

502/1

Découvrez plus de documents
accessibles gratuitement dans [Archimer](#)

4 OCT. 1976



Publications du
CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS
(C N E X O)

Série: Rapports scientifiques et techniques

N° 23 - 1976

**ETUDE DES COURANTS ET DE LA MAREE
A LA LIMITE DU PLATEAU CONTINENTAL
D'APRES LES MESURES EFFECTUEES
PENDANT LA CAMPAGNE
"GOLFE DE GASCOGNE 1970"**

par

A. CAVANIE, J.L. HYACINTHE



Rapp. scient. techn., C N E X O , N° 23

C N E X O

Rapport Scientifique et Technique n° 23

ETUDE DES COURANTS ET DE LA MAREE
A LA LIMITE DU PLATEAU CONTINENTAL D'APRES LES MESURES
EFFECTUEES PENDANT LA CAMPAGNE "GOLFE DE GASCOGNE 1970"

par

A. CAVANIE, JL. HYACINTHE

Contribution n° 309
du Département Scientifique
Centre Océanologique de Bretagne
B.P. 337 - 29273 BREST Cédex

ISSN 0339 2899

Chapitre I - Introduction, travail effectué et méthodes

1 - Introduction

La campagne "Golfe de Gascogne 1970" de la Section "Milieu Fluide" du Département Scientifique du COB a permis de réaliser des mesures de courants de marée et de hauteurs de marée sur la ligne bathymétrique 200 m du Golfe de Gascogne entre 44°N et 48°N.

La campagne s'est effectuée à partir du "Pluteus" de Roscoff, en deux sorties de 8 jours dans la seconde moitié des mois de mai et juin 1970 et à partir de la "Pélagia" de l'ISTPM en une campagne effectuée du 28 septembre au 8 octobre 1970. Dans cette dernière partie de la campagne, des mesures pélagiques au chalut Isaacs-Kidd, ont été faites parallèlement aux mesures physiques.

2. Travail effectué

. Mesures faites à partir du "Pluteus"

- Sortie du 19 au 25 mai 1970

- 42 h 05 d'enregistrement de courant, en trois points d'une verticale et situés à des profondeurs de 50, 100 et 150 m, au point n° 1 de la carte jointe, par coefficient de marée allant de 85 à 74.
- Mesure du courant de surface au même point.

- Sortie du 18 au 25 juin 1970

- 44 h et 50 h d'enregistrement de courant, du même type que ci-dessus, respectivement au point n° 2 et au point n° 3 par coefficient de marée allant respectivement de 87 à 82 et de 82 à 87.
- Mesure du courant de surface au point n° 2.

. Mesures faites à partir de la "Pélagia"

Ces mesures ont été effectuées entre le 28 septembre et le 8 octobre 1970.

- 46,5 h d'enregistrement de courant au point n° 6 par coefficient de marée allant de 67 à 86,
- 46,5 h d'enregistrement de courant au point n° 5 par coefficient de marée allant de 78 à 63,
- 37,5 h d'enregistrement de courant au point n° 4 par coefficient de marée allant de 50 à 37,
- 32,5 h d'enregistrement de marée au point n° 6 par coefficient de marée allant de 67 à 86,
- 18,75 h d'enregistrement de marée au point n° 5 par coefficient de marée allant de 68 à 63,
- 36,5 h d'enregistrement de marée au point n° 4 par coefficient de marée allant de 50 à 37.
- 2 mesures au bathythermographe au point n° 6,
- 1 mesure au bathythermographe au point n° 5,
- 1 mesure au bathythermographe au point n° 4,
- observations météo régulières pendant toutes les stations en mer.

La mesure simultanée en un point des courants et des hauteurs d'eau permet le calcul du flux énergétique.

3. Méthodes

. Mise en oeuvre des courantomètres Aanderaa

Le mouillage type pour une profondeur de 200 m, comprend un lest de 180 kg constitué de maillons de grosse chaîne et des bouts de 50 m d'un nylon de 10 mm, entre lesquels s'intercalent les courantomètres. En surface, le mouillage est muni d'une bouée porteuse de 350 kg de flottabilité à laquelle est reliée une bouée marqueuse de 175 kg de flottabilité. Cette dernière bouée comporte un mât de 3 m de haut avec réflecteur radar, feu à éclat et pavillon. Les 3 courantomètres sont ainsi à des profondeurs de 50, 100 et 150 mètres. Pendant l'opération de mouillage, le nylon est choqué à la main en utilisant un pouliage adéquat, la tension étant reprise par un treuil ou un crochet chaque fois que l'on intercale un courantomètre .

. Mise en oeuvre du marégraphe Télémac

Le marégraphe est supporté par un bout de 30 m de nylon de 18 mm, destiné à supporter l'effort plus important avant la mise à l'eau, continué par 500 m de nylon tressé de 14 mm. Pour un mouillage par 200 m de fond, il est donc filé 530 m de nylon avant de mettre à l'eau une bouée marqueuse de 175 kg de flottabilité et équipée comme la bouée marqueuse de courantométrie. Cette bouée est munie d'un petit flotteur auxiliaire pour faciliter la récupération.

Malgré son poids (750 kg), l'appareil Télémac modifié s'est avéré utilisable à la mer à partir d'un bateau de taille réduite comme la "Pélagia". Le capteur ayant donné satisfaction peut servir de base à la réalisation d'un prototype plus léger et moins encombrant. Il n'est pas question de garder le dispositif d'enregistrement par photographie de compteurs mécaniques qui donne lieu à un dépouillement très laborieux.

Chapitre II - Etude des mesures de courant

1 - Traitement préliminaire des données

Les courantomètres Aanderaa enregistrent leurs données sur bande magnétique et sous forme binaire. La température, la pression, la direction du courant et le nombre de tours d'un rotor de Savonius sont enregistrés toutes les 5 minutes. Au dépouillement ces données brutes sont traduites sur bande perforée en code FFI-P, grâce à un transcodeur conçu et réalisé au Laboratoire d'Océanographie Physique du Muséum National d'Histoire Naturelle. Un programme en assembleur IBM 1130 a permis de lire ensuite ces bandes perforées sur l'ordinateur du COB. Enfin, un listing est fait de ces données brutes, mises simultanément en fichiers sur disque, ce qui permet un gain de temps appréciable lors des phases ultérieures de traitement.

Grâce au listing et à un premier tracé des caractéristiques du vecteur vitesse (module et direction) en fonction du temps, il est possible de détecter les erreurs instrumentales. La proportion de celles-ci sur l'ensemble des mesures s'est élevée à 1 % pour les directions et 4 % pour les modules. Les corrections sont alors mises sur cartes perforées pour utilisation dans des phases ultérieures du traitement.

Le traitement préliminaire des données se termine par un listing et un tracé définitif des caractéristiques du vecteur vitesse (module et direction, en fonction du temps.

Il est évident qu'à partir d'enregistrements de l'ordre de deux jours, des résultats intéressants ne peuvent être obtenus que si les courants apériodiques dûs aux phénomènes météorologiques sont faibles par rapport aux courants de marée. C'est pourquoi notre étude se borne à la composante semi-diurne de la marée, composante largement prépondérante dans le Golfe de Gascogne.

2. Traitement des données et résultats obtenus

Détermination des courants moyens

Le courant moyen $\overline{\vec{V}}$ sur l'intervalle de temps (t_0, t_0+T_0) , T_0 est défini à partir du courant instantané \vec{V} par l'équation :

$$\overline{\vec{V}} = \frac{1}{T_0} \int_{t_0}^{t_0+T_0} \vec{V} dt$$

Le courant de marée semi-diurne étant beaucoup plus important que le courant moyen il importe, lorsque la durée de l'enregistrement T est faible, de choisir T_0 plus grand multiple entier n de période de marée semi-diurne (12,42 h) tel que $T_0 < T$. Pour utiliser au mieux l'ensemble des données nous avons adopté pour $\overline{\vec{V}}$ la formule :

$$\overline{\vec{V}} = \frac{1}{2T_0} \left[\int_{t_0}^{t_0+T_0} \vec{V} dt + \int_{t_0+T-T_0}^{t_0+T} \vec{V} dt \right]$$

Il faut souligner ici que des phénomènes saisonniers ou des influences météorologiques transitoires peuvent modifier considérablement les valeurs de \vec{V} calculées sur deux jours. Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau I et fournissent donc un ordre de grandeur qu'il conviendra de vérifier par des mesures de longue durée .

Les valeurs de $\overline{\vec{V}}$ apparaissent comme comparables aux différentes profondeurs pour chacune des cinq premières stations ; seules les valeurs à 50 m pour la station 4 s'écartent notablement des valeurs à 150 m, ce qui est probablement dû aux vents d'Ouest (15-25 noeuds) qui ont soufflé avant et pendant la période de mesure en ce point. Par contre, au point 6, les directions du courant aux trois profondeurs sont très différentes, sans qu'il soit possible d'en offrir une explication satisfaisante.

. Détermination approximative du courant de marée semi-diurne

Il ne saurait être question, avec des durées d'enregistrement de l'ordre de 48 heures, de définir les courants de marée dans leurs détails. Les composantes de courtes périodes engendrent des courants très faibles qui ont de grandes chances d'être masqués par des courants transitoires dûs aux phénomènes météorologiques. Quant aux courants, eux aussi très faibles, dûs aux composantes de grandes périodes, ils sont intégrés dans le courant moyen.

Seuls les courants semi-diurnes, de l'ordre de 20 à 50 cm/s, peuvent être estimés. La méthode décrite ci-après pour obtenir ces estimations pourrait subir un certain nombre de modifications de détails, ou même être remplacée par une autre (telle la méthode de démodulation complexe donnée par WEBSTER), mais elle a été retenue pour deux qualités essentielles : la simplicité et, comme on le verra d'après les résultats, une bonne fiabilité lorsque le rapport signal/bruit n'est pas trop élevé.

La méthode est la suivante : pour un enregistrement de longueur T, l'entier n est défini comme au paragraphe précédent.

Les composantes Est et Nord du vecteur vitesse \vec{V} sont respectivement notées par u et v . L'origine du temps est choisi à l'heure de la P.M. de BREST la plus proche du milieu de l'enregistrement et l'heure de la première mesure est notée t_0 .

Quatre constantes A, B, C, D sont définies par les équations :

$$(A,C) = \frac{2}{T_0} \int_{t_0}^{t_0+T_0} (u,v) \cos \left(\frac{2\pi n t}{T_0} \right) dt$$

$$(B,D) = \frac{2}{T_0} \int_{t_0}^{t_0+T_0} (u,v) \sin \left(\frac{2\pi n t}{T_0} \right) dt$$

Le courant de marée estimé, \vec{W} , de composantes Est et Nord p et q , est donné par les équations :

$$p = A \cos \left(\frac{2\pi t}{T} \right) + B \sin \left(\frac{2\pi t}{T} \right)$$

$$q = C \cos \left(\frac{2\pi t}{T} \right) + D \sin \left(\frac{2\pi t}{T} \right)$$

où T est égal à 12,42 heures, et l'origine du temps t est choisie à la P.M. de BREST .

Le tableau II fournit les valeurs de A, B, C, D en cm/s aux différentes profondeurs et pour les six stations de mesure.

Les hodographes de \vec{W} sont présentés dans les figures 1 à 6. Ces courbes, pour une station donnée, sont très semblables aux différentes profondeurs sauf au point 4 où une houle assez forte a perturbé les mesures à 50 m, et au point 6 où des phénomènes transitoires masquent l'onde de marée à 50 et 100 m. L'étude de ces courbes montre que les courants de marée, dépassent 50 cm/s à la station 1 et diminuent vers le Sud où ils ne sont plus que de l'ordre de 20 cm/s pour des coefficients de marée voisins de 80. Les courants de marée tournent sur leur droite de façon régulière et sont approximativement parallèles à l'isobathe 200 m du point de mesure au moment de la P.M. de BREST, portent vers la côte avant cette P.M. et vers le large après. Ceci indique que l'onde de marée est presque stationnaire et que l'heure de la P.M. est voisine de celle de BREST en tous les points du Plateau Continental, ce que confirme l'étude de l'établissement des ports de BREST à SAINT-JEAN-DE-LUZ.

C. Tracé du diagramme résultant de l'intégration par rapport au temps du vecteur vitesse avant et après soustraction du courant de marée.

Le vecteur \vec{X} souvent nommé "progressive vector", est défini par l'intégrale par rapport au temps du vecteur vitesse en un point donné :

$$\vec{X}(t, t_0) = \int_{t_0}^t \vec{V}(\sigma) d\sigma$$

où t_0 sera pris égal à l'instant initial de la période de mesure. Lorsque l'écoulement est uniforme, le vecteur $\vec{X}(t, t_0)$ donne la position à l'instant t de la particule fluide située au point de mesure à l'instant initial t_0 . sinon le vecteur perd cette propriété intéressante mais fournit cependant un mode de présentation commode des mesures, dans une figure de taille réduite, permettant de se faire une première idée concernant le courant moyen, le courant de marée et les courants transitoires.

