres par seconde
-  5 à 6 " " "
-  7 à 14 " " "
-  15 " " " ET plus

E) L'ACTION DES VENTS

Leurs actions, en plus des modifications engendrées sur la houle et les courants, sont importantes sur la haute plage et sur les dunes, opérant un triage des grains et une érosion considérable : 300 g de sable sont enlevés par m²/minute pour un vent de 45 Km/heure (XVème C.I. de Navigation, 1931). La station météorologique de Mérignac, quoique située à une quarantaine de Km du littoral, est mieux exposée aux vents que la station du Verdon à la Pointe de Grave. C'est pourquoi les résultats statistiques de ce centre ont été choisis (Fig.16). La direction des vents dominants est comme la direction la plus fréquente de la houle : l'Ouest, d'où le recul des dunes vers l'Est soit vers l'intérieur de la côte et l'ensablement de la forêt qui est actuellement retardé par la fixation des dunes. Ainsi les dunes de la côte de Biscaye reculent de 3 à 30 mètres par an. De même la Basilique de Soulac/Mer, ensablée jusqu'au toit au XVème siècle, et qui a été dégagée en 1850. La dune du Pilat également avait son sommet à 60 mètres en 1814 : il se trouve actuellement à 118 m.

Les effets du vent sur le rivage sont très liés à ceux de la houle. La haute plage et les dunes sont modifiées par le vent de la même manière que l'estran soumis à la houle. Ainsi on constate qu'avec un vent du large, donc d'Ouest, le front de plage et l'estran s'érodent. Par contre, sous l'action d'un vent de terre, donc d'Est, le front de plage et l'estran s'engraissent. On peut également signaler une observation du sémaphore du Cap Ferret : sur une boule métallique d'une taille supérieure à celle d'un homme et d'un poids d'environ 80 kg échouée sur l'estran au N du Cap Ferret : elle s'est déplacée - de Déc.1964 à Janv.1965 de 200 m vers le N, - de Fév.1965 à Mai 1965 de 2,500 m vers le Sud.

MORPHOLOGIE

A) GENERALITES

L'observation des cartes, des photographies aériennes du littoral et des variations de profils des plages, met en évidence une évolution de la ligne de rivage et des déplacements de sables, nettement visibles à la Pointe de Grave et au Cap Ferret.

B) LES DIRECTIONS DU RIVAGE PAR RAPPORT A CELLES DE LA HOULE.

C'est en modèle réduit seulement que l'on a pu étudier les différents paramètres de déplacement de sables si complexes en nature. Le principal agent de transport longitudinal est le long shore current. Or celui-ci dépend non seulement des caractéristiques de la houle, mais également de l'angle entre la ligne des crêtes de la houle et la ligne de rivage. La formule générale du transport est :

$$Q = \frac{K}{\gamma} gh^2 T f(\alpha),$$

avec K un coefficient sans dimension fonction de la cambrure de la houle et des caractéristiques physiques du sable; h l'amplitude des lames déferlantes et γ leur cambrure; T la période des lames; g,

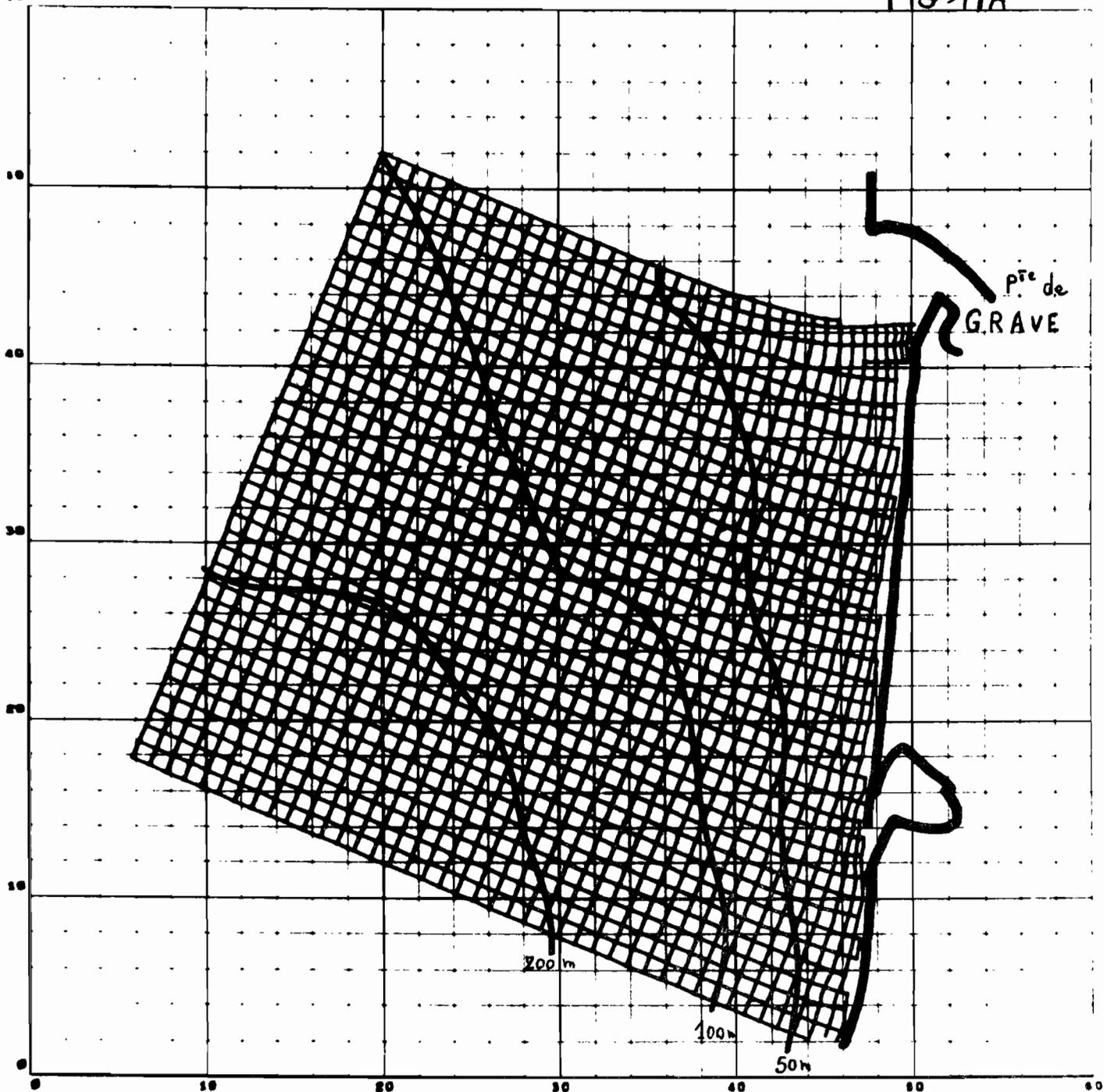
PLAN DE VAGUES

ARCACHON

FIG 17A

3241-0642
003 001

ECHELLE 1 MAILLE = 3492 METRES



MOULE DE DIRECTION W.N.W. DE PERIODE 12 SECONDES

l'accélération de la pesanteur; $f(\alpha)$ est une fonction sans dimension de l'angle entre la ligne des crêtes de la houle et la ligne de rivage. LARRAS (1951) donne pour cette fonction les valeurs:

$f(\alpha) = 0$	pour	$\alpha = 0^\circ$
0,30	"	" = 10°
0,57	"	" = 20°
0,70	"	" = 30°
0,83	"	" = 40°
0,98	"	" = 50°
0,70	"	" = 60°
0,28	"	" = 70°
0	"	" = 90°

Le transport croît rapidement, passe par un maximum vers 50 à 55° . Ceci est conforme aux résultats obtenus par PUTNAM, MUNK, TAYLOR (1949), BRUNN (1954), SAUVAGE de St-MARC et VINCENT (1954), VERA-CRUZ (1959)... Par contre, d'autres auteurs tel PELNARD-CONSIDERE (1956), trouvent que le transport est maximum entre 60 et 65° .

Les différentes formules trouvées pour les longshore currents permettent de choisir l'angle voisin de 53° comme angle déterminant un maximum de transport longitudinal sur une côte.

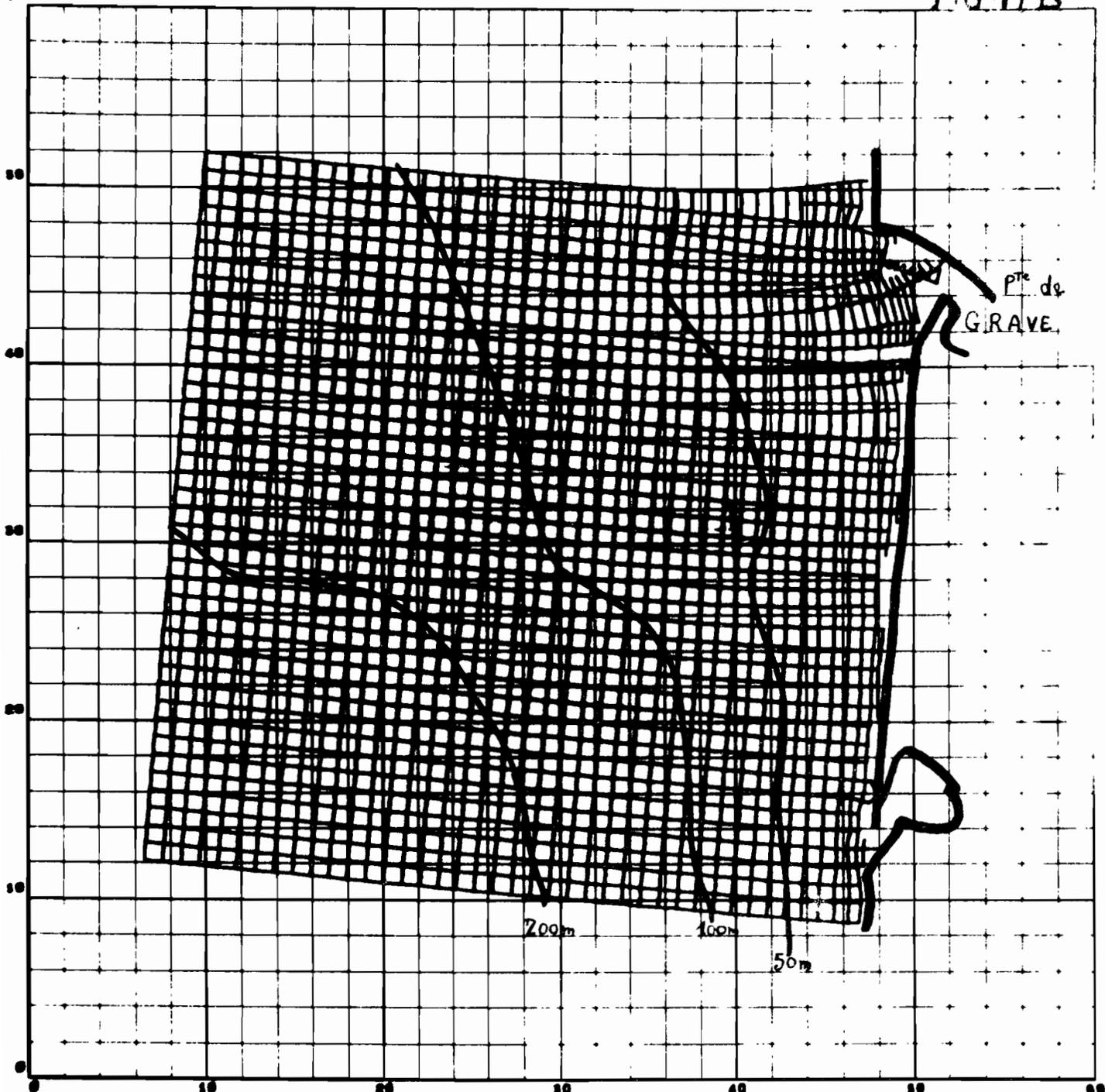
Le littoral étudié présente deux directions faisant avec un axe Nord-Sud, un angle de :

- 35° vers le NE de la Pointe de Grave à la Pointe de la Négade
- 0 à 6° vers le NE de la Pointe de la Négade au Cap Ferret.

De la Pointe de Grave à la Pointe de la Négade, la houle de direction Ouest assure donc un déplacement vers le Nord-Est pendant 77% de l'année, donc important, qui diminue avec la houle WNW

PLAN DE VAGUES ARCACHON

3241-0047
000 001
FIG 17B



MOULE DE DIRECTION W+S N. DE PERIODE 12 SECONDES

et N, soit 0,57% de l'année. Mais le transit littoral ne pourra pas atteindre une importance considérable car la longueur d'action des longshore currents le long de la côte est faible, et leur force est diminuée par les hauts fonds de l'estuaire.

De la Pointe de la Négade au Cap Ferret, la houle dominante perpendiculaire à la côte ne transporte les sables que perpendiculairement à celle-ci. C'est seulement pendant 21,44% de l'année que la houle transporte les sables vers le Sud et encore moins: 0,56% de l'année vers le Nord. Il est à noter que ces pourcentages sont diminués d'une part par une légère réfraction de la houle aux lieux d'observation (estuaire de la Gironde), et d'autre part par l'imprécision de l'observation pour de faibles obliquités sur l'Ouest.

Deux plans de vagues (Fig.17 A et B), pour une houle de direction origine WNW et une houle d'Ouest de période 12 secondes et pour une hauteur d'eau égale à celle du plan moyen soit 2,79 m, ont été établis au Laboratoire National Hydraulique de Chatou après une programmation des profondeurs par moi-même. On constate sur chacun d'eux que la direction de la houle du large est peu modifiée par le plateau continental et garde sa direction jusqu'au rivage.

C) LES MODIFICATIONS DE LA LIGNE DE RIVAGE

1 - La Pointe de Grave et la Pointe de la Négade.-

Les cartes de 1812 à 1874 de la Pointe de Grave, avant sa fixation par les Ponts et Chaussées, (Pl.A hors texte) montrent une érosion rapide de toute la Pointe de Grave. Par contre, la

Pointe de la Négade est moyennement stable en dépit d'engraissements probablement provoqués par les rejets de la Gironde et les apports du plateau continental. En effet, ces engraisements sont sporadiquement enlevés par la houle.

2 - De la Pointe de la Négade au Cap Ferret.-

Les seuls documents, en plus de la carte du Service Hydrographique, sont pour cette zone, les photographies aériennes. La comparaison de photographies prises en 1947 par le groupe américain 33, à l'échelle approximative 1/28.000ème, avec les photographies de l'I.G.N. prises en 1957 à la même échelle, met en évidence les caractères suivants, basés sur la rupture de pente de la base de la dune du front de plage :

On constate tout d'abord un recul presque nul de la Pointe de Grave, grâce aux digues du Port Autonome, sauf à Fort St-Nicolas, où le rivage a reculé de 50 mètres environ, tandis que la végétation a reculé de 60 mètres sur une longueur de 1.750 mètres, et de l'Amélie à Soulac/Mer où le recul est également de 50 mètres environ. Les blockaus se trouvent ainsi basculés sur la haute plage ou sur l'estran.

- A la Pointe de la Négade, la ligne de rivage présente une stabilité moyenne.

- De la Pointe de la Négade au Pin Sec, la progression de la dune dans la forêt est d'environ 100 mètres et le recul du rivage est faible.

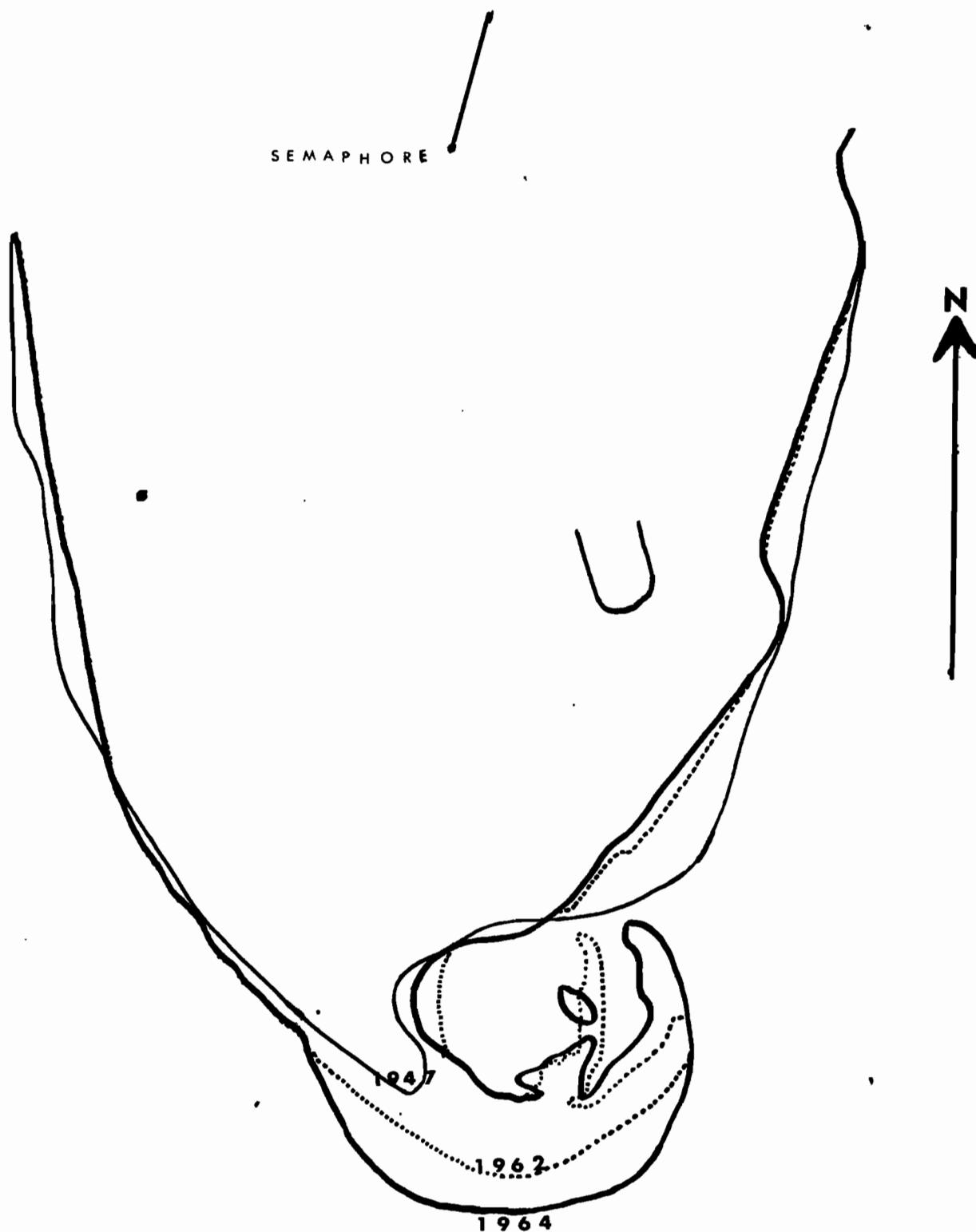
- Du Pin Sec à Hourtin : on note un recul important du rivage : 40 à 50 mètres. Les blockaus ont basculé sur le haut estran. La

EVOLUTION DU CAP FERRET

Fig. 1

d'après photographies aériennes

1 / 10.000



dune a également progressé de 100 mètres environ vers l'Est.

- Du Nord de Carcans au Cap Ferret : le recul est faible de même que l'ensablement de la forêt. Les dunes de front de plage ont de plus grandes dimensions qu'au Nord de Carcans.

- Au Cap Ferret : au Nord, la légère progression de la dune du front de plage vers l'intérieur est freinée par les plantations des Eaux et Forêts; au Sud, l'engraissement est très visible sur les photographies aériennes postérieures à 1947 surtout sur les missions récentes 1962 et 1964 de la Base Militaire de Cazaux (Fig.18). On observe même les bancs de sable s'avancant vers le Sud (Pl.G).

Il est à remarquer que l'érosion de la ligne du front de plage est facilitée par le vent.

D) LES VARIATIONS DES PASSES D'ENTREE DU BASSIN D'ARCACHON.

L'étude des variations des Passes faite par de nombreux auteurs locaux et récemment par le Laboratoire Central Hydraulique de France, a montré que les Passes se déplaçaient en moyenne du Nord vers le Sud, puis revenaient brusquement au Nord. Le cycle est de 1 siècle environ.

Une étude plus attentive des cartes (Pl. B et C, hors texte), basée sur les variations des isobathes -5 m et -10 m par rapport au 0 des cartes marines, met en évidence un cycle de 85 ans pour les variations des Passes profondes, suivant le schéma ci-après

- 1810 et 1894 : la Passe Sud existe, mais commence à s'encombrer. Première amorce de la Passe Nord.

- 1826 et 1905 : la Passe Sud s'encombre, la Passe Nord va s'ouvrir.

- 1835 et 1924 : La Passe Sud est encombrée et s'effile, la Passe Nord plus profonde est ouverte.

- 1854 et 1940 : la Passe Sud est bouchée. Le banc central atteint la Pointe d'Arcachon et forme le banc de Matoc en 1854, le banc de Pineau en 1940.

- 1865 et 1958 : la Passe Nord se déplace vers le Sud et devient Passe Centrale. Elle peut s'encombrer momentanément (1945), mais continue son déplacement vers le Sud, soit 1 Km de 1946 à 1958.

Il faut ajouter quelques observations :

a) - l'érosion continuelle de la rive Est, actuellement protégée est due à un écoulement préférentiel et fort du jusant. En effet la digue protégeant ce bord de côte est affouillée. Le jusant facilite ainsi par décapage du flanc sud et sud-est du chenal, la migration vers le Sud de son flanc nord et nord-ouest.

b) - le rebroussement vers l'WNW de l'extrémité du chenal, au large, est peut-être déterminé par un ralentissement du transit des sables, par suite des profondeurs plus importantes.

c) - le rebroussement de l'extrémité du Cap Ferret à l'intérieur de la Passe (Pl. G), semble dû à l'action successive du flot et du jusant.

La Pl.D montre la rapidité du déplacement. Sur la Pl. G, la direction des bancs de sable met en évidence la direction du transit sableux. On voit les bancs s'avancer vers le Sud, séparés du rivage par les baïnes (sillons longitudinaux) qui s'amorcent au Nord et s'ouvrent au Sud.

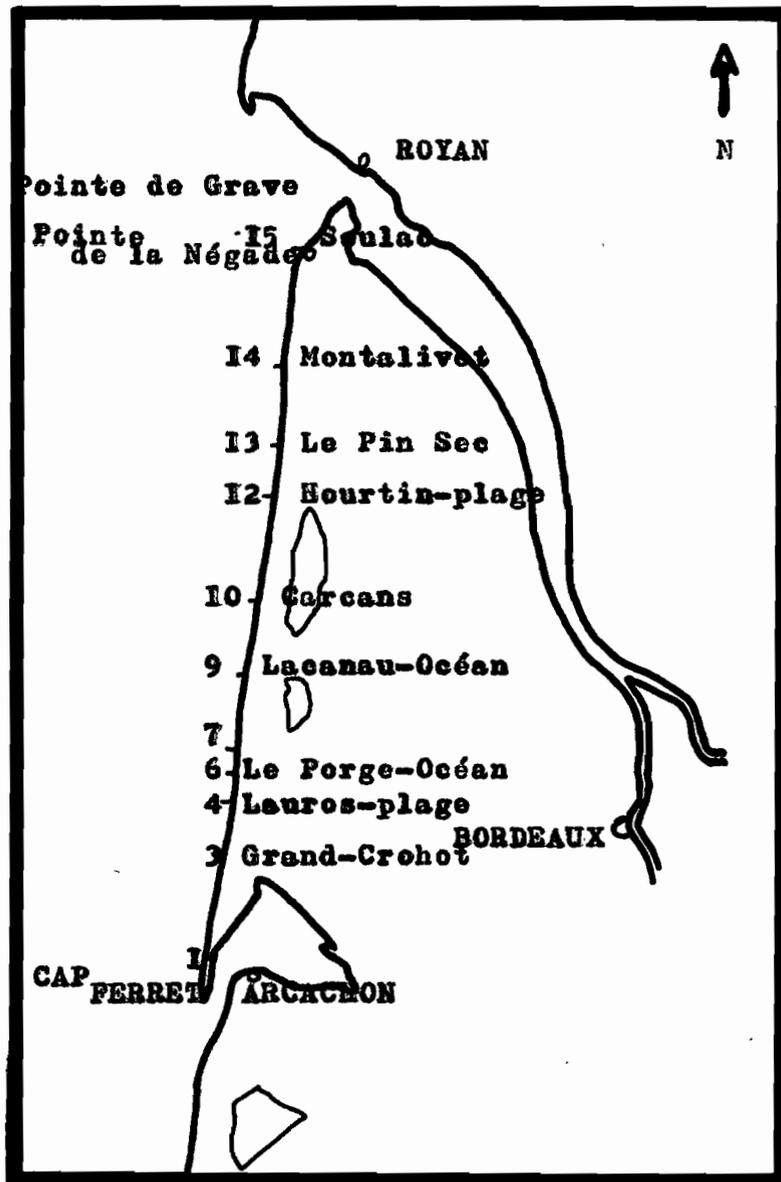


FIG.19. LIEUX DE PRELEVEMENTS DES ECHANTILLONS

ET D'IMMERSIONS DES TRACEURS LUMINESCENTS

Echelle: 1 / 1.000.000

E) LES VARIATIONS DE PROFIL DES PLAGES DU LITTORAL.

Le profil des plages du littoral étudié peut se subdiviser (AUZEL, 1957, précisé par CALLAME, 1961) comme suit :

- Bas estran, du niveau de BMVE (Basse Mer Vive Eau) au niveau de BMME (Basse Mer Morte Eau) presque toujours immergé.
- Estran, du niveau de BMME au niveau de PMME (Pleine Mer Morte Eau) régulièrement découvert.

Ces deux zones sont très mobiles sous l'action de la houle, leur séparation est théorique. Le bas estran se prolonge sur le plateau continental.

- Haut estran : zone de dépôt où se limite l'action de la houle. Elle est marquée à la base par une pente plus raide ou "berme" et une granulométrie plus grossière. Sa dimension est variable avec la houle et sans rapport avec les limites théoriques PMME - PMVE (Pleine Mer Vive Eau). Ses limites morphologiques sont très visibles surtout en Morte Eau.

- Haute plage : du niveau de PMVE au niveau de PMVE Eq (Pleine Mer Vive Eau Equinoxe ou exceptionnelle), zone presque toujours émergée soumise au vent.

