

# Un test en faveur du GEK pour la mesure du courant superficiel dans l'océan

Mesure Courant Superficiel  
Intercomparaison GEK-VACM-Trainée de Bouée  
Surface Current Measurement  
Intercomparaison GEK-VACM-Buoy Drag

P. F. Jeannin <sup>a</sup>, J. Gonella <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Muséum National d'Histoire Naturelle.

<sup>b</sup> Centre National de la Recherche Scientifique.

<sup>a, b</sup> Laboratoire d'Océanographie Physique du Muséum, 43, rue Cuvier, 75231 Paris Cedex 05.

Reçu le 14/3/78, révisé le 10/5/78, accepté le 26/6/78.

## RÉSUMÉ

Au cours de la campagne Cofrasov II (juillet 1976) en Méditerranée occidentale, des mesures de GEK ont été effectuées autour de trois mouillages de courantométrie (VACM à 5 et 50 m d'immersion). La comparaison des valeurs déduites des mesures GEK et VACM (à 5 m) donne un bon accord sur le module de la vitesse du courant, avec un rapport des valeurs quadratiques moyennes GEK/VACM de 1,04. Par contre, les écarts en direction entre GEK et VACM semblent liés à la structure thermique de la couche superficielle et varient dans le sens de la Spirale d'Ekman. Par ailleurs, sur chaque mouillage, une bouée satellite, reliée par un câble flottant de 70 m à la bouée principale, pouvait tourner librement, au gré des vents et des courants, autour de cette dernière. La position de cette bouée satellite a été comparée aux directions de la trainée, que l'on peut estimer à partir des mesures de vent, de vagues (hauteur et période) et du GEK ou du VACM à 5 m : les meilleurs résultats sont obtenus avec le GEK. Avec le type de stratification thermique rencontré, le GEK semble donner une estimation du courant marin superficiel aussi correcte sinon meilleure que celle donnée par le VACM.

*Oceanol. Acta*, 1978, 1, 4, 401-406.

## ABSTRACT

### A favourable test of GEK for oceanic surface current measurement

During the Cofrasov II cruise in the Western Mediterranean in July 1976, GEK surface current measurements around three taut surface moorings, each set comprising 2 VACMs (at depths of 5 m and 50 m), were collected on board RV « Le Suroît ». Speed data from the GEK and the 5 m-VACM correspond closely to a GEK/VACM rms ratio of 1.04. As far as current direction is concerned the results appear to be related to the thermal structure of the surface layer; the angular difference between the surface - GEK and the 5 m-VACM varies in the manner of the Ekman Spiral. In a further study, a satellite buoy was tethered with a 70 m floating cable to each mooring; the bearing of this satellite buoy was compared with the drag direction computed from each set of wind, wave (height, period) and GEK or 5 m-VACM data: GEK data were found to provide the best agreement. Under the conditions of thermal structure observed during the experiment, GEK was found to provide an estimate of the oceanic surface current as good as, if not better than the VACM estimate.

*Oceanol. Acta*, 1978, 1, 4, 401-406.

**INTRODUCTION. DISPOSITIF EXPERIMENTAL**

Le champ électrique induit par les courants marins, prédit à l'origine par Faraday (1832), fut mesuré pour la première fois en Manche par Young *et al.* (1920). Ils utilisèrent à la fois des électrodes fixes et des électrodes remorquées. Cette expérience montra clairement l'existence d'une f.e.m. due aux courants de marée. En 1946, Longuet-Higgins (1949) mesura des différences de potentiel entre des paires d'électrodes fixes, mouillées également en Manche et donna un traitement théorique des variations du champ électrique, provoquées par les courants dans un canal étroit.

Plus récemment, la technique des électrodes remorquées, plus connue sous le nom de « GEK » (Geomagnetic Electro-Kinetograph), a été développée aux États-Unis par von Arx (1950) et utilisée sur de nombreux navires océanographiques pour détecter les mouvements marins au large. Alors que cette technique était de plus en plus utilisée, le problème de l'interprétation des mesures prit une importance croissante (Stommel, 1948; Malkus, Stern, 1952; Longuet-Higgins *et al.*, 1954). En France, le GEK fut développé par J. Martin (1956) pour être utilisé à bord du « Norsel » pendant la première Expédition Antarctique Française de l'Année Géophysique Internationale.