Par extension du "progressive vector" \vec{X} , nous avons défini le vecteur :

$$\vec{X}'(t, t_0) = \int_{t_0}^t [\vec{V}(\sigma) - \vec{W}(\sigma)] d\sigma$$

La comparaison des courbes $X(t)$ et $X'(t)$ pour chaque station et aux différentes profondeurs permet de visualiser l'importance du courant de marée et de vérifier l'efficacité de la méthode décrite pour estimer le courant de marée.

Les figures 7a à 12a et 7b à 12b représentent respectivement X et X' aux différentes profondeurs pour les six stations de courant. (Les points marqués de chiffres romains représentent les heures des pleines mers successives de Brest ; en rouge, bleu et noir, les valeurs aux profondeurs nominales de 50, 100 et 150 m). Les figures 7b et 8b montrent qu'une composante quart diurne existe pour les deux points les plus au Nord ; une analyse semblable à celle faite pour la composante semi-diurne montre que cette composante ne représente que 5 à 10 % du courant de marée et peut être négligée dans les cas pratiques. Si pour les quatre premières stations les résultats sont très satisfaisants, les figures 11b offrent un bon exemple des variations rapides qui peuvent avoir lieu dans le courant général ; ce courant jusqu'alors presque nul à 50 m et portant au SE à 150 m subit un changement brutal approximativement 15 heures avant la fin des mesures pour porter au SSW à 50 m et remonter au NNE à 150 m. Par contre, le courant à 100 m ne subit pas de modifications notables. Cet exemple montre que des variations importantes peuvent affecter les moyennes de courant faites sur des périodes de l'ordre du jour.

Les figures 12a et 12b ne font que souligner l'hypothèse précédemment émise que des phénomènes transitoires masquent les courants de marée à 50 et 100 m qui ne représentent une composante importante du courant total qu'à 150 m.

IV.- CONCLUSIONS

Les six stations de courant faites à la limite du Plateau Continental du Golfe de Gascogne ont permis d'évaluer les courants de marée par 200 m de fond dans cette région, sauf à la station 6 où d'autres phénomènes ont masqué les courants de marée à 50 et 100 m.

De ces mesures deux conclusions importantes peuvent être tirées : par coefficients de marée voisins de 80, les courants de marée diminuent de 50 à 20 cm/s du Nord vers le Sud. Le courant de marée tourne régulièrement sur sa droite avec le temps, portant sur le plateau approximativement jusqu'à la P.M. de BREST ce qui permet de prévoir que l'onde de marée est pratiquement une onde stationnaire sur le plateau et que la P.M. doit se faire en tous points de ce plateau à peu près à la même heure.

Pour différentes applications, navigation, implantation de structures fixes sur le plateau, déplacement de nappes en surface, mélanges verticaux, gèneses d'ondes internes, prédiction de la houle, etc .. des courants périodiques de l'ordre du noeud ne sont pas négligeables. Il serait donc intéressant de poursuivre le travail entrepris par une série de stations de longue durée pour relier l'amplitude du courant de marée aux différentes valeurs du coefficient de marée.

T A B L E A U I

Station N°	Profondeur	COURANT MOYEN	
		Module	Direction
1	35	9	288
$\phi = 47^{\circ}16,0'N$	85	7	292
$G = 6^{\circ}00,5'W$	135	7	285
2	45	6	231
$\phi = 46^{\circ}51,0'N$	95	7	260
$G = 4^{\circ}58,0'W$	145	5	248
3	50	2	32
$\phi = 46^{\circ}13,5'N$	100	3	331
$G = 04^{\circ}12,0'W$	150	5	351
4	50	4	85
$\phi = 45^{\circ}40,5'N$	100	7	313
$G = 3^{\circ}30' W$	150	10	331
5	50	4	170
$\phi = 44^{\circ}48,8'N$	100	7	135
$G = 2^{\circ}05,5'W$	150	4	136
6	44	3	208
$\phi = 43^{\circ}39,2'N$	94	5	68
$G = 1^{\circ}57,3'W$	144	6	349

NOTA : les valeurs du module du courant moyen sont données en cm/s.

Les directions sont données en degrés à partir du Nord géographique.

T A B L E A U II

Station N°	Profondeur (m)	A	B	C	D
1	35	40	- 21	- 14	- 52
	85	42	- 14	- 11	- 52
	135	33	- 9	- 10	- 51
2	45	8	- 24	- 13	- 19
	95	8	- 32	- 12	- 14
	145	6	- 32	- 20	- 18
3	50	- 6	- 22	- 20	- 5
	100	9	- 24	- 21	- 18
	150	6	- 26	- 21	- 13
4	50	15	- 9	- 9	- 13
	100	13	- 11	- 8	- 19
	150	14	- 20	- 9	- 24
5	50	1	- 19	- 11	- 7
	100	- 3	- 12	- 13	- 8
	150	- 6	- 23	- 11	- 11
6	44	0	- 4	6	- 1
	94	- 8	- 7	- 4	5
	144	- 15	- 18	- 8	14

NOTA : Les valeurs des constantes sont données en cm/s.