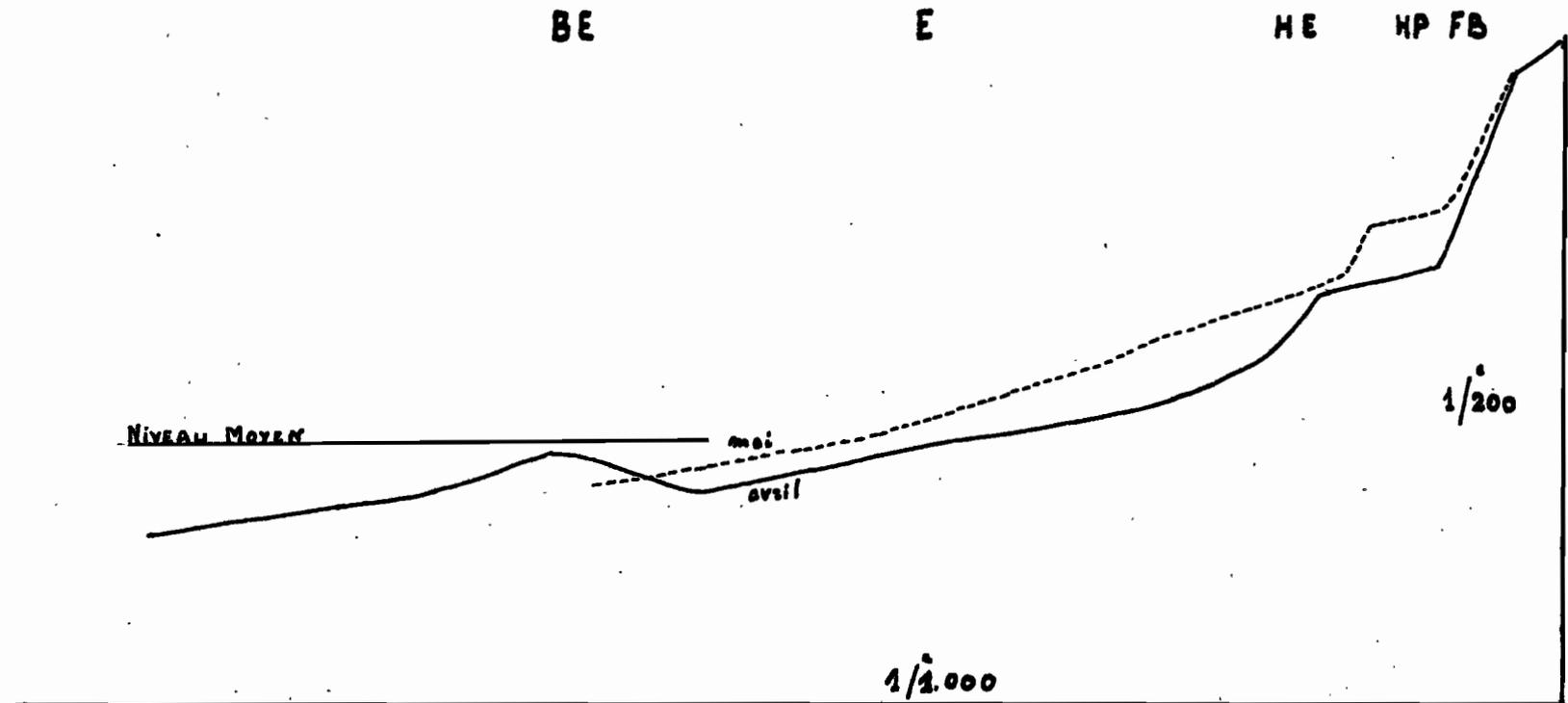
- Front de plage ou front-beach : pente de la dune face à la plage.

- Dos de plage ou back-beach : creux de la dune en arrière de la plage.

- Dune.

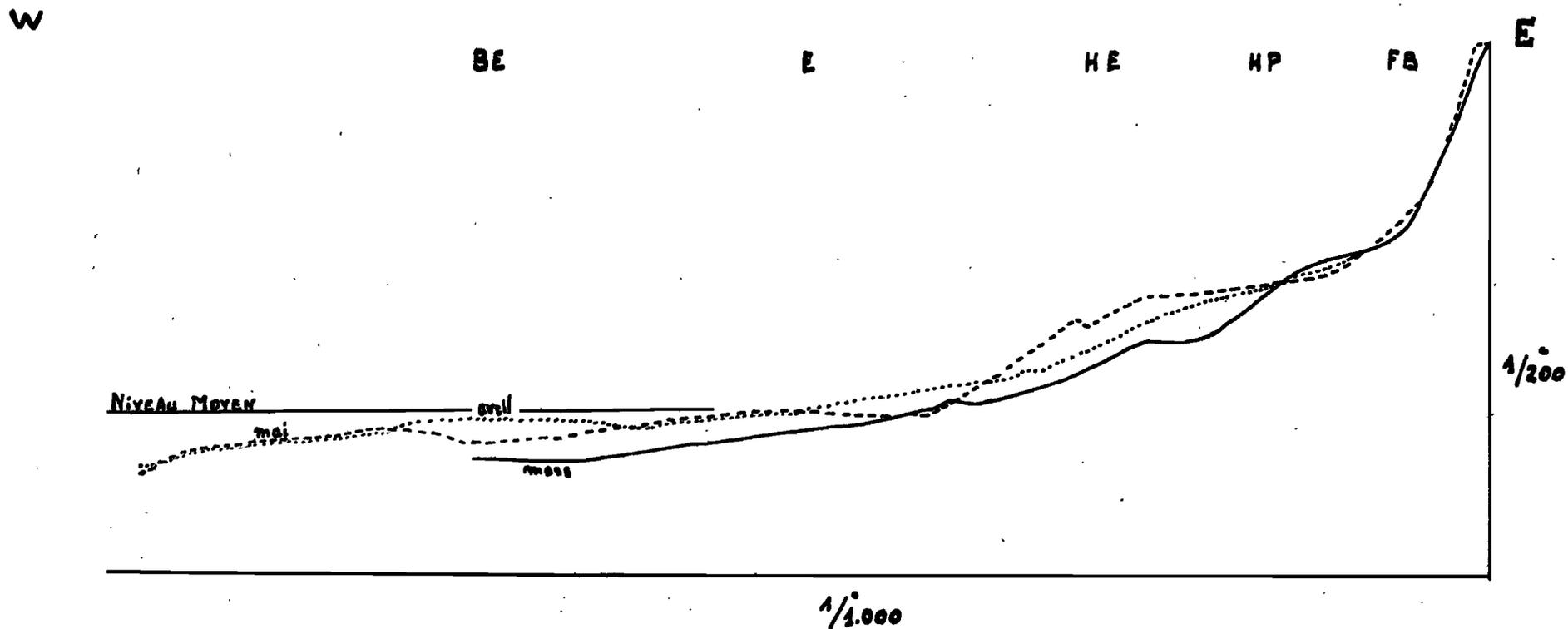
Le marnage pour un coefficient de IIO est de 5 m. Sur le littoral (Fig.19), les profils des plages de Hourtin (Fig.20 A)

PROFIL DE LA PLAGE D'HOURTIN



	coefficient	houle	vent	
2 avril 1965	94 - 97	1,15 m	SW 4	mediane moyenne : 344 m
15 mai	95 - 91	1,15 m	WSW 4	

PROFIL DE LA PLAGE DE LACANAU



	coefficient	houle	vent	
20 mars 1965	100-96	2,35m	SW 4	mediane moyenne : 334 m
1 avril 1966	85-90	1,15m	W 6	
13 mai	81-84	0,15 m	ESE 4	

Lacanau-Océan (Fig.20 B), Lauros (Fig.20 C) et Grand-Crohot (Fig. 20 D) ont été effectués avec une lunette stadimétrique et une mire, à l'approximation moyenne :

Horiz. $\bar{V} = 0,04$

Vert. $\bar{V}^* = 0,02$

On sait classiquement que les plages s'engraissent pendant six mois de l'année et s'érodent pendant les six autres mois. Sur le littoral des Landes, pendant l'hiver 1964-1965, on pouvait observer particulièrement en morte eau, avec des houles moyennes, une érosion du haut estran et un engraissement momentané du bas estran. Ceci est conforme aux conclusions de LAFOND (1940) pour lequel le sable basculerait par rapport au niveau moyen du profil. Cependant, la zone d'accumulation est en fait nettement en deçà du niveau des plus basses mers, par suite de l'action importante des houles. La connaissance des caractéristiques de la houle et simultanément de la direction et de la force du vent, est nécessaire dans une étude littorale, car à n'importe quel stade du cycle classique, peuvent se produire des modifications. Ainsi une houle faible avec un vent de terre produisent des engraissements sur les plages; c'est le contraire dans le cas d'une houle forte avec un vent du large.

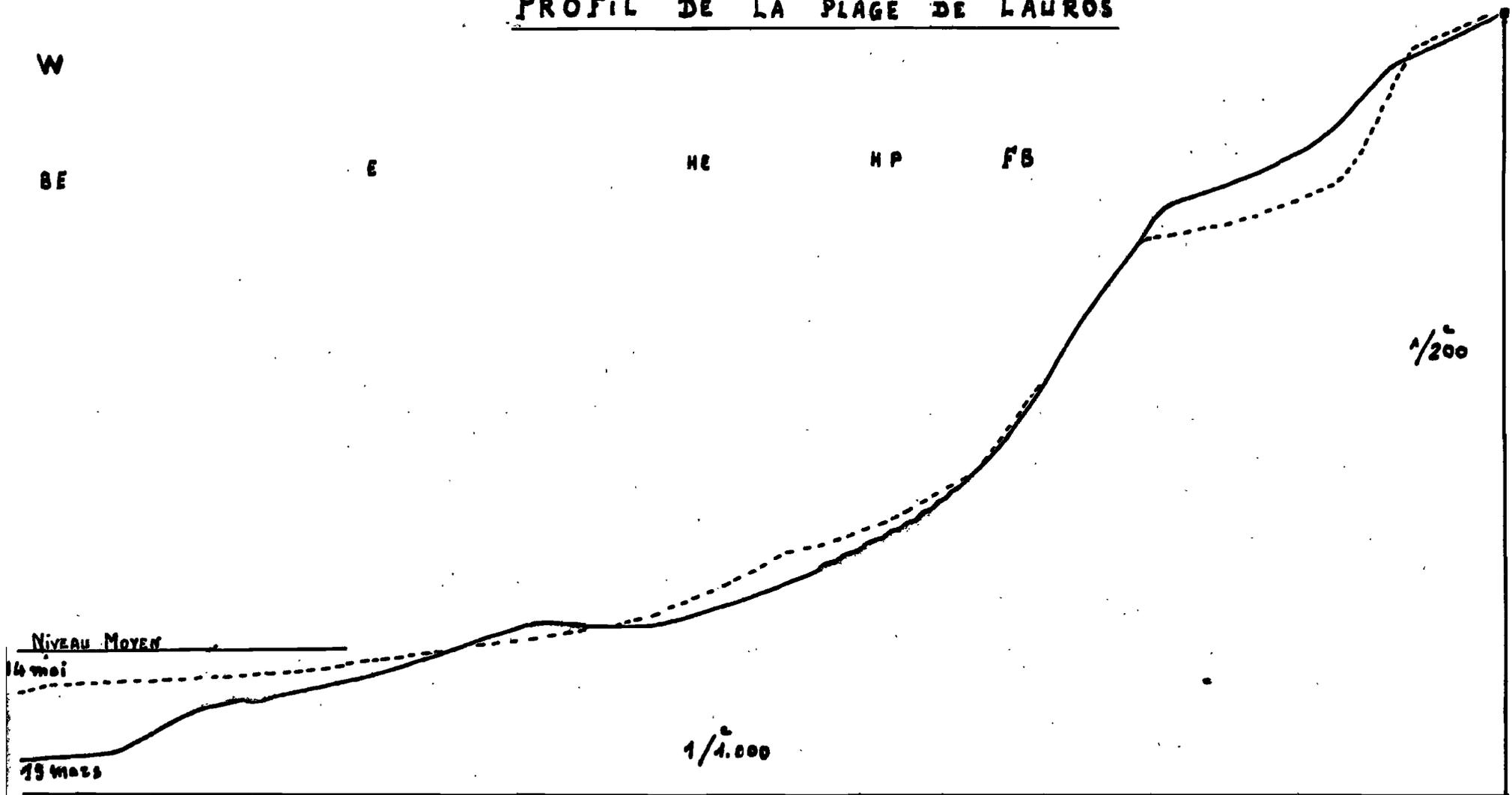
On observe de Mars à Mai sur les profils :

- une érosion du front-beach
- un engraissement du haut estran, de l'estran et du bas estran.

La berme du haut estran est mieux marquée en morte eau qu'en vive eau. On doit donc considérer cette rupture de pente comme la limite d'action de la houle puisqu'elle est mieux marquée lorsque le niveau reste constant.

PROFIL DE LA PLAGE DE LAUROS

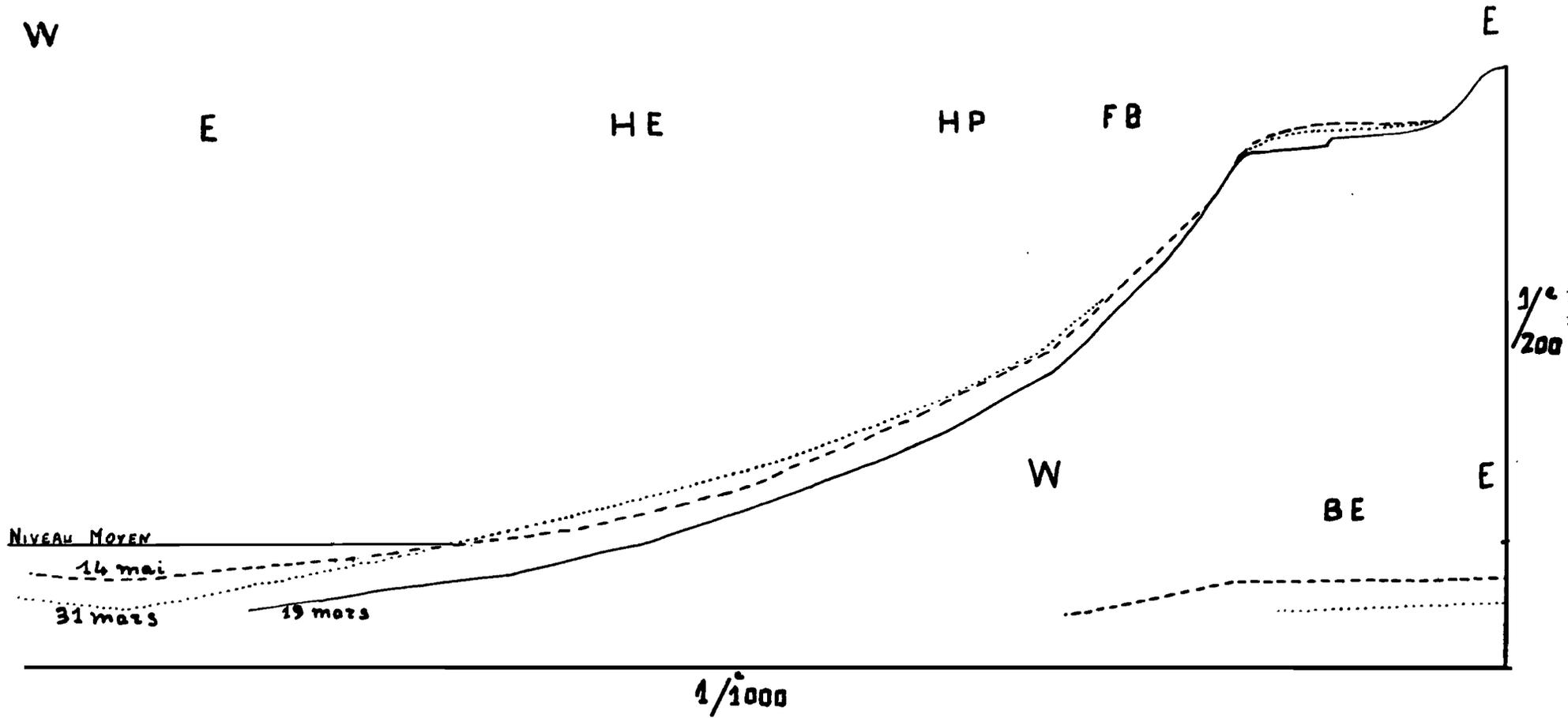
POINT GEOMETRIQUE



	coefficient	houle	vent	mediane moyenne : 327p
19 mai	106-104	3.55 m	NW5	
14 mai 1965	87-92	0,30 m	W4	

Fig. 20c

PROFIL DE LA PLAGE DE GRAND CROHOT



Date	COEFFICIENT	HOULE	VENT	MEDIANE MOYENNE
19 mars 1965	106-104	3,55 m	NWS	319 m
31 mars	74-80	1,15 m	E 4	
14 mai	87-92	0,30 m	W 4	

FIG. 200

Or, c'est pendant les mortes-eaux que LAFOND (1940) a effectué ses profils. En effet, on observe sur la Fig. 20 D qu'en fin de morte eau (31 Mars), le profil s'est engraisé au-dessus du niveau moyen, beaucoup plus que le 14 Mai après une vive eau qui a étalé le sable sur tout le profil. On peut donc conclure qu'en vive eau, le profil s'engraisse ou s'érode uniformément.

La pente des plages mesurée suivant la tangente au profil au milieu de l'estran (il est nécessaire de préciser la manière dont la pente est mesurée) est faible :

Hourtin-plage	hiver	=	3%	-	printemps	=	5%
Lacanau-plage	"	=	3,5%	-	"	=	3%
Lauros-plage	"	=	5%	-	"	=	5%
Grand-Crohot	"	=	4%	-	"	=	4%

Ainsi, les profils tendent à s'aplanir de l'hiver au printemps, exception faite de la plage de Hourtin où la haute plage trop érodée l'hiver, se renforce peu à peu au printemps avant que l'estran ne puisse s'engraisser.

+ +

+

CARACTERES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SABLES

A) CARBONATES

La proportion de carbonates est très faible, inférieure à 4%. Elle est minimum pour les échantillons de plage et de dune, et peut être nulle. Les prélèvements ont été effectués en hiver.

B) GRANULOMETRIE

Le sous-comité de terminologie du comité de Mécanique des Fluides de l'Union Géophysique Américaine a classé les sables ainsi :

très grenu	2 - 1 mm
grenu	1 - 0,5 mm
moyen	0,5 - 0,25 mm
fin	0,25 - 0,125 mm
très fin	0,125 - 0,062 mm

Ceci correspond au classement adopté généralement en géologie, sauf en ce qui concerne la limite inférieure souvent reculée à 0,040 mm.

Technique.-

Les prélèvements ont été faits pour la plupart au mois de Février et quelques-uns au mois de Mai, en différents points du littoral (Fig.19). Sur chaque profil (Fig.20), des échantillons ont été prélevés dans la zone du bas estran (BE), de l'estran (E), du haut estran (HE), de la haute plage (HP), du front de plage ou front-beach (FB), du dos de plage ou back-beach (BB) et de la dune qui prolonge le dos de plage. Le tamisage a été effectué au Laboratoire de Sédimentologie de l'O.R.S.T.O.M. sur 50 g de sable lavé, séché, non traité à l'acide. Des échantillons ont été pris en surface et à 25 cm de profondeur, seulement dans la zone périodiquement recouverte par la mer. On observe peu de variations entre la granulométrie de la surface et celle d'un échantillon à 25 cm. En profondeur, le sable est très légèrement plus grossier et un peu moins classé.

Résultats.- La granulométrie (Fig.21) est assez constante et le sédiment bien classé, sauf sur les profils I4 (Montalivet) et I5 (Soulac) pour lesquels la médiane est très nettement inférieure, et le profil 1 (Cap Ferret) pour lequel elle est nettement supérieure.

Les courbes cumulatives sont très redressées (Fig.22). La médiane peut suffire à caractériser la granulométrie de ces sables car la plupart des échantillons ont les 70% du poids total compris entre 0,5 millimètre et 0,25 millimètre, sauf à Soulac et Montalivet où la proportion n'est plus que de 50%.

On a les valeurs moyennes suivantes :

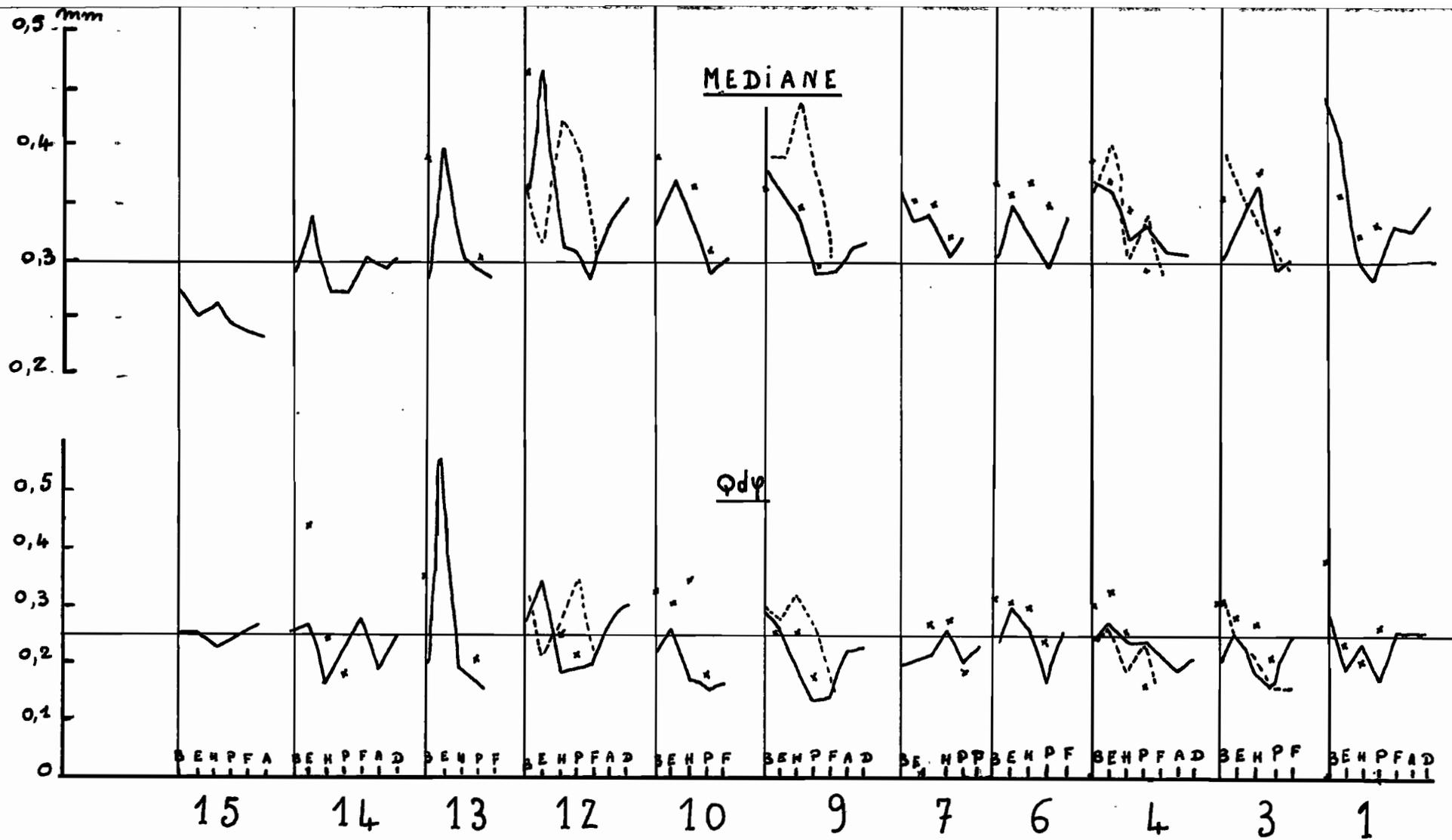


Fig. 21 VARIATIONS DE LA MEDIANE GRANULOMETRIQUE
ET DU Qdφ DE KRUMBEIN

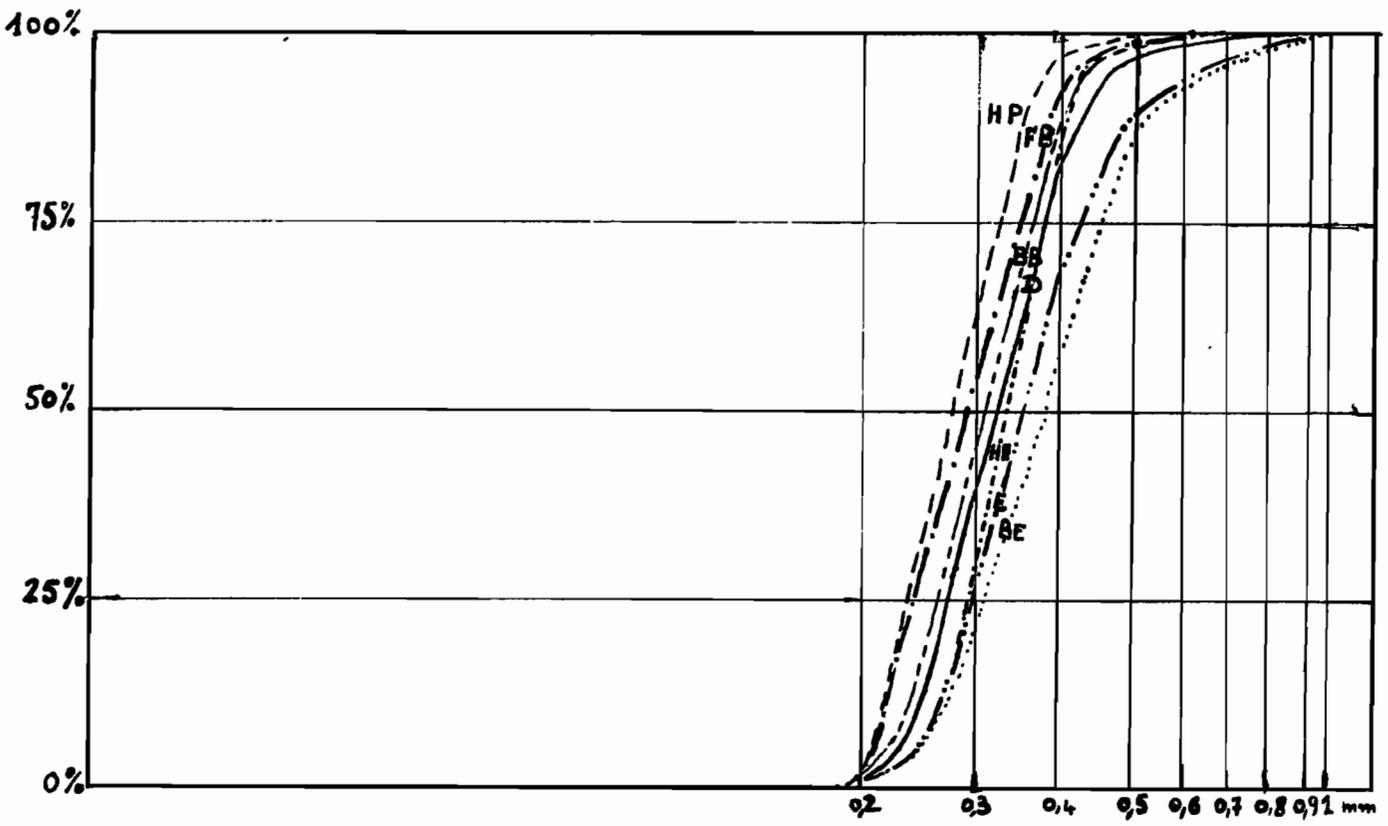
(Prélèvements: SURFACE : — rives , - - - - à 25 cm rives «x»)
 (B: bas estran , E: estran , H: Haut estran , P: Haute plage , F: Front de plage , A: dos de plage , D: dune)

Profil 1	médiane = 0,357 mm	Q d _φ	= 0,23
3	" 0,319 "	"	0,20
4	" 0,327 "	"	0,22
6	" 0,319 "	"	0,23
7	" 0,329 "	"	0,21
9	" 0,325 "	"	0,18
10	" 0,324 "	"	0,19
12	" 0,343 "	"	0,24
13	" 0,311 "	"	0,25
14	" 0,280 "	"	0,22
15	" 0,249 "	"	0,25

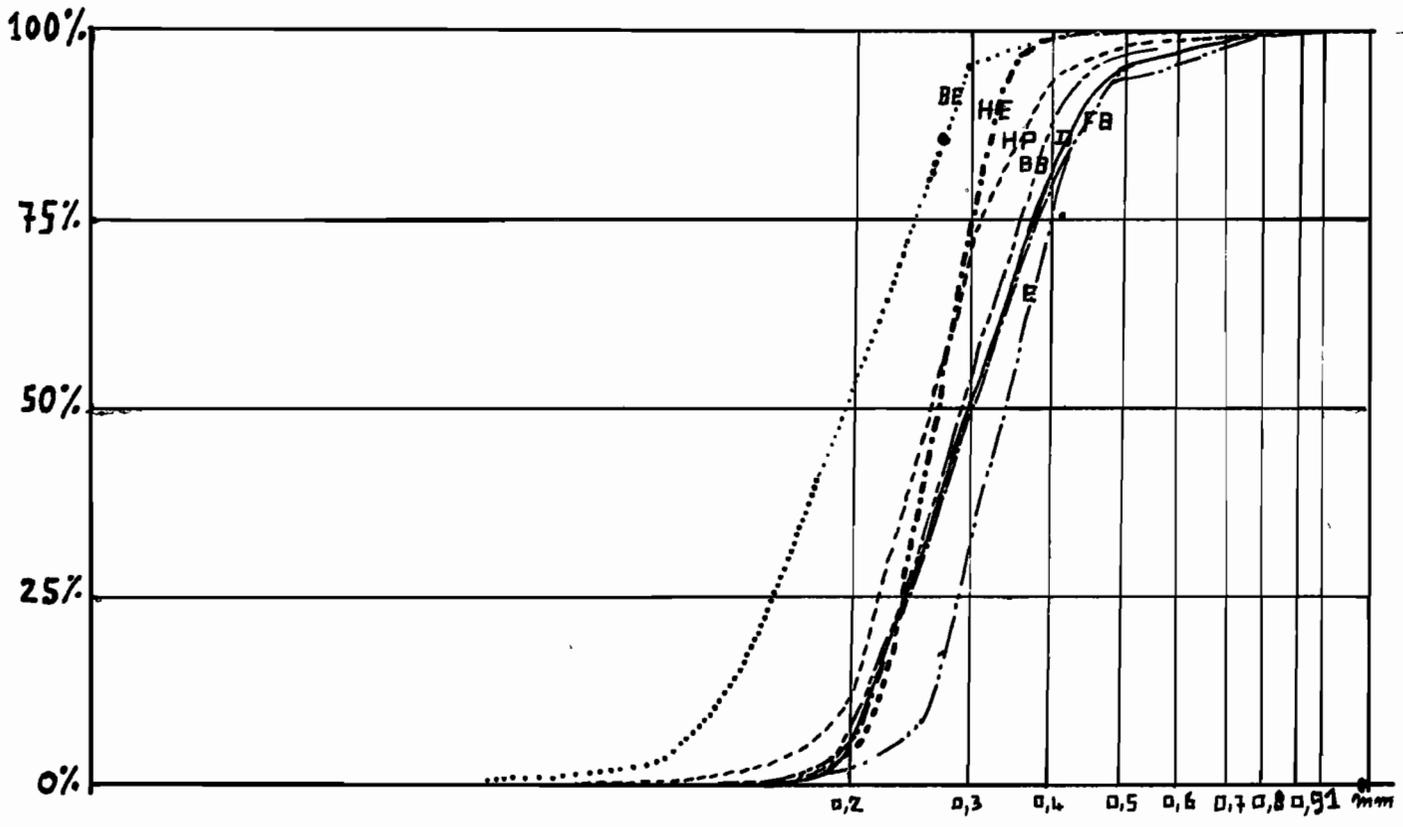
Les valeurs de la médiane sont très inférieures (de 0,150 mm environ) à celles observées par S. DUPLAIX (1956). On remarque cependant que la granulométrie de la plage est légèrement plus grossière au printemps qu'en hiver, mais le nombre de prélèvements l'été est statistiquement insuffisant pour en tirer des conclusions.

