

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER  
Centre d'Adiopodoumé

---

Laboratoire de Sédimentologie

EROSION - TRANSPORT - SEDIMENTATION  
EN MILIEU INTERTROPICAL  
(Côte d'Ivoire)

MECANISMES PHYSIQUES ET CHIMIQUES  
DE LA MAREE DANS LE COURS INFERIEUR DU BANDAMA

François LENOIR et Claude MONNET

Septembre 1968

Ce rapport entre dans le cadre de l'étude sur l'érosion, le transport et la sédimentation en milieu intertropical (Bassin du BANDAMA).

Cette opération a été conçue et dirigée par Monsieur le Professeur J-Ph. MANGIN<sup>(1)</sup>.

(1) - Laboratoire de Géologie et de Sédimentologie.  
Faculté des Sciences de NICE.

## PLAN DE L'ETUDE

INTRODUCTION

CADRE GEOGRAPHIQUE

I - MAREE DYNAMIQUE

II - ETUDE DES COURANTS (Tableau)

III - MAREE SALINE :

1) VARIATIONS DE LA RESISTIVITE DES EAUX

2) CHIMIE DES EAUX MELANGEES (2 Tableaux)

IV - CONCLUSION

# MECANISMES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE LA MAREE DANS LE COURS INFERIEUR DU BANDAMA

## INTRODUCTION

Les eaux du cours inférieur du Bandama sont affectées, mécaniquement et chimiquement par la dynamique des eaux océaniques. Trois missions ont été effectuées en période d'étiage du fleuve et en marées de vives eaux (mois de février et mars), pour étudier les mécanismes de ces phénomènes, au maximum de pénétration saline. Elles ont permis de délimiter la zone maximale des échanges eaux fluviales - eaux marines et la zone d'influence de la marée dynamique. Il est, en effet, nécessaire de bien connaître les caractéristiques de cette zone charnière où les eaux de la totalité du bassin versant du Bandama, avant de se jeter dans l'océan, rencontrent des conditions mécaniques et physico-chimiques très particulières, qui détermineront notamment le devenir des sédiments transportés par ce fleuve.

## CADRE GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE (carte - figure 1).

Le fleuve Bandama, qui draine une superficie totale de 97.000 Km<sup>2</sup>, présente en son cours terminal, un élargissement appelé lagune de Grand-Lahou, celle-ci est en communication avec l'océan par l'intermédiaire d'un grau. Ce complexe fluvio-marin a fait l'objet de nombreuses études d'échanges saisonniers eaux douces - eaux salées; dans ce rapport, nous n'étudierons que la zone de contact située entre N'Zida et Tamabo (voir fig.1) où l'on ne rencontre plus d'eaux franchement salées, mais des eaux mélangées.

L'étude se subdivisera en trois parties :

- Marée dynamique
- Etude des courants
- Marée saline.



## I.- MAREE DYNAMIQUE

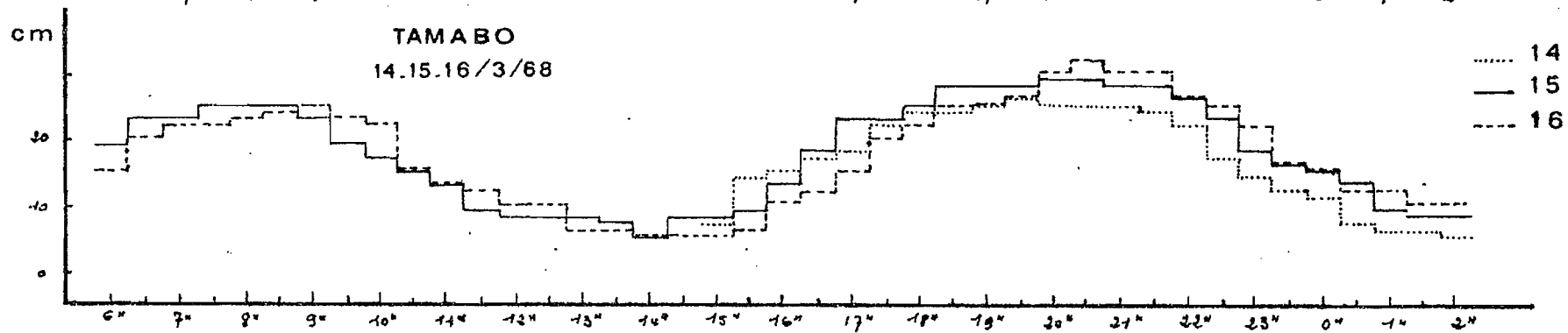
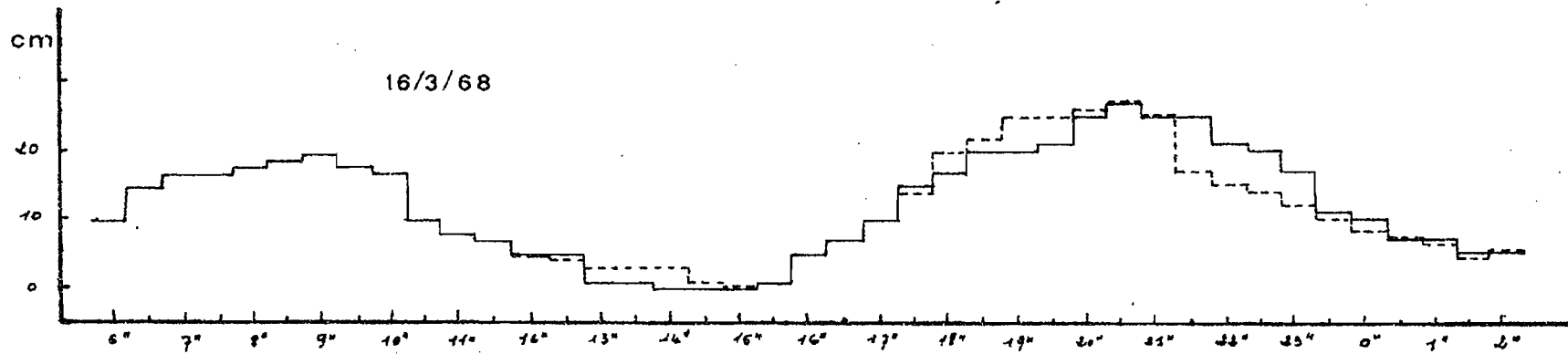
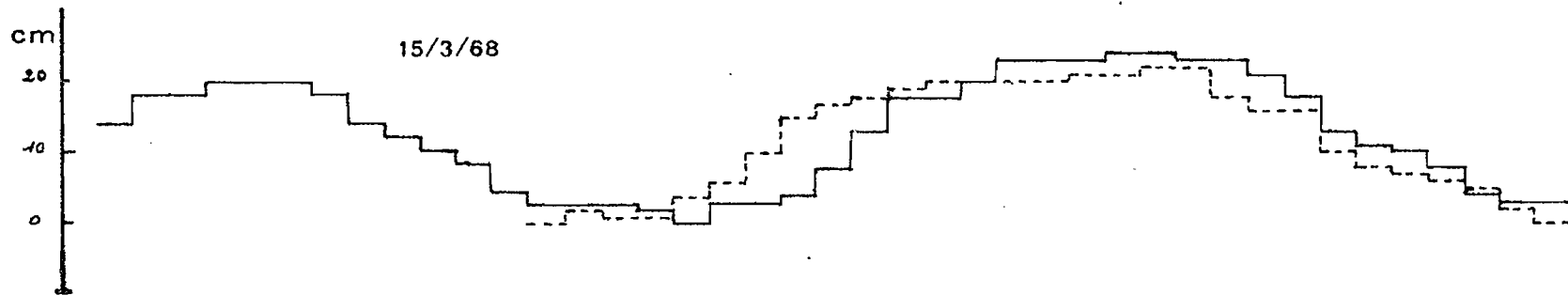
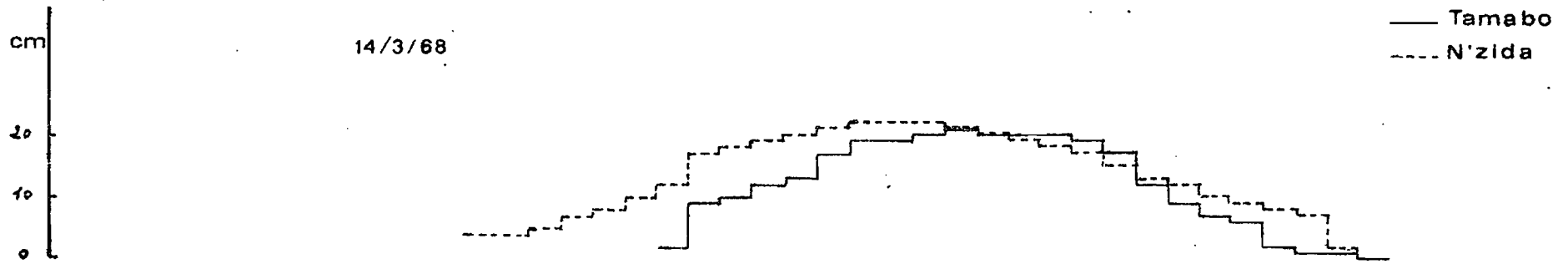
Pour l'étude de la marée dynamique nous disposons d'un maré-  
graphe placé à proximité de l'embouchure du Bandama, à Grand Lahou,  
ce limnigraphe est doté d'un mouvement mensuel. Deux stations à  
échelles limnimétriques ont été installées à N'Zida (17 Km en  
amont de Grand Lahou) et à Tamabo (42 Km en amont de Grand Lahou).  
Ces sections ne peuvent être étalonnées par suite de l'influence  
de l'onde de marée, aussi, il s'agit que de stations de lectures  
de hauteurs d'eau, faites deux fois par jour. Le débit journalier  
du fleuve nous est fourni par la station de Tiassalé, section qui  
intègre 97% du bassin versant du Bandama et qui n'est pas perturbée  
par la marée dynamique.