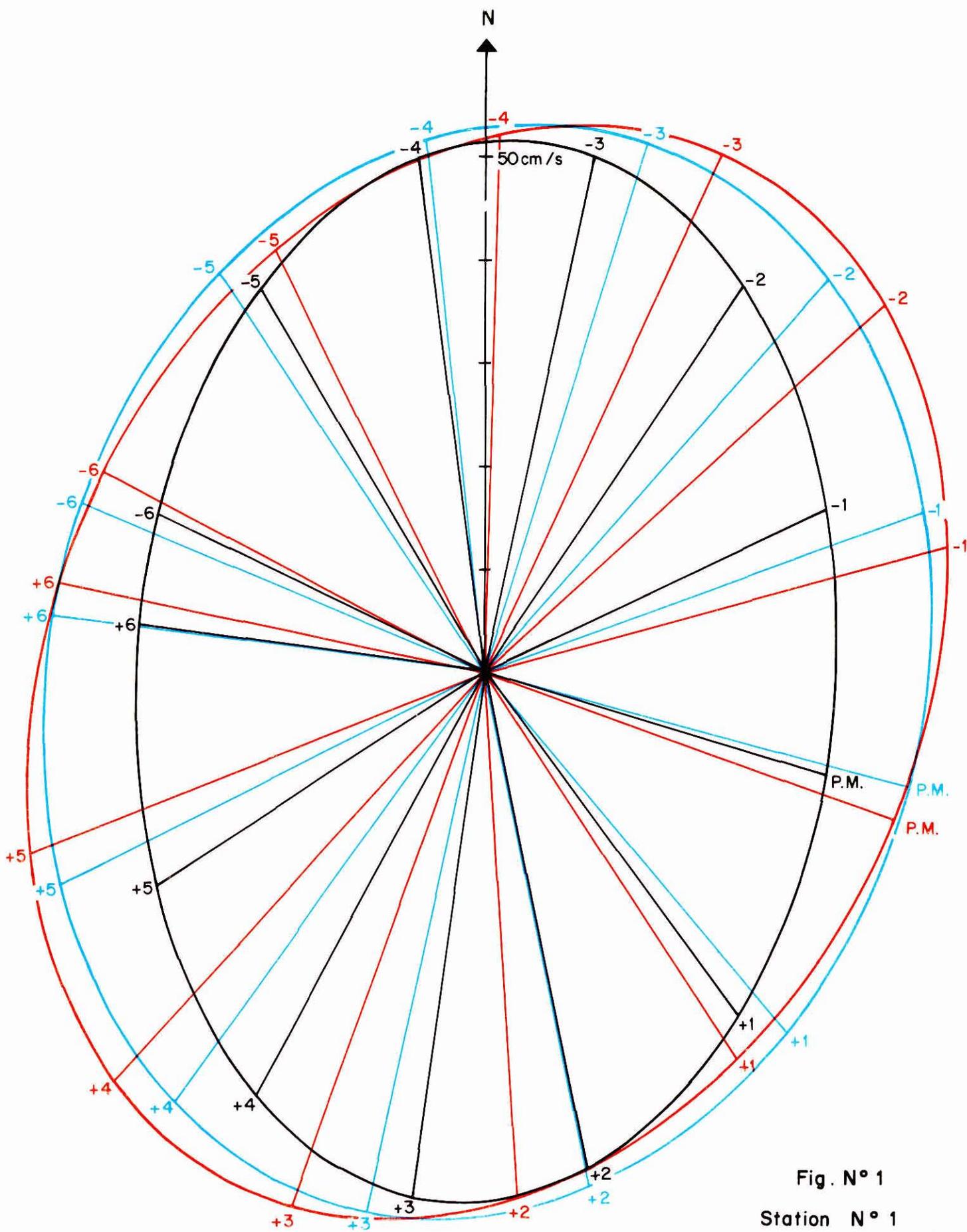


Fig. N° 1
 Station N° 1
 HODOGRAPHES DE \vec{W}

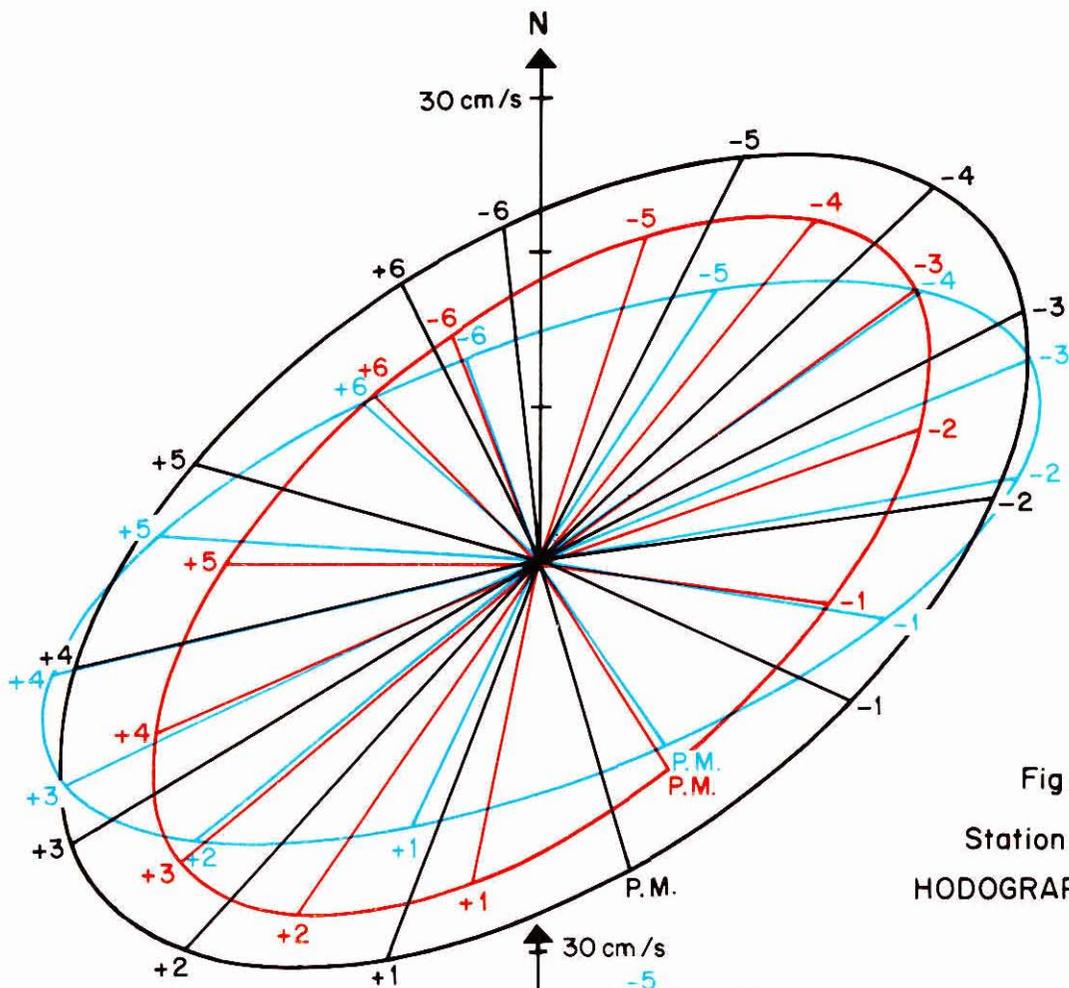


Fig. 2
 Station N° 2
 HODOGRAPHES DE \vec{W}

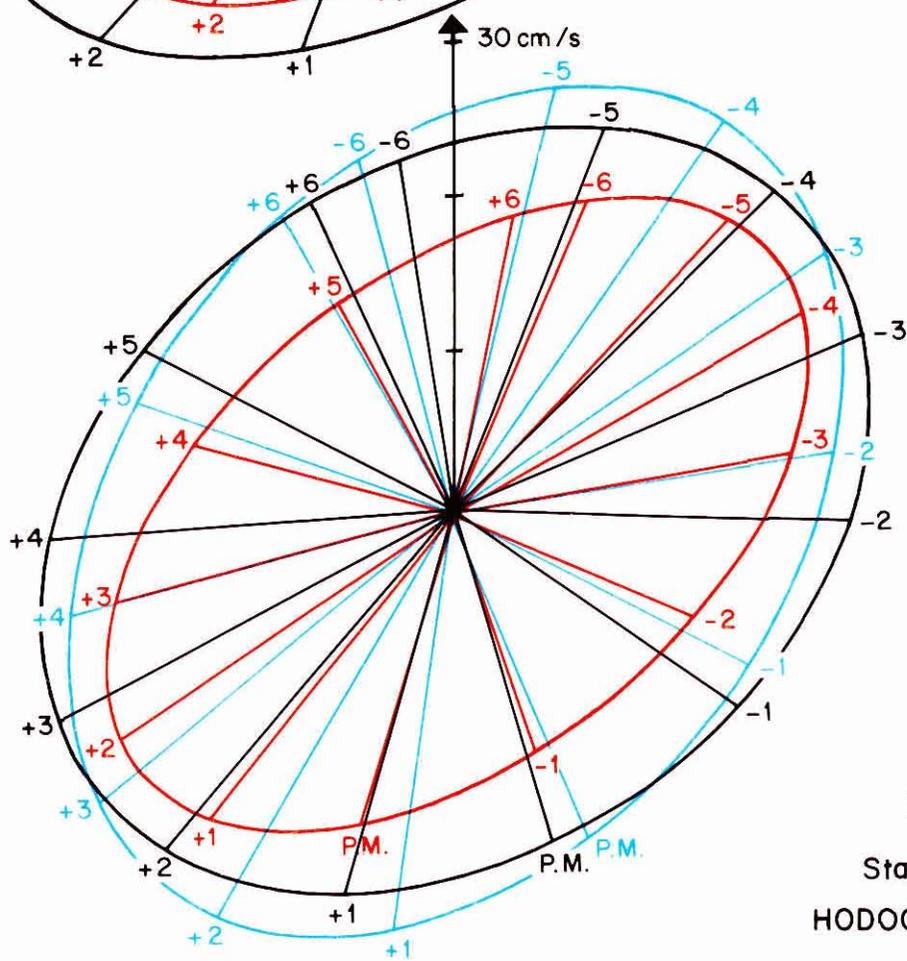


Fig. 3
 Station N° 3
 HODOGRAPHES DE \vec{W}

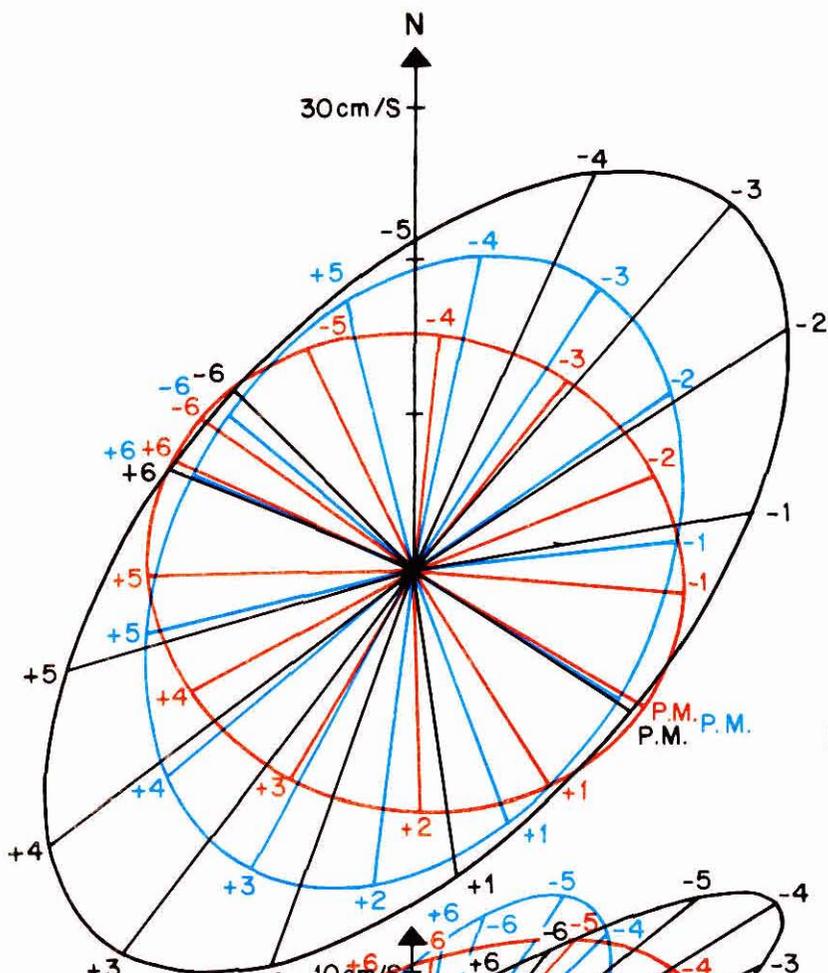


Fig. 4
Station N°4
HODOGRAPHES DE \vec{W}

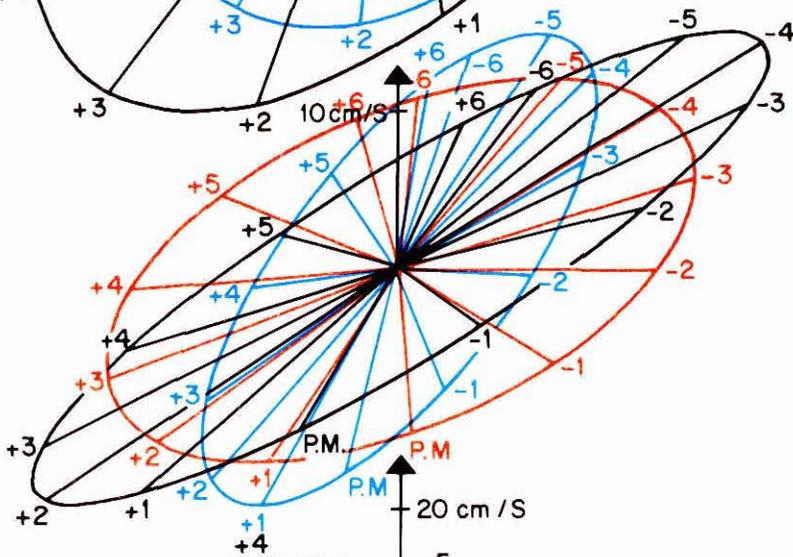


Fig. 5
Station N°5
HODOGRAPHES DE \vec{W}

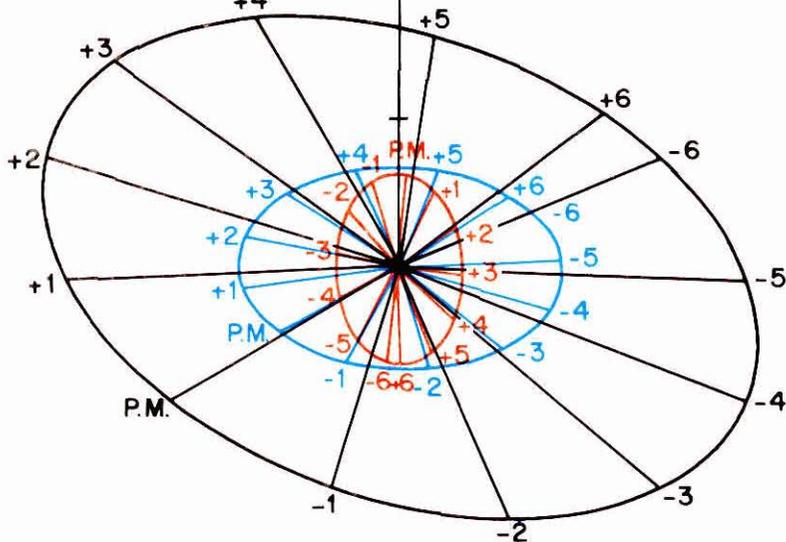


Fig. 6
Station N°6
HODOGRAPHES DE \vec{W}

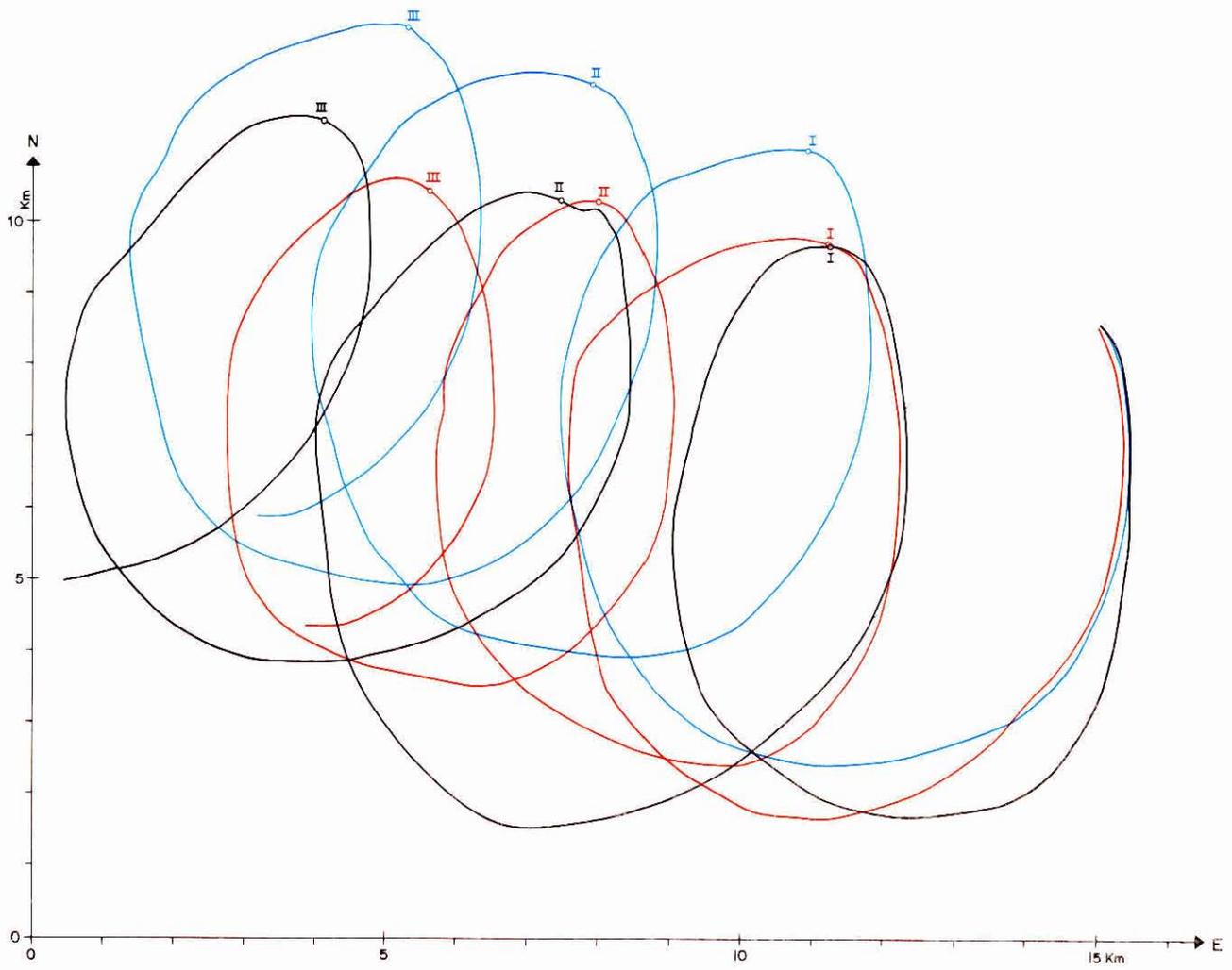


Fig. 7a Station N°1 LIEUX DES $\vec{X}(t, t_0)$

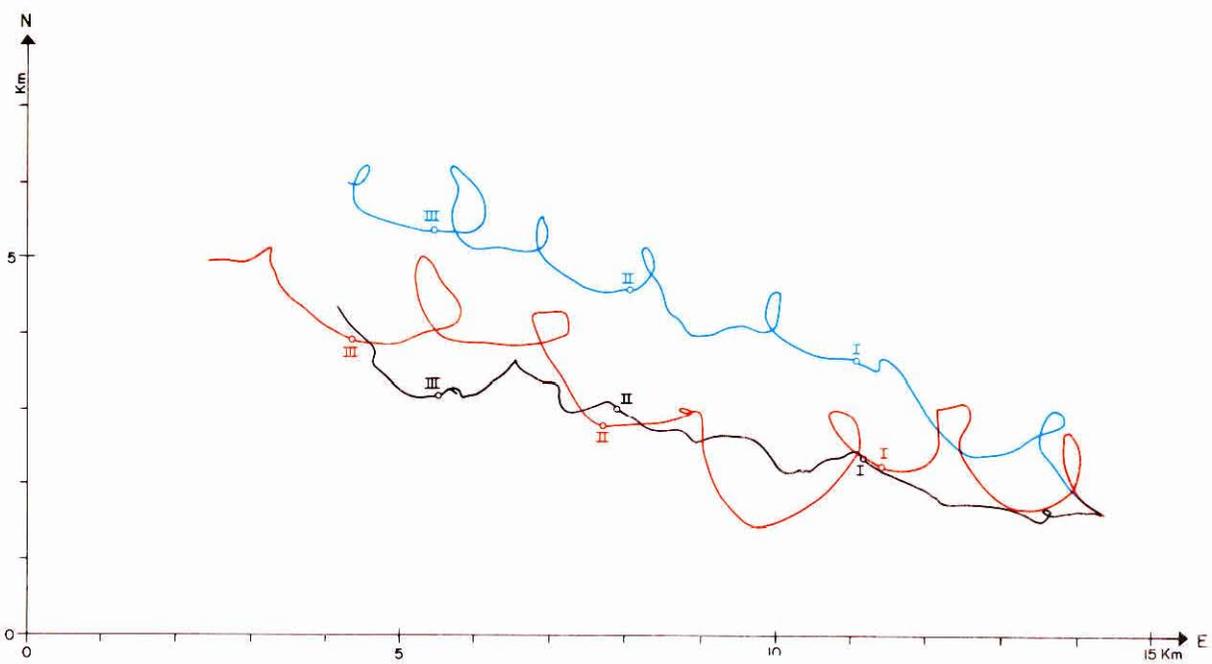


Fig. 7b Station N°1 LIEUX DES $\vec{X}'(t, t_0)$

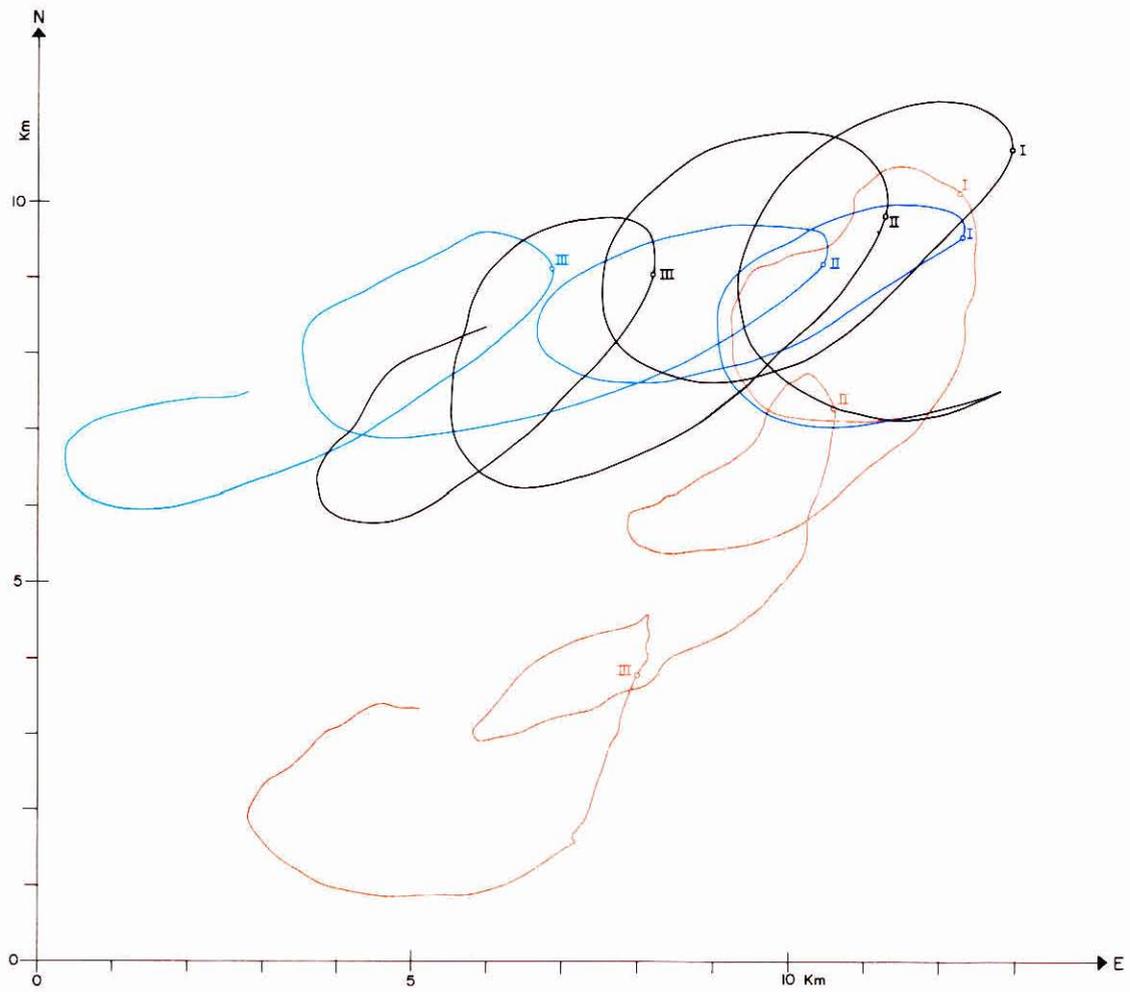


Fig. 8a Station № 2 LIEUX DES $\vec{X}(t, t_0)$

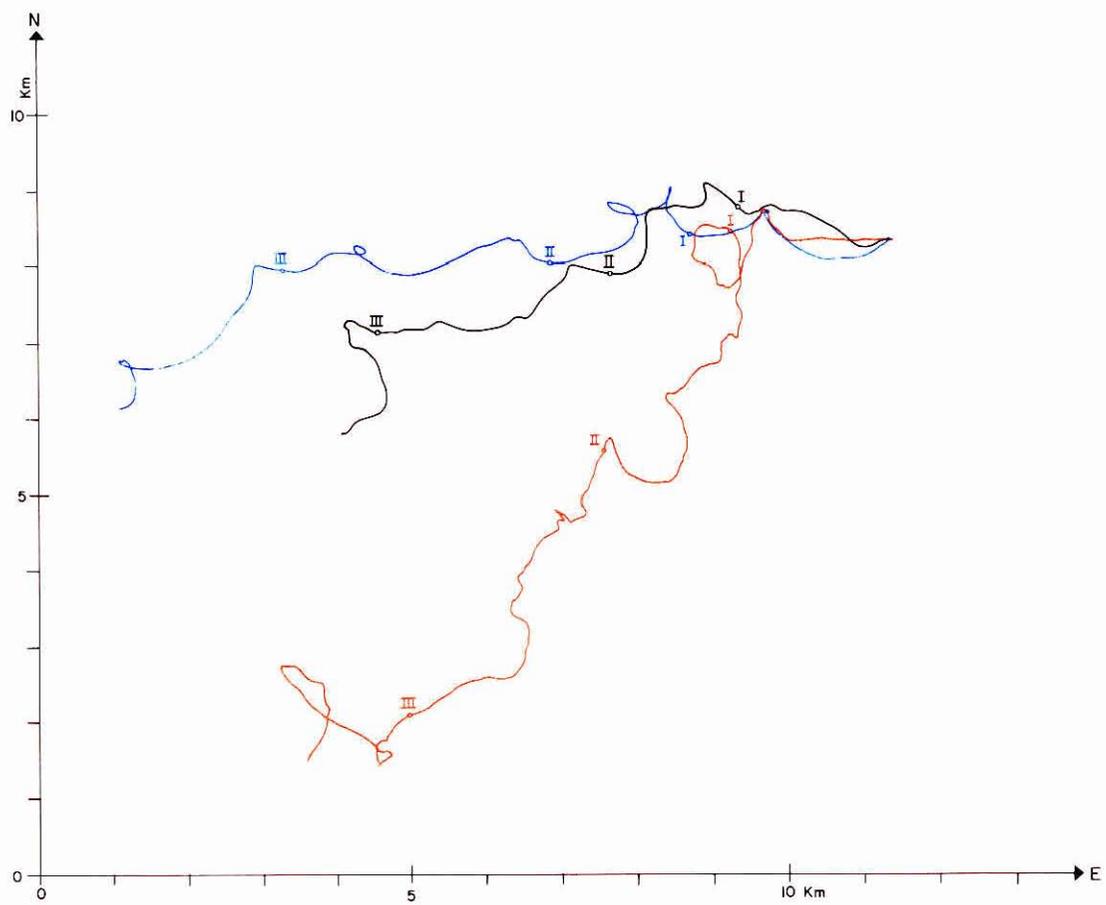


Fig. 8b Station N° 2 LIEUX DES $\vec{X}'(t, t_0)$

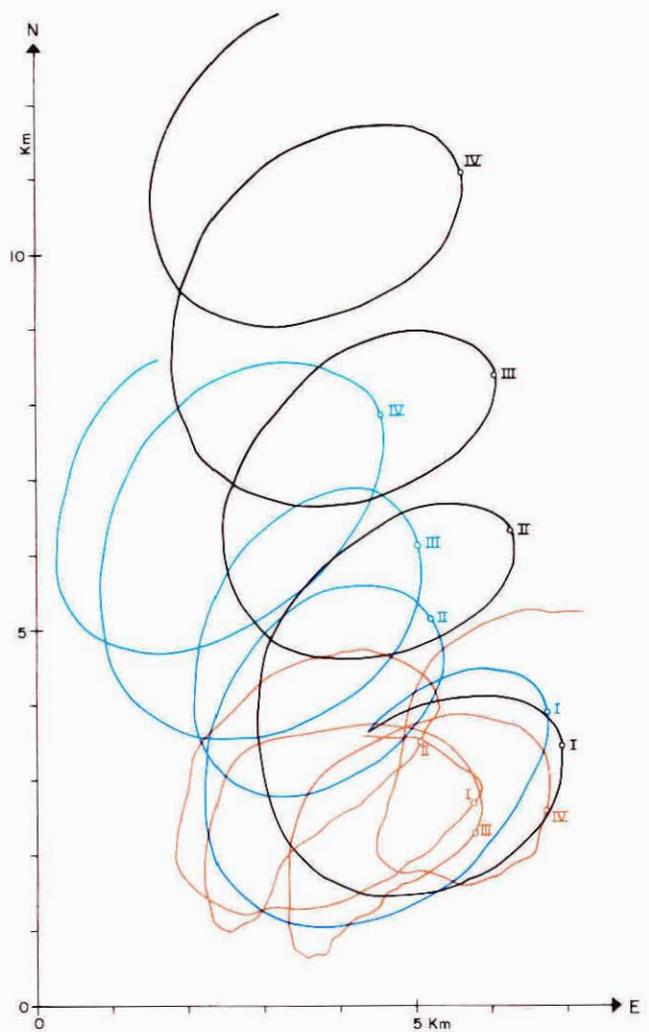


Fig. 9a Station N°3 LIEUX DES $X(t, t_0)$

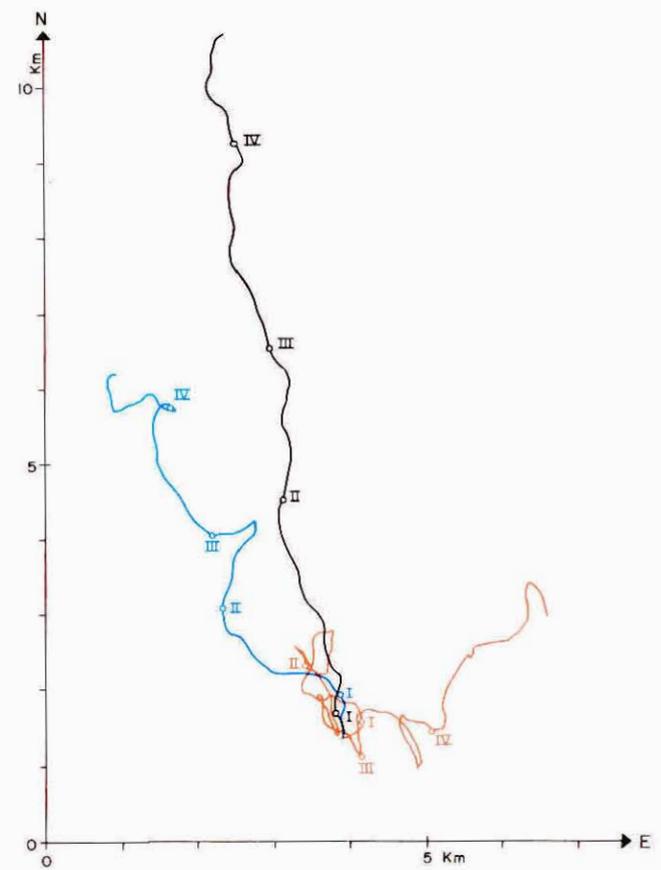


Fig. 9b Station N°3 LIEUX DES $X'(t, t_0)$

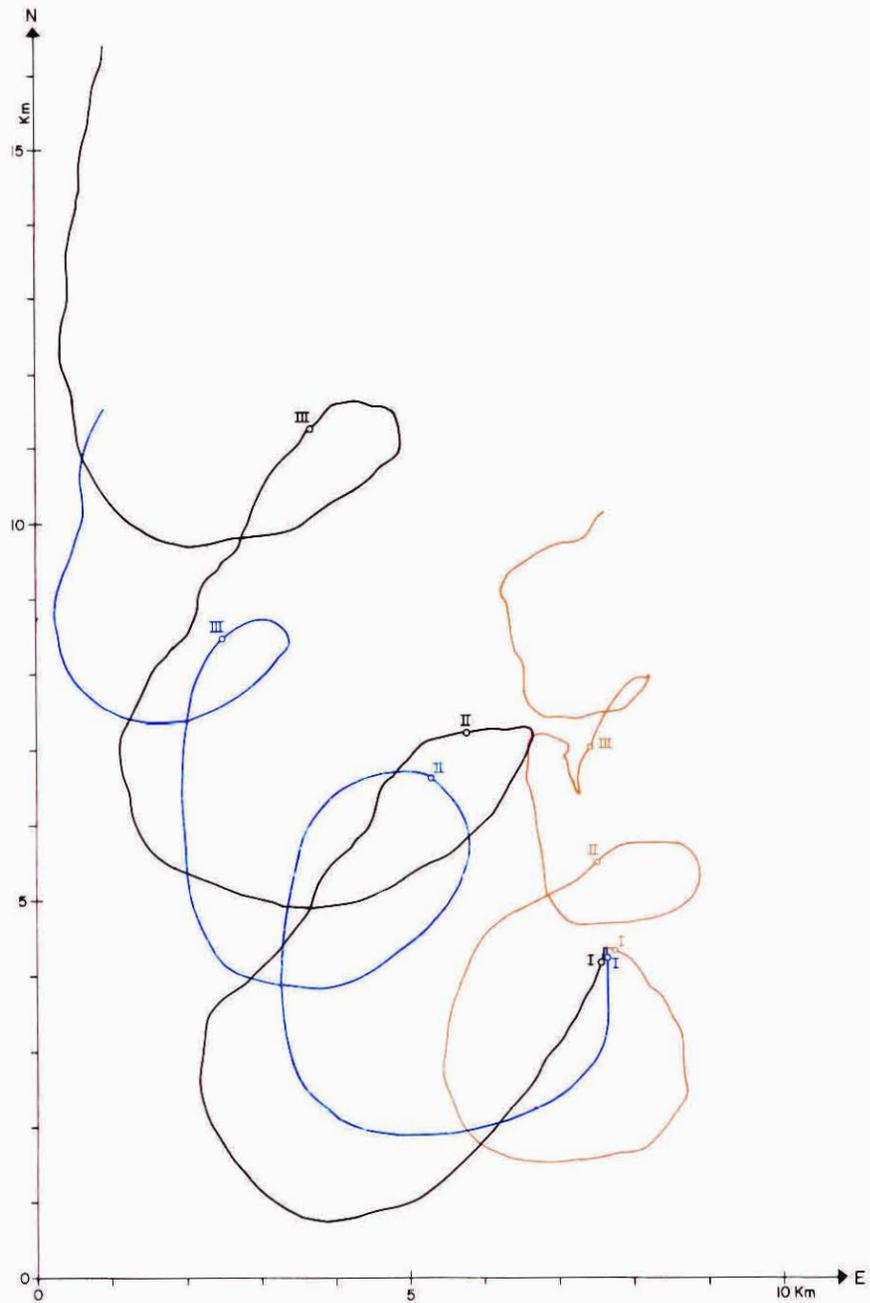


Fig. 10a Station N°4 LIEUX DES $\vec{X}(t, t_0)$

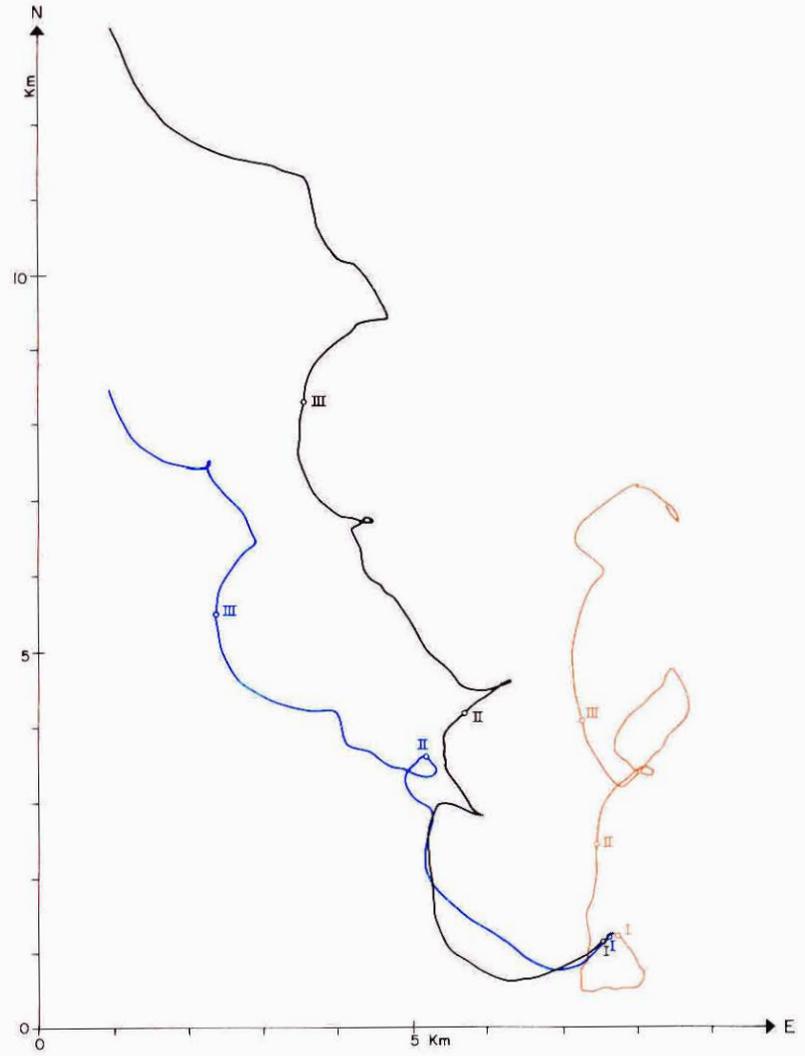


Fig. 10b Station N°4 LIEUX DES $\vec{X}(t, t_0)$

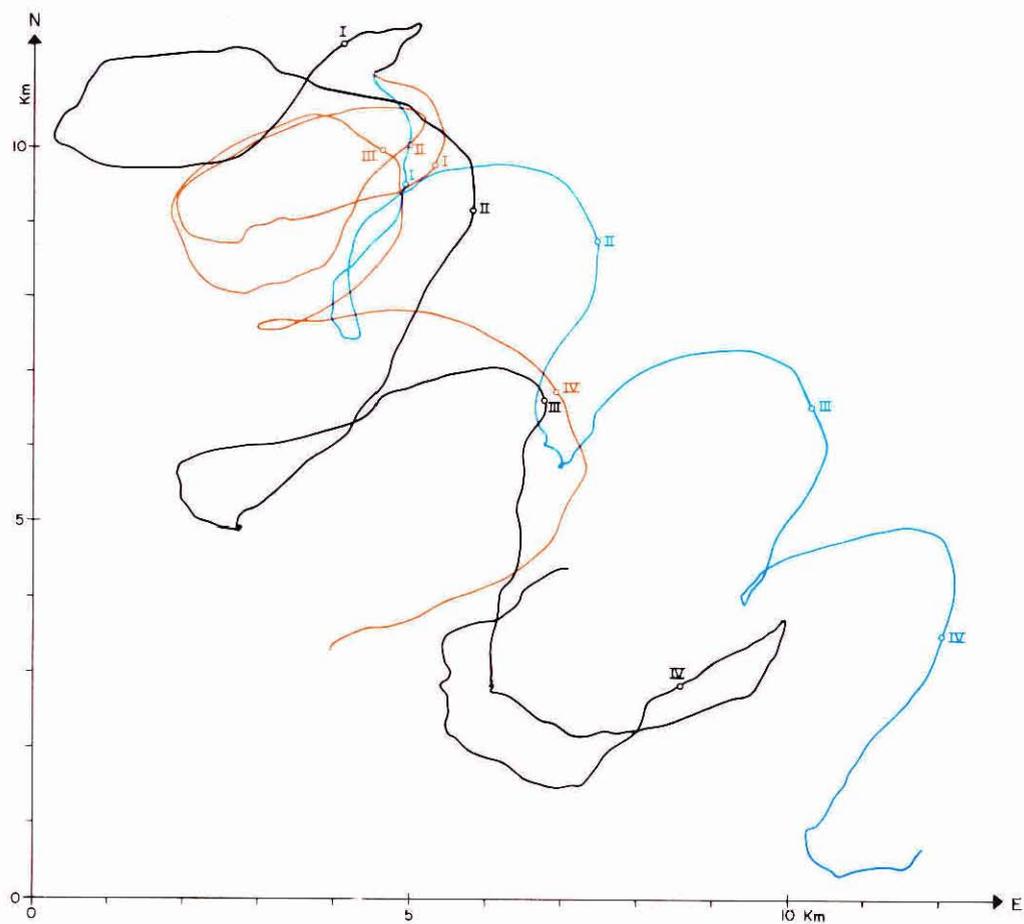


Fig. 11a Station N°5 LIEUX DES $\vec{X}(t, t_0)$

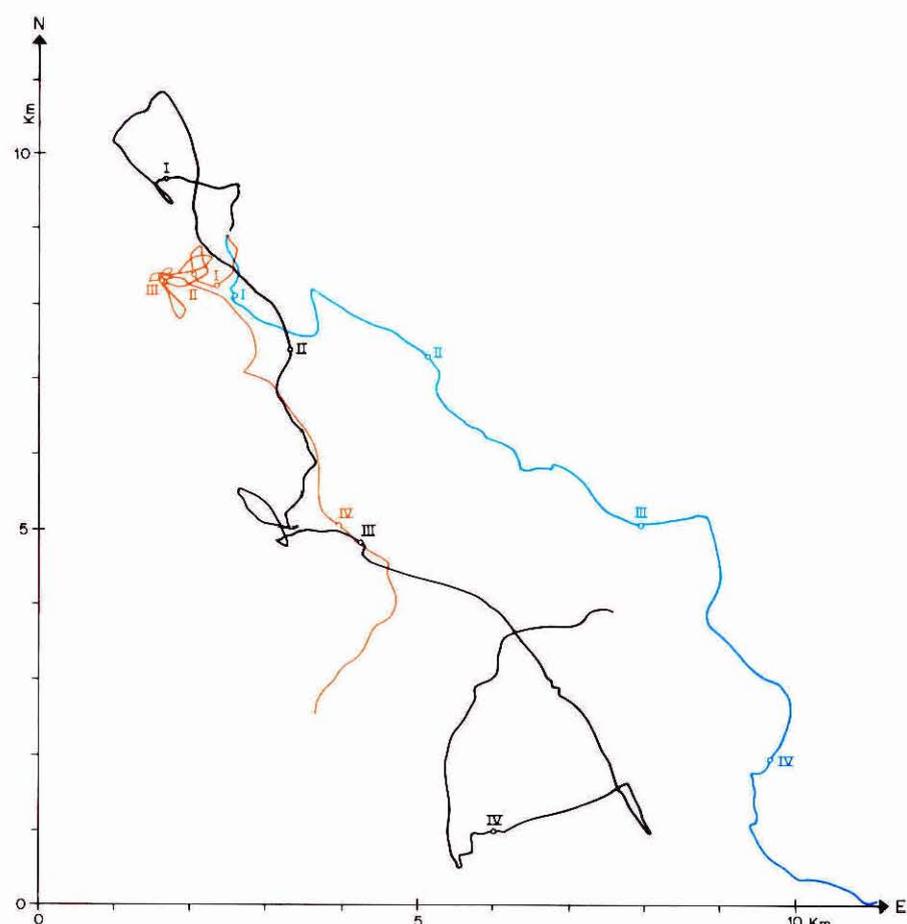


Fig. 11b Station N°5 LIEUX DES $\vec{X}'(t, t_0)$

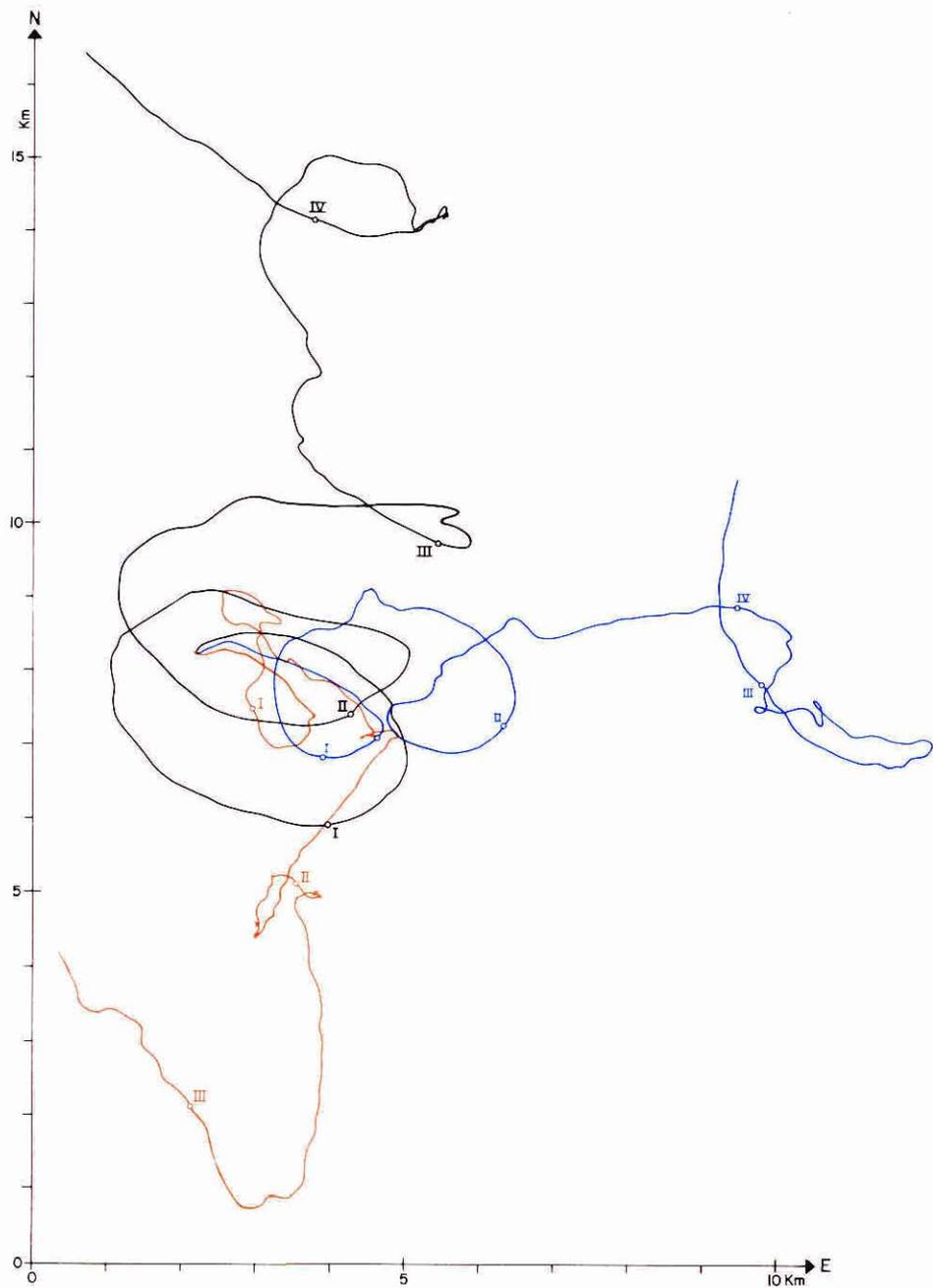


Fig. 12a Station N°6 LIEUX DES $\vec{X}(t, t_0)$

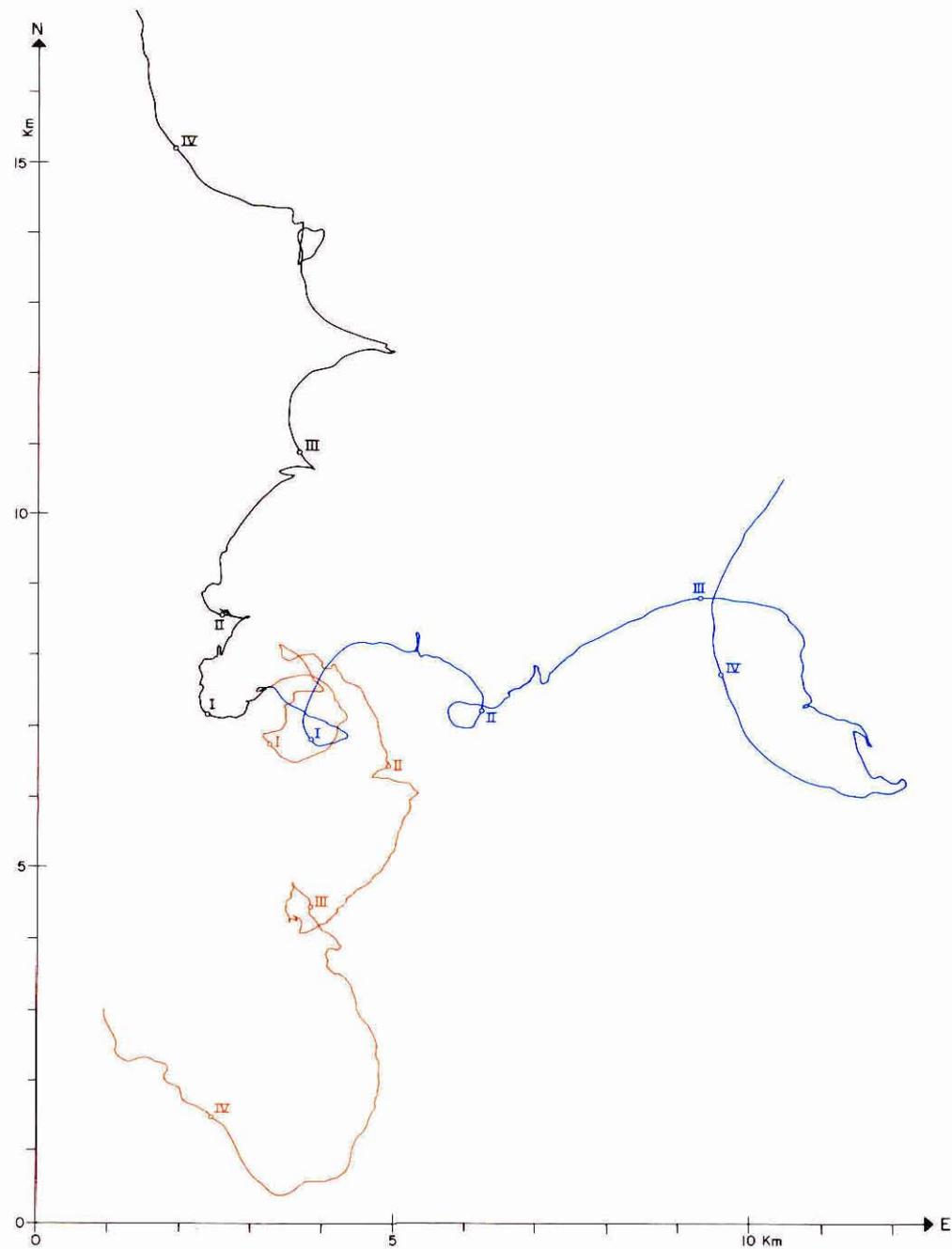


Fig. 12b Station N°6 LIEUX DES $\vec{X}(t, t_0)$

Chapitre III - Etude des mesures de marées

1. Traitement préliminaire des données