Sur un même profil, on observe que le sable est plus grossier et moins trié sur l'estran que sur la dune. La médiane est minimum et le sable est mieux classé sur la haute plage pour les profils 1, 3, 6, 7, 9 (hiver), 10, 12 (hiver), et sur le front de plage (FB) 4 (hiver et printemps), 9 (printemps), 12 (printemps), 13, 14 et 15 (échantillons prélevés en hiver) (cf. Fig. 19). Le front de plage serait donc plus fin et mieux classé au printemps.

La médiane est maximum sur le bas estran (BE) ou l'estran (E) suivant que le prélèvement du BE a été effectué sur la



GRANULOMETRIES DU PROFIL 9



GRANULOMETRIES DU PROFIL 14

barre ou au-delà. En effet, la granulométrie est plus grossière à la base de la barre et dans les "baïnes" que sur la barre elle-même suivant les mêmes variations granulométriques que les rides (GLANGEAUD, 1939 c).

Les "baïnes" (nom local) sont des sillons plus ou moins profonds de quelques décimètres à un mètre et plus, parallèles au rivage, en avant d'une barre de sable. L'une des extrémités présente un faible creusement, l'autre est très creusée et s'ouvre vers la mer. On a ainsi la direction de l'écoulement de l'eau d'où du sable. Elles paraissent ne se creuser surtout qu'à pleine mer lorsque la hauteur d'eau est suffisante pour que la houle déferle sur cette dernière barre. Cependant en vive eau, on observe, non pas un creusement bien localisé, mais un léger aplanissement et elles peuvent même se combler momentanément par suite de la dispersion du sable de la barre et des apports du haut estran ou du bas estran.

Ainsi on observe :

Profil 1 : BE md = 0,450 mm - sommet de la barre md = 0,300 mm

$Qd\varphi = 0,30$ - $Qd\varphi = 0,27$

- E md = 0,390 mm

$Qd\varphi = 0,18$

Profil 6 : Barre md = 0,300 mm - baie md = 0,405 mm

$Qd\varphi = 0,20$ $Qd\varphi = 0,35$

- E md = 0,350 mm

$Qd\varphi = 0,30$

Profil 10 : Barre md = 0,325 mm - baie md = 0,360 mm

$Qd\varphi = 0,21$ $Qd\varphi = 0,33$

- E md = 0,370 mm

$Qd\varphi = 0,26$

La base de la borme du haut estran est toujours très grossière et marquée tout le long du littoral par une ligne de galets qui disparaissent au printemps sous le sable. C'est un lieu d'écoulement des eaux du haut estran et de la haute plage.

Profil 1 : bas HE md = 1,400 mm - HE md = 0,290 mm
Qd φ = 0,67 Qd φ = 0,23

Profil 6 : bas HE md = 0,450 mm - HE md = 0,320 mm
Qd φ = 0,43 Qd φ = 0,25

Profil 7 : bas HE md = 0,480 mm - HE md = 0,325 mm
Qd φ = 0,50 Qd φ = 0,26

C) MORPHOSCOPIE

L'étude morphoscopique de chaque échantillon complet de sable, montre au premier abord une homogénéité des grains, presque uniquement de quartz, ronds et mats, plus ou moins encroûtés d'oxydes de fer rougeâtres ou jaunâtres. Une certaine partie de ces grains est rendue par endroits, luisante, témoin de l'action récente de la mer sur un stock rendu mat par les actions glaciaires au Mésolithique (BOURCART, 1947).

Une étude plus approfondie permet de distinguer :

- une zone nord : de Soulac (I5) à Hourtin (I2)
- une zone sud : de Hourtin (I2) au Cap Ferret (1).

La zone nord est caractérisée par la présence d'émoussés luisants (environ 30%) surtout importante sur le bas estran, l'estran et le haut estran. Dans cette zone, la plage de Soulac(I5)

s'individualise des autres plages par une abondance exceptionnelle de minéraux lourds, de débris de roches éruptives et métamorphiques, de débris siliceux.

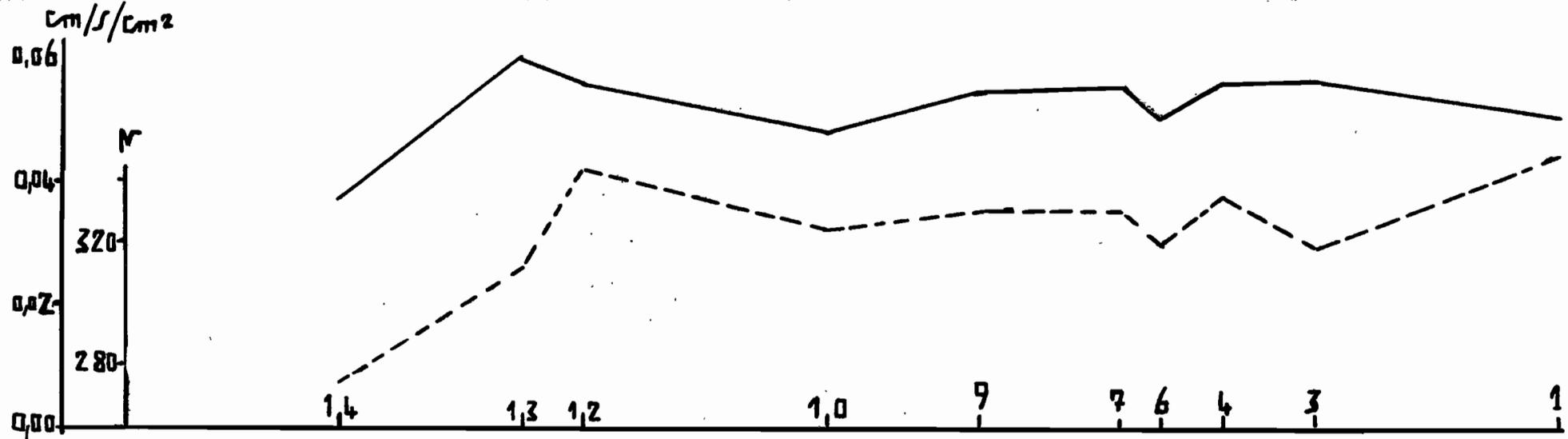
La zone sud ne présente presque exclusivement que des grains ronds et mats très souvent oxydés, et des grains ronds et luisants souvent insuffisamment décapés de leur piqueté mat et des encroûtements d'oxydes.

Ces observations se trouveront confirmées dans l'étude des minéraux lourds.

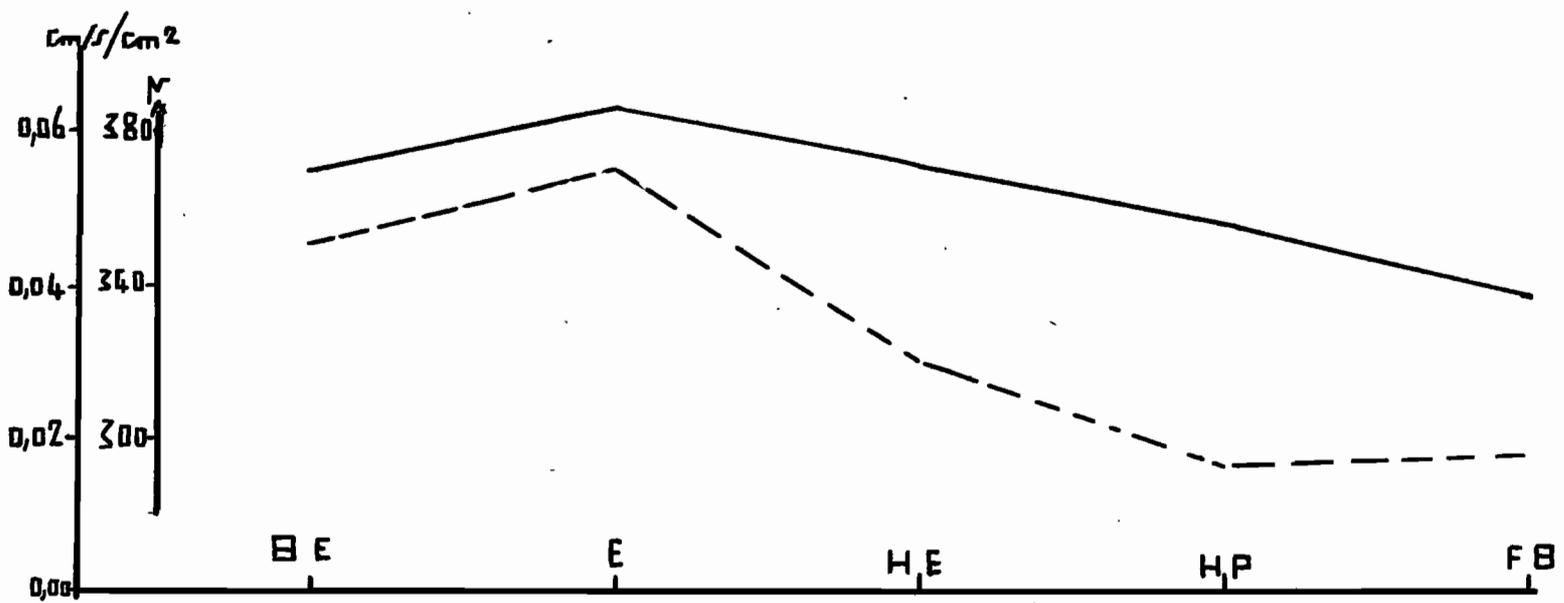
D) LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE

Le sable est perméable et il s'y produit, lorsqu'il est recouvert par la mer, des fluctuations de pression, d'où des déplacements d'eau amortissant légèrement la houle (BIESEL, 1949). La conductivité hydraulique est donc un paramètre des sables qui permet de connaître les zones où les déplacements d'eau sont les plus importants. Il s'agit d'une mesure du coefficient de Darcy (SCHOELLER, 1949), non d'une mesure de perméabilité, car il n'a pas été tenu compte de la température ni de la viscosité. Les valeurs sont donc définies pour un liquide ayant une viscosité et une densité déterminées.

Afin de ne pas modifier la structure du sable, les prélèvements ont été effectués avec des tuyaux plastiques de 25 cm de long et de 4,5 cm de diamètre. La hauteur de l'échantillon a été ramenée au Laboratoire à 10 cm. L'eau du Bassin d'Arcachon ($\sqrt{V} = 27$) à la température (23°) du Laboratoire a été utilisée pour mesurer l'écoulement.



VARIATIONS DU COEFFICIENT DE DARCY ET DE LA GRANULOMÉTRIE PAR PLAGES



VARIATIONS DU COEFFICIENT DE DARCY ET DE LA GRANULOMÉTRIE SUR UN PROFIL MOYEN

Le coefficient de Darcy est donné par $K = \frac{Qh}{ls}$, avec :
Q, le débit en centimètres cubes par seconde; h, la hauteur de l'échantillon en centimètres; l, la hauteur totale en centimètres et s, la surface en centimètres carrés d'où K en cm/s/cm². Les mesures sont effectuées sur deux minutes. Seules les parties d'un profil soumises aux actions de la mer ont été mesurées. Il paraît inutile, sauf sur un gros volume, d'employer des formules plus précises car des galots ou des graviers étaient parfois pris dans le tube. La Fig.22 montre que la perméabilité est sensiblement parallèle à la granulométrie. L'estran, zone très mobilisable par la houle, présente un maximum de granulométrie et de perméabilité.

Il n'est pas tenu compte de la zone étroite située à la base de la berme ou pente du haut estran, jalonnée par une ligne de graviers ou galots et par la présence, à basse mer, de ruisselets d'eau. Ce sont les baines qui, grâce à la pente de la plage, recueillent et écoulent à basse mer, cette eau.

E) LE SEUIL D'EROSION

Le seuil d'érosion des sables permet une classification d'ensemble des sables par rapport aux courants auxquels ils peuvent être soumis. Dans certains cas, en particulier dans les estuaires, il permet de connaître les conditions de formation des rides et des dunes sous-marines dont L. GLANGEAUD (1938 a) en a décrit le phénomène.

Les mouvements de sédiment se produisent dans une couche limite qui est créée sur le fond par l'amortissement de la vi-

tesse du courant et les effets de viscosité du fluide. LARRAS(1961) donne une formule pratique :

$$V_m - W = \frac{95 \sqrt{1/2} (\rho_s - \rho_f)^{1/3}}{T^{1/2}}$$

V_m est le seuil d'érosion en cm/s.

$\sqrt{\quad}$ est le coefficient de viscosité cinématique du liquide = 0,01 cm²/s à 20 degrés.

$(\rho_s - \rho_f)$ est la densité apparente dans l'eau en g/cm²

T est la période de la houle en secondes

W est la vitesse de sédimentation en cm/s.

De nombreux auteurs ont essayé d'établir une loi de début d'entraînement de sédiments, mais sous l'action d'un régime continu. R. BONNEFILLE dans une synthèse (1965) propose une loi générale : (Fig.24 A) :

$$D_{*} = 2,5 R_{*}^{4/5} \quad \text{pour } R_{*} \leq 12$$

$$D_{*} = 3,8 R_{*}^{5/8} \quad \text{pour } R_{*} > 12$$

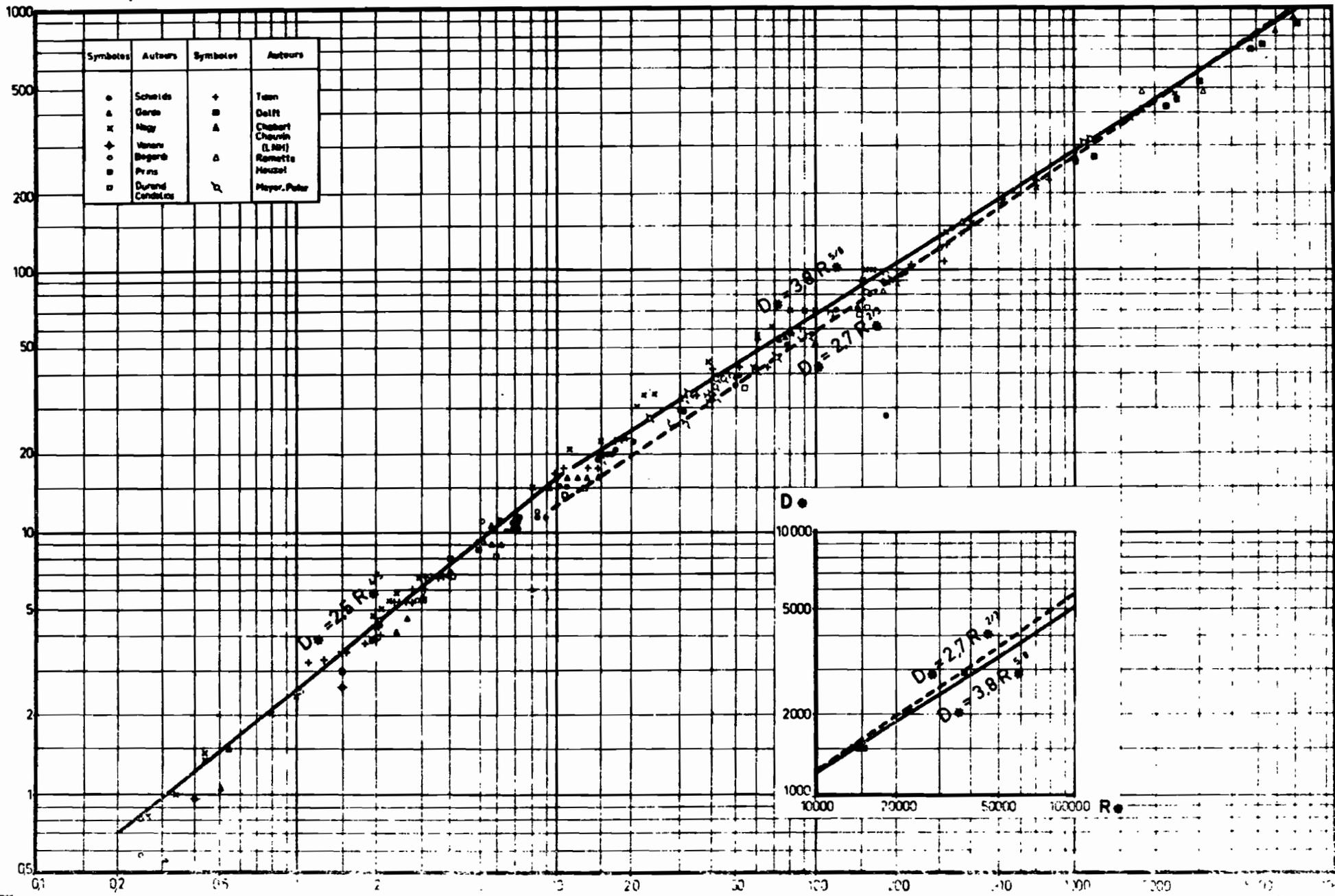
avec D_{*} le "diamètre sédimentologique" paramètre sans dimension

$$D_{*} = \left(\frac{\rho \cdot g}{\sqrt{2}} \right)^{1/3} D, \quad \text{et } R_{*} \text{ nombre de Reynolds étoilé du grain:}$$

$R_{*} = \frac{U_* D}{\nu}$. Sachant que D est le diamètre granulométrique moyen du matériau, ρ la densité relative du matériau dans le fluide,

ν le coefficient de viscosité cinématique du fluide, g l'accélération due à la pesanteur, U_* la vitesse de frottement $U_* = \sqrt{gJh}$ où J est la pente de la surface libre et h la profondeur du fluide, on peut alors, connaissant D et la viscosité de l'eau, calculer D_{*} puis R_{*} et connaître la vitesse de début d'entraînement du sable en fonction de la profondeur (Fig.24).

$$D_c = \left(\frac{\rho \cdot g}{\nu^2} \right)^{1/3} D$$



LOI DE DEBUT D'ENTRAÎNEMENT DES SEDIMENTS SOUS L'ACTION D'UN ÉCOULEMENT PERMANENT

(BONNEFILLE Bull. C.R.E.C. n°5 1963)

V17
A14

Si l'on mesure une vitesse moyenne en négligeant ses fluctuations, ainsi que les variations de pression dues à la houle, on peut étendre ces formules au domaine maritime (une étude est en cours au L.N.H.). La fig. 24 B montre que le seuil d'érosion d'un sable de $D = 0,3$ à $0,4$ mm sous 1 à 5 mètres d'eau, est de $V = 0,35$ à $0,50$ mètres/seconde. Un transport littoral de ce sable nécessite donc un courant longitudinal de la houle, fréquemment supérieur à ces valeurs. Or les calculs précédents pour les courants de houle, nous avaient conduits à des valeurs supérieures sauf pour une houle faible (H inférieur à 2 mètres, avec $T = 12$ secondes).

De plus, le courant de marée en vive eau peut atteindre un maximum de $0,5$ mètre/seconde sur cette côte largement ouverte, et opère donc déjà un premier triage des sables suivant leur seuil d'érosion.

Il faut noter que le seuil d'érosion marque la mise en mouvement d'un matériau et ne marque pas nécessairement sa mise en mouvement par grandes masses comme dans le cas de la formation des baïnes.

+ +

+

ETUDE QUALITATIVE DU DEPLACEMENT DES SABLES SUR LA PARTIE NORD

DU LITTORAL DES LANDES PAR DIFFERENTES METHODES

Aucune des méthodes susceptibles d'indiquer et de prouver un déplacement des sables sur le littoral des Landes, n'a été négligée. Mais il est difficile en une année et avec le peu de moyens dont dispose un chercheur isolé de les aborder toutes avec succès. C'est pourquoi la collaboration de plusieurs personnes a été nécessaire pour mener à bien cette étude, d'une part pour la détermination des minéraux lourds, d'autre part pour les mesures de radioactivité naturelle et de radioactivité artificielle.

Les résultats obtenus seront expliqués grâce aux facteurs de transport précédemment étudiés et leur comparaison permettra de connaître les limites de chaque méthode.

I) LA METHODE DES MINERAUX LOURDS⁺

La détermination des teneurs en minéraux lourds sur des échantillons prélevés tout le long du littoral peut permettre rapidement d'observer les variations cette fraction de sables. Il est cependant utile d'en connaître les éléments minéralogiques pour préciser ces variations et en connaître les origines.

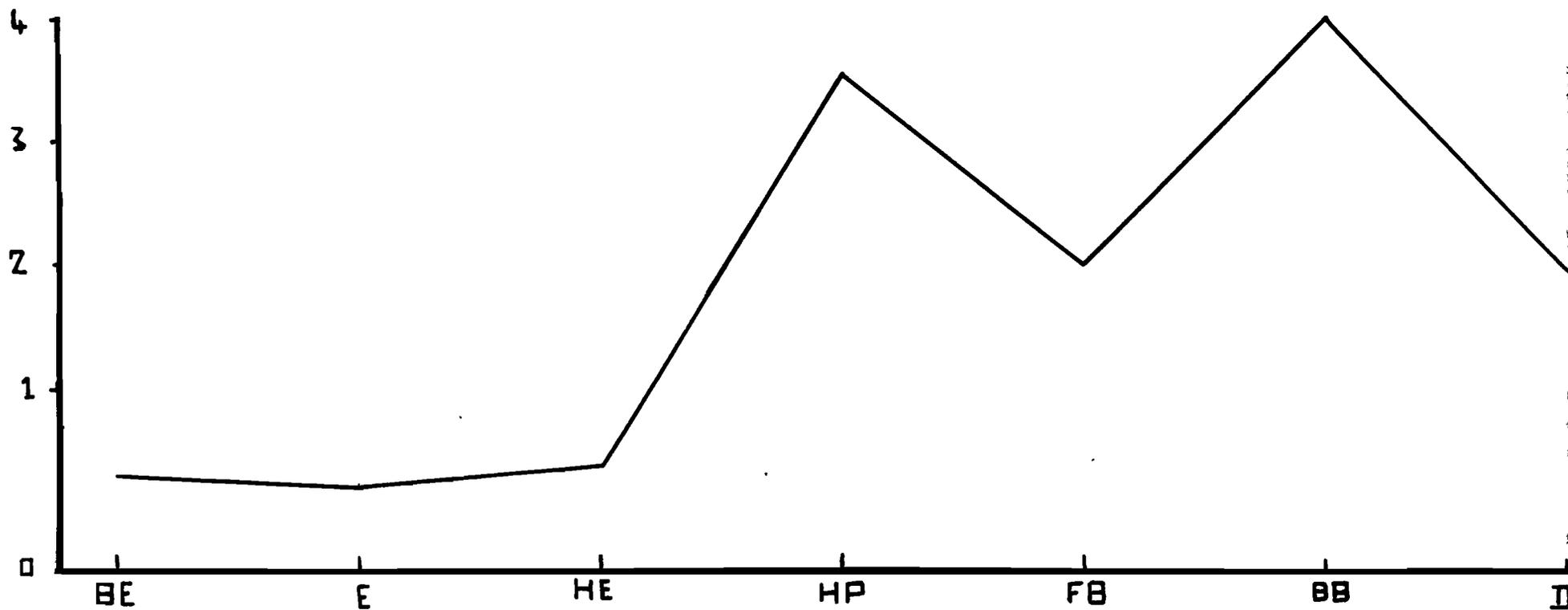
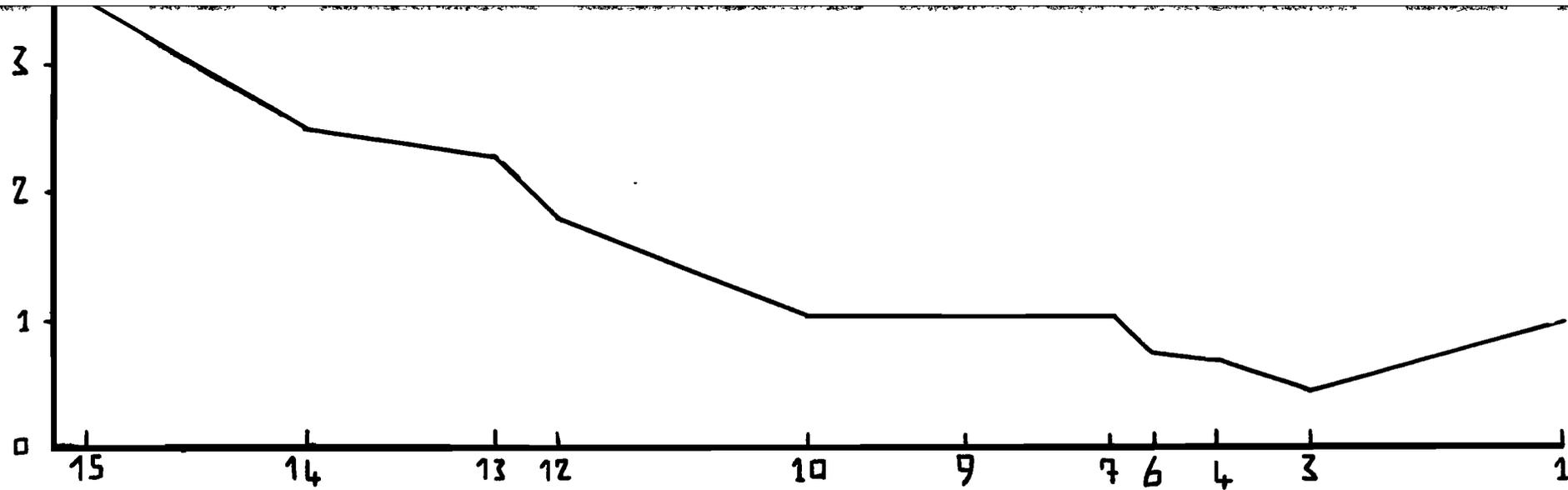
Les minéraux lourds des profils de Soulac au Cap Ferret font partie de l'unité septentrionale de S. DUPLAIX (1956), caractérisée par les minéraux indicateurs régionaux : hypersthène, ilménite et augite. S. DUPLAIX a établi une direction de déplacement des sables : du Sud vers le Nord de la Pointe de Grave à la Pointe de la Négade, du Nord vers le Sud de la Pointe de la Négade à Hendaye.