On ne compte, parmi tous les travaux expérimentaux ou théoriques, que très peu de comparaisons entre le courant déduit des observations effectuées à l'aide du GEK et le

courant déduit d'une autre source de mesures. En 1955, J. Martin fit des essais de GEK devant Cherbourg et trouva un bon accord entre ses résultats et, d'une part, ceux du Service Hydrographique de la Marine (Lacombe, 1953) et, d'autre part, avec le courant calculé à partir de la dérive du navire hydrographique « Ingénieur Hydrographe Nicolas » pendant les essais. Il faut remarquer que ces essais se déroulaient par petits fonds (environ 30 m). En juillet 1976, dans le cadre de la campagne Cofrasov II (COopération FRANco-SOViétique), il a été réalisé une intercomparaison des mesures de courant recueillies, d'une part avec le GEK remorqué à bord du NO « Le Suroît » et, d'autre part, avec des courantomètres VACM (Vector Averaging Current Meter) mouillés dans la couche superficielle (5 m).

Les mesures de courant au point fixe ont été assurées par un réseau de trois mouillages (points A, B, C; fig. 1), implanté dans la zone de « Borha II » (42°N, 04°45'E). Chaque mouillage était composé d'une bouée principale ancrée sur le fond (2 300 m) et équipée de deux courantomètres VACM aux immersions 5 et 50 m, et d'une bouée satellite supportant une chaîne de thermistances Aanderaa de 50 m. Cette bouée satellite, reliée à la bouée principale par un câble flottant en polypropylène de 70 m, pouvait évoluer librement au gré des vents et des courants autour de cette dernière. Avec une densité inférieure à celle de l'eau de mer, le câble était balisé pour la navigation par 5 flotteurs de couleur orange ayant chacun une flottabilité de 2 kg.

Figure 1  
Position des mouillages.  
Mooring location.

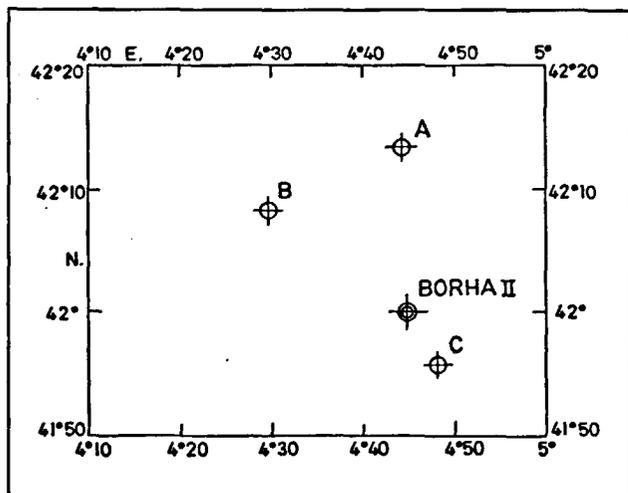
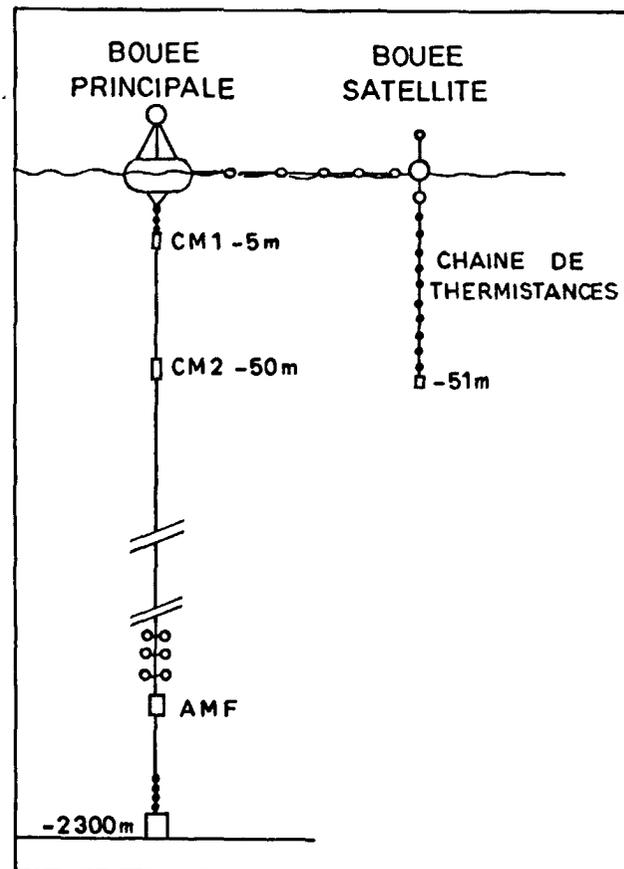


Figure 2  
Configuration d'un mouillage avec bouée de surface.  
Surface mooring configuration.