Le marégraphe utilisé pour cette campagne comportait un capteur Télémac à cordes vibrantes ; les fréquences de ces cordes sont liées, pour l'une à la différence à une pression intérieure de référence de la pression hydrostatique extérieure, pour l'autre à la température. L'enregistreur "in situ" est une caméra photographiant à intervalles de temps réguliers les indications de deux compteurs mécaniques donnant le nombre d'oscillations des cordes sur 6 minutes.

Après dépouillement manuel, le report des données sur cartes perforées permet la mise en oeuvre d'un programme de prétraitement sur IBM 1130 faisant intervenir les coefficients d'étalonnage des cordes vibrantes, la donnée de la pression atmosphérique pendant la mesure, la correction de la variation thermique de la pression de référence (surtout importante pour les grandes profondeurs). Le caractère cumulatif du décomptage simplifie la vérification des données par le calcul des différences secondes et facilite la correction des erreurs entraînée par un défaut de comptage. Des données peuvent être également supprimées par un défaut de fonctionnement du flash associé à la caméra. Dans les 3 stations faites dans cette campagne, les deux types d'erreurs instrumentales indiqués ci-dessus ont entaché 20 mesures sur un total de l'ordre de 850. Le programme corrige les données et calcule les variations de hauteur d'eau corrigées qu'il donne en sortie sous forme de tableaux, de courbes et de cartes perforées pour le traitement ultérieur ; le même programme calcule les pleines et basses mer et fournit également la courbe de température mesurée.

La précision des variations de hauteurs et de température données par la capteur Télémac est de 1 cm et $0,5 \cdot 10^{-3}$ Celsius.

2. Résultats

On trouvera dans les figures 13, 14 et 15 les courbes données par le traitement préliminaire, décrit ci-dessus, pour les 3 stations 4, 5 et 6. En dehors de la courbe de variation de la hauteur d'eau, on constate la présence d'une variation de la température suivant plus ou moins la marée