Lors des missions, des lectures limnimétriques sont faites  
toutes les demi-heures, pendant la durée d'une marée complète,  
soit treize à quatorze heures. Les amplitudes des hauteurs d'eau  
relevées les 14 - 15 et 16 mars 1968 sont les suivantes (fig. 2) =

Date	Amplitude N'Zida (cm)		Amplitude Tamabo (cm)		Débit Tiassalé (m <sup>3</sup> /s)	Coefficient de Marée Grand-Lahou
	MH	MB	MH	MB		
14	18	22	21	19	15,6	20 - 120
15	22	22	24	20	"	20 - 130
16	27	23	27	20	"	20 - 130

Il est à noter que le marnage à Grand-Lahou et par suite les  
variations des niveaux d'eau dans le cours inférieur du fleuve  
sont influencés par la communication de la lagune de Grand-Lahou  
avec les lagunes occidentale et septentrionale (TAGBA). Nous remar-  
quons que, pour des marées de vives eaux, les amplitudes enregis-  
trées à N'zida et Tamabo sont sensiblement du même ordre (20 à 25  
cm en moyenne), ceci pour une distance de 25 Km. Le retard de phase  
en période de flot est de 1h - 1h30 entre<sup>les</sup> deux stations étudiées,  
ce retard est évidemment moins prononcé en période de jusant.

# MAREE DYNAMIQUE A TAMABO ET N'ZIDA



Les lectures faites en temps normal, deux fois par jour, montrent que l'onde de marée ne se fait plus sentir aux deux stations considérées, lorsque le débit du fleuve à Tiassalé atteint environ 220 m<sup>3</sup>/s, ainsi pour l'année 1967, le phénomène s'est produit du 15 août au 20 novembre,.

## II.- ETUDE DES COURANTS

Au cours de la mission de mars 1968, les vitesses de courants ont été mesurées aux stations 19 et 21 (voir fig.1). Ces mesures ont été faites toutes les demi-heures à des profondeurs distantes de 0,50 m.

L'étude des courbes d'égale vitesse des courants au cours d'une marée (graph.7) et des courbes de variations de vitesses à chaque profondeur (graph. 5, 6 et 8) nous permet de constater les phénomènes suivants:

A la station 19, les courants de marée montante affectent une tranche d'eau moins épaisse que les courants de marée descendante (2,00 - 2,50 m, et 2,50- 3,00 m).

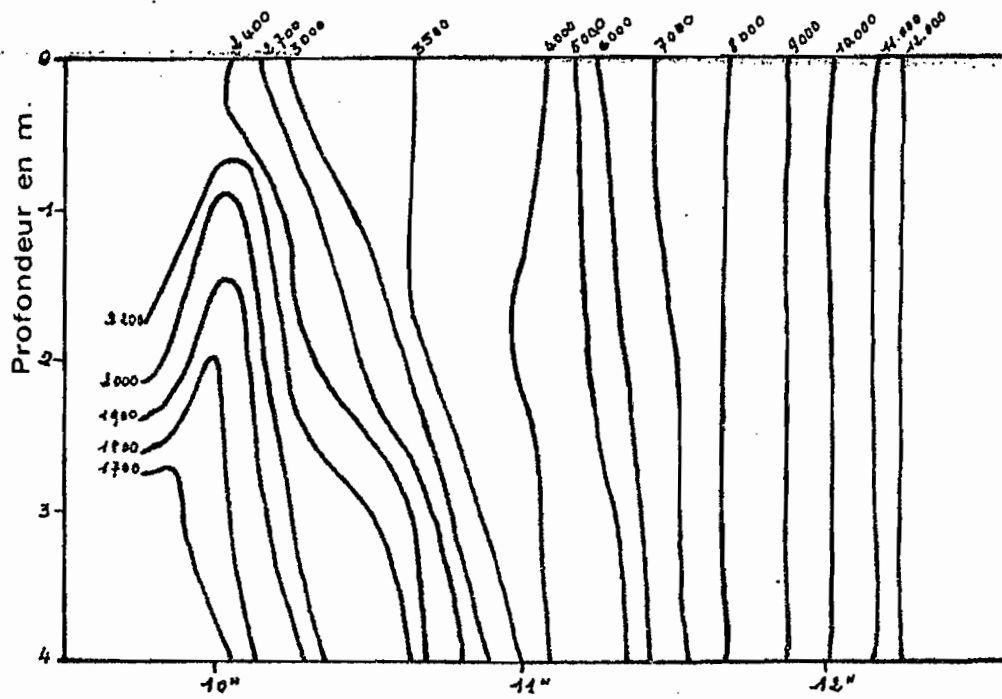
La durée des courants est plus importante en jusant qu'en flot. (en surface= 6h.30 en jusant, 4h.15 en flot). La période d'étale est de 2h.30.