A chaque passage du NO « Le Suroît » à proximité d'un de ces points, une « boucle » GEK de forme carrée était décrite autour des bouées de courantométrie; il était noté également la position de la bouée satellite par rapport à la bouée principale. Malheureusement des défaillances instrumentales sur les VACM du point A ont réduit à une douzaine le nombre de comparaisons possibles entre VACM et GEK. Par ailleurs, à bord du NO « Le Suroît », la structure thermique de la couche superficielle de la mer a été suivie entre 0 et 50 m à l'aide d'un bathythermographe Richard. Les mesures de vent et de vagues (hauteur maximale et période moyenne sur 80 vagues consécutives) ont été recueillies sur la station automatique de la Météorologie Nationale à la Bouée-Laboratoire « Borha II ».

Ainsi avons-nous été amenés à comparer :

- les observations recueillies à l'aide d'un courantomètre à rotor qui mesure vitesse et direction à une immersion particulière (5 m);
- les observations recueillies à l'aide d'un courantomètre électromagnétique qui, théoriquement, donne la différence entre la vitesse de la couche superficielle d'épaisseur  $h$  ( $h$  pouvant être petit : quelques décimètres ou quelques mètres) et celle moyennée sur toute la colonne d'eau, l'immersion des électrodes étant de l'ordre de 10 à 20 cm au maximum;
- les observations de direction de dérive d'une bouée satellite soumise à l'action du vent, du courant et des vagues.

## RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

### Dépouillement des Mesures GEK

Le signal électrique recueilli entre les deux électrodes

remorquées en surface par un câble coaxial de densité neutre ( $d \approx 1,03$ ) était filtré du bruit de « vagues » (wave signal suppressor de von Arx), avant d'être enregistré graphiquement sur un potentiomètre Mecic.

La théorie de Faraday prévoit l'existence d'un champ électrique  $\vec{E}$  engendré par effet d'induction dans le champ magnétique terrestre  $\vec{H}$  par le courant marin  $\vec{v}$  :  $\vec{E} = \vec{v} \times \vec{H}$ .

Avec des hypothèses très restrictives (courant marin horizontal, uniforme et confiné dans une couche d'eau superficielle d'épaisseur négligeable par rapport à la couche d'eau sous-jacente supposée immobile), l'équation précédente se ramène à :  $v_t = 10 \cdot e / H_z$ , où  $v_t$  est la composante transversale exprimée en centimètres par seconde du courant marin, perpendiculairement à la ligne des électrodes;  $e$  est la différence de potentiel recueillie entre les deux électrodes distantes de 100 m et remorquées horizontalement à la surface et  $H_z$ , la composante verticale du champ magnétique terrestre exprimée en Gauss. Pendant la durée de l'expérience, l'observatoire magnétique de Chambon-la-Forêt n'a pas noté de fortes perturbations magnétiques et la composante verticale  $H_z$  a été considérée comme constante et égale à 0,387 Gs. L'ensemble des observations GEK effectuées au cours de la campagne Cofrasov II a fait l'objet d'un recueil présenté par Fieux *et al.* (1978).

La durée de la « boucle » GEK étant de 1 heure environ, le vecteur courant GEK a été déduit des composantes moyennées sur les quatre côtés de la boucle et comparé aux valeurs moyennées sur 1 heure des mesures VACM (Kartavtseff *et al.*, 1977).

Le tableau 1 résume l'ensemble des mesures effectuées dans le cadre de cette intercomparaison.

Tableau 1

Intercomparaison GEK-VACM, Cofrasov II, juillet 1976.

Intercomparison GEK-VACM, Cofrasov II, July 1976.