et d'amplitude maxima $0,15^{\circ}$ C. Compte-tenu du fait que les stations choisies sont sur le bord même du plateau continental, on peut attribuer ces variations de température à la remontée sur le plateau, sous l'action de la marée, d'eaux profondes plus froides. La figure 12 fait apparaître une variation du niveau moyen qui provient sans doute de l'effet de la variation de la pression atmosphérique : les 5, 6, 7 et 8 octobre à 12 h la pression atmosphérique était de 767, 758, 745 et 760 mm de Hg.

La superficie de la partie considérée du plateau continental du Golfe de Gascogne est assez faible pour qu'on puisse y négliger l'action directe du potentiel générateur de marées océaniques. L'onde de marée y est entretenue par transfert d'énergie à partir de l'onde de marée océanique qui impose sa périodicité. Les mesures faites n'ayant pas duré plus de 48 h, on ne peut tirer de la marée semi-diurne que sa composante principale M2, correspondant à une lune moyenne se déplaçant d'un mouvement uniforme dans l'équateur et à distance constante du centre de la terre. Sa période T_0 est de 12,42 heures de temps moyen ou encore de 12 heures lunaires moyennes ; elle correspond à une vitesse angulaire $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$ de $28,9841^{\circ}$ /heure solaire moyenne ou de 30° /heure lunaire moyenne. Dans les calculs des paragraphes suivants, nous ne considèrerons que cette composante harmonique.

On a mesuré à partir de l'enregistrement les valeurs de la dénivellation à des intervalles de 1,035 heures, c'est à dire de 1 heure lunaire. Sur ces valeurs, il a été procédé à une analyse en série de Fourier qui donne la composante de marée M2 et ses harmoniques supérieurs correspondant à l'effet, par faible profondeur, du terme non-linéaire de frottement. Le même traitement a été appliqué à l'enregistrement de la marée de Brest simultanée de celui de la marée au large. Le tableau III fournit les résultats de cette analyse sous forme de l'amplitude