La présente étude a pour but de mettre en évidence des variations relatives, de la Pointe de la Négade au Cap Ferret, des teneurs pondérales des minéraux lourds et des principaux minéraux.

A) TECHNIQUE

Le triage par densité des sables est effectué dans le bromoforme à partir d'un poids de 20 grammes de sable (par le Laboratoire de Sédimentologie de l'O.R.S.T.O.M.). Ensuite, les minéraux

+ Déterminations effectuées par Mme DELAUNE, Laboratoire de Géologie de l'O.R.S.T.O.M., BONDY.



VARIATIONS DES TENEURS EN MINERAUX LOURDS
 PAR PLAGES ET PAR UN PROFIL MOYEN

lourds, tamisés, ne présentent une fraction importante qu'aux dimensions 0,315 mm à 0,16 mm, ce qui correspond à la fraction granulométrique la plus importante. Une partie des minéraux opaques isolés a été, après réduction en poudre, analysée en spectrographie, afin d'en connaître la nature. Le comptage des minéraux lourds transparents est effectué sur 100 grains.

Les prélèvements effectués en Février 1965, en surface et en profondeur, au nombre d'au moins sept par profils, donnent des résultats statistiques intéressants.

B) RESULTATS

Les teneurs en minéraux lourds de toutes les dimensions (Fig.25) en % par rapport au poids total de la prise d'essai, décroissent du Nord vers le Sud avec des valeurs exceptionnelles à Soulac. Toutefois, ces valeurs sont beaucoup plus importantes que celles obtenues par S. DUPLAIX (1956, p.82). Seule la fraction importante de 0,315 mm à 0,160 mm étant retenue, les résultats des déterminations minéralogiques, ne sont donc pas directement comparables à ceux de S. DUPLAIX (1956) qui a retenu la fraction 0,5 à 0,05. Il s'agit de résultats statistiques pour cette dimension. On y observe les mêmes minéraux lourds que S. DUPLAIX (1956). Cependant l'épidote a été subdivisée en épidote s.s. et zoïsite, l'amphibole en hornblende verte et brune.

Les minéraux lourds peuvent se subdiviser en deux stocks, l'un variable comprenant l'augite, l'andalousite, le grenat, la tourmaline, la staurotide et la zoïsite (Fig.26), l'autre invariable comprenant l'hypersthène, l'hornblende verte et l'hornblende brune, la sillimanite, le disthène, l'épidote s.s., le corindon

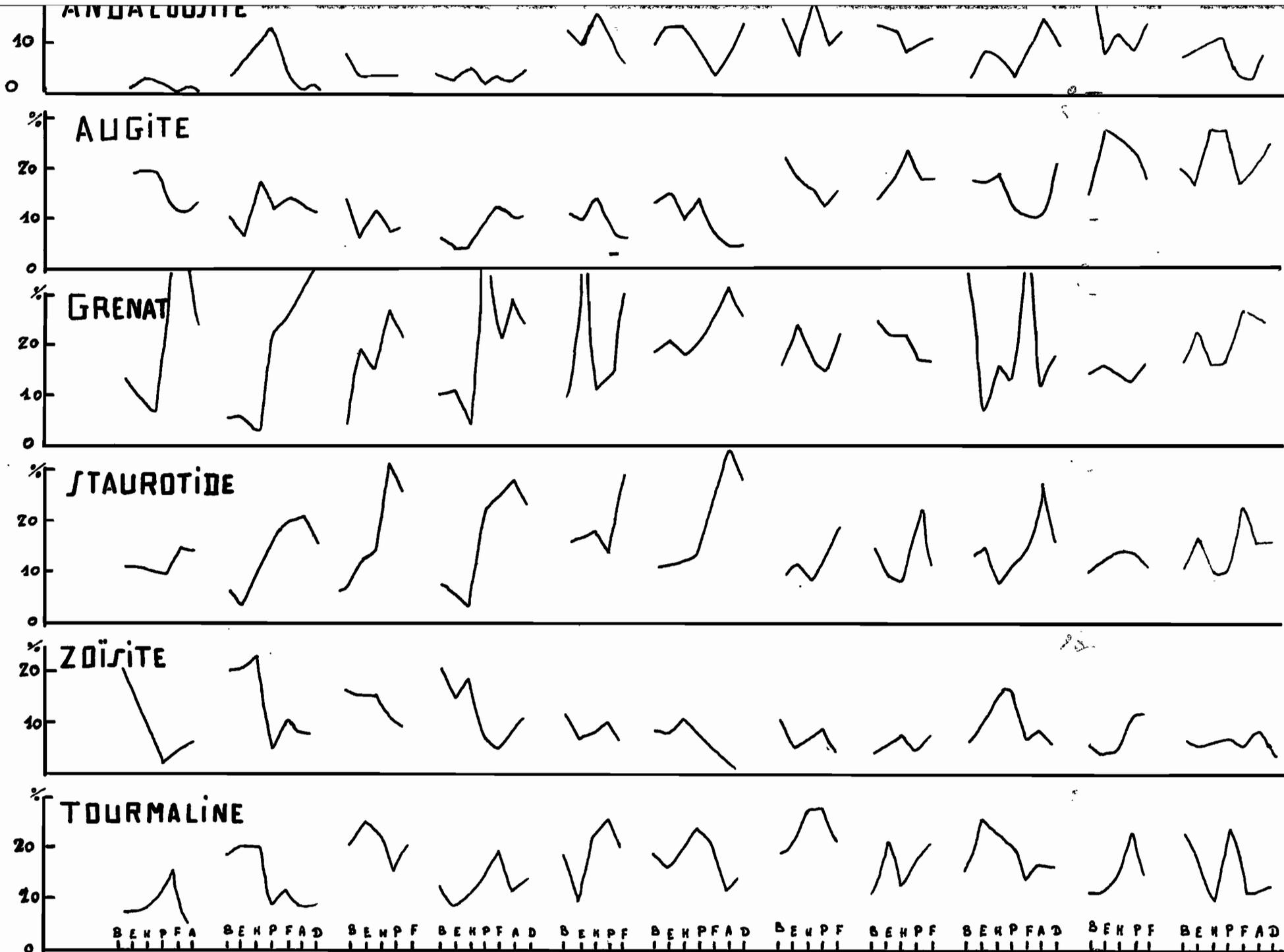


Fig. 26 VARIATIONS MINÉRALOGIQUES DE 0,315 A 0,16 m

B: bas estean
 E: esfean
 H: haute plage
 F: front de plage
 A: Dos de plage.

et le zircon. Ce dernier est présent partout (au plus 1%) mais à Soulac, sa proportion atteint 6%. Le rutile n'est présent qu'à Soulac, Montalivet et Hourtin. L'ilménite, minéral opaque, est présent dans tous les échantillons.

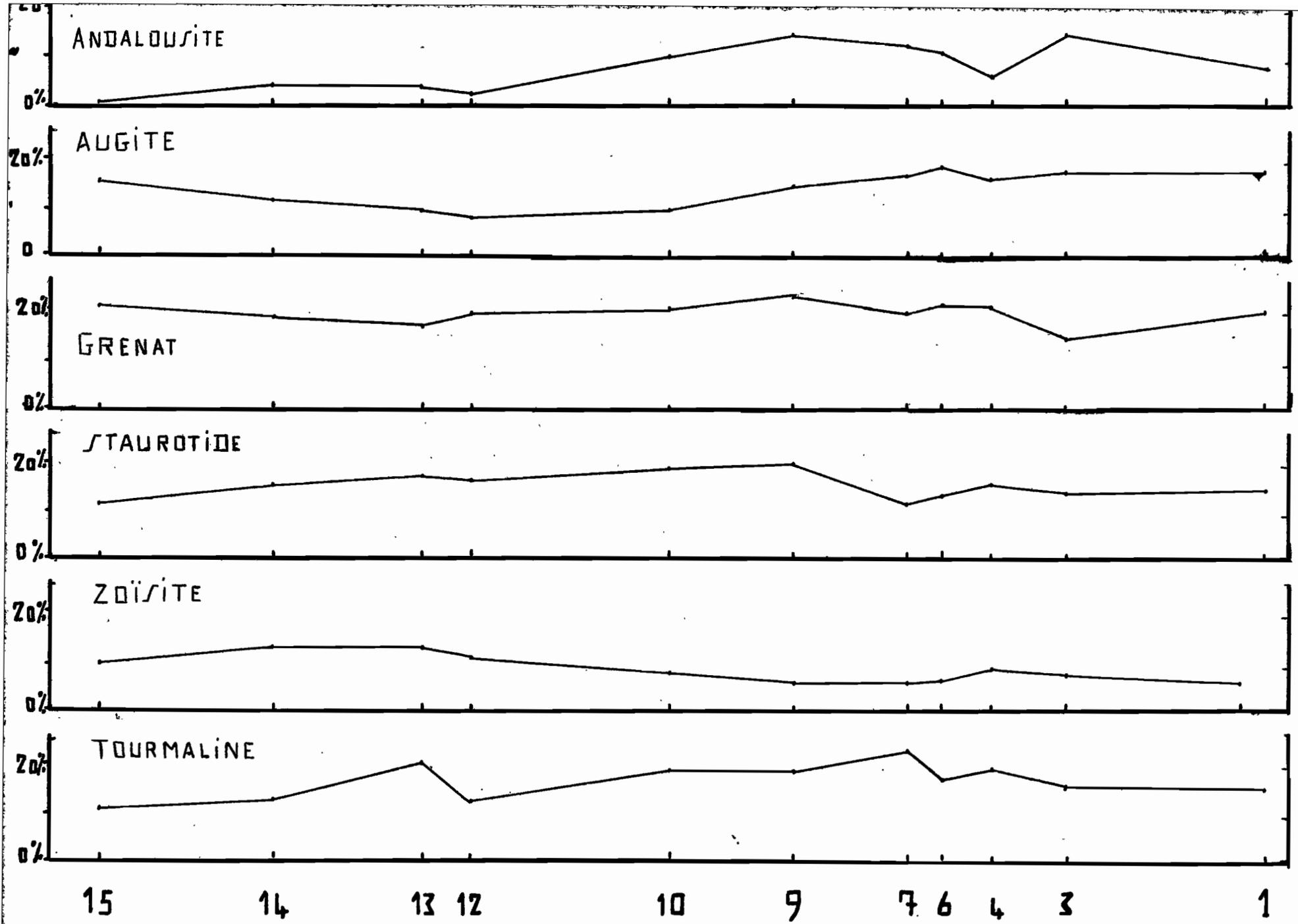
On distingue sur les figures 25 et 27 deux zones :

- Une zone nord.- (plages I5 à I2) caractérisée par une coupure minéralogique des minéraux lourds entre le haut estran et la haute plage. Cette différence a également été observée en morphoscopie. En effet, sur chaque profil on observe :

<u>BE à HE</u>	<u>HP à Dune</u>
I5 (Soulac) Plus d'augite, plus de zoïsite, plus de zircon, grains émoussés luisants	- I5 - Plus de grenat, plus de staurotide, grains ronds et mats
I4 (Montalivet) Plus de tourmaline et plus de zoïsite; grains émoussés et luisants	- I4 - Plus de grenat et plus de staurotide, grains ronds et mats
I3 (Le Pin Sec) Plus de tourmaline et plus de zoïsite, grains émoussés luisants	- I3 - Plus de grenat et plus de staurotide, grains ronds et mats.

- Une zone sud.- (Plages I2 à I où l'on ne peut observer de coupure minéralogique).

De I2 (Hourtin) à I (Cap Ferret) les proportions varient peu, sauf par rapport à la zone nord, par suite d'une diminution de la zoïsite de faible dureté. Il s'ensuit peu à peu une augmentation relative d'augite et d'andalousite due également à des échanges avec la dune. Le grenat est aussi abondant dans la zone



VARIATIONS MINÉRALOGIQUES PAR PLAGES

sud que dans les dunes de la zone nord. L'enrichissement en grenat de l'estran de la zone sud peut aussi s'expliquer par des échanges avec les dunes du front de plage.

C) CONCLUSIONS

Les échantillons étudiés ont été prélevés à la même époque, au mois de Février. Ils sont donc comparables du point de vue dynamique, car la granulométrie varie peu. Ainsi la décroissance des teneurs en minéraux lourds sur les plages du littoral des Landes, ne peut être due qu'aux effets de triage et de dispersion sous l'action de la houle dont on a étudié les capacités de transport. Or, les sables de ces plages, sont depuis très longtemps soumis aux actions océaniques. En effet, ils proviennent d'un vaste épandage, sur la bordure ouest du Bassin d'Aquitaine dont le plateau continental actuel fait partie, d'alluvions du Quaternaire (DUPLAIX, 1956), façonnées ensuite au Mésoolithique en grains ronds et mats par les actions periglaciaires (BOURCART, 1947).

Ainsi l'abondance dans la zone nord d'augite et d'épidote s.l. caractéristiques de la Dordogne et de la Garonne (DUPLAIX, 1956), met en évidence un léger rapport sur l'estran, sous l'action des houles, des sables de l'estuaire de la Gironde.

Soulac (I5) s'individualise par ses fortes teneurs en minéraux lourds, et son estran par ses associations. Or, GLANGEAUD (1939 b) et DUPLAIX (1956) ont observé que de la Pointe de la Négade à la Pointe de Grave, les sédiments se déplaçaient vers le Nord.

Dans la zone sud, les teneurs légèrement plus fortes du Cap Ferret et de la Pointe d'Arcachon (PA - Fig.30), situés à l'entrée du Bassin d'Arcachon, peuvent s'expliquer par la présence

du bassin et d'une rivière qui s'y jette : la Leyre. Il est logique de supposer, puisque les teneurs continuent à décroître vers les plages de Mimizan et du Vieux Boucau (Fig.30) que cette anomalie est liée aux apports du Bassin d'Arcachon drainant les dunes anciennes et le sable des Landes, riche en augite (DUPLAIX, 1956). Ces apports seraient dispersés de part et d'autre du Bassin, sous l'action de l'agitation créée par la rencontre des courants de sortie du Bassin, des courants de marée et de la houle, en particulier en vive eau.

Le stock de cette zone sud dérive d'une part du stock de l'estran de la zone nord (par dispersion des minéraux lourds et diminution d'épidote s.l. vers le sud) et d'autre part du stock du Quaternaire ancien (grenat, tourmaline, andalousite, DUPLAIX, 1956) de la dune et du plateau continental.

Ainsi, on peut mettre en évidence sous l'action des houles, non seulement un transit littoral des sables de Montalivet au Cap Ferret, mais également une érosion du littoral et probablement un rabotage du plateau continental.

On constate, par ailleurs, transversalement (Fig.25) que les teneurs en minéraux lourds sont plus faibles sur l'estran à l'inverse de la haute plage (HP) et du dos de plage (BB) où il est conseillé de faire les prélèvements. Ceci s'explique par un triage de densité effectué directement par le vent sur la haute plage en particulier l'hiver, et indirectement par les phénomènes de turbulence engendrés derrière les dunes (GLANGEAUD et GANDHIL, 1939).

Le vent est donc un agent de concentration. Ainsi en plusieurs points du littoral, on trouve des concentrations de miné-

raux lourds sur la haute plage à la limite du front de plage, dépendantes de leur morphologie et de la direction du vent d'Ouest. Les successions de couches riches et pauvres en minéraux lourds que l'on peut rencontrer en profondeur sur la haute plage, s'expliquent ainsi par l'action en morte eau du vent sur le sable apporté en vive eau par les vagues.

Cependant, sous l'action d'une houle moyenne et en l'absence de vent, les vagues peuvent (ainsi à la Pointe d'Arcahon et à Soulac, l'été) apporter des lits de minéraux lourds et créer un horizon superficiel de concentration plus forte. BRADLEY (1957) a mis en évidence des phénomènes de concentration analogues.

+ +

+

II) LA RADIOACTIVITE NATURELLE DES SABLES DU LITTORAL DES LANDES

UTILISEE COMME TRACEUR ⁺

Certains auteurs, RIVIERE (1955) et encore plus récemment RIVIERE et VERNHET (1966) ont observé des variations globales de la radioactivité naturelle des sables sur les plages corrélativement avec les teneurs en minéraux lourds de ces sables. Cependant plusieurs éléments connus sont naturellement radioactifs dans les sables et peuvent varier en proportions respectives.

D'une façon générale, le Potassium 40 se trouve dans les feldspaths alcalins les feldspathoïdes et les micas. Le Thorium, l'Uranium et le Radium sont concentrés en inclusions dans certains minéraux lourds d'après ADAMS, OSMOND, ROGERS (1959) :

<u>Minéraux lourds</u>	<u>Thorium</u> en p.p.m.	<u>Uranium</u> en p.p.m.
Allanite	500 - 5000 1000 - 20.000	30 - 700 - 100
Apatite	20 - 150 50 - 250	5 - 150 10 - 50
Epidote	50 - 500	20 - 50
Ilménite		1 - 50

+ fera l'objet d'une publication en coll. avec J.M. MARTIN et L. GLANGEAUD

<u>Minéraux lourds</u>	<u>Thorium</u> en P.P.m.	<u>Uranium</u> en p.p.m.
Magnétite	0,3 - 20	1 - 30
Monazite	25.000 - 200.000	500 - 3.000
Sphène	100 - 600	100 - 700
Xénotine	faible	500 - 35.000
Zircon	100 - 2.500 50 - 4.000	300 - 3.000 100 - 6.000
Biotite	0,5 - 50	1 - 40
Hornblende	5 - 50	1,2 -
Feldspath potassique	3 - 7	0,2 - 3
Muscovite		2 - 8
Olivine		0,01
Plagioclase	0,5- 3	0,2 - 5
Pyroxène	2 - 25	0,1 - 5
Quartz	0,5 - 6	0,1 - 5

Différents auteurs tels MADHAVI (1964), KAMEL et JOHNSON (1962), TASHJIAN, CHERRY, GORDON, GABLINGER (1964) ont observé des variations de la teneur de ces éléments dans les sables. La plupart d'entre eux en ont déduit des directions de transit sédimentaire le long d'un littoral.

Les sables du littoral des Landes présentent en Laboratoire, une radioactivité naturelle mesurable, et variable, d'une part suivant un profil de plage, d'autre part suivant les points du littoral. L'utilisation de cette méthode devrait donc permettre de

connaître la direction du transit de ces sables. Cependant, elle dépend étroitement de certains minéraux lourds.

A) TECHNIQUE

Les prélèvements ont été faits sur six profils de Souillac au Cap Ferret (Fig.19) plages I5, I4, I2, 9, 4, 1 et prolongés par trois profils à la Pointe d'Arcachon, à Mimizan et au Vicux Boucau (Fig.1). Sur chaque profil, bas estran (BE), estran (E), haut estran (HE), haute plage (HP), front de plage ou front beach (FB), dos de plage ou back-beach (BB) et dune (D), sept prélèvements ont été effectués en Février 1965 pendant les marées basses de vive eau. Chaque échantillon a été décalcifié à l'acide chlorhydrique dans les mêmes conditions, de façon à éliminer tout le Potassium pouvant se trouver dans les très rares coquilles carbonatées. La même "géométrie" a été adoptée pour la source : boîte en matière plastique contenant 400 à 500 grammes d'échantillon d'une hauteur de 3 centimètres environ.

Les teneurs en Thorium, Radium et Potassium ont été déterminées par spectrométrie gamma en collaboration avec J.M. MARTIN. C'est une mesure quantitative d'analyse fondée sur la détection du rayonnement gamma émis par les atomes radioactifs contenus dans l'échantillon.

La désintégration d'un atome radioactif peut être accompagnée d'une émission de photons gamma (CROUTHAMEL, 1960). L'énergie d'émission de photons gamma est caractéristique des nucléides émetteurs. Une installation de spectrométrie gamma capable de classer par bandes d'énergie et de stocker les informations

issues des rayons gamma détectés, permet d'obtenir un spectre caractéristique d'un groupe d'émetteurs gamma.

Ainsi la spectrométrie gamma permet sans séparation chimique, de caractériser chacun des nucléides émetteurs gamma par un ou plusieurs pics photo-électriques, répartis dans le spectre gamma obtenu au cours de la mesure. L'évaluation de l'aire de ces pics, permet de connaître le nombre de photons gamma émis pendant la durée de la mesure par le nucléide correspondant. On détermine ainsi la quantité de cet isotope existant dans l'échantillon (CHEMINÉE et NORDEMANN, 1963).

Les teneurs ont été dosées sur le spectromètre gamma du Laboratoire de Géologie dynamique de la Sorbonne comprenant :

1. - Un détecteur constitué par l'association d'un cristal scintillateur d'iodure de Sodium activé au Thallium de 10 cm x 10 cm "Quartz et silice" accolé à la photo cathode d'un photomultiplicateur EMI 95-30, alimenté par une très haute tension. Par suite de l'absorption des rayons gamma par la matière (effet photoélectrique, effet Compton, création de paires), une impulsion lumineuse naît dans le scintillateur. Le photomultiplicateur la transforme en impulsion électrique dont la tension est proportionnelle à la fraction d'énergie gamma absorbée dans le cristal.
2. - Une chaîne d'amplification comprenant un préamplificateur et un amplificateur à large bande et gain élevé et stable, afin d'assurer la linéarité de l'amplification.
3. - Un sélecteur (Intertechnique S A 40 à 400 canaux) triant selon leur amplitude les impulsions électriques issues du photomultiplicateur et amplifiées par la chaîne d'amplification. Un convertisseur analyse et classe dans chaque canal à mémoire (tore de ferrite) les impulsions comprises entre V (caractéristique du rang du canal) et

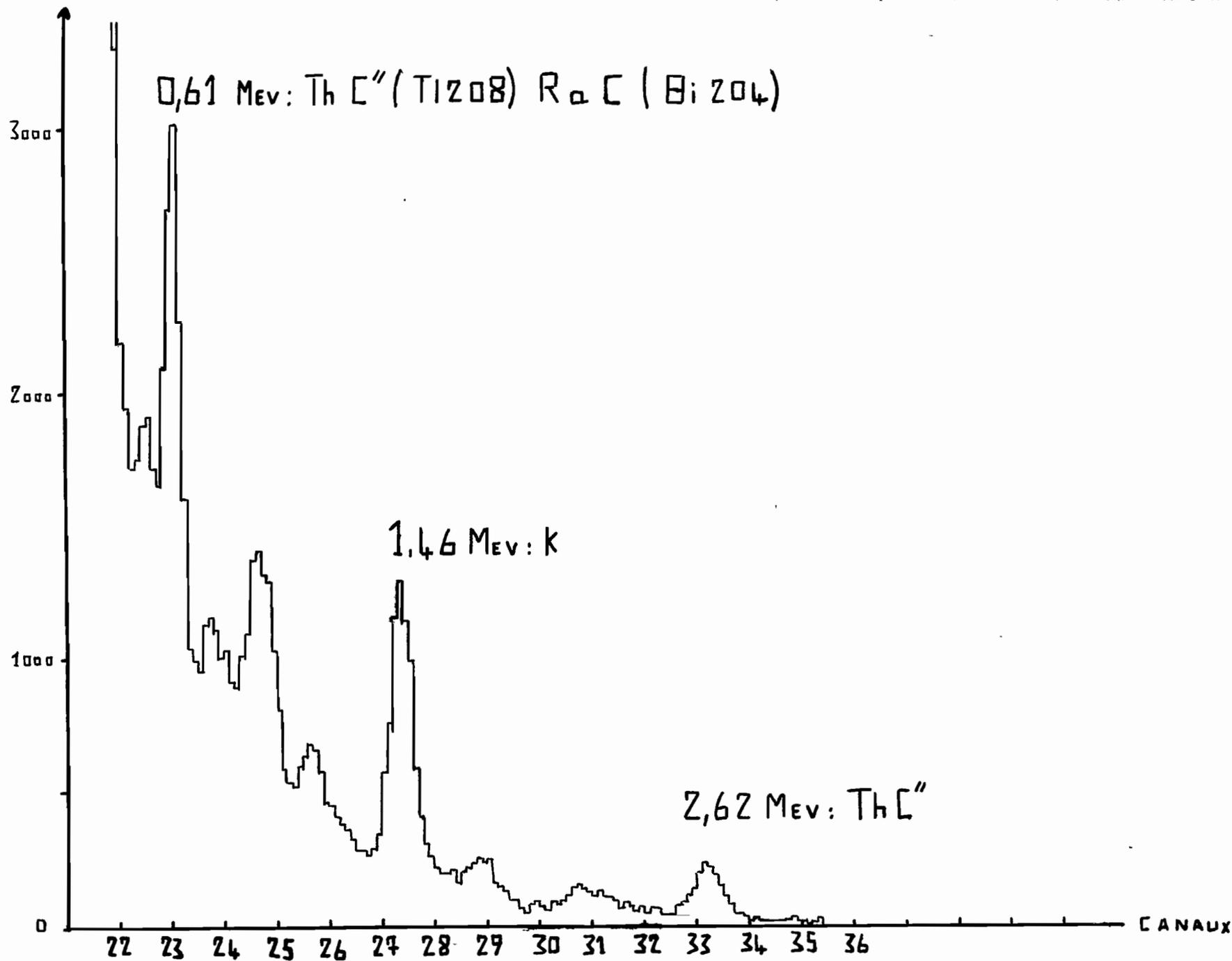


FIG. 28

SPECTRE GAMMA DE SOULAC H.P.
 20 Kev/CANAL POIDS: 569 gr. HAUTEUR: 4,4 cm DURÉE: 8 HEURES. CRISTAL NaI(Tl) 10x10cm

$V + \Delta V$ (ΔV caractérisant la largeur de bande du canal).

4. - Un blindage, comprenant 10 cm de vieux plomb, 5 cm de Fer et un sandwich cadmium - plomb - cuivre.

On obtient aux niveaux d'énergie étudiés sur une largeur de 100 Kev, le bruit de fond suivant :

240 coups par heure	à	0,610 Mev
48 " " "	à	1,46 Mev
12 " " "	à	2,62 Mev

Les résultats, après des mesures de 8 heures environ, sont extraits sous forme de bande imprimée. On porte sur un graphique le nombre d'impulsions enregistrées dans chaque canal (Fig. 26). Les hauteurs des impulsions sont proportionnelles à la fraction d'énergie du photon gamma incident. Le spectre obtenu donne la répartition de l'énergie et du nombre des photons gamma issus de la source pendant la durée de la mesure. Il est appelé spectre gamma.

Les pics sont d'allure gaussienne par suite du caractère aléatoire des photons, photoélectrons et électrons secondaires. La résolution (quotient de la largeur en énergie à mi-hauteur par l'énergie du pic) caractérise la finesse des pics obtenus.

Dans la mesure des teneurs, il faut déduire d'une part l'effet Compton (une fraction des rayons gamma incidents se dégrade en plusieurs rayons gamma d'énergies inférieures), d'autre part le bruit de fond d'origine cosmique, ou dû à des émetteurs divers présents dans les parois et installations du Laboratoire. Le bruit de fond est réduit par le château de plomb.