Les vitesses de courant augmentent plus rapidement en début de jusant; de 21h à 21h.45, elles atteignent leurs valeurs maximales jusqu'à 1,50m de profondeur (voir tableau A); à 22h.15, les vitesses maximales sont atteintes aux profondeurs 2,00 et 2,50m. En début du **flot**, la répartition des maximum de vitesses, à chaque profondeur, est plus étalée dans le temps: de 15h.45 à 17h.45. En fin de jusant, la décroissance des vitesses est plus lente qu'en fin de flot.



Les vitesses sont plus fortes en marée descendante qu'en marée montante (maximum en jusant : 0,300 m/s - maximum en flot : 0,230 m/s). Leur répartition est également plus homogène.

Au dessus de 2,00m - 2,50 m en flot et 2,50 - 3,00 m en jusant, les vitesses de courant sont toujours nulles, l'étale est permanent.



VARIATIONS DE LA RESISTIVITE

A LA STATION 17

16/2/68

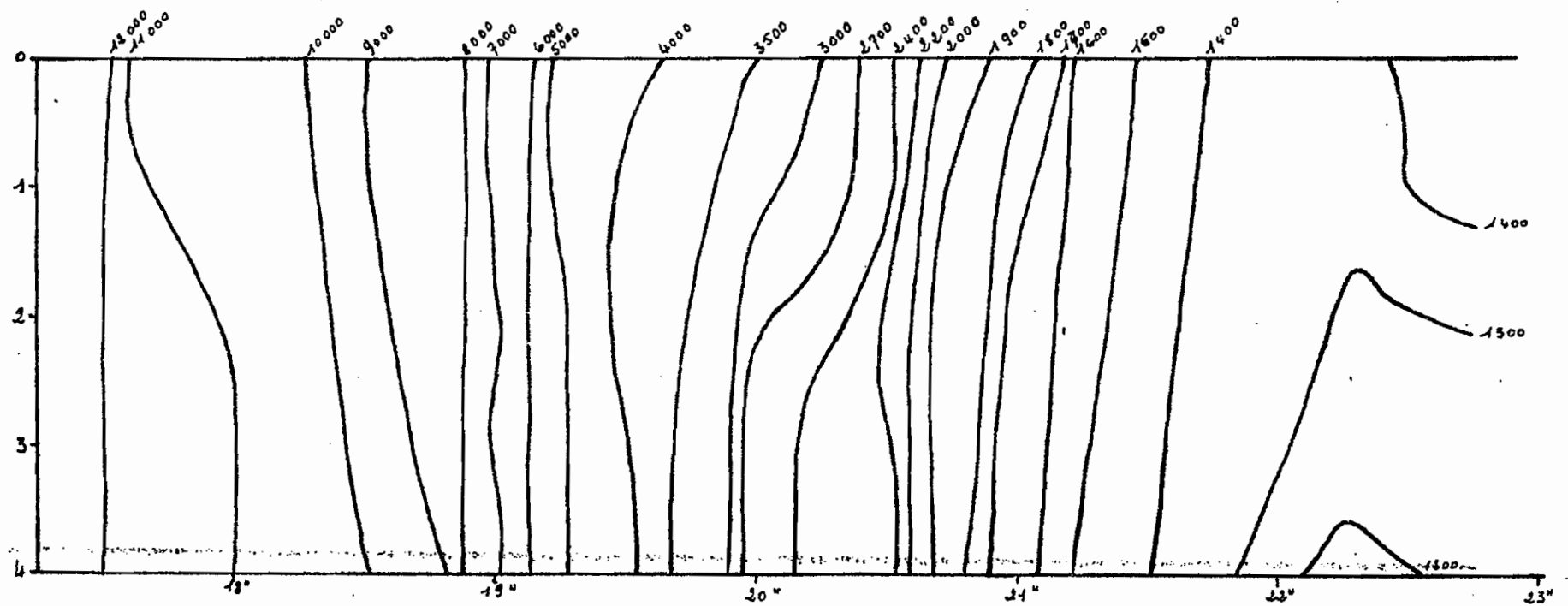


Fig. 3-4

# VITESSES DE COURANT ET RESISTIVITES A LA STATION 19

15-16/3/68

$V$  m/s

—  $\rho$   $\Omega$ /cm/cm<sup>2</sup>  
 - - -  $V$  m/s

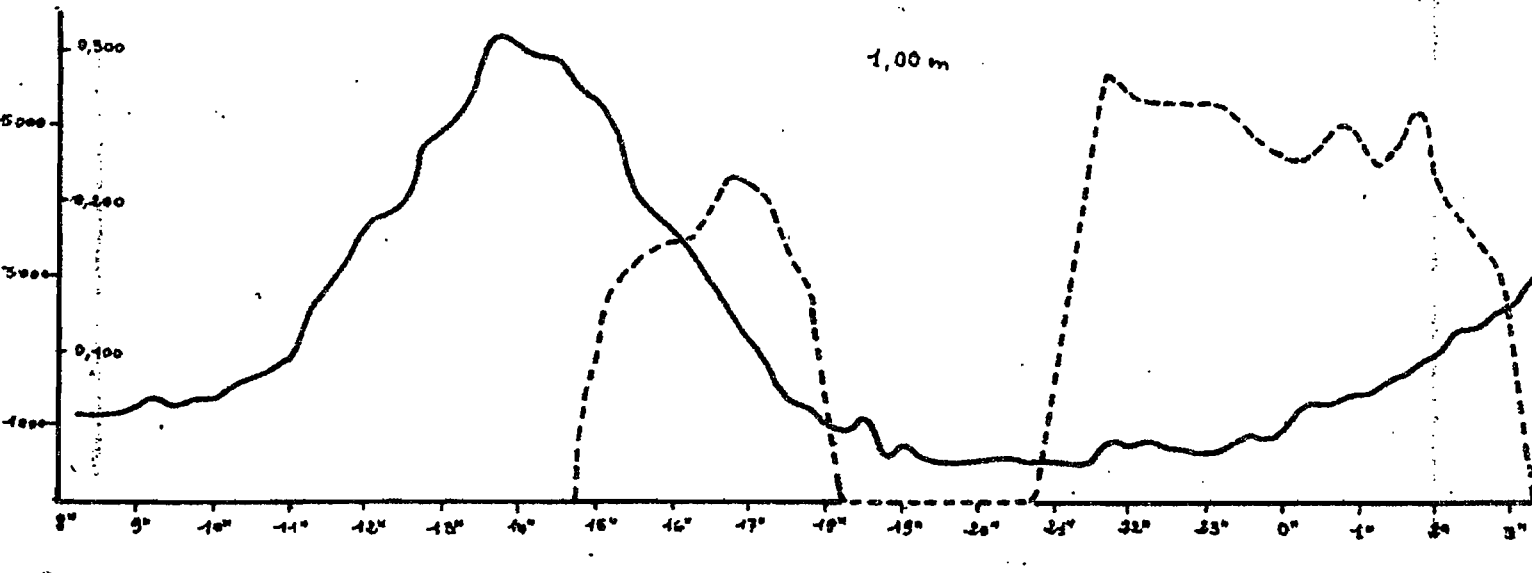
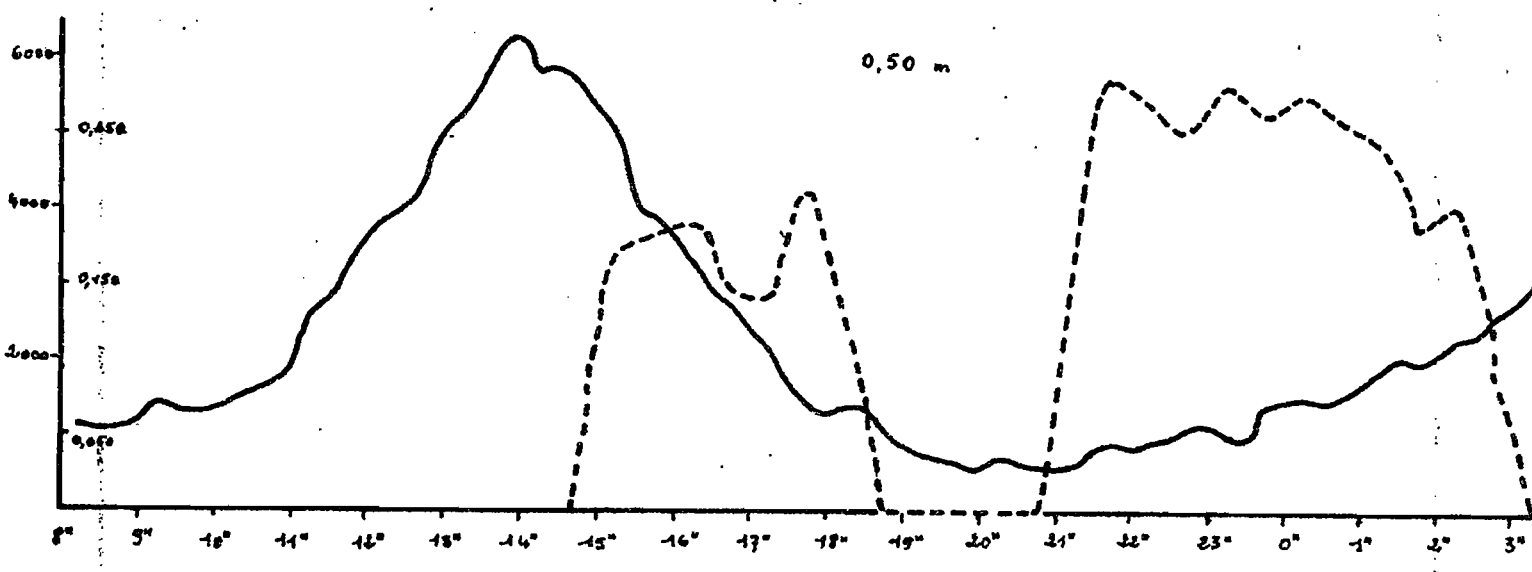
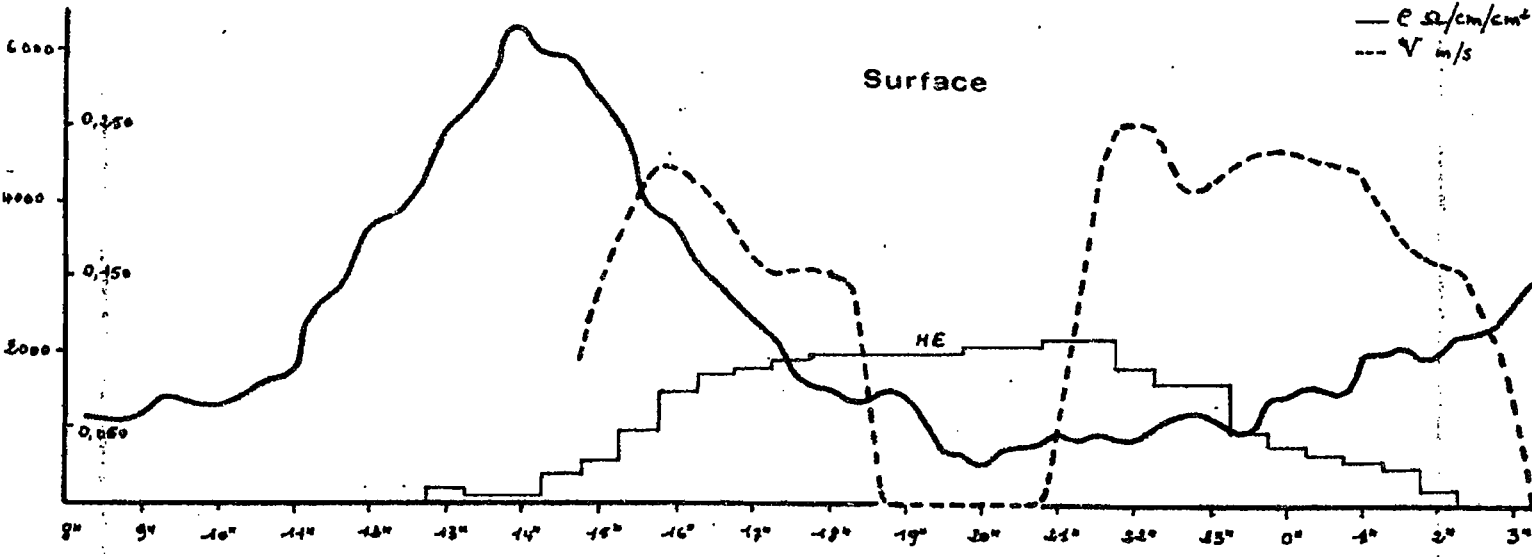