et de l'heure T.U. de la pleine mer de l'onde M2 à Brest et à la station considérée 4, 5 ou 6. Pour chaque station sont également précisés le jour de l'analyse, l'amplitude et l'heure de P.M. de la marée semi-diurne de Brest avec la valeur correspondante du coefficient de marée (rapport de l'amplitude de la marée semi-diurne à l'unité de hauteur de Brest qui est de 3,21 m)

Station	Jour	Coefficient de marée	marée semi-diurne de Brest		Onde M2 de Brest		marée semi-diurne à la station		Onde M2 à la station	
			Amplitude	Heure de PM en TU	Amplitude	Heure de PM en TU	Amplitude	Heure de PM en TU	Amplitude	Heure de PM en TU
4	7.10.70	50	1,61 m	7h37mn	1,40 m	9h01mn	0,89 m	7h12mn	0,82m	8h42mn
5	5.10.70	68	2,18 m	18h32mn	1,97 m	19h40mn	1,15 m	17h42mn	1,16m	19h14mn
6	30.9.70	84	2,70 m	3h49mn	2,58 m	3h18mn	1,62 m	3h06mn	1,67m	2h32mn

Tableau III : Résultats de l'analyse harmonique
de la loi de niveau

Pour rendre comparatives les mesures, les résultats ont été ramenés à un même coefficient de marée de valeur 70. Les résultats aux stations 4, 5 et 6 ont été complétés par le résultat analogue obtenu à la station 2 par une mesure de marée faite en 1964 par le Service Hydrographique avec également un capteur Télémac. Il a été alors possible d'établir le tableau IV et de tracer la carte de l'onde M2 dans le Golfe de Gascogne que donne la figure 16. Les lignes cotidales ont été tracées en partant de l'heure cotidale 3h36 pour l'onde M2 à Brest. On remarquera que la ligne cotidale 3h15 a une courbure semblable à celle du tracé côtier. Sur cette carte, le caractère d'onde stationnaire de M2 sur le plateau continental apparaît nettement. Les lignes d'égale amplitude ont été tracées en valeurs constantes du pourcentage de l'amplitude de l'onde M2 à celle de Brest : sur le plateau continental les valeurs vont de 0,6 à 1. Cette carte précise, pour la zone étudiée, celles proposées par Fichot et Dietrich.