Les mesures quantitatives ont pu être déterminées grâce à une série d'étalonnages (R. CHESSELET et J.M. MARTIN, 1966)

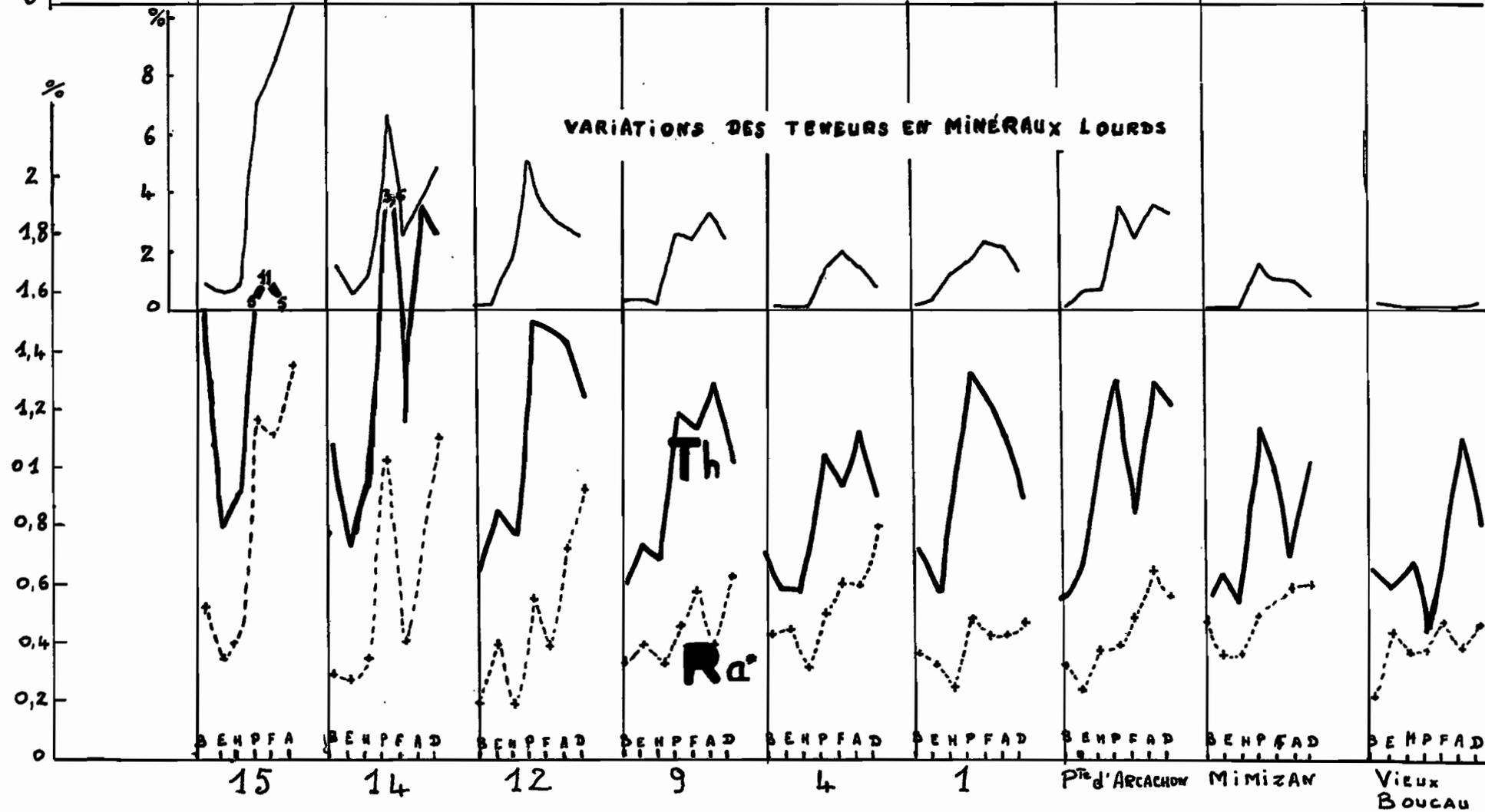
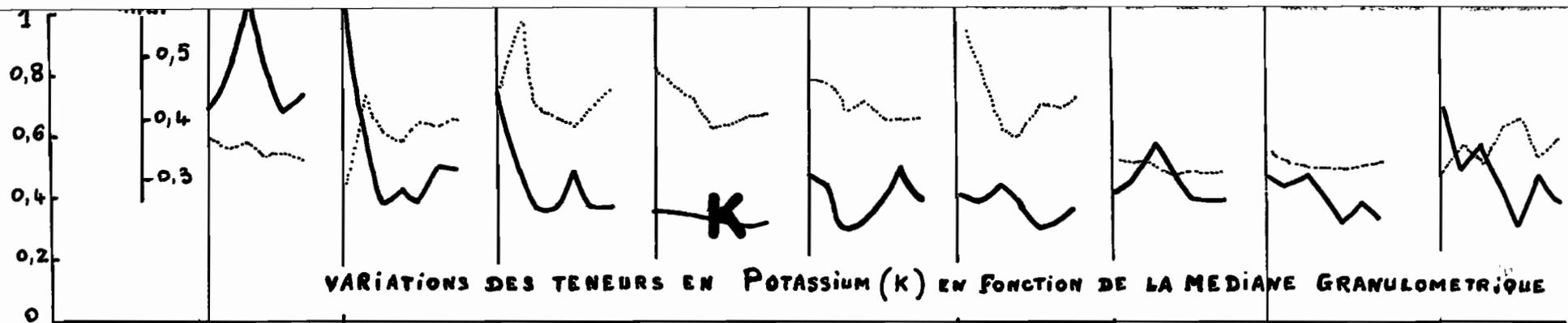


FIG 29. VARIATIONS DES TENEURS EN THORIUM ET EN RADIUM EN FONCTION DU % DES MINÉRAUX LOURDS
 (B : bas estran, E : estran, H : haut estran, P : haute plage, F : front de plage ou front-beach, A : dos de plage ou back-beach, D : dune)

qui ont permis de connaître avec précision le rendement de détection par effet photoélectrique lui-même, de l'énergie du rayonnement émis et de la nature de la source. Les erreurs maximales des résultats sont de 10 à 20% pour des mesures de 8 heures en moyenne.

B) RESULTATS

Les faibles teneurs en Radium (exprimées en équivalent Uranium, supposé à l'équilibre) et en Potassium (exprimées en %) présentent très peu de variations (Fig. 29 et 30). Tout au plus la faible teneur en Potassium exprime-t-elle un grand degré de maturité des sables. Cette teneur est en partie fonction de la granulométrie et sur la plupart des profils (Fig.29), le maximum de Potassium correspond à une granulométrie minimum. Les teneurs en Radium descendant de l'Uranium sont difficiles à étudier, étant donné la facilité de mise en solution de l'Uranium hexavalent.

Les teneurs en Thorium (exprimées en parties par million) présentent seules, dans cette région, d'importantes variations, qui sont parallèles aux teneurs en minéraux lourds (Fig.29 et 30). Sur un profil moyen (Fig.30), les teneurs sont maximales en haute plage (HP) et dos de plage (BB) corrélativement avec les teneurs en minéraux lourds. Le maximum de Thorium en front beach non parallèle aux teneurs en minéraux lourds, est influencé par la forte concentration de l'échantillon de Soulac. Cette concentration est probablement due à l'exceptionnelle proportion de zircon dans les minéraux lourds de cette plage.

Par contre, les fortes teneurs en Thorium de la haute plage et du dos de plage sont liées aux zones de concentration des

VARIATIONS DES TENEURS EN ELEMENTS RADIOACTIFS ET DES
MINERAUX LOURDS PAR PLAGES

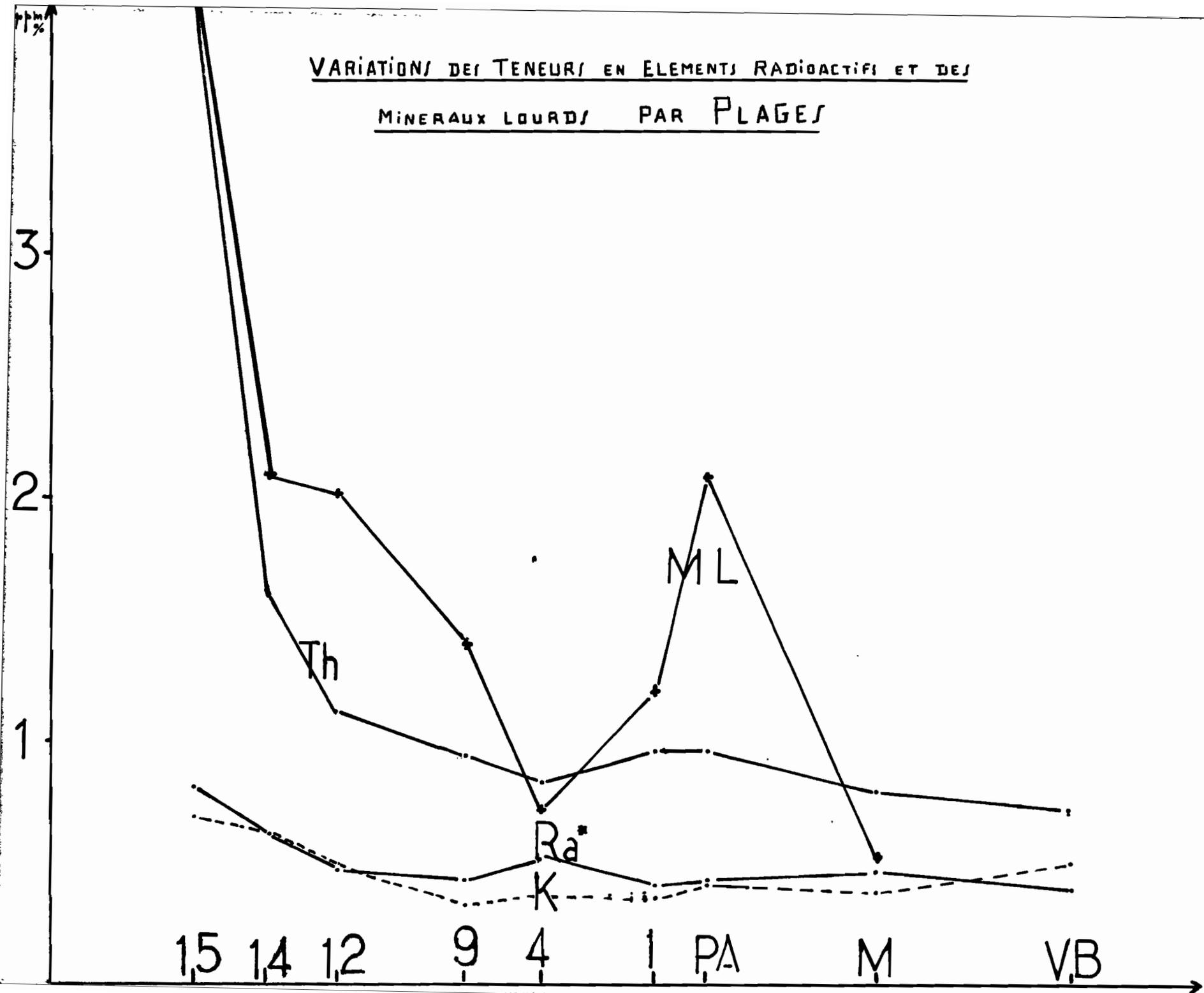
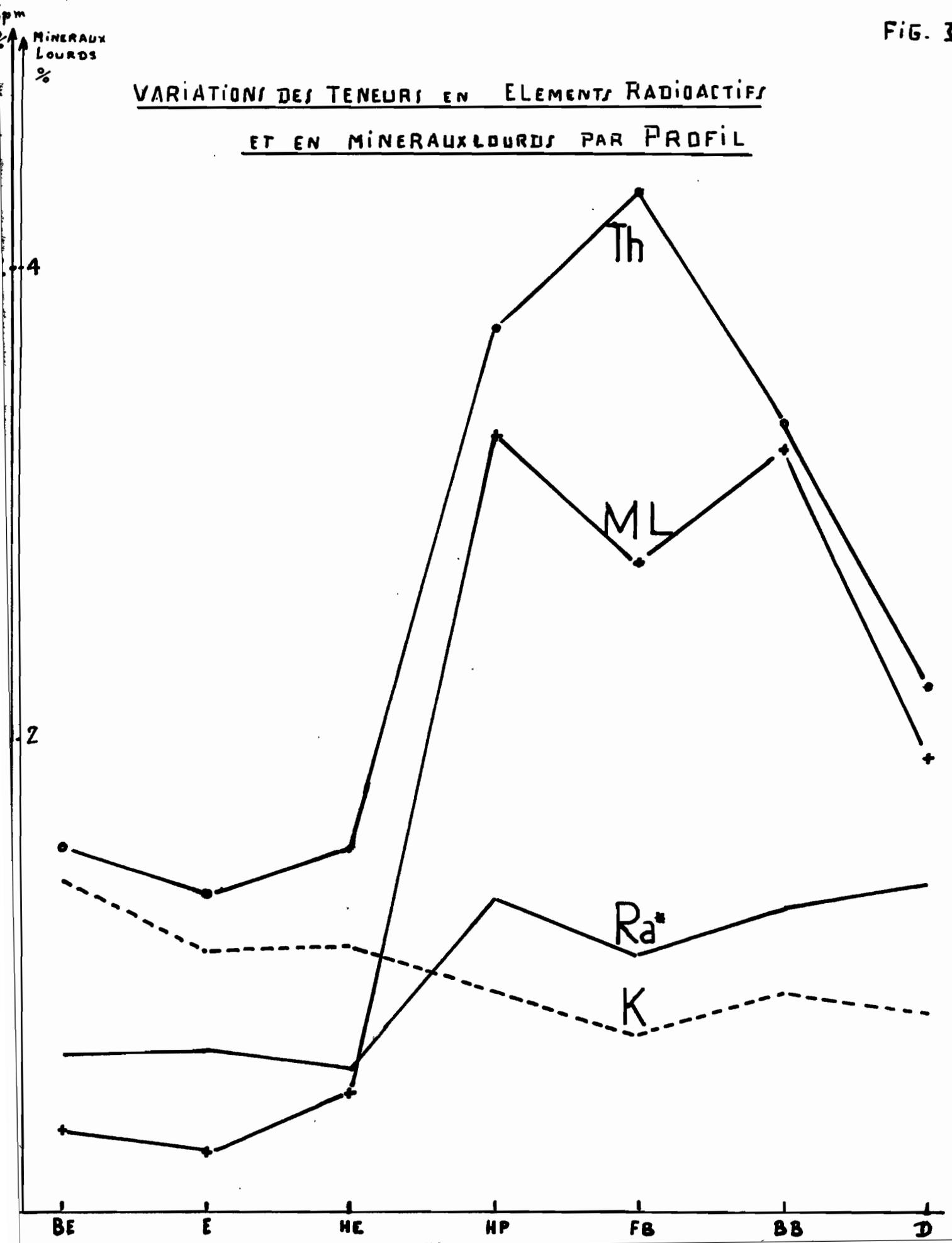


FIG. 30

VARIATIONS DES TENEURS EN ELEMENTS RADIOACTIFS
ET EN MINERAUX LOURDS PAR PROFIL



minéraux lourds sous l'action des vents. Ces zones quoique peu ou pas immergées sont cependant représentatives de l'estran, par suite de l'action des vents.

Le long du littoral (Fig.29) on observe le même parallélisme des teneurs en Thorium et en minéraux lourds. L'anomalie à la Pointe d'Arcachon (PA) de la teneur en minéraux lourds, en dépit d'une légère remontée de la teneur en Thorium, montre que ce parallélisme n'est pas rigoureux. Il est nécessaire de tenir compte des minéraux susceptibles ou non d'avoir des concentrations de Thorium, c'est-à-dire principalement le zircon et l'épidote, dans cette région.

C) CONCLUSIONS

Parmi les émetteurs naturels des sables du littoral des Landes, seul le Thorium a des teneurs suffisamment variables pour que l'on puisse l'utiliser comme traceur. Sa période est suffisamment longue ($T = 1,39.10^{10}$ ans) pour que des différences de teneurs ne soient pas dues à des différences d'âge.

On constate une décroissance nette du Thorium du Nord (embouchure de la Gironde), vers le Sud (Vieux Boucau). Cette décroissance est parallèle à celle des minéraux lourds. Or les échantillons ont tous été prélevés à la même époque et comme la granulométrie varie peu, ils sont donc comparables d'un point de vue dynamique. C'est-à-dire que la décroissance des teneurs en Thorium peut s'expliquer de la même façon que la décroissance des teneurs en minéraux lourds, soit par un effet de dispersion sous l'action des houles et de triage par masse volumique. En effet, la masse volumique des minéraux lourds est supérieure à 2,9, alors que celle du Quartz est égale à 2,65. De plus, il s'agit sur tout le littoral du même stock de sa-

ble quaternaire, donc soumis depuis très longtemps aux houles de l'Atlantique.

Ainsi cette nouvelle méthode nous conduit aux mêmes conclusions que les minéraux lourds et donne la même direction Nord-Sud du transit littoral sur la côte des Landes.

+ +

+

III) EXPERIENCES DE TRACEURS LUMINESCENTS

Le marquage des grains de sable des plages par une peinture détectable même en très petites quantités, est utilisée depuis 1953 en U.R.S.S. par ZENKOVITCH et plus récemment en Europe. En France, à la suite du L.N.H. de Chatou, une expérience a été tentée dans la Manche par LEGORGEU et BOILLOT (1964).

Le déplacement est ainsi observé d'une manière directe et permet de connaître rapidement la direction du transit des sables à l'époque des expériences. Si l'expérience dure suffisamment longtemps ou est renouvelée, on a une direction plus précise du transport et on peut exprimer une valeur quantitative (RUSSEL, 1961); JOLIFFE, 1961; BASTIN, 1963). Cette technique présente de grands avantages sur les plages, où elle ne nécessite aucune précaution.

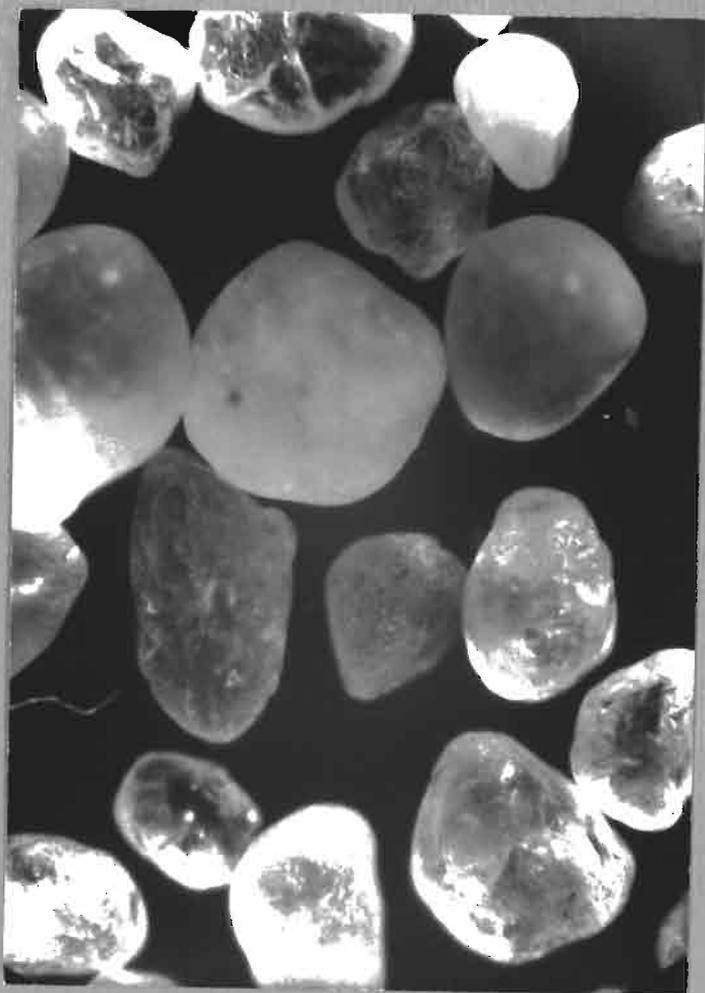
Sur certaines plages, de la Pointe de Grave au Cap Ferret, en Avril et en Mai, quatre dépôts de traceurs luminescents ont eu lieu à marée basse : Soulac, 40 kg de couleur jaune - Montalivet, 40 kg de couleur bleue - Lacanau, 40 kg de couleur jaune - Grand Crohot, 80 kg de couleur rouge.

A) TECHNIQUE

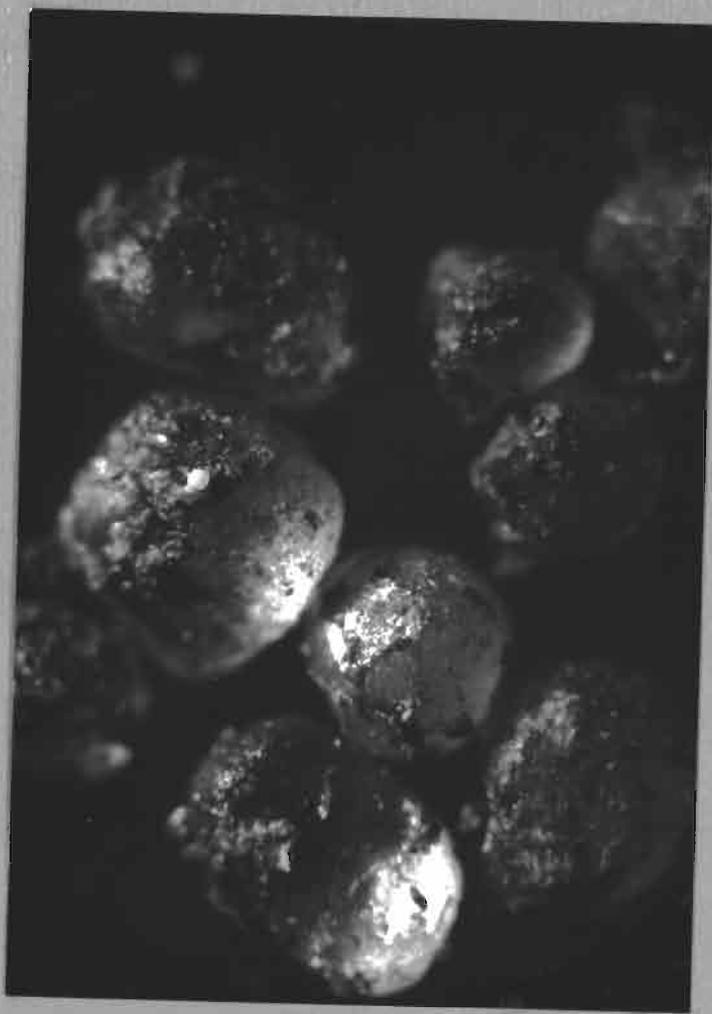
Du sable pris sur l'estran est lavé, séché, puis mélangé à raison de 40 kg environ pour 5 kg d'un vernis luminescent Lux-Color, soit jusqu'à ce que le sable ne puisse plus être coloré. Après séchage à l'air libre accéléré par un léger chauffage, mais sans excès car la luminescence diminue au-dessus de 60°, les agrégats formés sont broyés mécaniquement puis tamisés. La pellicule fluorescente dure ainsi plusieurs mois et ne modifie pratiquement pas les propriétés hydrauliques des grains. La granulométrie (Fig. 32) n'est presque pas modifiée par tamisage, ni la masse volumique des différentes fractions, car dès les premières vagues, les éléments trop légers sont enlevés et l'abrasion décape une partie de la matière luminescente visible sur la Pl.H. Seule la rugosité est légèrement différente, mais les fortes concentrations de sable soulevé annulent complètement cette différence. Il est nécessaire d'humecter les sables avant l'immersion pour qu'ils s'intègrent mieux au sable de l'estran.

Trois couleurs ont été utilisées : rouge géranium, jaune chartreuse et bleu-vert. Les deux premières conviennent très bien. La détection se fait de nuit avec une lampe de Wood et les résultats se donnent en nombre de grains par mètre carré ou en nombre de grains pour 100 gr. Une observation préliminaire de la fluorescence naturelle de la plage est nécessaire car les coquilles ont une fluorescence blanc-bleuâtre, certaines algues de la plage de Soulac en particulier, ont une fluorescence rouge, et certains quartz un éclat fluorescent jaune.

Grains naturels

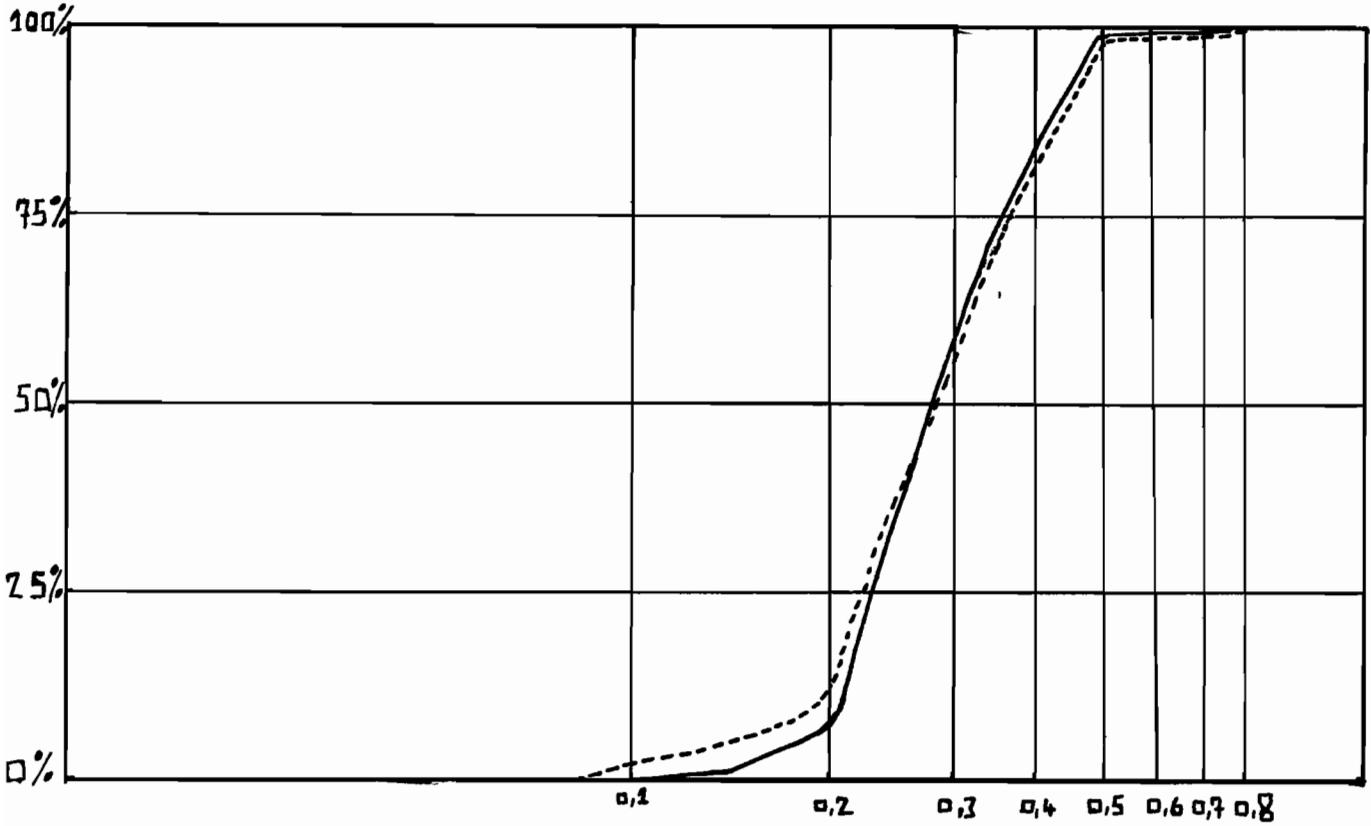


Grains rendus luminescents



Pl. H.- GRAINS DE SABLE DE LACANAU - OCEAN

Grossissement $\times 100$



GRANULOMETRIES .