Fig. 5

POINT 19 ( suite Fig.5 )

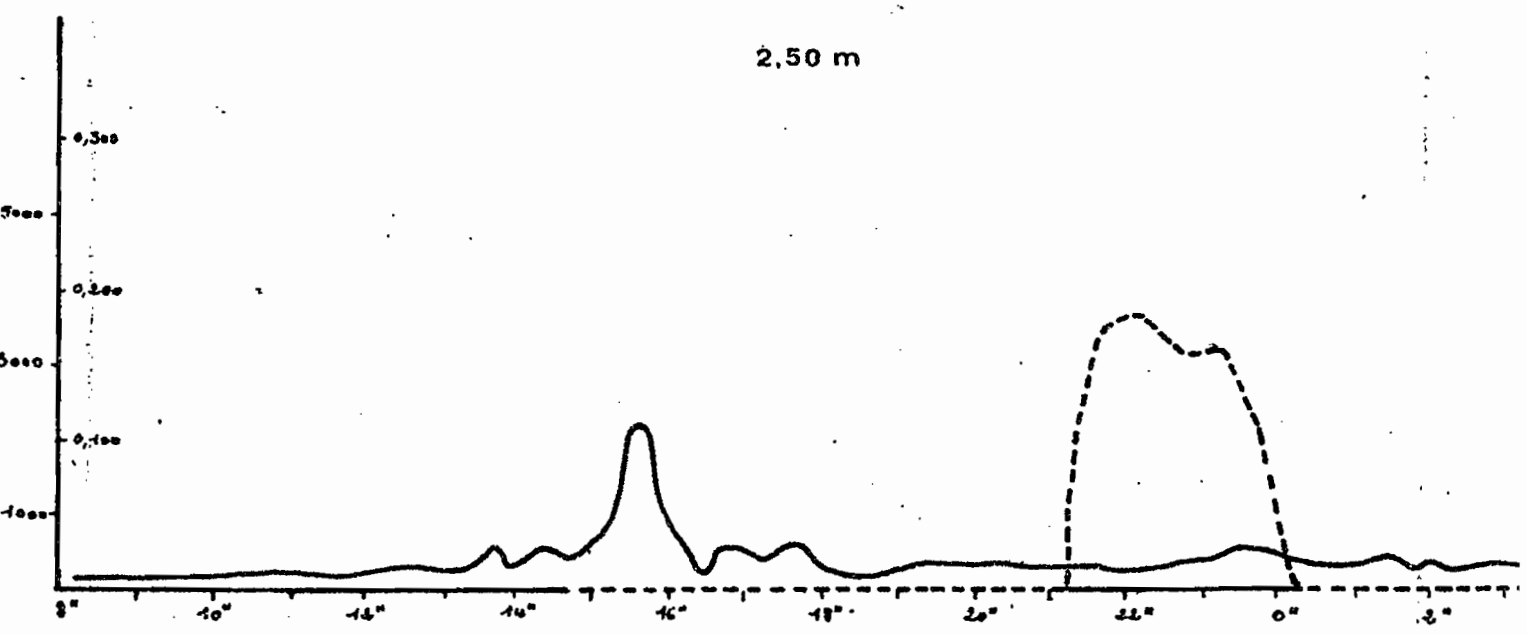
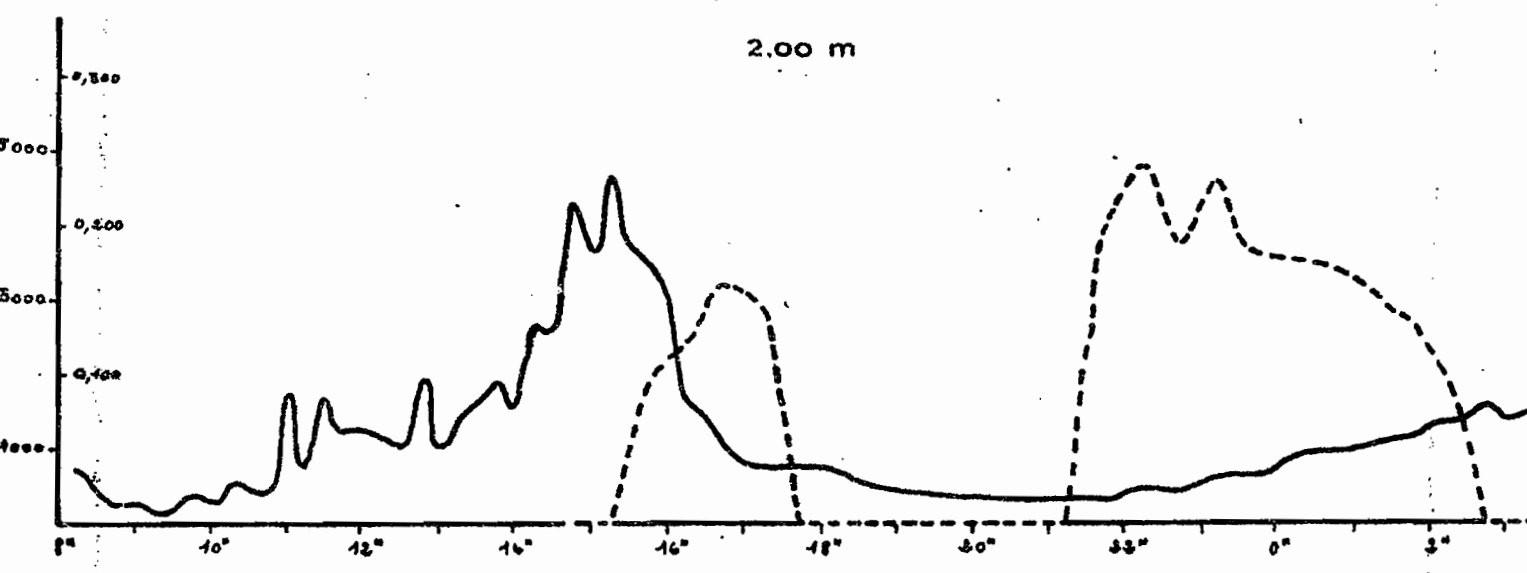
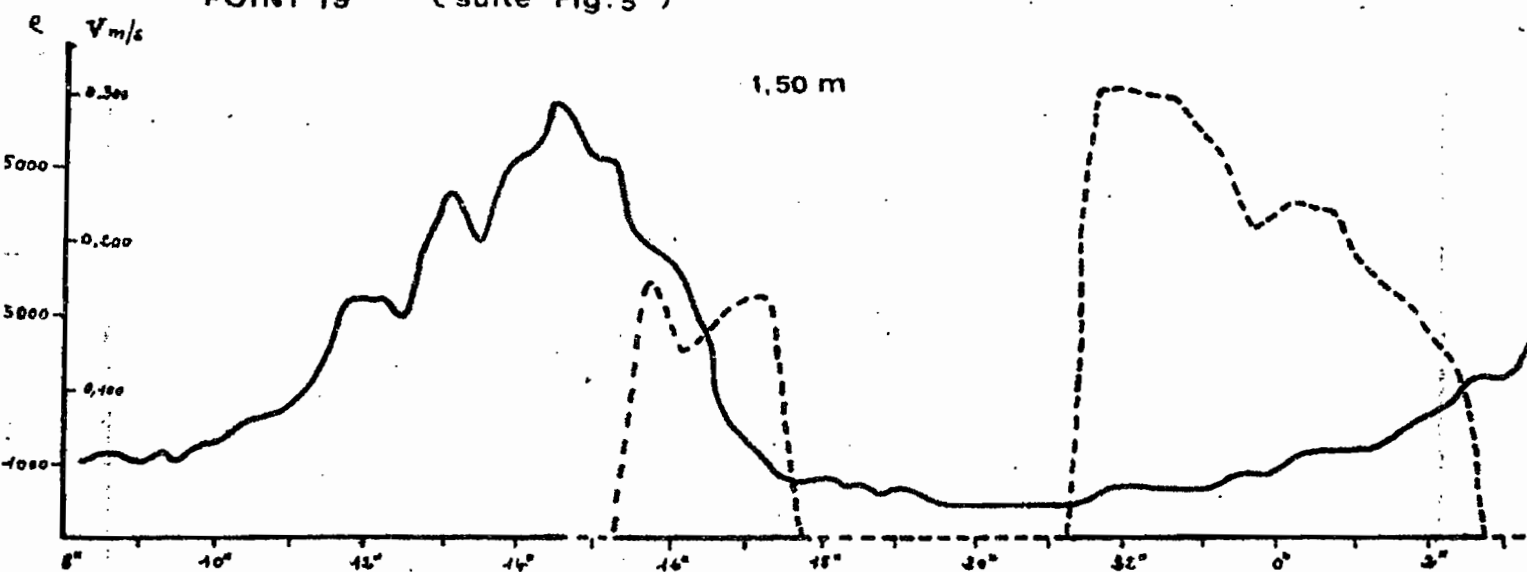