Enfin, en ce qui concerne les harmoniques supérieurs, l'analyse harmonique des dénivellations aux différentes stations, poussée à l'ordre 3 sur la période de M2, montre que l'amplitude des harmoniques d'ordre 2 et 3 peut atteindre 10 cm.

Rapport à l'amplitude à Brest	Avance sur l'onde à Brest	Station
0,6	19 mm	4
0,6	26 mm	5
0,65	46 mm	6
0,7	22 mm	2

Tableau IV : Onde M2 dans le Golfe de Gascogne

3. Eléments théoriques pour une interprétation énergétique

On cherche ici à établir une expression du bilan de puissance dans un domaine marin fermé. On a vu que l'on pouvait négliger les forces astronomiques. On ne considère comme forces extérieures dissipatives que le frottement au fond en négligeant les forces de viscosité et supposant qu'aucun vent relatif n'a d'effet d'entraînement de la surface libre. La pression atmosphérique est supposée uniformément constante.

On considère un domaine marin fermé Σ de frontière $S = S_1 + S_2$, se décomposant en S_1 tracé côtier et S_2 limite ouverte. En un point de ce domaine, M , où la profondeur est h , la propagation de l'onde longue qu'est la marée entraîne une dénivellation variable $\zeta(M,t)$ de la surface libre ; toutes les particules liquides à la verticale de M ont la même vitesse $\overline{V}(M,t)$ horizontale et la répartition de pression hydrostatique traduit l'absence d'accélération verticale.

Il n'y a puissance transmise dans le domaine marin fermé qu'à travers la limite ouverte S_2 . Soit dS_2 un élément de cette frontière dont l'orientation est donnée par celle du vecteur normal unitaire \overline{n} dirigé vers l'intérieur du domaine : à l'instant t , la puissance résultant de la dénivellation et transmise à travers un élément de surface vertical de dS_2 est

$$\rho g \overline{V}(M,t) \cdot \overline{n} \zeta(M,t)$$

avec ρ masse volumique et g accélération de la pesanteur. La puissance transmise dans le domaine marin fermé doit être égale à la dérivée par rapport au temps de l'énergie des particules du domaine, notée W par unité de masse, augmentée de la puissance dissipée par frottement. Le frottement sur un élément de surface $d\sigma$ du fond est écrit sous une forme quadratique de la vitesse

$$- \rho f |\overline{V}| \overline{V} d\sigma$$

avec f coefficient adimensionnel, et supposé équivalent à un vecteur horizontal $\overline{F}_f dm$ appliqué au centre de gravité du prisme liquide de base $d\sigma$ et de masse $dm = \rho(h+\zeta)d\sigma$. Le frottement de fond correspondra donc à une puissance par unité de masse :

$$-\overline{F}_f \cdot \overline{V} = f \frac{\overline{V}^2 |\overline{V}|}{h+\zeta}$$

On peut donc exprimer le bilan de puissance instantané dans le domaine fermé par :

$$\iint_{S_2} \rho g \overline{V} \cdot \overline{n} \zeta (h+\zeta) dS_2 = \iiint_{\Sigma} \rho \left(\frac{dW}{dt} + f \frac{\overline{V}^2 |\overline{V}|}{h+\zeta} \right) (h+\zeta) d\Sigma$$

Si l'on considère un bilan de puissance moyenne sur la période T_0 de la composante M2, le terme en $\frac{dW}{dt}$ disparaît, les énergies cinétique et potentielle se retrouvant égales après T_0 à leurs valeurs initiales. Prenons les expressions suivantes pour la dénivellation ζ et les composantes est et nord u et v en un point :

$$\zeta = \zeta_{\max} \cos \omega_0 (t-t_0) \quad u = u_{\max} \cos \omega_0 (t-\beta_0) \quad v = v_{\max} \cos \omega_0 (t-\theta_0')$$

Si α et β sont les composantes est et nord du vecteur normal \overline{n} introduit plus haut, on obtient comme valeur moyenne sur T_0 de la puissance en un point:

$$\frac{1}{2} \rho g \zeta_{\max} \left[\alpha u_{\max} \cos \omega_0 (\theta_0 - t_0) + \beta v_{\max} \cos \omega_0 (\theta_0' - t_0) \right]$$

La valeur moyenne sur T_0 de la puissance de frottement fait intervenir

$$\int_0^{T_0} \overline{V}^2 |\overline{V}| dt = 4 \int_0^{\frac{T_0}{4}} V^3 dt$$

qui s'exprime classiquement en fonction d'intégrales elliptiques et dont on prendra l'expression approchée

$$\frac{4 (u_{\max}^2 + v_{\max}^2)^{\frac{3}{2}}}{3\pi}$$

En considérant une somme de bilans partiels sur des éléments finis on écrira donc pour le bilan de puissance moyenne :

$$\sum_{S_2} \frac{1}{2} \rho g h \zeta_{\max} \left[\alpha u_{\max} \cos \omega_0 (\theta_0 - t_0) + \beta v_{\max} \cos \omega_0 (\theta_0' - t_0) \right] \Delta S_2 =$$

$$\sum_{\Sigma} \frac{4 \rho f}{3 \pi} \left(u_{\max}^2 + v_{\max}^2 \right)^{\frac{3}{2}} \Delta \Sigma \quad \text{expression se prêtant au calcul numérique qui va suivre.}$$

4. Bilan d'énergie à la limite du plateau continental du Golfe de Gascogne - Frottement -

La formule établie au paragraphe précédent fournit un moyen d'obtenir une valeur expérimentale du coefficient de frottement f .

Comme domaine fermé Σ nous avons considéré la partie étudiée du plateau continental du Golfe de Gascogne limitée par le littoral et par une frontière S_2 partant de Brest et passant par les stations de mesure. Le tableau V ci-joint donne la décomposition de cette frontière S_2 en huit éléments rectilignes centrés sur les points de mesure. A ces points nous avons ajouté, sous le numéro de station 0, la mesure du courant au point 478 A donné par l'ouvrage du Service Hydrographique : ce point est situé au milieu du segment Brest - station N° 1 qui constitue le premier élément de la frontière S_2 . Les valeurs de la longueur L , de la profondeur h et des composantes est et nord α et β du vecteur \vec{n} sont données pour chaque élément de limite ΔS_2 . A partir de la carte donnée de l'onde M2 nous avons estimé les caractéristiques de l'onde M2 aux stations 0, 1 et 3 pour lesquelles nous n'avions pas de mesure de marée. Les caractéristiques des courants de marée semi-diurne sont ramenées à un même coefficient 70, celles déduites des valeurs de A, B, C, D obtenues au chapitre précédent pour la profondeur 50 m. Les notations t_0 , θ_0 , θ'_0 sont celles introduites plus haut, les temps étant mesurés en temps lunaire moyen avec une origine des temps qui est la Pleine Mer de M2 à Brest.

La méthode du bilan de puissance a déjà été appliquée à des mers littorales comme la Manche ou la Mer d'Irlande. Toutefois, dans notre cas, son utilisation est rendue délicate par le caractère stationnaire de l'onde de marée. Elle permet cependant d'atteindre l'ordre de grandeur du coefficient f : on trouve par application dans le tableau V de la formule vue plus haut, une valeur de $1,5 \cdot 10^{10}$ W ou 15 GW pour le bilan de puissance moyenne entrant à travers S_2 dans le domaine considéré. La puissance moyenne perdue par frottement a été calculée en décomposant le domaine Σ en une zone de 70.000 km^2 avec un module de vitesse de $0,4 \text{ cm/s}$ et en une zone de 10.000 km^2 avec un module de vitesse de $0,13 \text{ m/s}$: on obtient alors une valeur $f \times 1,8 \cdot 10^{13}$ W. En égalant

Station	Elément de limite ΔS_2				Courant				Dénivellation		Puissance entrant en 10^{11} W
	L	h_{moy}	α	β	u_{max}	θ_o	v_{max}	θ'_o	ζ_{max}	t_o	
0	100 km	150 m	0,707	- 0,707	0,12 m/s	135 m	0,37 m/s	-132 mm	1,70 m	10 mn	- 0,1292
1	60 km	200 m	0,766	0,643	0,32	- 88 m	0,44 m/s	-203 mm	1,40 m	30 mn	+ 0,1946
2	120 km	200 m	0,766	0,643	0,25	-151 m	0,19 m/s	-261 mm	1,40 m	21 mn	+ 0,0116
3	80 km	200 m	0,766	0,643	0,21	-139 m	0,21 m/s	-279 mm	1,30 m	19 mn	- 0,0066
4	120 km	200 m	0,766	0,643	0,29	- 80 m	0,32 m/s	-226 mm	1,20 m	19 mn	+ 0,2065
5	60 km	200 m	0,766	0,643	0,18	-208 m	0,15 m/s	-297 mm	1,20 m	26 mn	- 0,0512
	60 km	200 m	1	0	0,18	-208 m	0,15 m/s	-297 mm	1,20 m	26 mn	- 0,0022
6	100 km	200 m	1	0	0,14	-277 m	0,09 m/s	+257 mm	1,40 m	46 mn	- 0,0844
Puissance totale											$\sim 1,5 \cdot 10^{10}$ W

Tableau V : Eléments du bilan de puissance

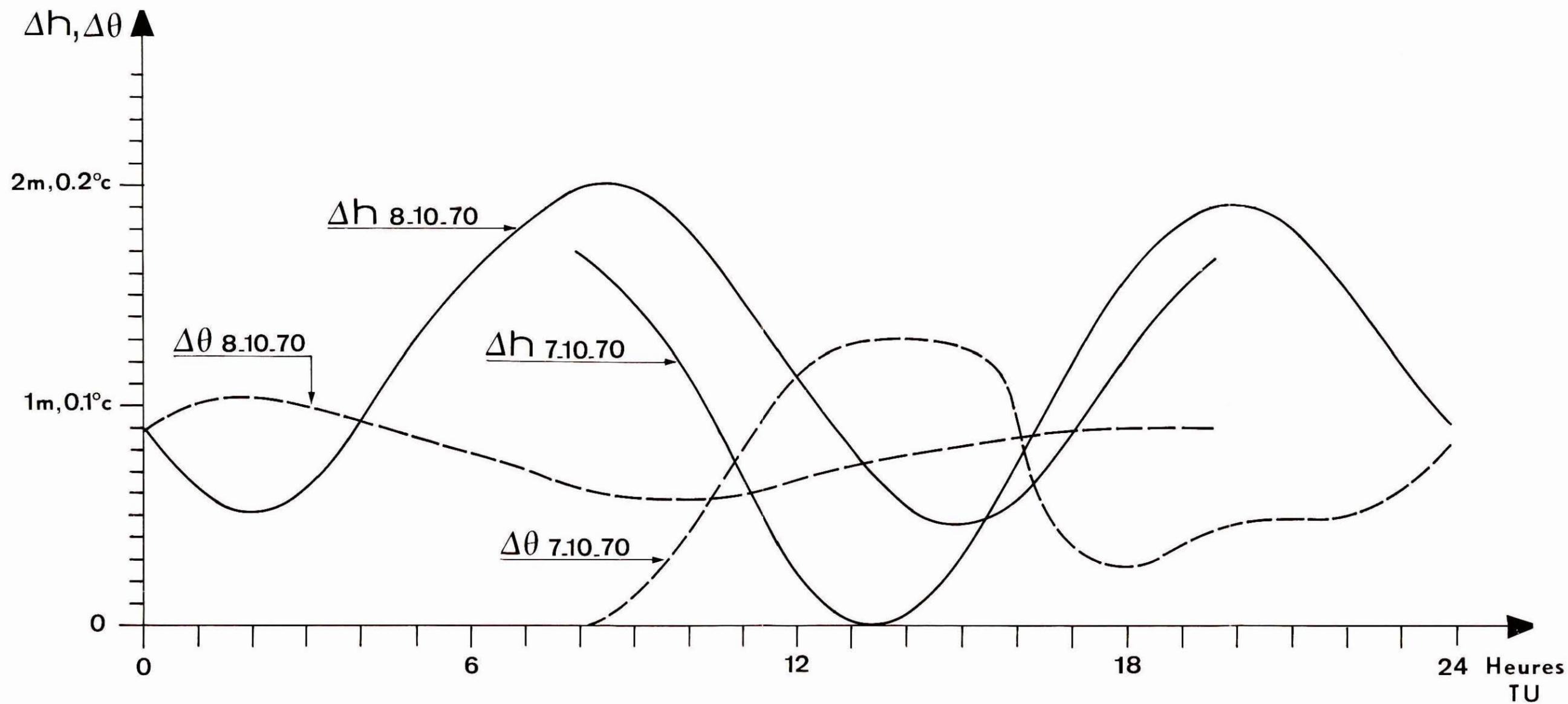


Figure 13 - Station N° 4 (Φ 45°40,8' N - G 3°29,0' W - Prof:193 m)