SABLE NATUREL —

SABLE LUMINESCENT ---

GRAND CROHOT

B) OBSERVATIONS

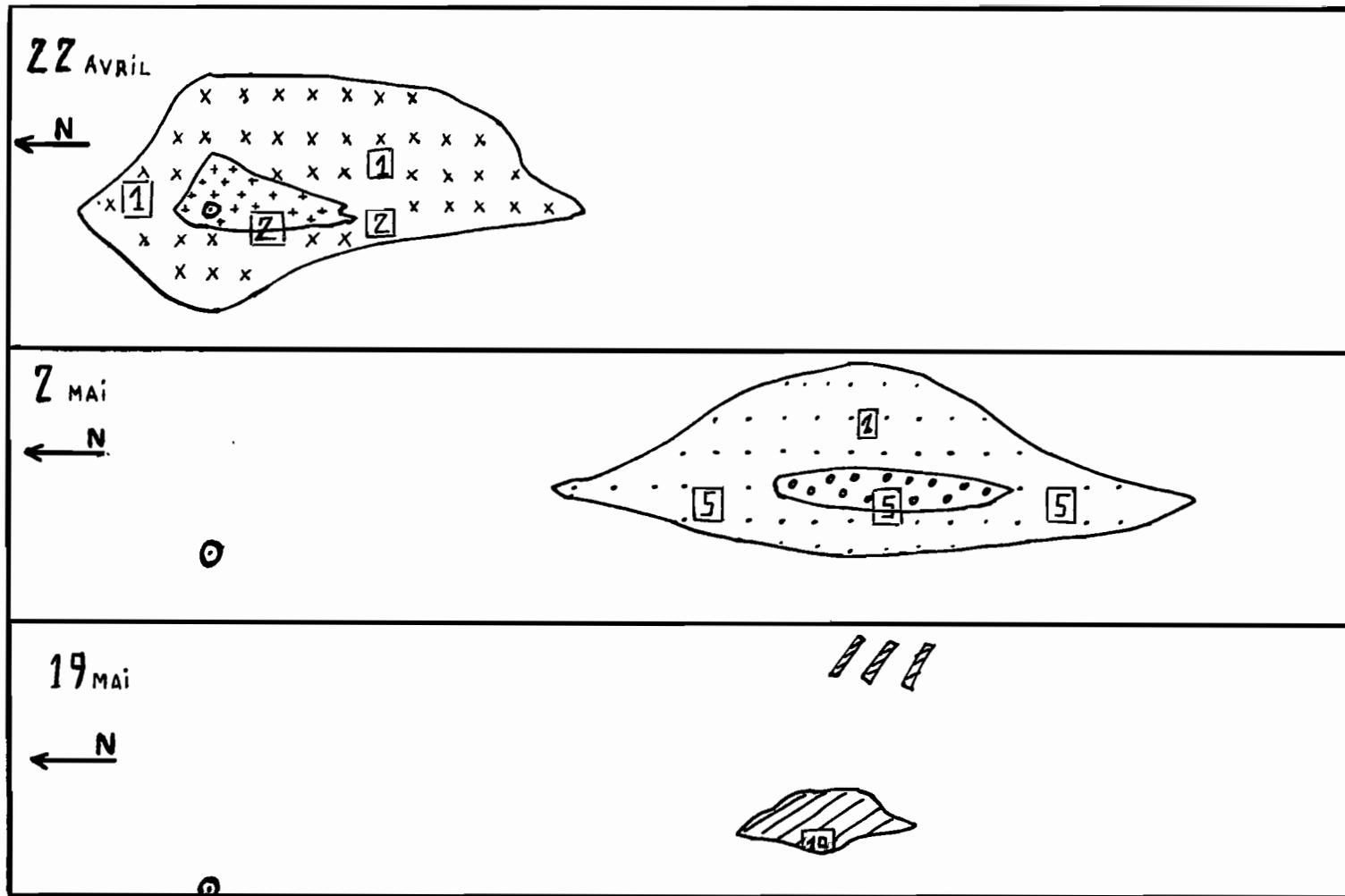
Sur l'estran de chaque plage choisie, un seul dépôt de sable luminescent a eu lieu et les observations furent poursuivies pendant un mois jusqu'à leur enfouissement par suite de l'engraissement des profils.

Sous l'action de la houle, deux stocks dès l'immersion s'individualisent. L'un de granulométrie plus fine et donc d'un seuil d'érosion plus faible est transporté surtout longitudinalement sur de grandes distances. L'autre à peine dispersé par les turbulences s'incorpore en surface et en profondeur au sable marqué.

Au Grand Crohot (Fig.34) du 22 Avril au 2 Mai, les sables luminescents se sont nettement déplacés vers le Sud, plus ou moins en filets sous l'action d'une houle WNW et d'un fort vent de NW (Fig.33) ainsi que d'un coefficient de marée croissant. Du 2 Mai au 19 Mai, les sables marqués se déplacent peu, mais s'enfouissent et se localisent au bas du haut estran, en corrélation avec une houle d'Ouest ainsi que des vents et un coefficient de marée peu importants. Sur la haute plage, quelques grains ont été transportés par le vent.

A Lacanau (Fig.35), les 29 et 30 Avril, l'étalement augmente vers le Sud pour un vent faible mais une houle WNW en vive eau. Ensuite un certain nombre de grains reste et s'enfouit sous l'action d'une houle d'Ouest et d'un vent d'Ouest assez importants. Seule cette zone est détectée à la dernière observation le 19 Mai.

A Montalivet (Fig.36), le dépôt des sables luminescents à la marée basse du 11 Mai, ne subit aucune modification. Tout au plus le 12 Mai, observe-t-on une dispersion des sables alors que



EVOLUTION DES SABLES LUMINESCENTS AU GRAND CROHOT

⊙ POINT DE DEPOT 22 AVRIL 1965 A BASSE MER ⊙

CONCENTRATIONS DES GRAINS
 PROFONDEUR

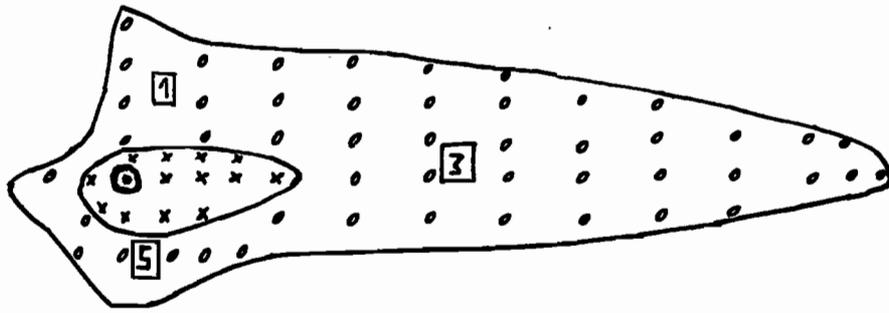
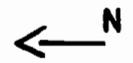
$\begin{matrix} + & + & + \\ + & + & + \\ x & x & x \end{matrix}$	C ~ 300/m ²
$\begin{matrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ x & x & x \end{matrix}$	I ~ 100/m ²

□ = 1 cm

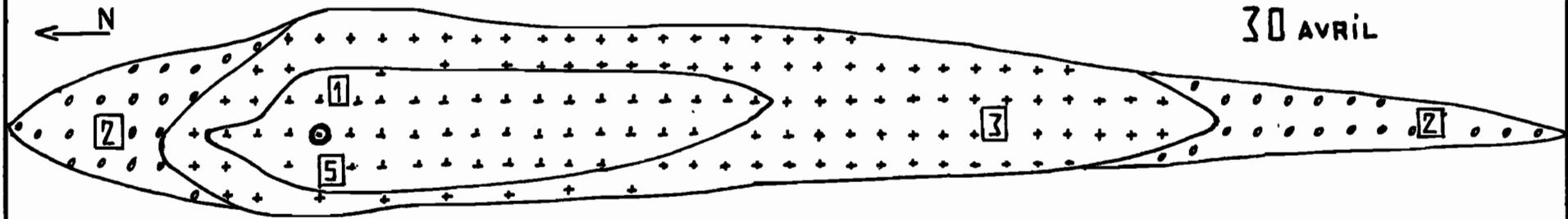
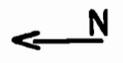
$\begin{matrix} \circ & \circ & \circ \\ \circ & \circ & \circ \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$	G ~ 10/m ²
$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$	H ~ 5/m ²

$\begin{matrix} / & / & / \\ / & / & / \\ / & / & / \end{matrix}$	I < 5/m ²
---	----------------------

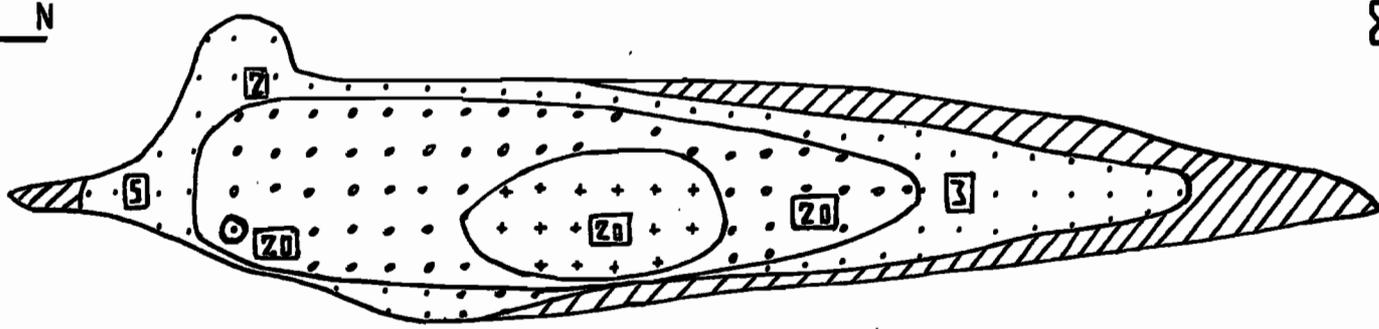
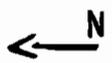
29 AVRIL



30 AVRIL



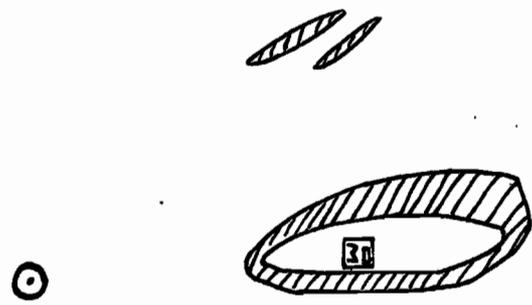
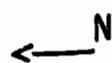
8 MAI



CONCENTRATIONS
EN GRAINS

- D ~ 100/m²
- E ~ 50/m²
- F ~ 30/m²
- G ~ 10/m²
- H ~ 5/m²
- I < 5/m²

19 MAI

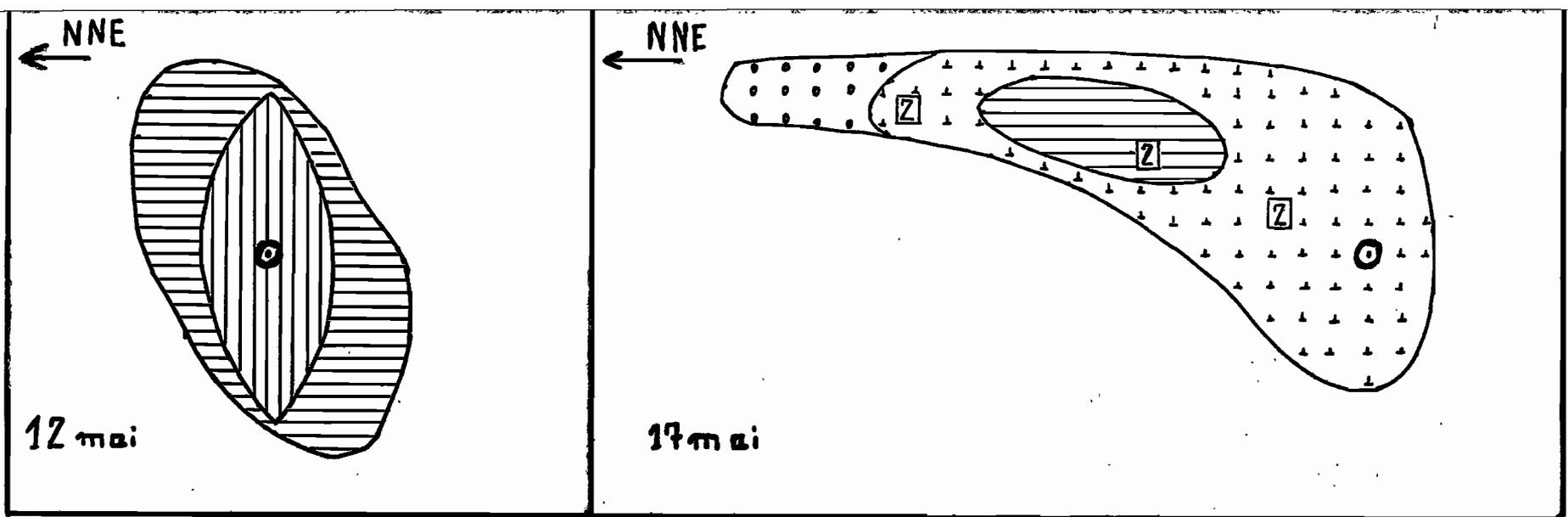


PROFONDEUR :
 Z : 2 cm

POINT DE DEPOT 29 AVRIL A MARÉE BASSE 0

EVOLUTION DES SABLES LUMINESCENTS A LACANAU Echelle 1/2.000

FIG.35



EVOLUTION DES SABLES LUMINESCENTS A SOULAC

○ POINT DE DEPOT 11 mai 1965 A MAREE BASSE Echelle 1/1.000

CONCENTRATIONS
DES GRAINS

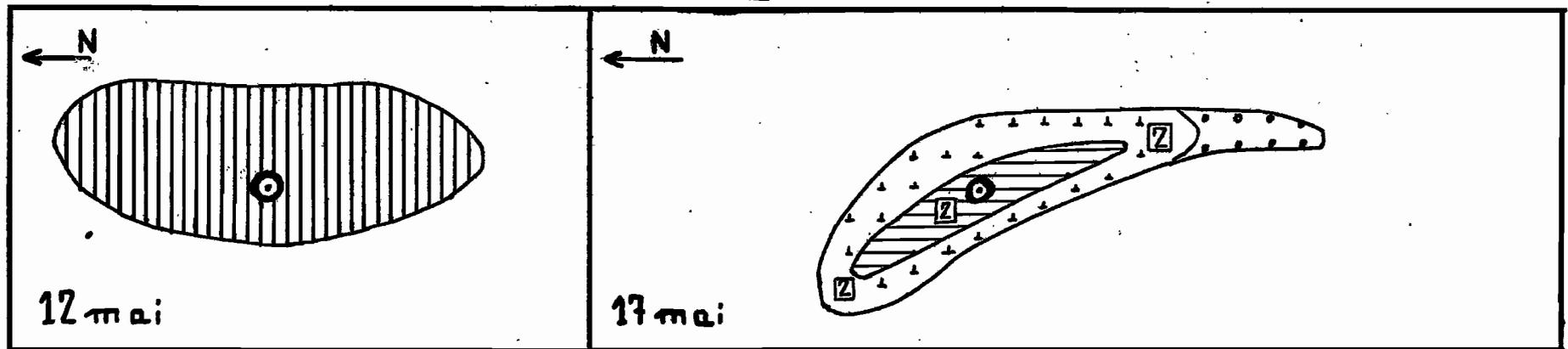


A ~ 1000/m²
B ~ 500/m²



E ~ 50/m²
G ~ 10/m²

PROFONDEUR : [2] : 2cm



EVOLUTION DES SABLES LUMINESCENTS MONTALIVET

○ POINT DE DEPOT 11 mai 1965 A MAREE BASSE Echelle 1/1.000

la houle passait de l'WNW à l'W, mais le vent est faible. Le 17 Mai, pour une houle de direction non déterminée par le bateau pilote de la Gironde, mais probablement W, et pour une amplitude significative de 2 mètres, les sables marqués s'étaient légèrement vers le Sud alors que le vent reste faible.

A Soulac (Fig.36), les 11 et 12 Mai, le dépôt de sables marqués s'étaie légèrement suivant les directions du courant de marée. A la marée basse du 17 Mai, on observe, par contre, un étalement net des sables marqués vers le Nord, sous l'action d'une faible houle d'Ouest et alors que le vent est peu important.

C) CONCLUSIONS

De la Pointe de la Négade au Cap Ferret, le déplacement des sables est net, superficiel et pour les houles d'WNW à NNW dirigé vers le Sud le long du rivage. Pour les houles d'WSW, les sables s'étaient vers le Nord et peuvent boucher légèrement les sillons longitudinaux de l'estran (baïnes) mais le déplacement est moins fréquent.

De la Pointe de la Négade à la Pointe de Grave, le déplacement des sables est dirigé vers le NE le long du rivage. Mais il est nécessaire que la houle du large ait une énergie minimum pour que des courants longitudinaux importants puissent se produire. En effet, la côte de la Pointe de Grave est protégée de la houle du large par des hauts fonds qui, suivant certaines directions, en particulier d'Ouest, modifient les orthogonales de la houle (plan de vagues, Fig. I7 B). Il semble que la faible masse de sable transi- tant de la Pointe de la Négade jusqu'à la Pointe de Grave, sous

l'action des courants longitudinaux ne puisse franchir la Pointe de Grave et forme à peu de distance de la côte une barre sableuse très visible de la jetée. Certains bateaux viennent chercher du sable sur cette barre qui se déplace peu. Sur cette partie de la côte, le transport longitudinal est donc peu important devant le transport transversal.

Les expériences de traceurs luminescents permettent d'obtenir des directions de déplacement des sables pendant un intervalle de temps donné. Mais pour connaître la résultante annuelle du déplacement littoral, il faut renouveler ces expériences.

La vitesse de déplacement des sables est maximum dans le déferlement et diminue vers le rivage. Il serait donc intéressant dans de prochaines expériences d'effectuer plusieurs dépôts le long d'un profil de plage. Certains prélèvements devront alors s'effectuer sous l'eau. De plus, dans le cas d'un étalement de la granulométrie, il sera utile de colorer différemment plusieurs fractions granulométriques et de suivre pendant le même intervalle de temps leurs déplacements car leurs vitesses de transit ne sont pas identiques.

L'époque des expériences doit également être considérée à cause de l'engraissement ou de l'érosion des profils de plage. Ainsi à l'époque des observations précédentes, les sables marqués se sont rapprochés du rivage.

+ +

+

IV) EXPERIENCE DE TRACEURS RADIOACTIFS ARTIFICIELS

Le marquage des grains de sable des plages par un émetteur radioactif d'un rayonnement déterminé généralement gamma, d'énergie et de période donnée, permet comme dans le cas des grains luminescents une observation directe. L'émetteur est facilement détecté avec des appareils de prospection. Cette application des radioisotopes a été entreprise dès 1955 aux Etats Unis, au Japon et en Europe occidentale en particulier en France (HOUS, NESTEROFF, ROMANOVSKY, 1955).

Sur le littoral des Landes, deux sites d'expérimentation ont été choisis en fonction des deux directions de déplacement de sable à mettre en évidence : l'un à Soulac, entre la Pointe de Grave et la Pointe de la Négade, l'autre au Porge-Océan entre Lacanau et le Cap Ferret.(Fig.I).

A) TECHNIQUE

Le choix de l'isotope est fonction de la durée de l'expérience. Les plus utilisés pour le marquage des sables, par la Section d'Application des Radioéléments du C.E.N. de Saclay, sont :

<u>Nature</u>	<u>Période en jours</u>	<u>Rayonnement utilisé</u>	<u>Energie en Mev du rayonnement gamma</u>
Or : ^{198}Au	2,69	γ	0,41
Chrome : ^{51}Cr	27,8	"	0,32
Iridium : ^{192}Ir	74,4	"	0,3 à 0,61
Scandium : ^{46}Sc	85	"	0,89 à 1,12

Dans le but de suivre la tache radioactive suffisamment longtemps et d'obtenir des résultats à caractère quantitatif, un traceur à longue période a été choisi : ^{192}Ir .

Le marquage du sable par l'isotope choisi peut être soit :

- massif par activation dans un réacteur nucléaire d'un verre spécial contenant des traces d'un élément activable (^{192}Ir par exemple)
- superficiel par fixation à la surface des grains d'un isotope radioactif (^{198}Au , ^{51}Cr). Le traceur doit alors être solidement fixé au support pour ne pas être éliminé par le brassage des grains dans l'eau de mer.

Le traceur choisi, l'Iridium ^{192}Ir a été marqué en masse à partir d'un verre broyé contenant 0,3% d'Iridium et après avoir rétabli la courbe granulométrique de chaque plage d'expérimentation. Le verre a la densité du quartz; ce qui convient aux sables quartzeux comme ceux des plages du littoral des Landes. Le coefficient de forme est généralement négligeable.

Pour chaque immersion, un tube de 35 grammes de verre a été irradié, soit environ 350 à 400 millicuries d'I¹⁹² Ir. Le nombre de grains actifs immergés est voisin de $1,2 \cdot 10^6$ sur la plage de Soulac, et de $5,7 \cdot 10^5$ sur la plage de Porge-Océan. Ceci correspond à une activité moyenne respective de 0,40 microCurie et 0,88 microCurie par grain. Le grain le plus actif (diamètre 1 mm) aura alors une activité de 20 microCuries. Toutefois, le nombre de grains est limité et peut s'avérer insuffisant car pour avoir un taux de comptage minimum de 50 coups par seconde il faut 1 microCurie par m².

B) APPAREILLAGE ET DETECTION

Les détections se font à marée basse, à pied sec, à l'aide d'un SPP3 relié à une sonde courte distance montée sur un traîneau métallique tiré sur le sable. Des lectures sont faites tous les cinq mètres ou tous les mètres, suivant un quadrillage balisé par des repères.

Ces repères, parallèles à la côte, sont matérialisés par deux rangées de poteaux et alignés sur le sommet du front de plage. Ils sont équidistants de 25 ou 50 mètres et constituent des alignements numérotés.

Le repérage de la position de la sonde sur l'estran, par rapport aux poteaux, est assuré au moyen de cercles hydrographiques et d'un deuxième piquetage rapidement établi sur l'estran avant chaque détection.

Les valeurs sont lues et notées en Coups par Seconde pour une constante de temps de 1,2 sec. et un seuil de 50 Kev. Une représentation plane des détections sur chaque plage, permet d'établir les courbes d'isoactivité des traceurs dont les formes et les

valeurs mettent en évidence la direction de propagation des grains de sable et leur vitesse de déplacement en fonction du temps.

Cependant il faut tenir compte de la décroissance d'activité du traceur en fonction du temps.

En effet, on mesure une activité A :

$$A = A_0 e^{-\lambda \frac{\Delta t}{T}}$$

sachant que A_0 est l'activité de référence,

λ est la constante radioactive égale à 0,693,

Δt est le nombre de jours séparant les deux mesures

T est la période en jours de l'Iridium égale à 74,4 jours.

Les isoactives des Planches E et F ont été ainsi ramenées à l'activité du jour de l'immersion.

C) BRUIT DE FOND

Chaque zone d'expérimentation a fait l'objet avant l'immersion du traceur, d'une mesure de la radioactivité naturelle des sables (Cf. Pl.E et F).

Au Porge-Océan, elle est très faible, on mesure de 10 à 16 Cps.

A Soulac, on mesure 20 à 30 Cps, sur l'estran, et 50 à 60 Cps sur le front de plage et même une zone de 100 à 200 Cps, située à la limite de la haute plage et du front de plage. Ces fortes valeurs sont liées à des concentrations de minéraux lourds précédemment expliquées par un effet d'érosion de la dune de front de plage et d'un triage par densité dû au vent. La morphologie oriente et facilite l'action de ce vent, dont les isoactives de cette zone sont dirigées suivant sa direction dominante.

D) OBSERVATIONS ET RESULTATS

. Expérience de Soulac/Mer (Pl.E). L'immersion a eu lieu entre Soulac/Mer et l'Amélie, le 4 Novembre 1965 à la marée basse du matin, sur l'estran (Fig.37) dans les premières vagues arrivant sur la plage. Le coefficient de marée était 45 (Fig.38), mais ses valeurs croissantes ont permis de mieux délimiter la tache radioactive.

Les premières détections des 5 et 7 Novembre au matin, avec une faible houle d'Ouest (Fig.38) et d'un vent faible, montrent

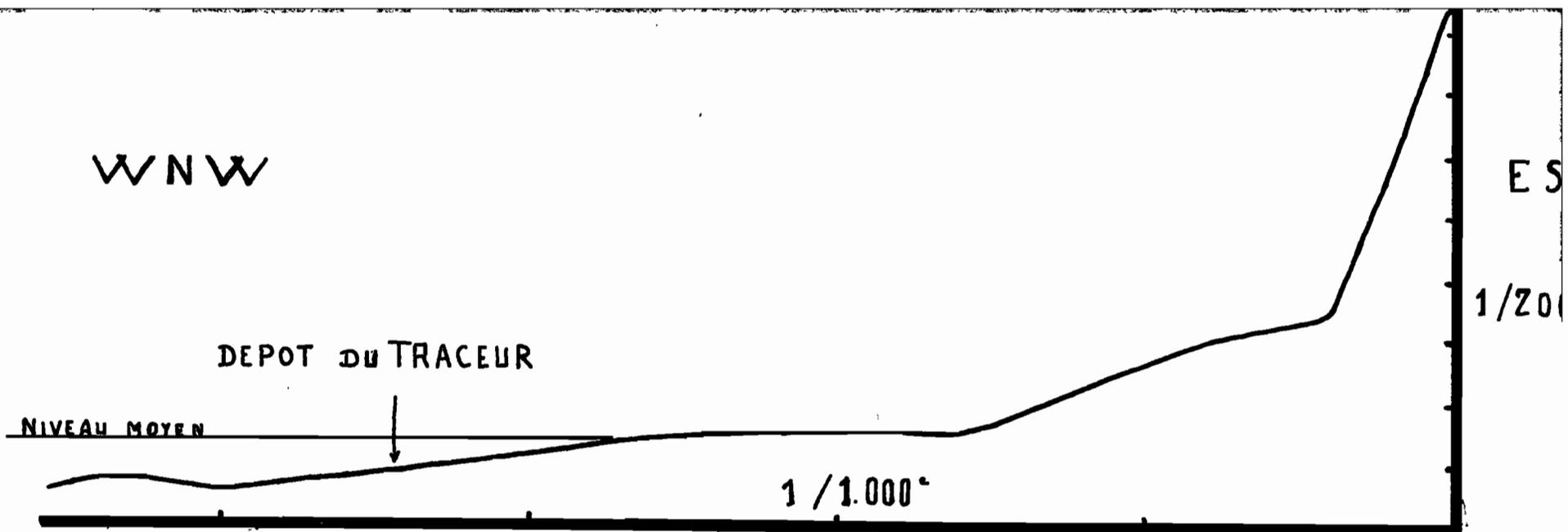


FIG. 37_A PROFIL DE LA PLAGES DE SOULLAC LE 24-11-1965

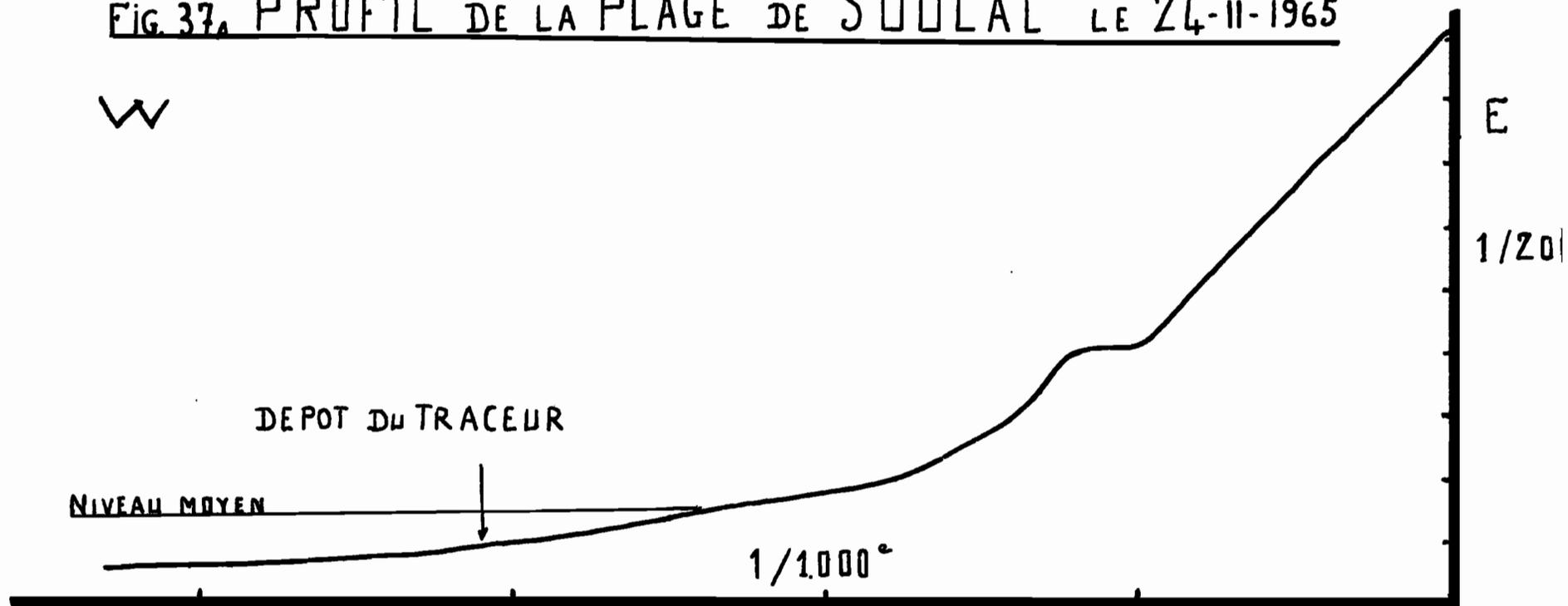


FIG. 37_B PROFIL DE LA PLAGES DU FORGE-OCEAN LE 23-11-1965

une dispersion de la tache vers le rivage et le long de celui-ci de 150 mètres, puis de 250 mètres, de part et d'autre du point d'immersion, mais uniquement des faibles isoactives correspondant certainement aux particules plus fines. Le 9 Novembre, alors que l'amplitude significative de la houle commence à passer de 1 mètre à 3,5 mètres sous l'action d'un vent d'WSW de 22 m/s, la tache présente un coefficient de dispersion longitudinale supérieur au coefficient de dispersion transversale et orienté vers le Nord-Est. Le centre de gravité s'est légèrement déplacé vers le Nord-Est, mais les isoactives sont plus faibles à cause de l'enfouissement et de la dispersion. Le 11 Novembre, après la houle d'une hauteur significative de 3,5 mètres et un vent de WSW de 20 m/s, la direction de transit est donnée par l'isoactive 100 Cps, mais par suite de l'enfouissement 2 à 3 cm, les valeurs ne sont pas toujours continues en surface. Cependant, le centre de gravité est très peu modifié. Ce n'est que lors de la détection du 24 Novembre, postérieure à la tempête du 17 au 22 Novembre où l'amplitude significative de la houle atteint 8,5 mètres, qu'est mis en évidence un déplacement de la tache le long du littoral vers le NE de 175 mètres, excepté certains grains suffisamment enfouis (5 à 10 cm). On remarque que les grains se sont déplacés préférentiellement le long du littoral dans une baie, ou sillon longitudinal, sans franchir la barre ou ride sous-marine, située derrière la baie vers le large.