Juillet 1976 N° jour-heure TU	Point	GEK		VACM-5 m		Vent(*)		Bouée relvt. $\alpha$	Immersion thermocline $m$	Vagues	
		$V_1$ (cm/s)	$\theta_1^\circ$	$V_2$ (cm/s)	$\theta_2^\circ$	$V_3$ (m/s)	$\theta_3^\circ$			Période $h$	Hauteur maximale $m$
1 10-11 h 15 mn	C	10,0	289°	21,0	297°	09,0	090°	—	15	4.1	3.9
2 16-16 h 30 mn	C	12,2	061°	11,2	064°	03,0	340°	030°	05	2.8	0.8
3 16-20 h 30 mn	B	17,3	152°	12,3	136°	03,0	290°	135°	06	2.9	1.0
4 17-04 h 30 mn	C	16,3	244°	14,6	245°	04,0	310°	255°	05	2.8	1.0
5 17-12 h 45 mn	B	17,6	062°	21,6	056°	01,0	230°	044°	05	2.8	1.1
6 17-16 h 30 mn	C	25,7	163°	30,7	162°	06,0	150°	165°	06	2.7	1.2
7 17-21 h 00 mn	A	22,5	162°	—	—	13,0	110°	165°	10	4.4	4.5
8 18-06 h 45 mn	B	19,2	191°	20,0	250°	15,0	110°	140°	24	4.6	4.9
9 18-15 h 00 mn	C	12,2	214°	17,5	288°	08,0	090°	220°	24	4.2	1.9
10 18-22 h 00 mn	A	18,5	120°	—	—	06,0	100°	092°	20	3.4	1.3
11 20-00 h 45 mn	A	09,0	122°	—	—	08,0	090°	170°	22	3.2	1.5
12 20-04 h 45 mn	C	15,0	125°	04,6	252°	14,0	090°	149°	21	4.0	4.0
13 20-10 h 30 mn	B	35,5	186°	23,5	216°	11,0	090°	190°	27	3.9	4.0
14 20-14 h 45 mn	A	07,0	204°	—	—	08,0	090°	188°	20	3.8	2.7
15 20-21 h 00 mn	C	13,0	146°	06,6	194°	11,0	100°	090°	27	3.3	1.9
16 21-02 h 15 mn	B	45,7	140°	43,5	180°	11,0	130°	160°	29	3.3	3.2
17 21-05 h 30 mn	A	30,0	190°	—	—	13,0	130°	183°	23	3.6	3.5

(\*) Direction du vent exprimée avec la même convention que le courant (direction vers laquelle il porte).

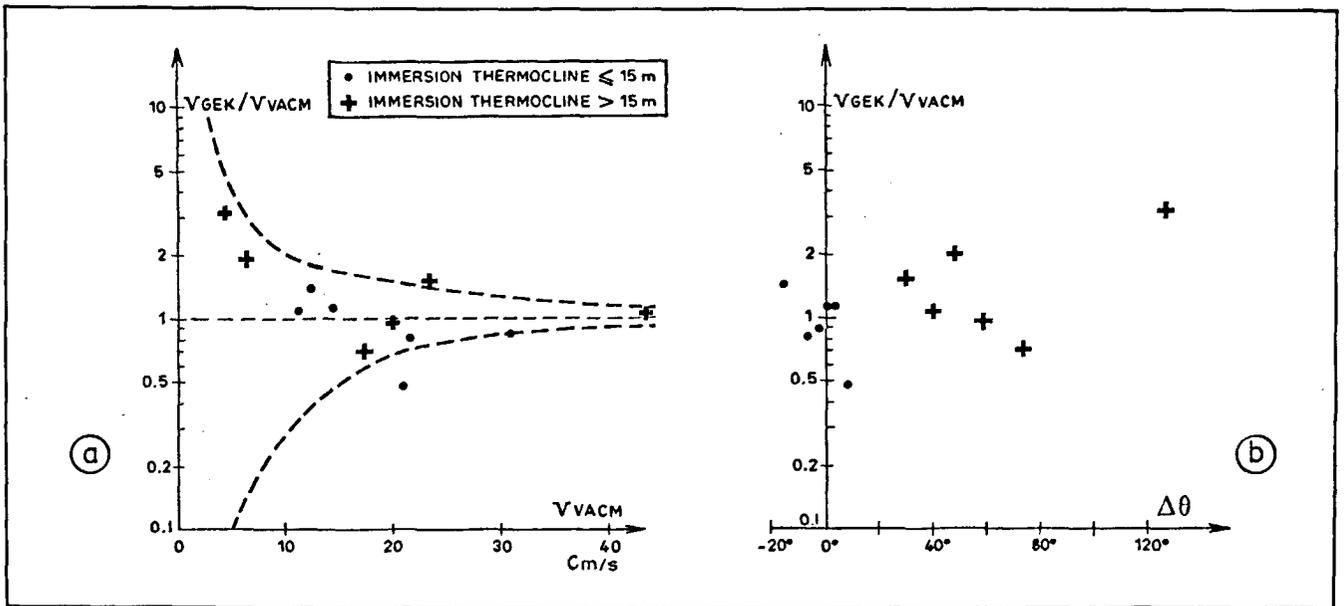


Figure 3  
 a. Rapport vitesse GEK-vitesse VACM en fonction de la vitesse VACM.  
 GEK/VACM speed ratio in relation to VACM speed.

b. Rapport vitesse GEK-vitesse VACM en fonction de l'écart angulaire  $\Delta\theta = \theta_{VACM} - \theta_{GEK}$ .  
 Speed ratio GEK/VACM in relation to the angular difference  $\Delta\theta = \theta_{VACM} - \theta_{GEK}$ .