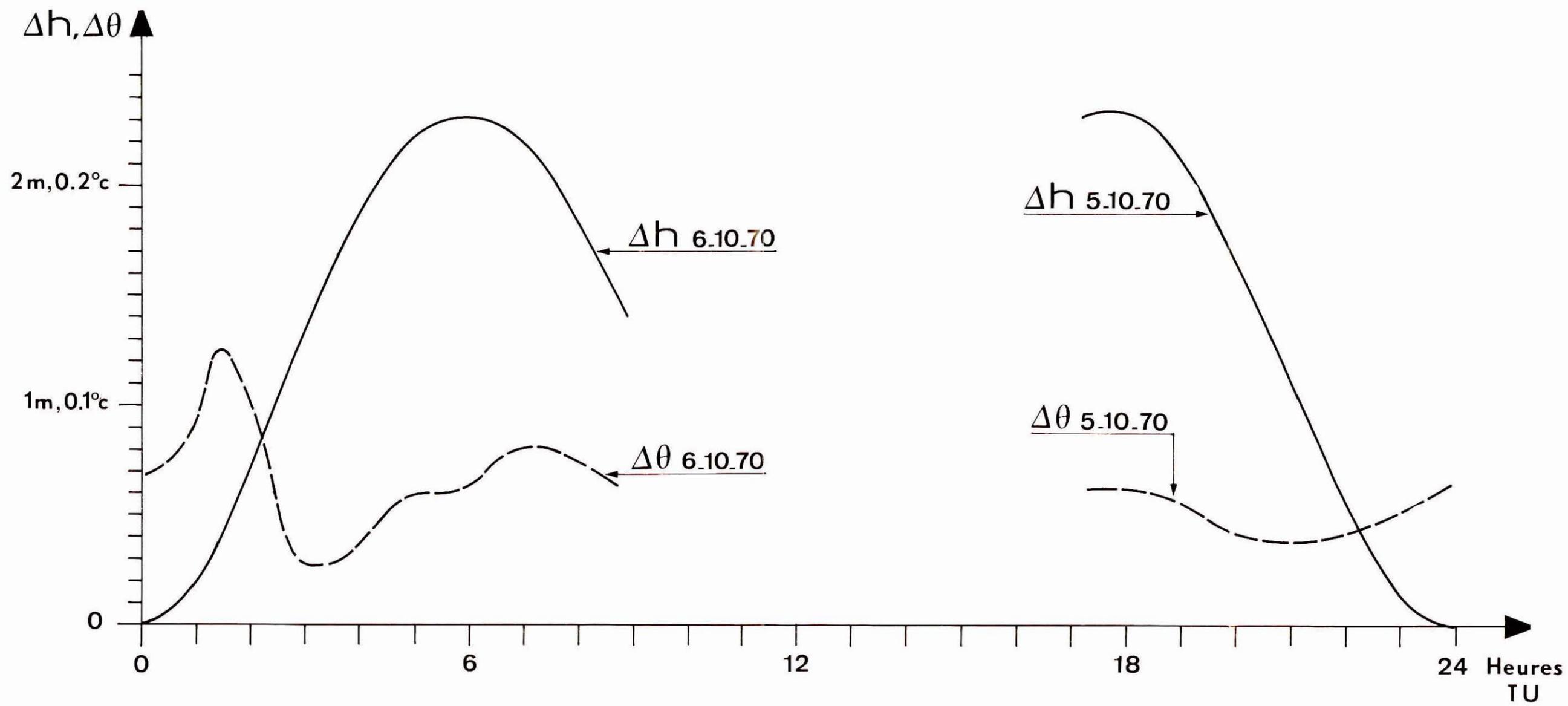


Figure 14 - Station N° 5 (Φ 44°49,2' N - G 2°05,7' W - Prof: 200m)

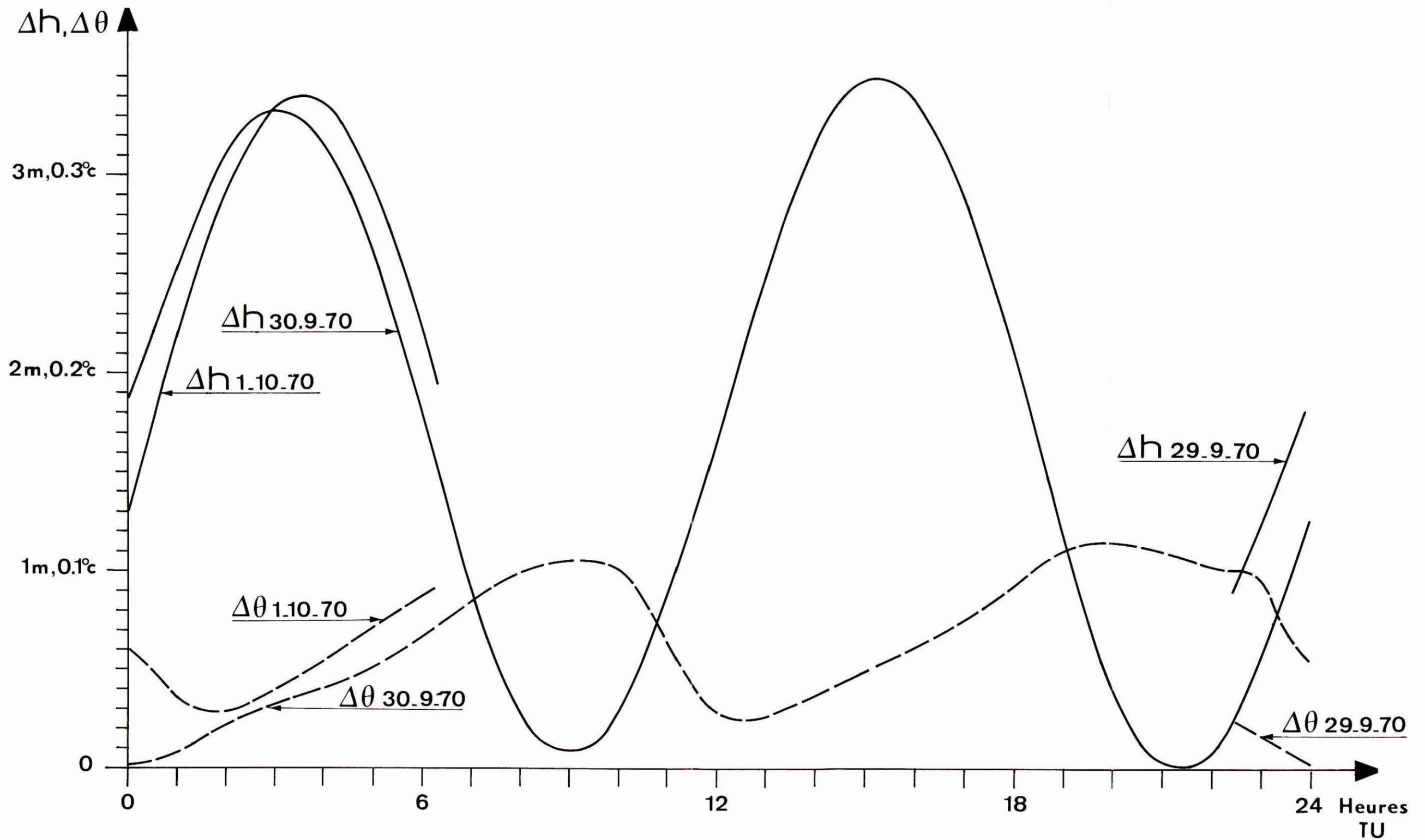


Figure 15 - Station N°6 (Φ 43°39,2'N - G 1°57,3' W - Prof: 200m)

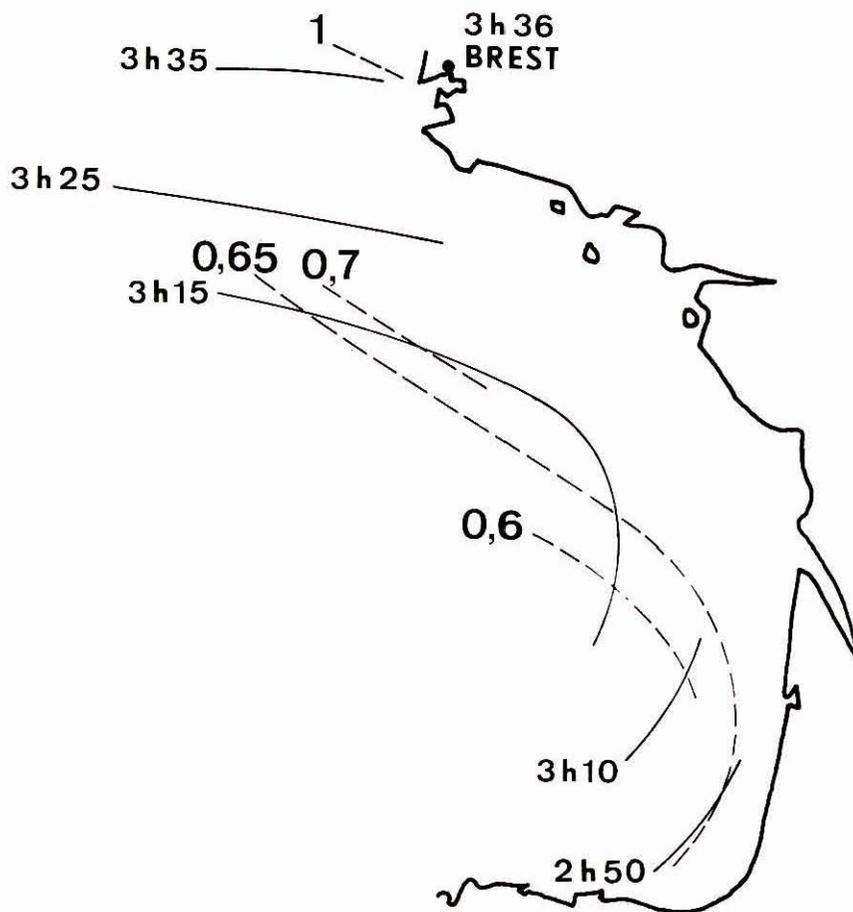


Figure 16 - ONDE DE MAREE M2 DANS LE GOLF DE GASCOGNE

les valeurs obtenues pour ces deux puissances, il vient :

$$f \sim 1.10^{-3}$$

On peut noter que cette valeur est plus faible d'un facteur 2 à 3 que les valeurs trouvées dans les autres mers littorales citées plus haut où se propagent des ondes de marée progressives. Toutefois, l'imprécision de la méthode dans le cas présent peut être invoquée : on a pu obtenir une valeur de f de l'ordre de 2.10^{-3} en prenant pour θ_0 et θ'_0 non pas les valeurs du courant correspondant à une même profondeur mais des valeurs "moyennes" du courant sur la verticale.

5. Conclusions

Les mesures faites, quoique courtes, ont donc permis, dans la région considérée, d'apporter une estimation chiffrée de l'influence sur les caractéristiques de la marée littorale du frottement de fond qui devient un terme essentiel par suite de la diminution de la profondeur. Des mesures plus longues et plus nombreuses permettraient d'affiner les résultats obtenus et d'envisager des bilans de puissance instantanée. De plus, on pourrait faire intervenir d'autres ondes composantes que M2.

Le talus du plateau continental du Golfe de Gascogne au niveau duquel l'hypothèse d'une vitesse horizontale est en défaut pourrait se prêter à l'étude de la transition de l'onde de marée océanique à l'onde de marée littorale.

Imprimé par
le Service de Documentation
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

Septembre 1976

ISSN 0339 - 2899

*Toute demande de cette publication devra être adressée
au Service Documentation*

B.N.D.O.

CENTRE OCEANOLOGIQUE DE BRETAGNE

B.P. 337

29273 BREST CEDEX