En effet, on ne détecte aucune radioactivité supérieure au bruit de fond sur cette barre. Ainsi les courants longitudinaux de houle ou long shore currents créés par les déferlements des vagues sur la barre, sont responsables de ces déplacements mais doivent avoir une énergie suffisante ainsi que le plan de vagues pour une houle d'Ouest, le laisse prévoir (Fig. I7 B).

. Expérience du Porge-Océan (Pl.F). L'immersion a eu lieu également le 4 Novembre 1965, quelques centaines de mètres au Sud de la plage du Porge-Océan, mais à la marée basse du soir. Au contraire de Souillac, dès la première détection le 6 Nov. sous l'action de la faible houle d'Ouest 1 à 2 mètres et d'un vent faible, les sables marqués se sont étalés nettement vers le Sud le long du littoral sur 300 mètres. En effet on a vu que cette partie de la côte est bien exposée aux houles.

A la détection suivante, le 8 Novembre, la plus grande partie des grains radioactifs a disparu, enlevés par les courants longitudinaux. Quelques grains, certains très actifs, donc de plus gros diamètres, restent encore et paraissent même s'être légèrement étendus vers le Nord car la houle oscillait entre l'W et le SW avec un vent de SW.

Le 12 Novembre, l'activité de la tache résiduelle a encore diminué, mais non son étendue de part et d'autre du point d'immersion sous l'action de houles d'WNW puis W mais avec un vent généralement WSW. Les valeurs discontinues de la surface témoignent d'un enfouissement : environ 3 cm.

Le 23 Novembre, après la tempête d'W, on trouve encore sur l'emplacement de la lère tache et assez largement vers le Sud, quelques grains isolés et encore plus enfouis : environ 10 cm.

E) CONCLUSIONS

Sur les plages de la côte des Landes où les profondeurs restent faibles, l'action de la houle est très liée à la direction et à la force du vent. La présence après une tempête de grains isolés à l'emplacement des premières taches radioactives montre que le

transport est superficiel.

Le centre de gravité de la tache radioactive de Soulac ne s'est nettement déplacé le long du littoral vers le NE , qu'à la suite d'une forte houle d'WSW. Il est donc nécessaire que la houle ait une énergie suffisante pour effectuer un déplacement des sables. Le plan d'une houle d'W (Fig.17 B), montre par l'écartement des orthogonales la dissipation d'énergie par les hauts fonds, au large de Soulac.

La tache radioactive du Porge-Océan s'est nettement orientée vers le Sud dès la première détection, mais la plus grande partie des grains a été rapidement dispersée. Seuls quelques grains retrouvés encore le 23 Novembre sur l'emplacement de la première tache, mais de plus en plus isolés et de plus en plus enfouis sont restés probablement à cause de leur granulométrie plus grossière et de leur enfouissement.

Les résultats obtenus concordent avec ceux des expériences de traceurs luminescents.

+ +

. +

ETUDE QUANTITATIVE DU DEPLACEMENT ANNUEL DES SABLES

SUR LA PARTIE NORD DU LITTORAL DES LANDES

Parmi les méthodes utilisées dans l'étude qualitative du déplacement des sables, seules les techniques d'observation directe du transit littoral, peuvent donner une valeur quantitative, si les conditions d'observation le permettent.

Or, d'une part, les expériences de traceurs luminescents n'ont pas été renouvelées pendant l'année; d'autre part la quantité de traceur n'était pas assez importante pour permettre un calcul, comme RUSSEL (1961), JOLIFFE (1961) ou BASTIN (1963) du transit littoral de sables sur la totalité de l'éstran, car le déplacement est plus faible sur le rivage que dans la zone de déferlement.

Parmi les deux lieux d'expérimentation de traceurs radioactifs, seul celui de Soulac-sur-Mer peut permettre un calcul quantitatif. En effet, une grande partie du traceur mis en place au Porge-Océan a été enlevé dès la deuxième détection.

Cependant on peut par différents calculs avoir une idée du transit littoral. Ainsi une étude des levés récents au 1/20.000 des passes d'entrée du Bassin d'Arcachon (Pl.D hors texte) soit par l'observation de la translation de l'isobathe -5 m vers le Sud, don-

ne une valeur acceptable. Il faut considérer que les pentes vers l'isobathe -10 m sont parallèles sur la longueur du déplacement soit 2.700 m. La moyenne des largeurs étant 164 m, on obtient pour une hauteur de 5 m : 2.214.000 m³ de sable en deux ans. Il faut retrancher un volume manquant en 1963 par rapport à 1961. En calculant les moyennes de longueur et de largeur et en interpolant les isobathes, on obtient environ 530.000 m³. D'où le transport est approximativement : 840.000 m³ par an. Mais cette valeur doit être diminuée d'une quantité non déterminée due aux érosions sur les bordures du Bassin d'Arcachon.

Diverses formules mathématiques obtenues en modèle réduit permettent également de connaître rapidement, à partir de certaines données supposées constantes, le cubage des transports dus aux courants de houle. LARRAS (1961) propose la formule :

$$Q = \frac{K}{\gamma} gh^2 T f(\alpha).$$

avec K, une fonction sans dimension de la cambrure de la houle et des caractères physiques des sables; K est généralement assimilé à $K = 0,18 \cdot D^{-\frac{1}{2}} \cdot 10^{-5}$ avec D la médiane du sable.

g, l'accélération due à la pesanteur

h, la hauteur des lames déferlantes

γ la cambrure des " "

T, la période

f (α) une fonction sans dimension de l'angle entre la ligne des crêtes de la houle et la ligne de rivage (Cf. Morphologie, B).

Un calcul à partir de cette formule serait facile, mais la valeur à prendre comme hauteur des lames pose un problème. En effet, étant donné que le transit sédimentaire varie avec le carré de cette valeur, il est difficile de choisir une valeur moyenne.

CONCLUSIONS GENERALES

Les différentes techniques utilisées dans cette étude pour connaître les directions de déplacement des sables, conduisent toutes aux mêmes directions résultantes, mais n'ont pas la même valeur car l'échelle temporelle est différente. Leur combinaison est donc nécessaire.

Elles ont été précédées d'une part, d'une étude morphologique pour connaître l'évolution du modelé de la côte, d'où les déplacements transversaux et longitudinaux, d'autre part, d'une étude hydrodynamique pour en comprendre les causes et le processus car les différents mouvements de l'eau et du vent sont les agents de transports des sédiments sur les plages.

Les sédiments de ces plages presque exclusivement constitués de sables ont pu être connus et classés par l'étude de leurs différents paramètres qui rendent compte de l'importance des facteurs hydrodynamiques.

L'utilisation d'une méthode classique, comme l'étude des variations de minéraux lourds, ou moderne, comme l'étude des variations de la radioactivité naturelle du Thorium en spectrométrie gamma, mènent à des conclusions identiques. En effet, les mesures concernent seulement une fraction du sable et supposent une homogénéité sédimentaire avant le triage qui peut avoir duré plusieurs

centaines d'années et ne permettent pas d'affirmer que le transit existe encore. Cependant, il semble que cette fraction lourde donne une image des mouvements de l'ensemble du sédiment. Ces méthodes ne sont applicables qu'à l'échelle des provinces et dans le cas où les prélèvements se font tous à la même époque. Elle donne des renseignements à une échelle temporelle suffisante.

Les deux autres techniques : traceurs luminescents et traceurs radioactifs, sont une observation directe du transport sableux au moment de l'expérience. On peut ainsi mettre en évidence les facteurs de direction des mouvements de matériaux et déterminer les points d'érosion, de dépôt etc... Ces techniques sont souvent employées de façon qualitative mais si les conditions d'expérimentation le permettent, elles peuvent donner une valeur quantitative du transport littoral. Toutefois ces expériences doivent être renouvelées ou prolongées sur une année pour permettre d'obtenir une résultante du déplacement la plus valable possible.

L'utilisation sur le même littoral de ces deux techniques permet leur comparaison. Les traceurs radioactifs par des mesures in situ simples et rapides, donnent une vue d'ensemble de la diffusion. Ils sont détectables même à la suite d'un enfouissement. Cependant le nombre de grains est limité et le coût des expériences élevé. Les traceurs luminescents, sur les plages d'une mer à marée, permettent également d'avoir une vue d'ensemble de la tache sans être obligé comme c'est le cas en eau profonde, de prélever un grand nombre d'échantillons. De plus, il est possible en utilisant différentes couleurs, de faire plusieurs expériences au même endroit, sur un profil, sans attendre que tous les traceurs d'un essai précédent aient disparu ou aient perdu leur activité. Elle présente les avantages d'être une méthode d'un prix modique et sans danger

donc utilisable par tous.

Les mouvements de sables sur le littoral des Landes sont importants en particulier les déplacements transversaux qui nécessitent une protection des côtes notamment à la Pointe de Grave. A ces transports transversaux s'ajoute un transit longitudinal superficiel car très lié à la direction et à la force non seulement de la houle, mais encore du vent. Les résultantes sont :

- de la Pointe de Grave à la Pointe de la Négade, tel que l'ont indiquée L. GLANGEAUD (1939) et S. DUPLAIX (1956) soit du Sud vers le Nord, sous l'action de houles assez fortes d'W et deWSW par suite de la présence de hauts fonds.

- de la Pointe de la Négade au Cap Ferret, tel que l'a précisé S. DUPLAIX (1956) soit du Nord vers le Sud, pendant environ 30% de l'année, sous l'action de houles d'WNW à NNW, mais avec des amplitudes parfois très importantes. Sur cette partie du littoral, le transit sédimentaire est d'environ 600.000 mètres cubes par an et semble se pousser jusqu'à la fosse du Cap Breton (Fig.1) où l'on trouve des sables jusqu'à 350 mètres de profondeur.

+ +

+

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

ADAMS J.A.S., OSMOND J.K., ROGERS J.J.M.

- 1959 - The geochemistry of the Th and U in physics and chemistry of the earth. Pergamon Press, London, p.299-348, ed. by Ahrens, Rankama, Runcorn.

AIBULATOV N.A.

- 1961 - Quelques données sur le transfert des sédiments sableux le long d'un littoral, obtenues à l'aide de luminophores. Cahiers Océan., 13, p.292-300.

AIBULATOV N.A., BOLDYREV V., GRIESSEIER H.

- 1961 - Etude du mouvement des sédiments dans les rivières et les mers, à l'aide de matières colorantes luminescentes et d'isotopes radioactifs. Petermanns Geographischen Mitteilungen n° 3, p.177-186 et n° 4, p.254-263. Trad. C.I.E.C. Chatou, n° 967.

ALMODOVAR I., KOHMAN T.P.

- 1960 - Thorium isotopes method for dating marine sediments. American Chem. Soc. Meet. Abstr. paper n° 138, 6-R.

AUZEL M.

- 1959 - Matériaux pour l'étude des plages de Normandie. Thèse Fac. Sciences, Paris.

BAGNOLD R.A.

- 1947 - Mouvement de matériaux soumis à l'action des phénomènes océaniques. Paper n° 5554, L.C.H.F.

"

- 1961 - Mechanics of marine sedimentation. Ed. by Hill.

- BARCELO J.P. - 1964 - Caractéristiques de l'agitation maritime sur la côte W du Portugal métropolitain.
Coastal Engineering, p.140-166.
- BASTIN A. - 1963 - Recherches de sédimentation récente le long des côtes et en rivière à l'aide de traceurs luminescents et radioactifs
Thèse Univ. Catholique de Louvain, Fac. Sc., Inst. Géol.
Trad. n° 1142, CREC, Chatou.
- BERTHOIS L. - 1955 - Contribution à l'étude de la sédimentation et de la géologie sous-marine dans le Golfe de Gascogne.
Rev. Trav. Inst. Pêches maritimes, t.19 p.501-579.
- BERTHOIS L., AUBERT - 1950 - Nouvelle méthode d'étude des sables marins.
C.R. Acad. Sc., 27 Mars. p.1304 à 1306.
- BERTHOIS L., CALVEZ Y.L.
- 1959 - Deuxième contribution à l'étude de la sédimentation dans le Golfe de Gascogne.
Revue Trav. Inst. Pêches maritimes, n° 23, p. 323-376.
- BIESEL F. - 1949 - Etude de l'amortissement des houles dû à la perméabilité du fond.
Ass. Int. de Recherches pour travaux hydrauliques, 3ème réunion, Grenoble, 5, 6, 7 Sept., p.1-12.
- BIETLOT A. - 1940 - Méthode d'analyse granulométrique. Application à quelques sables éocènes belges.
Mém. Soc. Géol. Belgique, t.64, fasc. 2, p.79-169.
- BOILLOT G. - 1964 - Géologie de la Manche occidentale.
Annales de l'Inst. Océan., t.XLII, Fasc.I, 220 p.

- BONNEFILLE R. - 1963 - Essais de synthèse des lois de début d'entraînement des sédiments sous l'action d'un courant en régime continu. Bull. du C.R.E., Chatou, n° 5.
- " - 1965 - Etude d'un critère de début d'apparition des rides et des dunes fluviales. Bull. du C.R.E., Chatou, n° 11, p.17-22
- BORRESWARA RAO C. - 1957 - Beach erosion and concentration of heavy mineral sands. Journ. of Sedim. Petrol., vol.27, n° 2, p.143-147.
- BOUGIS P., RUIVO M. - 1955 - Sur l'utilisation des flotteurs en matière plastique (modèle siphonophore) pour l'étude des courants. Cahiers Océan. COEC, t.VII, vol.4, p. 159-167.
- BOURCART J. - 1941 - Essai d'une classification raisonnée des matériaux meubles. B.S.G.F., XI, p.117-153.
- " - 1947 - Sur les sables roux du Plateau Continental Français. C.R.Acad.Sc., t.225, p.651-653.
- BRADLEY J.S. - 1957 - Differentiation of marine and sub-aerial sedimentary environments by volume percentage of heavy minerals, munstang island, Texas. Journ. of Sedim. Petrol., vol.27, n° 2, p.116-125.
- BREBNER A., KAMPHUIS J.W. - 1964 - Model tests on the relationship between deepwater characteristics and longshore currents. IXth conference on Coastal Engineering Lisbon, June 21-29, p.191-197.

- BRUNN P. - 1954 - Migrating sand waves or sand humps with special reference to investigations carried out on the Danish North Sea Coast. Proceedings of the fifth conference on Coastal Engineering, Grenoble, Sept.
- BYERLY J.R. - 1963 - Natural occurring radioactive minerals as littoral tracers. Shore and Beach, vol.31, n° 1, April.
- CAILLEUX A. - 1937 - Méthode d'étude de la morphologie des grains de sable. C.R. Somm. S.G.F., p.224-225.
- CALLAME B. - 1961 - Contribution à l'étude du milieu meuble intercotidal (Côtes Charentaises). C.R.E.O., t.VI, fasc.I, II, III, 111 p.
- CHAUVIN J.L., DANION J. - 1963 - Mesure du débit solide des cours d'eau par charriage au moyen de traceurs. Résultats des premiers essais de laboratoire avec des traceurs luminescents. Note n° 2, CRE, Chatou, 2 fasc., 14 p.
- CHEMINEE J.L., NORDEMAN D. - 1963 - Dosage du Potassium, de l'Uranium, du Radium et du Thorium par spectrométrie gamma dans les laves d'Auvergne, du Velay et de la Province sicilienne. B.S.G.F., 7^e série, t.V, p.218-231.
- CHESSELET R., MARTIN J.M. - 1966 - Application de la spectrométrie gamma in situ à l'étude des débits solides dans l'estuaire de la Gironde (à paraître).
- CLOS-ARCEDUC - 1964 - La photographie aérienne et l'étude des dépôts pré littoraux. Inst. Géogr. Nation.

COULOMB R., GOLDSTEIN M.

- 1961 - Utilisation d'un spectromètre gamma à 100 canaux dans quelques problèmes de géologie nucléaire.
Bull. Soc. Fr. Minér. Cristal., t.84, n° 1, p.18-19.

COURTOIS G., GIRESE P.

- 1965 - Etude du mouvement de sédiments à l'aide de traceurs radioactifs dans la Sienne et à son embouchure.
Rapport Sect. App. Radioéléments C.E.N. Saclay.

COURTOIS G., HOURS R.

- Propositions concernant les conditions particulières d'emploi des radioéléments artificiels pour étudier les mouvements des sédiments.
Rapport Sect. App. Radioéléments C.E.N. Saclay.

COURTOIS G., MONACO A.

- 1965 - Méthode des traceurs radioactifs appliquée à l'étude des transits sédimentaires le long du littoral roussillonnais.
Rapport Sect. App. Radioéléments C.E.N. Saclay.

CROUTHAMEL C.E.

- 1960 - Applied gamma ray spectrometry.
Pergamon Press, London.

DANGEART L.

- 1925 - Documents de géologie sous-marine. Golfe de Gascogne Tertiaire et Quaternaire.
Bull. Soc. Géol. Miner. Bretagne, t.VI, p.257-261.

"

- 1928 - Carte des sédiments du Golfe de Gascogne.
In Atlas de France, Paris, Comité Nation. de Géogr., pl.25.

- DEBYSER J. - 1957 - La sédimentation dans le Bassin d'Arcachon.
Bull. Centre Etudes Rech.Sc., Biarritz,
t.I, fasc.3, p.405-418.
- DJOUNKOVSKI N.N., BOJITCH P.K.
- 1959 - La houle et son action sur les côtes et les ouvrages côtiers.
Ed. Eyrolles, Paris, 404 p.
- DUPLAIX S. - 1948 - Sur la présence de l'ilménite dans les sables noirs du Pilat et du Moulleau.
C.R. Somm. S.G.F., p.66.
- " - 1956 - Etude pétrographique des formations meubles de la Gascogne, du Pays Basque et de leur littoral.
Mém. S.G.F., nouvelle série, n°77, 106 p.
- DUVET C. - 1964 - Note sur l'état climatologique de la mer dans le permis des Landes.
Rapport Esso-Rep, Bègles.
- EHLAT H., PRENANT A.- 1963 - Présence et extension d'un niveau marin littoral interglaciaire sur la côte du Médoc.
B.S.G.F., 7^e série, t.V, p.495-507.
- FABRE A. - 1939 - Les terrains de revêtement du Bas Médoc.
Ed. Drouillard, Bordeaux.
- GALVIN C.J., EAGLESON P.S.
- 1965 - Experimental study of longshore currents on a plane beach.
Coastal Engineering, Techn. Memor.n° 10.
- GERMAIN J., FOREST G., JAFFRY P.
- 1958 - Utilisation des traceurs radioactifs pour l'étude des mouvements de sédiments marins.
Proceedings of the sixth conference on Coastal Engineering, p.314-325.

- GIRESSSE P.
- 1965 - Applications des mesures de radioactivité naturelle à la sédimentologie. Exemples du littoral catalan espagnol et de l'estuaire de la Sienne Manche. C.R. Somm. S.G.F., p.196.
- "
- 1965 - Exemples de transport côtier sur le littoral catalan espagnol. Mécanismes de triage. P. 99, COEC, n° 2, p.107-122.
- GLANGEAUD L.
- 1935 - Sur les dépôts marins du Flandrien dans l'estuaire de la Gironde. Procès Verbaux Soc. Linnéenne de Bordeaux, t.LXXXVII.
- "
- 1938 - Etudes quantitatives et expérimentales sur l'érosion et le transport par les eaux courantes. Rev. Géogr. Phys. Géol. Dynam., fasc.4, p.322-372, 15 Fig.
- "
- 1939 a) Rôle de la suspension tourbillonnaire et du roulement sur le fond dans la formation des sédiments actuels de l'estuaire girondin entre Bordeaux et la Pointe de Grave. C.R.Acad.Sc., t.208, p.1595.
- "
- 1939 b) Origine et mode de formation des sédiments détritiques. Revue "Sciences" (Assoc. Frçse Avancement des Sciences, 28 rue Serpente), p.329-340, 3 Fig.
- "
- 1939 c) Le mouvement des sédiments et la formation des bancs seuils et mouilles dans la Garonne et l'estuaire de la Gironde. Congrès Intern. Union Géod. Géophys. Washington, Potamologie, Q 3, R 6.
- "
- 1941 - Hydrodynamique. Phénomènes hydrodynamiques du ressac, leur rôle dans le transport et le triage des galets (observations et mesures). C.R.Acad.Sc., t.212, p.146-149.

- GLANGEAUD L. - 1949 - Observations sur le triage granulométrique des sédiments le long des plages sableuses. à marées.
Colloque de Sédimentologie de la Rochelle, Trav. du C.R.E.O., p.95-111.
- GLANGEAUD L., GANDIL G. - 1939 - Phénomènes dynamiques intervenant dans le triage granulométrique des sables sur la dune et la plage du Pyla (Arcachon).
C.R.Acad.Sc., t.209, p.893-895.
- GRIESSEIER H. - 1960 - L'application des radioisotopes à l'étude des mouvements des matériaux côtiers.
Acta Hydrophysica, vol.VI, fasc.3, p.163-186, Trad. CRE Chatou, n° 826.
- GUILCHER A. - 1950 - Note préliminaire sur les crêtes et sillons pré littoraux de la côte des Landes de Gascogne.
C.R.Acad.Sc., t.231, p.59.
- GUILCHER A., GODARD A., VISSEAUX E. - 1952 - Les crêtes et sillons obliques de l'estran des Landes de Gascogne.
COEC, n° 4, p.151-161.
- HIRANANDANI M.G., GOLE C.V. - 1961 - Radioactive tracer studies of Bombay Harbour.
XXème Congrès Intern. de Nav., Baltimore Sect.II, sujet 5, p. 81-100.
- HOURS R., JAFFRY P. - 1959 - Application des isotopes radioactifs à l'étude des mouvements des sédiments et des galets dans les cours d'eau et en mer.
La Houille Blanche, n° 3, Mai-Juin.
- HOURS R., NESTEROFF V.D., ROMANOVSKY V. - 1955 - Méthode d'étude de l'évolution des plages par traceurs radioactifs.
Trav. du CREO, n° I.

HURLEY P., FAIRBAIRN H.W.

- 1957 - Abundance and distribution of U and Th in zircon, sphene, apatite, epidote and monazite in granitic rocks. Trans. Amer. Geophys. Union, vol.38, p. 939-944.

JOLLIFE I.P.

- 1961 - The use of tracers to study beach movements and the measurement of littoral drift by a fluorescent technique. Rev. de Géomorphologie dynam., 12ème année, n° 2.

JOUVE B., LANSIART A., LETOLLE R., MORUCCI J.C.

- 1961 - Utilisation de la radioactivité naturelle du potassium pour son dosage dans les roches par spectrométrie gamma. B.S.G.F., (7), III, p.533-543.

KAMEL A.M., JOHNSON J.W.

- 1962 - Tracing coastal sediment movement by naturally radioactive minerals. Proc. of 8th Conf. on Coastal Engineering, p.324-331.

KING C.A.M.

- 1951 - Etude sur l'épaisseur du sable remué par les vagues sur les plages. Journ. of Sed. Petr. Univ. of Nottingham.

KRUMBEIN W.C.

- 1954 - Statistical significance of beach sampling methods. Beach Erosion Board, Techn. Memor, n°50.

KUENEN PH.H.

- 1964 - Experimental abrasion : 6 Suraction. Sedimentology, vol.3, n° I.

LACOMBE H.

- 1950 - Les fluctuations des caractéristiques de la houle par petites profondeurs. Bull. COEC, n° II, p.180-187.

LAFOND E.C.

- 1940 - Sand movements near the beach in relation to tides and waves. Proc. Sixth. Pac.Sc.Congr., vol.2, p.795-799.

- LARRAS J. - 1957 - Plages et côtes de sable.
Collection Labo. de Chatou, 116 p.
- " - 1961 - Cours d'hydraulique maritime et de travaux maritimes.
Dunod éd.
- " - 1961 - Rapport p.51-58, S.II, 5, XXème Congr. de Navigation, Baltimore.
- LE GORGEU J.P., BOILLOT G.
- 1964 - La migration des sables marqués au large de Roscoff (Finistère).
C.R.Acad.Sc., t.259, p.4082-4085.
- LEVEQUE F. - 1936 - Bordeaux et l'estuaire girondin.
Delmas, Bordeaux.
- LHERMITE P. - 1958 - Contribution à l'étude de la couche limite des houles monochromatiques.
Bull. Inform. COEC, Xème année, n°5, p.263-283.
- LUDERS K., HENSEN W., KLEIN H.A., KRAMER J.,
MAGENS C., SCHULZ M., STROHL G.
- 1961 - Method for determining the sand travel.
XXème Congr. Intern. Navigation, Baltimore, sect.II, sujet 5, p.13-34.
- LONGUET HIGGINS M.S.- 1952 - On the statistical distribution of the heights of the sea waves.
Journ. of marine research, vol.XI,n°3.
- MANDAVI A. - 1964 - The Th, U, K, contents of Atlantic and Gulf coast beach sands.
The natural environment, ed. by J.A.S. Adams and W.M. Lowder.
- MANOHAR M. - 1955 - Mécanique du mouvement des sédiments de fond provoqué par l'action de la houle.
B.E.B., techn. Memor., n° 75.