Fig. 6

# RESISTIVITES ET VITESSES DE COURANT

A LA STATION 19 (15/3/68)

— Resistivite ( $\Omega/cm/cm^2$ )

--- Vitesse de courant (m/s)

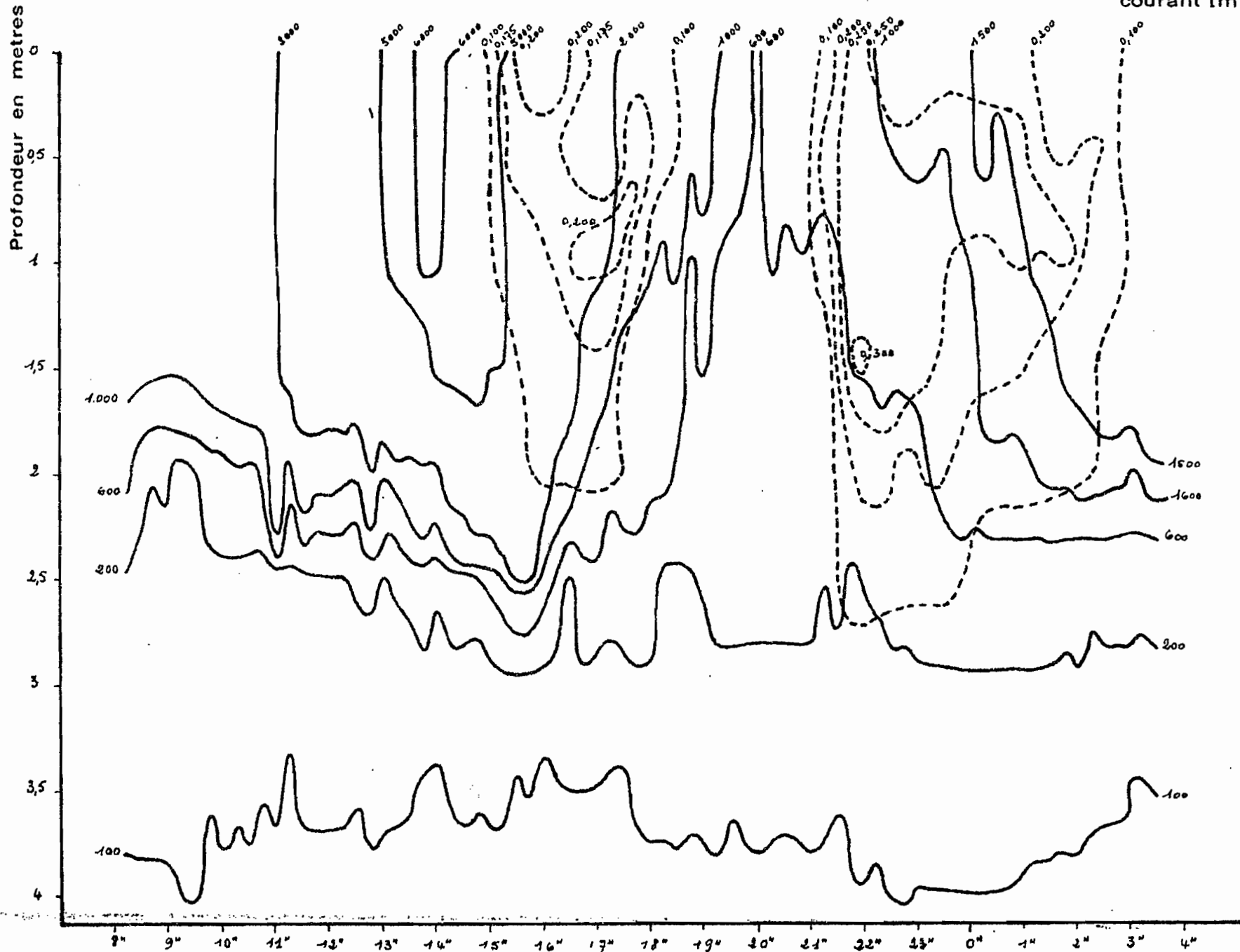


Fig. 7

# VITESSES DE COURANT (m/s) A LA STATION 19

15.16/3/68