**Intercomparaison GEK-VACM**

Les indications du VACM étant prises comme référence, les figures 3 a et 3 b donnent respectivement :

- le rapport des vitesses  $V_{GEK}/V_{VACM}$  en fonction de la vitesse du VACM;
- le rapport des vitesses  $V_{GEK}/V_{VACM}$  en fonction de l'écart angulaire  $\Delta\theta = \theta_{VACM} - \theta_{GEK}$  entre la direction du VACM et celle donnée par le GEK.

Sur la figure 3 a sont portées également les limites supérieures et inférieures du rapport des vitesses obtenues dans l'intercomparaison de deux courantomètres VACM; l'un, à bord de « Borha » à 4 m d'immersion, avait été pris comme référence; l'autre était placé à 5 m d'immersion sur une bouée satellite de « Borha » (Gonella, 1976). Toutes les valeurs, sauf une, du rapport GEK/VACM se trouvent incluses dans ces limites. Par ailleurs, le rapport des valeurs quadratiques moyennes de ces vitesses, égal à 1,04, confirme leur bonne correspondance.

Par contre, la figure 3 b montre deux groupes distincts, l'un concentré autour des valeurs de  $\Delta\theta = 0^\circ$ , l'autre plus dispersé autour de  $\Delta\theta \approx 40-60^\circ$ . Cet écart est à relier à la structure thermique superficielle : le premier groupe de points correspond à la présence d'une première thermocline entre 6 et 15 m (fig. 4, profil type a). Les points du second groupe sont obtenus en présence d'une couche de mélange plus épaisse et d'une thermocline à 20 m ou au-delà (fig. 4, profil type b).

Le tableau 2 résume cette intercomparaison en indiquant également le coefficient de corrélation vectorielle (nombre complexe) :

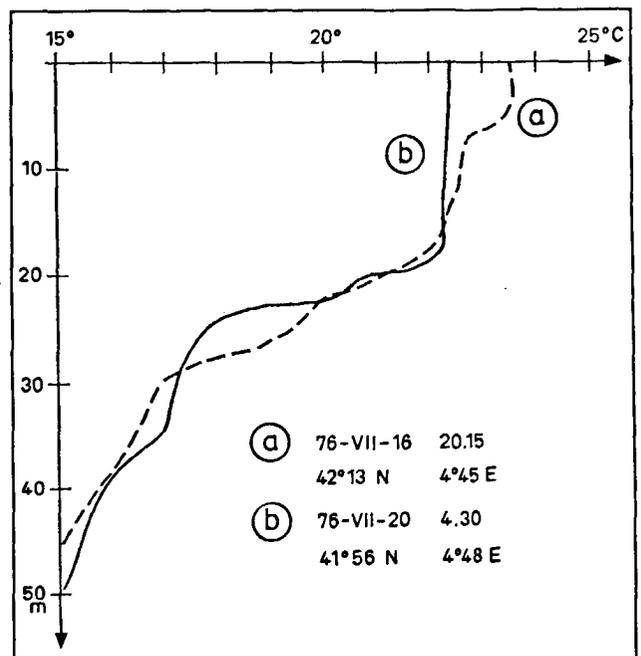
$$C_R = \frac{\langle V_{VACM} \cdot V_{GEK} \cdot \exp(i\Delta\theta) \rangle}{(\langle V_{VACM}^2 \rangle \cdot \langle V_{GEK}^2 \rangle)^{1/2}} = |C_R| \cdot \exp(i\phi)$$

Dans les deux cas de structure thermique rencontrés, les valeurs du module de la corrélation restent élevées : 0,95 et 0,93; il n'en est pas de même pour les écarts angulaires  $\phi$ , qui sont bien distincts :  $-2^\circ$  pour  $h < 15$  m et  $+43^\circ$  pour  $h > 20$  m.

**Comparaison des observations GEK, VACM et relèvement bouée satellite**

La connaissance du relèvement de la bouée satellite par rapport à la bouée principale - angle qui peut être considéré comme un indicateur de direction du courant

Figure 4  
 Types de profil thermique.  
 Typical thermal structure.



superficiel — nous a conduits à examiner la concordance de cette observation avec celles du GEK et du VACM dans le cas où ces trois mesures existent simultanément. La position de la bouée satellite dépend : de l'effort exercé par le vent sur la partie aérienne de la bouée et des boules de balisage du câble flottant, de l'action du courant et des vagues sur le câble flottant et la partie immergée de la bouée, et enfin de la traînée du courant sur la chaîne de thermistances.