MARTIN J.M., GLANGEAUD L., DUGAS F.

- 1966 - Utilisation d'éléments radioactifs naturels comme traceurs dans l'étude du transport littoral des sables. Application à la côte des Landes. COEC (à paraître).

MASON M.A.

- 1950 - The wind element in beach erosion. Bull. Beach Erosion Board, Jul. 5 p.

MIGNIOT

- 1960 - Détermination de l'échelle théorique des temps sédimentologiques applicables aux études sur modèle réduit. Etude du transport littoral des sables sous l'action de la houle. Rapport L.C.H.F.

MUNCH -PETERSEN J.

- 1950 - Transport littoral de matériau par les courants de la houle. B.E.B., vol.4, n° 4.

NAKAMICHI M., SHIRAIISHI N.

- 1961 - Recent researches on sand drift in Japan. XXème Congr. Intern. Navigation, Baltimore, Sect.II, sujet 5, p.101-124.

NESTEROFF V.

- 1958 - Recherches sur les sédiments marins actuels de la région d'Antibes. Thèse Fac. Sciences, Paris.

ORLOVA G.A.

- 1964 - Nouvelles recherches sur la dispersion des sables en mer à l'aide de lumino-phores. COEC, p.875-891.

PELNARD - CONSIDERE R.

- 1956 - Essai de théorie de l'évolution des formes de rivage en plages de sable et de galets. Soc. Hydrotechnique de France, 4ème journée de l'Hydraulique, Les énergies de la mer, Quest.III, rap.1, p.74-1 à 74-10.

PUTNAM J.A., MUNK W.H., TAYLOR M.A.

- 1949 - The production of longshore currents.
Trav. de l'Union Américaine Géophysique
vol.30, n° 3.

RANKAMA K.

- 1954 - Isotope geology.
Pergamon Press, London.

REID W.J., MORGAN H.D.

- 1961 - The use of radioactive and fluorescent tracers in England to measure the movement of silt sand and shingle.
XXème Congr. Navigation, Baltimore, sect. II, sujet 5, p.60-78.

RIVIERE A.

- 1951 - Etudes de sédimentologie littorale du Laboratoire de Géologie du S.P.C.N. à Paris.
Proc. of the 3th Intern. Congress. of sedimentology, Groningen-Wageningen Netherlands, p.211-218.

"

- 1955 - Intérêt sédimentologique de la mesure des radioactivités naturelles.
C.R.Acad.Sc., p.964-966.

RIVIERE A., VERNHET S.

- 1966 - Signification sédimentologique de la radioactivité naturelle des plages du Golfe du Lion.
C.R.Acad.Sc., t.262

ROUCH J.

- 1943 - Traité d'Océanographie physique.
Payot éd. Paris.

ROUVILLE A. de

- 1946 - Le régime des côtes. Eléments hydrographiques des accès des ports.
Dunod éd. Paris.

RUSSEL R.S.H.

- 1961 - The use of fluorescent tracers for the measurement of littoral drift.
Coastal Engineering, vol.I, p.418-444.

SAUVAGE DE SAINT-MARC G., VINCENT G.

- 1954 - Transport littoral, formation de flèches et de tombolos.
Proc. of the 5th Conf. on Coastal Engineering, Grenoble, Sept., p.296-328.

SCHNEIDER H.

- 1964 - Comment s'usent les grains de sable.
Science et Progrès, Janv. p.28, Dunod éd.

SCHOELLER H.

- 1962 - Les eaux souterraines.
Masson éd. Paris, 642 p.

SEIBOLD E.

- 1963 - Geological investigation of near shore and transport.
Progress in oceanography, t.I, p.1-70, Mary Sears ed.

SHEPARD F.P.

- 1950 - Longshore bars and longshore troughs.
Technical Mem., n° 15, Beach Erosion Board, Washington, Janv., 32 p., 19 Fig.

"

- 1950 - Photography related to investigation of shore processes.
Photogrammetric Engineering, Dec., 5 p.

SHEPARD F.P., LAFOND E.C.

- 1940 - Sand movements along the Scripp Institution pier.
Amer. Journ. of Sc., vol.238, n° 4, p.272-285.

SITARZ J.

- 1955 - Résultats de la détermination dans le Golfe de Gascogne et la Manche, des courants superficiels par la méthode des flotteurs dérivants.
CREO, vol.II, n° 8/9.

"

- 1963 - Contribution à l'étude de l'évolution des plages à partir de la connaissance des profils d'équilibre.
Trav. du CREO, t.V, Sept., 195 p.

- SLOMIANKO P. - 1961 - Etude du transport littoral par la méthode des sables marqués luminophores. XXème Congr. Navigation, Baltimore, Sect. II, sujet 5, p.141.
- SPENCER DEREK W. - 1963 - The interpretation of grain size distribution curves of clastic sediments. Journ. of sedimentary petrology, vol.33, n° 1, p.180-190.
- STROMINGER D., HOLLANDER J.M., SEABORG G.T.
- 1958 - Table of isotopes. Rev. Mod. Physics, vol.30, p.585-905
- SVASEK J.N., ENGEL H.
- 1960 - Use of radioactive tracer for the measurement of sediment transport in the Netherlands. Coastal Engineering, p.445-454.
- TASHJIAN Z., CHERRY J., GORDON G., GABLINGER M.
- 1964 - Radiometric determination of thorium in Coastal Sands for tracing littoral movement. Univ.of California, Berkeley HEL 5-3, 50 p
- TRICART J. - 1962 - Etude critique d'un essai d'application des méthodes radioactives aux problèmes de dynamique fluviale. Rev. de Géom. Dyn., N° 2, Juillet.
- VALEMBOIS J., GERMAIN J., JAFFRY P.
- 1956 - Connaissance de la houle naturelle. Le point de vue de l'ingénieur. La Houille Blanche, 4ème journ. de l'Hydraulique.
- VERA-CRUZ D. - 1959 - Transporte solido em costas arenosas. Tecnicas utilizadas no sen estudo emprego de radioisotopos e de luminescentes. Technica (Portugal), n° 290, Mars, p. 387-394.

- VERNHET S. - 1953 - Sur un mode de cheminement littoral par migration lente de rides obliques ou perpendiculaires.
C.R.Acad.Sc., t.237, p.1268-1270.
- VINCENT G.,RUELLANF.- 1957 - Contribution à l'étude des mouvements solides provoqués par la houle sur un fond horizontal.
La Houille Blanche, n° B, Grenoble, p. 693-710, Octobre.
- WALDEN Dr H. - 1964 - Die Eigenschaften der Meereswellen im Nordatlantischen Ozean.
Deutscher Wetterdienst Seewetteramt, n° 41, 110 p., Hambourg.
- WILLIAMS C. - 1964 - Some aspects of the Eolian saltation load.
Sedimentology, vol.3, n° 4.
- ZELLER J. - 1963 - Introduction au transport de sédiment dans les canaux découverts.
Schweizerische Banzeitung, 81ème année, fasc.34 à 36, Zurich.
- ZENKOVITCH V.P. - 1958 - Emploi des luminophores pour l'étude du mouvement des alluvions sablonneuses.
Bull. Inf. COEC, Xème année, n° 5, p. 243-253.
- " - 1962 - Application of luminescent substances for sand-drift investigations in the near-shore zones of the sea.
Ingenieur, n° 13, Mars, p. B-81 à B-89.
- ZENKOVITCH V.P., YEGOROV E.A.
- 1957 - Sur l'étude du mouvement des sables.
Trav. Inst. Océan. Acad. Sc. U.R.S.S. t.21.

Atlas Temperatur, Salzgehalt, Dichte und Strömungen an der Oberfläche und in den Tiefen der Biskayabucht. 1941
Oberkommando der Kriegsmarine n° 2320, Prüf n°

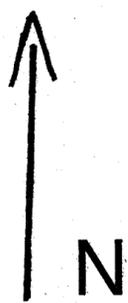
396, Bearbeitet im Institut für Meereskunde,
Berlin, 128 kartes.

The surface currents of the Bay of Biscay. Oceanographical informa-
tion Sheet H.D., n^o 479, 1941.

Climatological and Oceanographic Atlas for mariners, vol.I, North
Atlantic Ocean.
U.S.Department of the Navy. Washington D.C.
182 charts, 1959

+ +

+



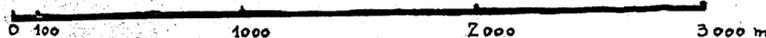
Feu de la Claire

Balise de St Nicolas

POINTE de GRAVE

Vieux Souillac

etude comparative

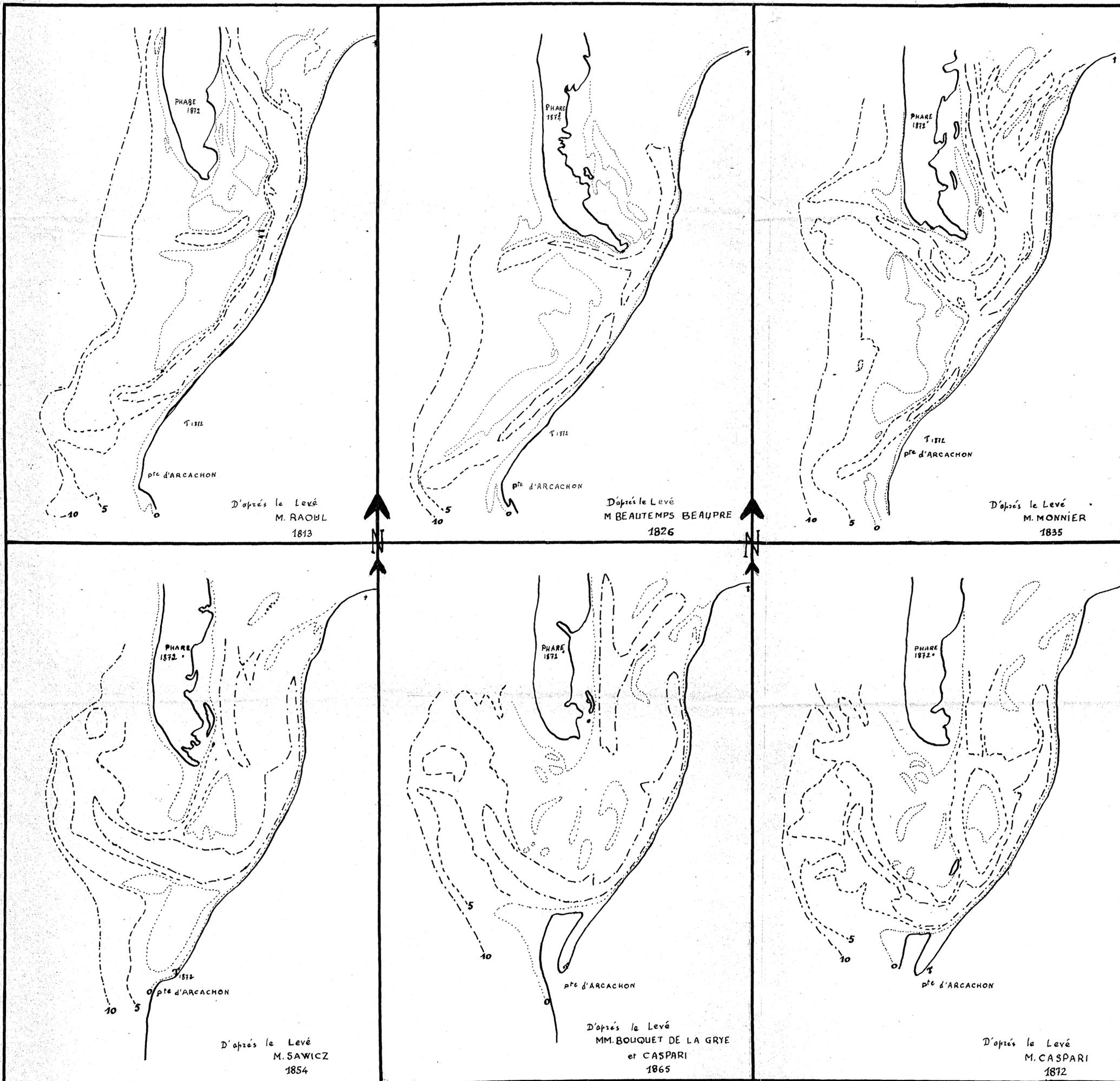


Balise de la Negade

- 1812
- 1853
- 1874
- +++ 1964

EVOLUTION DES PASSES DU CAP FERRET

1 / 60.000



3°30 PARIS

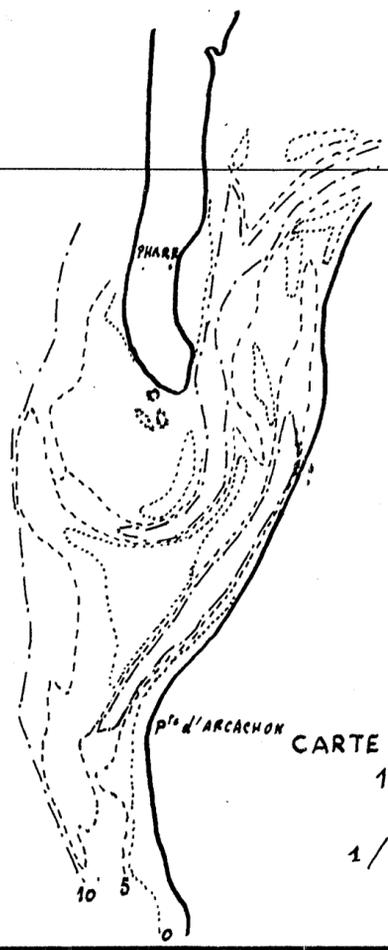
44°40



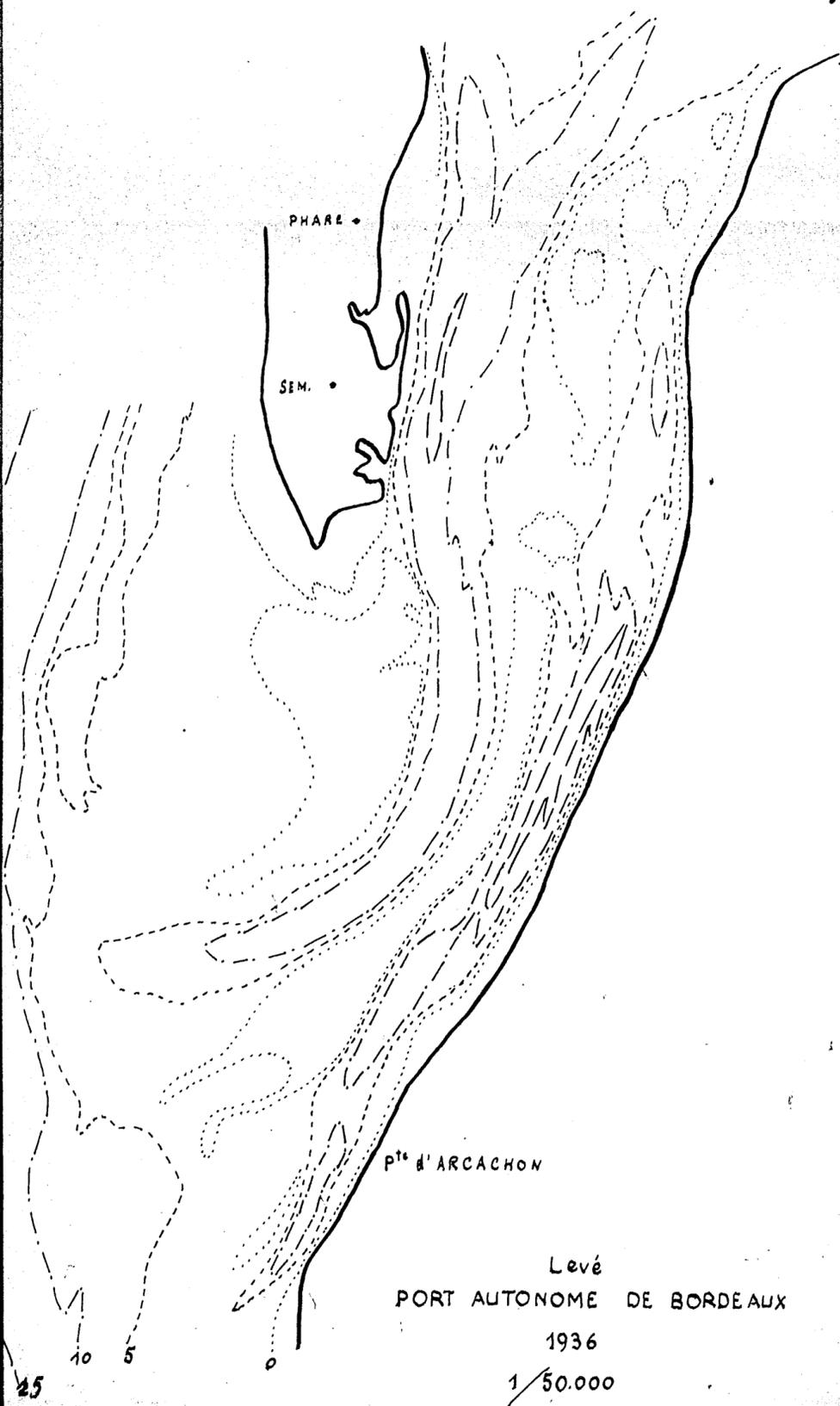
CARTE S.H. N° 172
1894
1/125.500

3°30 PARIS

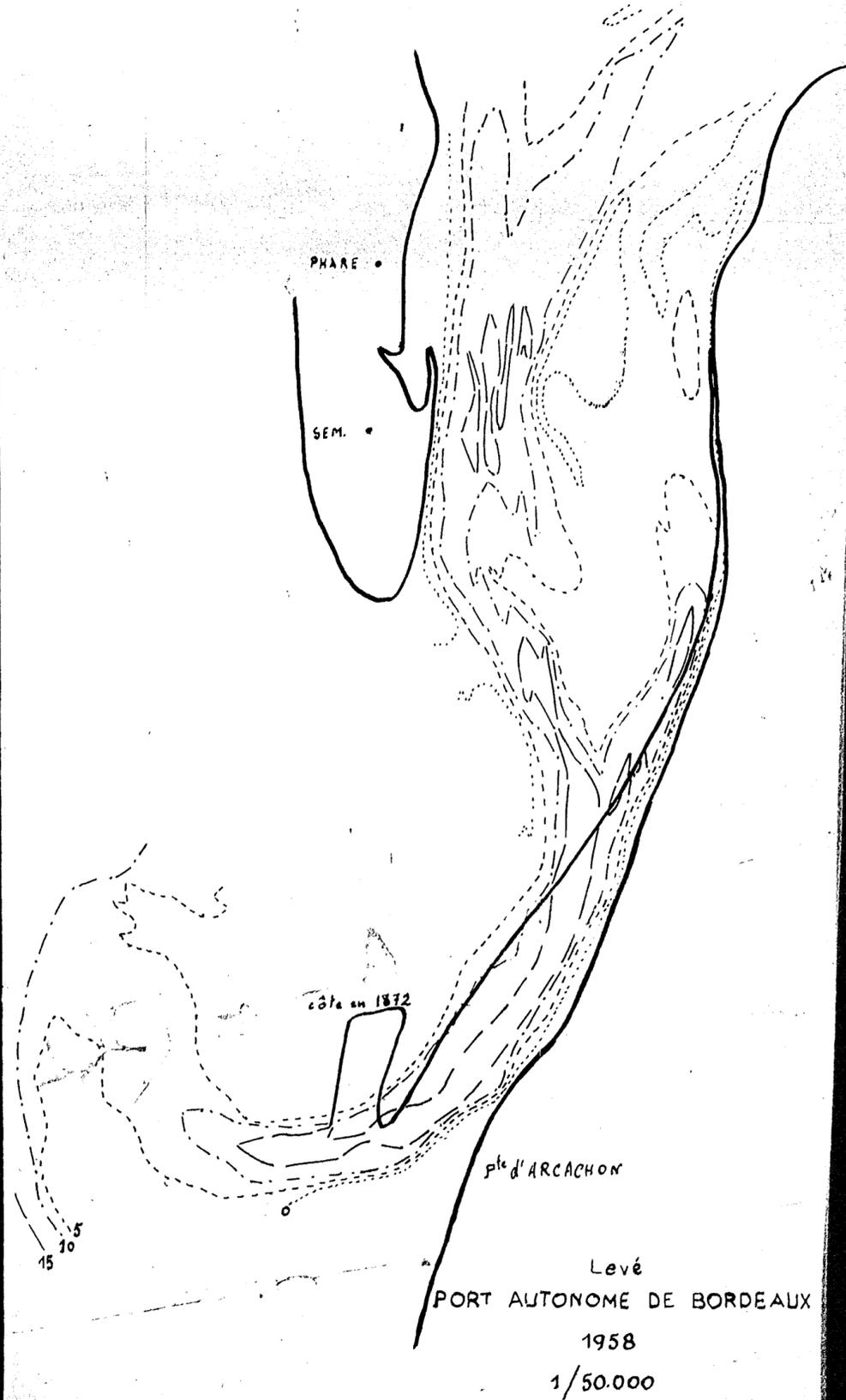
44°40



CARTE S.H. N° 172
1924
1/125.500



Levé
PORT AUTONOME DE BORDEAUX
1936
1/50.000



Levé
PORT AUTONOME DE BORDEAUX
1958
1/50.000

PHARE

SEMAPHORE

CAP FERRET

DUNE DU PILAT

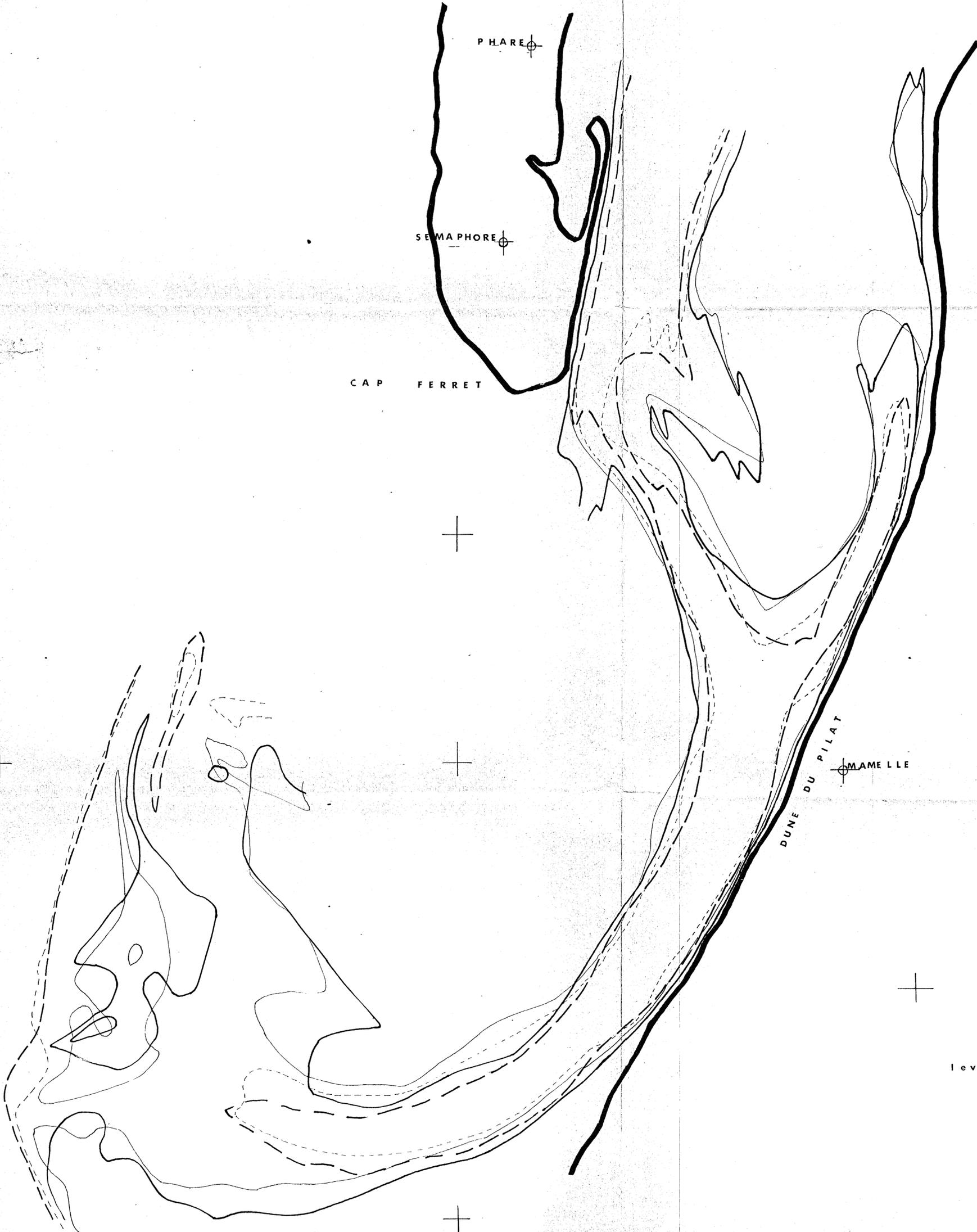
MAMELLE

échelle 1 / 20.000

1963 -10 -5

1961 -10 -5

levé port autonome de BORDEAUX



P. H
LE PORGE - OCEAN

EVOLUTION DE LA TACHE RADIOACTIVE

50 KEV $\tau = 1,2$ s.

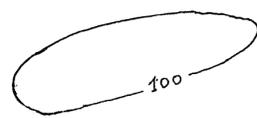
+ POINT D'IMMERSION: 4 NOVEMBRE 1965

ISOACTIVES EN COUPS PAR SECONDE
 RAMENEES A L'ACTIVITE DU 4/11/1965
 BRUIT DE FOND DEQUIT

• GRAINS ISOLÉS

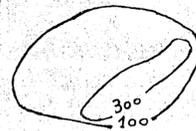
12 XI

8 JOURS APRES L'IMMERSION



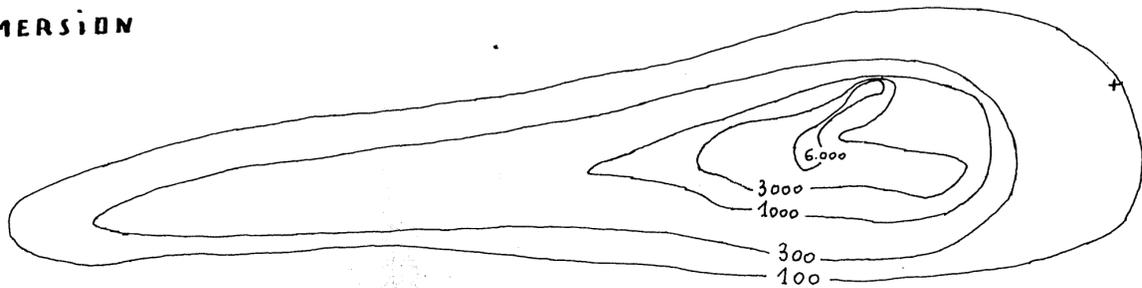
200m 150m 100m 50m 25m 0m 50m 100m

8 XI 4 JOURS APRES L'IMMERSION



200m 150m 100m 50m 25m 0m 50m

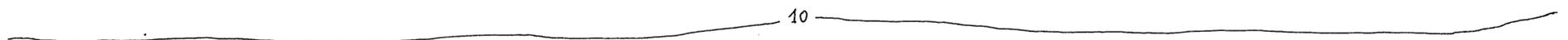
6 XI 2 JOURS APRES L'IMMERSION



350m 300m 250m 200m 150m 100m 50m 25m 0m 50m

BRUIT DE FOND 1 XI 1965

→ N



450m 400m 350m 300m 250m 200m 150m 100m 50m 25m 0m 50m