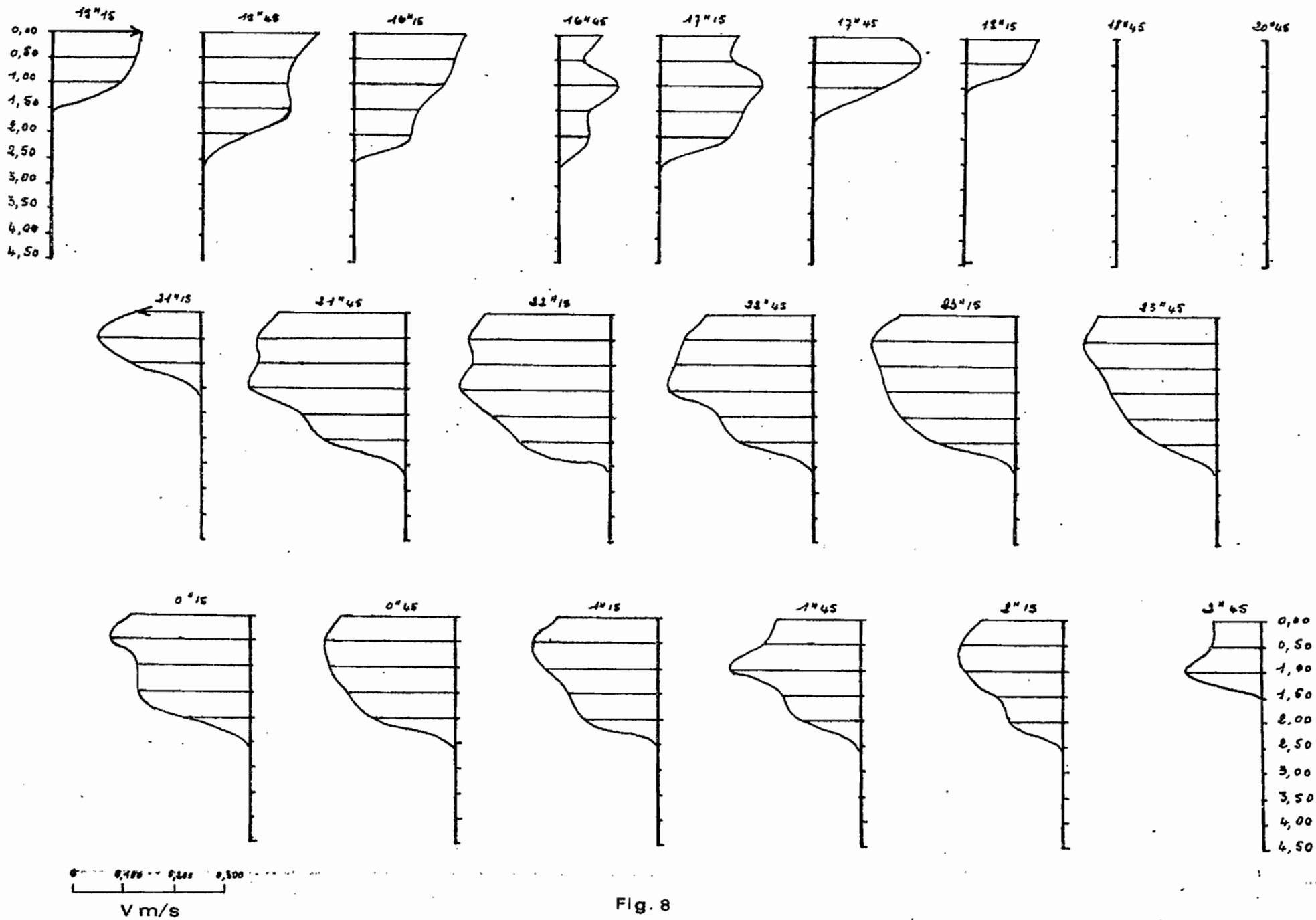


Fig. 8

# VITESSES DE COURANT ET RESISTIVITES A LA STATION 21

16/3/68

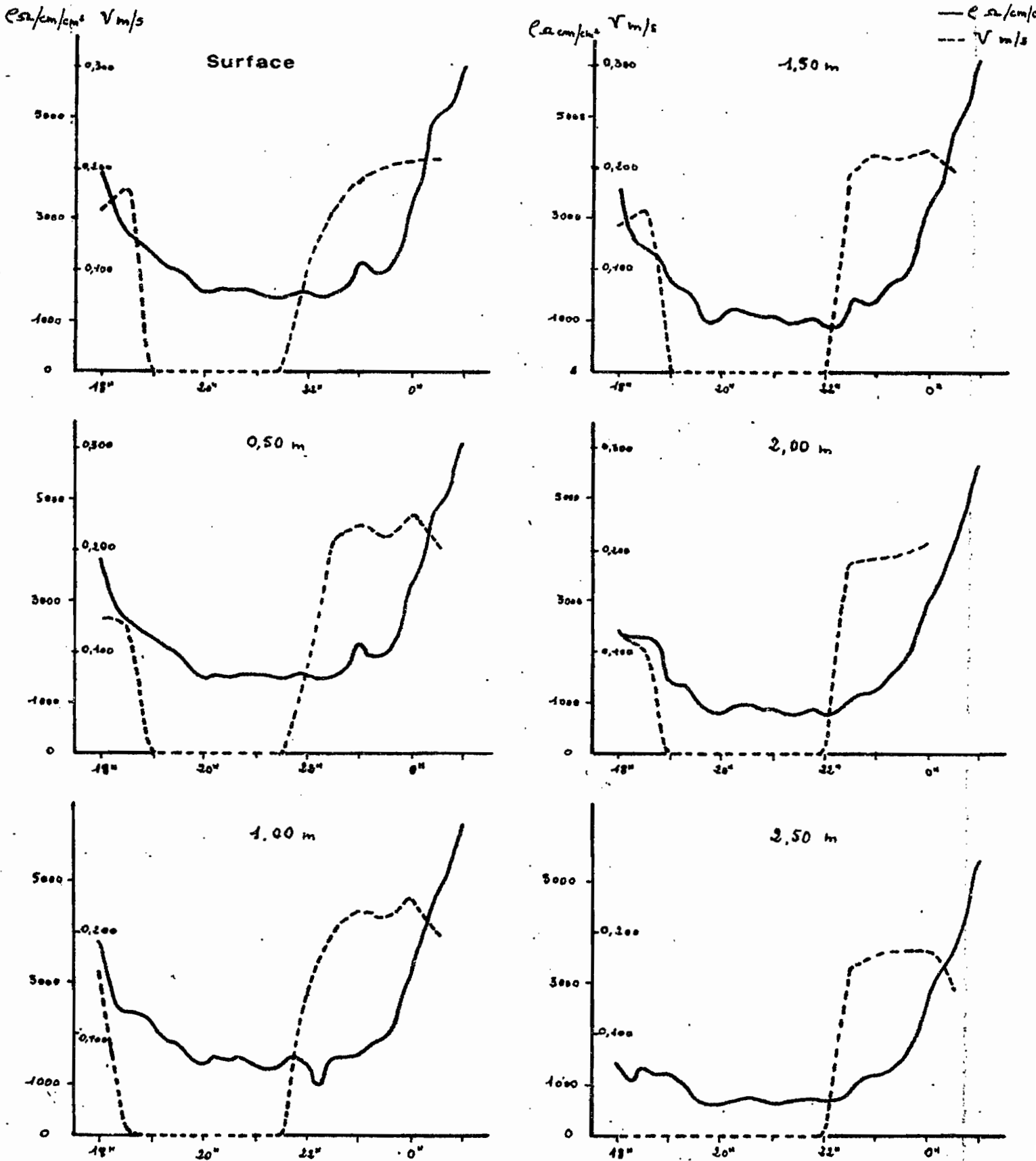
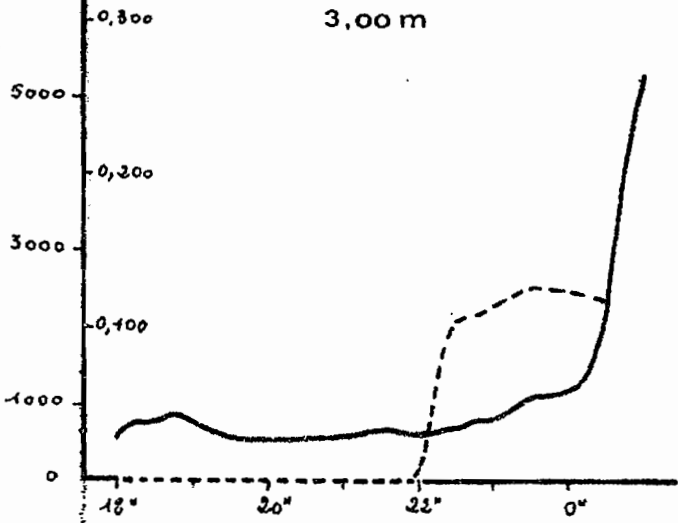