La traînée, due à l'action des vagues et du courant, a été étudiée par Saunders (1977), qui démontre que l'effet des vagues ne peut être négligé. Cette traînée peut être considérée en première approximation comme proportionnelle à  $\bar{V}_s \cdot \bar{V}_w$ , où  $\bar{V}_s$  est le courant superficiel, mesuré ici par le GEK ou le VACM et  $\bar{V}_w$  la valeur quadratique moyenne de la vitesse orbitale des vagues. Cette vitesse orbitale sera prise ici égale à  $\bar{V}_w = (2\pi/T)\bar{a}$ , où  $2\bar{a}$  est la hauteur quadratique moyenne des vagues et T leur période moyenne. Les mesures de « Borha » donnant la hauteur maximale  $2a_{max}$  avec la période moyenne T sur 80 vagues, la demi-hauteur quadratique moyenne  $\bar{a}$  est déduite de la loi de probabilité donnée par Longuet-Higgins (1952), reliant, pour un spectre de vagues étroit et un nombre de vagues donné, l'amplitude quadratique moyenne ( $\bar{a}$ ) à l'amplitude maximale  $a_{max}$ ; soit pour 80 vagues :  $a_{max} = 2,1\bar{a}$ .

Ensuite, en supposant, 1° que la vitesse orbitale n'agit que sur le flotteur de surface et non sur la chaîne de thermistances; 2° que les courants de part et d'autre de la thermocline sont respectivement égaux à ceux mesurés par les VACM à 5 et 50 m, et enfin en négligeant l'effet du vent, on déduit que la traînée de la bouée représente à elle seule de 85 à 98 % de la traînée totale selon les états de mer et l'immersion de la thermocline.

Aussi, dans un premier temps, en négligeant l'action du vent et la traînée sur la chaîne de thermistance, un coefficient de comparaison peut être défini par

$$C_c = \frac{\langle \bar{V}_s \cdot \bar{V}_w \cdot \exp(i\Delta\alpha) \rangle}{\langle \bar{V}_s \cdot \bar{V}_w \rangle} = |C_c| \cdot \exp(i\varphi),$$

où  $\bar{V}_s$  est le module de la vitesse du courant donnée par le GEK ou le VACM et  $\Delta\alpha$ , l'écart angulaire entre le relèvement  $\alpha$  de la bouée satellite et la direction  $\theta$  indiquée par le GEK ou le VACM ( $\Delta\alpha = \alpha - \theta$ ). Ce coefficient complexe n'est pas exactement un coefficient de corrélation; il aurait fallu connaître, avec le relèvement de la bouée satellite, la tension du câble flottant. Le tableau 3 donne l'ensemble des valeurs de ce coefficient (module et phase) pour les deux situations de structure

Tableau 3

Coefficient de comparaison entre la position de la bouée satellite et les mesures GEK-VACM dans le cas où ces trois mesures existent simultanément.

Comparison coefficient between satellite buoy bearings and GEK and VACM measurements when the three sets of data are collected simultaneously.

Nombre de points de comparaison	Immersion thermocline	VACM-Bouée		GEK-Bouée	
		Module	Phase	Module	Phase
5	$h \leq 15$ m	0,99	- 1°	0,98	- 4°
6	$h \geq 20$ m	0,74	- 48°	0,89	+ 2°
11	quelconque	0,75	- 42°	0,90	+ 1°

thermique rencontrées. Dans le cas où l'immersion de la thermocline est inférieure à 15 m, la comparaison donne des résultats analogues avec le GEK et avec le VACM. Par contre, lorsque la thermocline est plus profonde, avec une valeur de 0,89, le coefficient de comparaison est plus favorable au GEK; il est de 0,74 pour le VACM. Ce résultat nous a amenés à examiner dans un deuxième temps l'ensemble des couples de mesures GEK-relèvement bouée satellite.

Sur la figure 5 sont reportés les points représentant les écarts angulaires  $\Delta\alpha = \alpha - \theta_{GEK}$  en fonction de la vitesse du courant mesurée par le GEK. La dispersion des points autour de  $\Delta\alpha = 0^\circ$  est assez grande pour les vitesses inférieures à 20 cm/sec mais diminue considérablement

Figure 5

Écart angulaire  $\Delta\alpha$  entre le relèvement  $\alpha$  de la bouée-satellite et la direction GEK.

Angular difference  $\Delta\alpha$  between the bearing of the satellite buoy and the GEK direction.

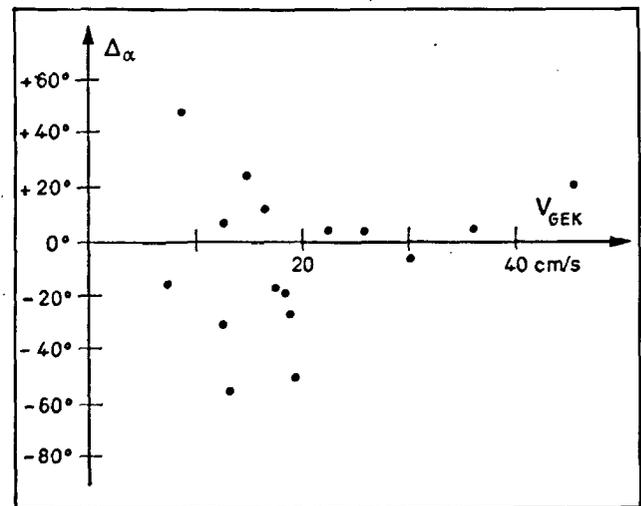


Tableau 2

Intercomparaison GEK-VACM. Intercomparison GEK-VACM.

Nombre de points de comparaison	Immersion thermocline h (m)	Vitesse quadratique moyenne				Corrélation vectorielle	
		Vent (m/s)	GEK (cm/s)	VACM (cm/s)	Rapport GEK-VACM	Module	Phase
6	$h \leq 15$ m	5,0	17,25	19,75	0,87	0,95	- 02°
6	$h \geq 20$ m	11,9	26,65	23,15	1,15	0,93	+ 43°
12	quelconque	9,1	22,45	21,50	1,04	0,87	+ 20°

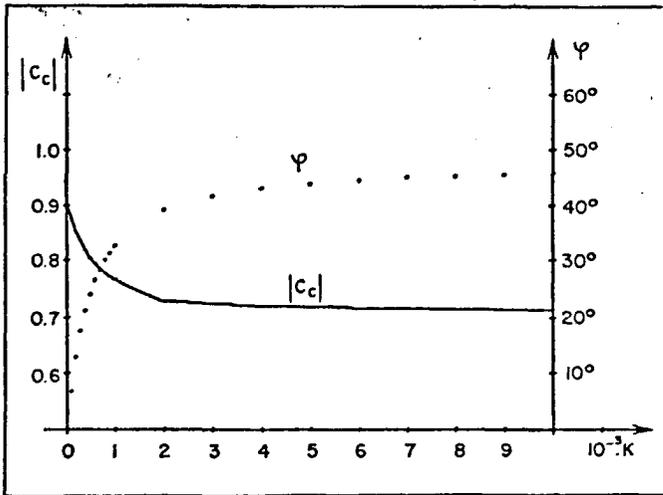


Figure 6  
Module et phase du coefficient de comparaison entre la traînée  $\tau$  et le GEK en fonction du paramètre  $10^{-3} \times K$ .  
Module and phase of the comparison coefficient between the drag  $\tau$  and the GEK, in relation to the parameter  $10^{-3} \times K$ .

pour les vitesses supérieures. Nous avons vu que l'estimation de la traînée sur la chaîne de thermistances est au plus de 15 % de la traînée totale due aux vagues et au courant; aussi la négligerons-nous. Nous pouvons ainsi supposer que la tension sur le câble retenant la bouée satellite est essentiellement due à la traînée  $\vec{\tau}$  exercée par le courant  $\vec{V}_{GEK}$  et la vitesse orbitale des vagues  $\vec{V}_w$ , d'une part, et le vent  $\vec{V}_v$ , d'autre part :

$$\vec{\tau} \sim \vec{V}_{GEK} \cdot \vec{V}_w + K \cdot |\vec{V}_v| \cdot \vec{V}_v.$$

L'étude du coefficient de comparaison entre  $\tau$  (complexe associé au vecteur  $\vec{\tau}$ ) et le relèvement de la bouée :

$$C_c = \frac{\langle |\tau| \cdot \exp(i\alpha) \rangle}{\langle |\tau| \rangle} = |C_c| \cdot \exp(i\varphi),$$

en fonction de la valeur de K (fig. 6) montre que le coefficient le plus favorable (module maximal égal à 0,91 et écart angulaire minimal égal à  $-1^\circ$ ) est obtenu en négligeant l'effet du vent ( $K=0$ ) sur l'ensemble des 16 paires de valeurs d'intercomparaison. En éliminant le courant ( $K \rightarrow \infty$ ), le coefficient pour le vent donne un module de 0,71 et un écart angulaire de  $+47^\circ$ .

### INTERPRÉTATION ET CONCLUSION

En résumé, cette analyse nous montre que, si le relèvement de la bouée est pris comme direction de référence, celle du courant GEK se trouve confondue avec cette référence, alors que le vecteur vent se trouve à gauche ( $\varphi = +47^\circ$ ) et que le vecteur courant VACM porte, selon l'immersion de la thermocline, soit dans la direction de référence ( $h < 15$  m), soit à  $48^\circ$  à droite ( $\varphi = -48^\circ$  pour  $h > 20$  m). Ces positions relatives sont, sur le plan qualitatif, en accord avec la théorie d'Ekman établie pour une couche d'eau d'épaisseur  $h$  glissant sans frottement sur la couche sous-jacente (Gonella, 1971). En effet, cette théorie montre qu'avec un coefficient de viscosité turbulente constant, l'écart angulaire entre le courant de surface et une immersion déterminée augmente avec l'épaisseur  $h$  de la couche pour atteindre

la valeur limite donnée par la spirale d'Ekman à l'immersion considérée.

En conclusion, la cohérence de ces observations nous fait penser que la mesure obtenue avec le GEK dans les conditions de stratification thermique rencontrées constitue une estimation du courant marin superficiel aussi correcte sinon meilleure que celle donnée par le VACM. Toutefois, cette expérience mériterait d'être reprise en hiver lorsque la stratification liée à la thermocline saisonnière a disparu; ce test aurait une très grande importance pour la validation des données recueillies avec le GEK, d'une part, et, d'autre part, permettrait de contrôler les mesures de courant effectuées par l'analyse des spectres rétrodiffusés des ondes radar (dérive Doppler des fréquences émises) sur une zone déterminée.

### Remerciements

Ce travail a été effectué dans le cadre des contrats de recherche du Centre National pour l'Exploitation des Océans, avec la participation de l'ensemble des équipes techniques du Laboratoire d'Océanographie Physique du Muséum National d'Histoire Naturelle (Lop-Museum).

Les auteurs ont apprécié également les échanges de vues fructueux avec P. Saunders, de l'Institut des Sciences Océanographiques de Wormley (GB).

### RÉFÉRENCES

Faraday M., 1832. Bakerian Lecture-Experimental researches in electricity, *Philos. Trans. R. Soc. London*, Part I, 163-177.  
 Fioux M., Kartavtseff A., Jeannin P. F., 1978. Campagne Cofrasov II (1976), Vol. II : Mesures à bord du NO « Le Suroît » et à bord de la BL « Borha II », Rapp. int. LOP-Museum, janv. 78, n° 78-1.  
 Gonella J., 1976. Mooring effects on current-meters intercomparisons, *Polymode News*, 15, septembre 1976, unpubl. manusc.  
 Gonella J., 1971. The drift current from observations made on the Bouée-Laboratoire, *Cah. Océanogr.*, 23, 1, 19-33.  
 Kartavtseff A., Fioux M., Soares G., 1977. Campagne Cofrasov II (1976), Vol. I : Courantométrie et thermistances, Rapp. int. LOP-Museum, décembre 1977.  
 Lacombe H., 1953. Courants de marée dans la Manche et sur les côtes françaises de l'Atlantique, *SHM*, n° 427 A.  
 Longuet-Higgins M. S., 1949. The electrical and magnetic effects of tidal streams, *Mon. Not. R. Astron. Soc., Geophys. Suppl.*, 5, p. 283.  
 Longuet-Higgins M. S., 1952. On the statistical distribution of the heights of sea waves, *J. Mar. Res.*, 11, 3, 245-266.  
 Longuet-Higgins M. S., Stern M. E., Stommel H., 1954. The electrical field induced by ocean currents and waves, with applications to the method of towed electrodes, *Papers in physical oceanography and meteorology* published by the MIT and the WHOI, 13, 1, novembre 1954.  
 Malkus W. V. R., Stern M. E., 1952. Determination of ocean transports and velocities by electromagnetic effects, *J. Mar. Res.*, 2, 2, 97-105.  
 Martin J., 1956. Utilisation du courantomètre électrique à électrodes remorquées. *Bull. d'Inform. du Coec*, VIII, 1<sup>re</sup> Part. : 0 (septembre-octobre), p. 355; 2<sup>e</sup> Part. : 9 (novembre), p. 465; id. in *Année Géophys. Internat., Océanogr. Phys.*, Publ. du Cnrs, sér. 10, fasc. 1, 1962, p. 13.  
 Saunders P. M., 1977. Average drag in an oscillatory flow, *Deep-Sea Res.*, 24, 381-384.  
 Stommel H., 1948. The theory of the electric field induced in deep ocean currents, *J. Mar. Res.*, 7, 3, 386-392.  
 von Arx W. S., 1950. An electromagnetic method for measuring the velocities of ocean currents from a ship under way, *Pap. Phys. Oceanogr. Meteor.*, 2, 3, 1-62.  
 Young F. B., Gerrard H., Devon W. 1920. On electrical disturbances due to tides and waves, *Philos. Mag.*, ser. 6, 40, 149-159.