Fig. 9

POINT 21 (suite)

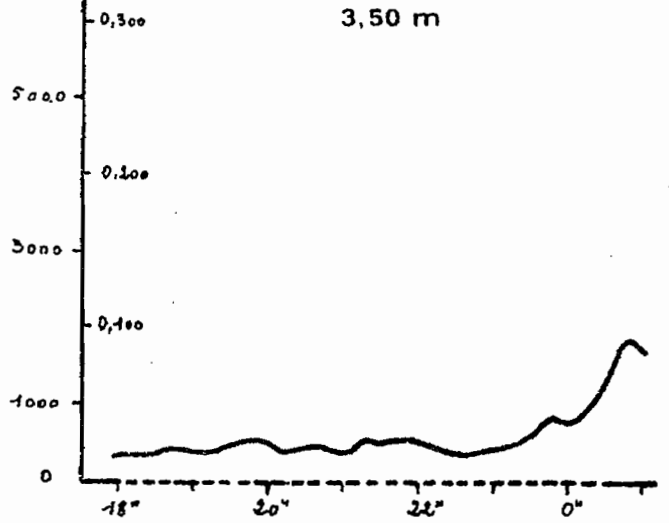
$\rho_{\Omega/cm/cm^2}$   $V/m/s$

3,00 m



$\rho_{\Omega/cm/cm^2}$   $V/m/s$

3,50 m



POINT 21

RESISTIVITES A DIFFERENTES PROFONDEURS

$\rho_{\Omega/cm/cm^2}$

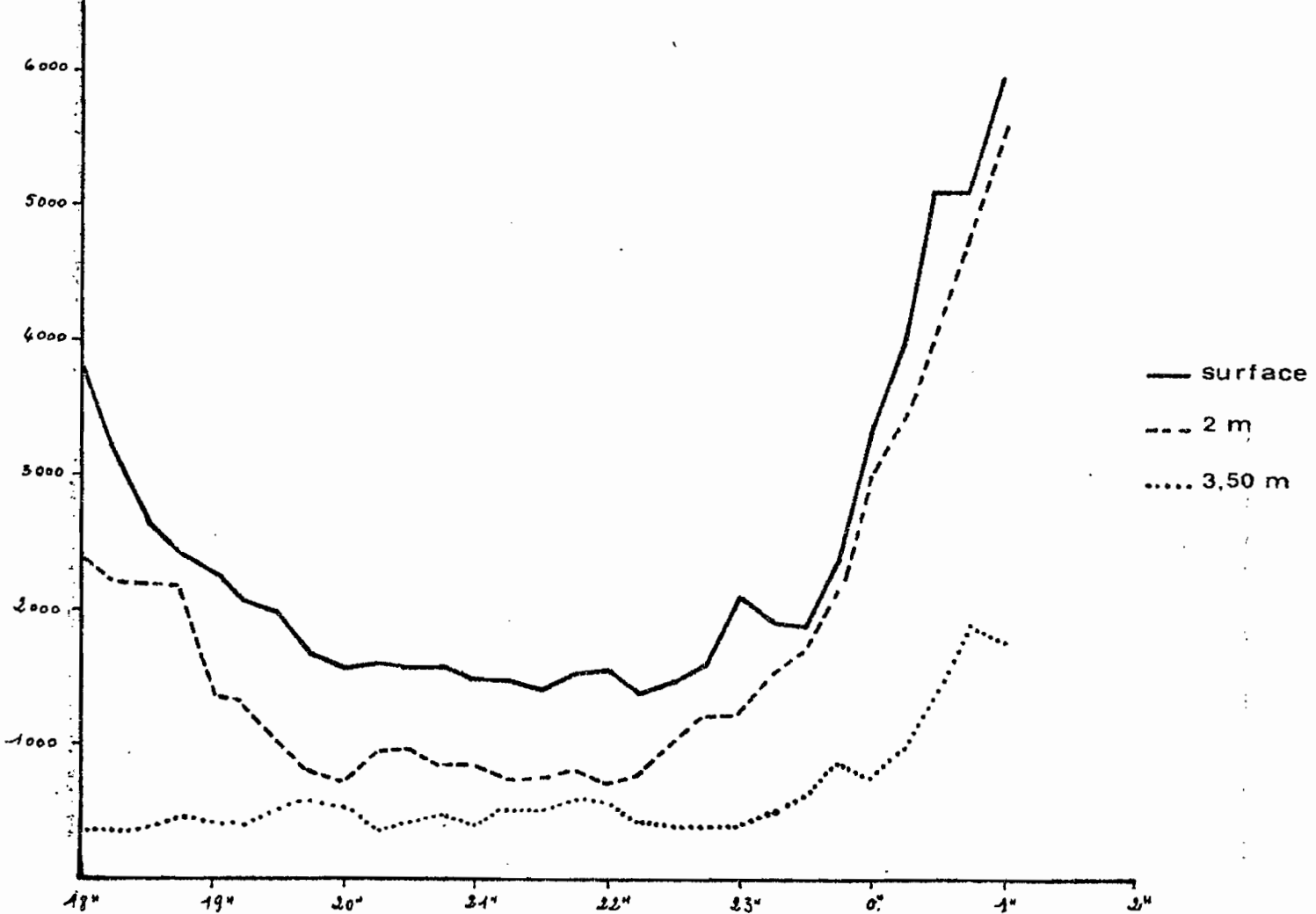


Fig. 10





VITESSES DE COURANT (m/s) A LA STATION. 21

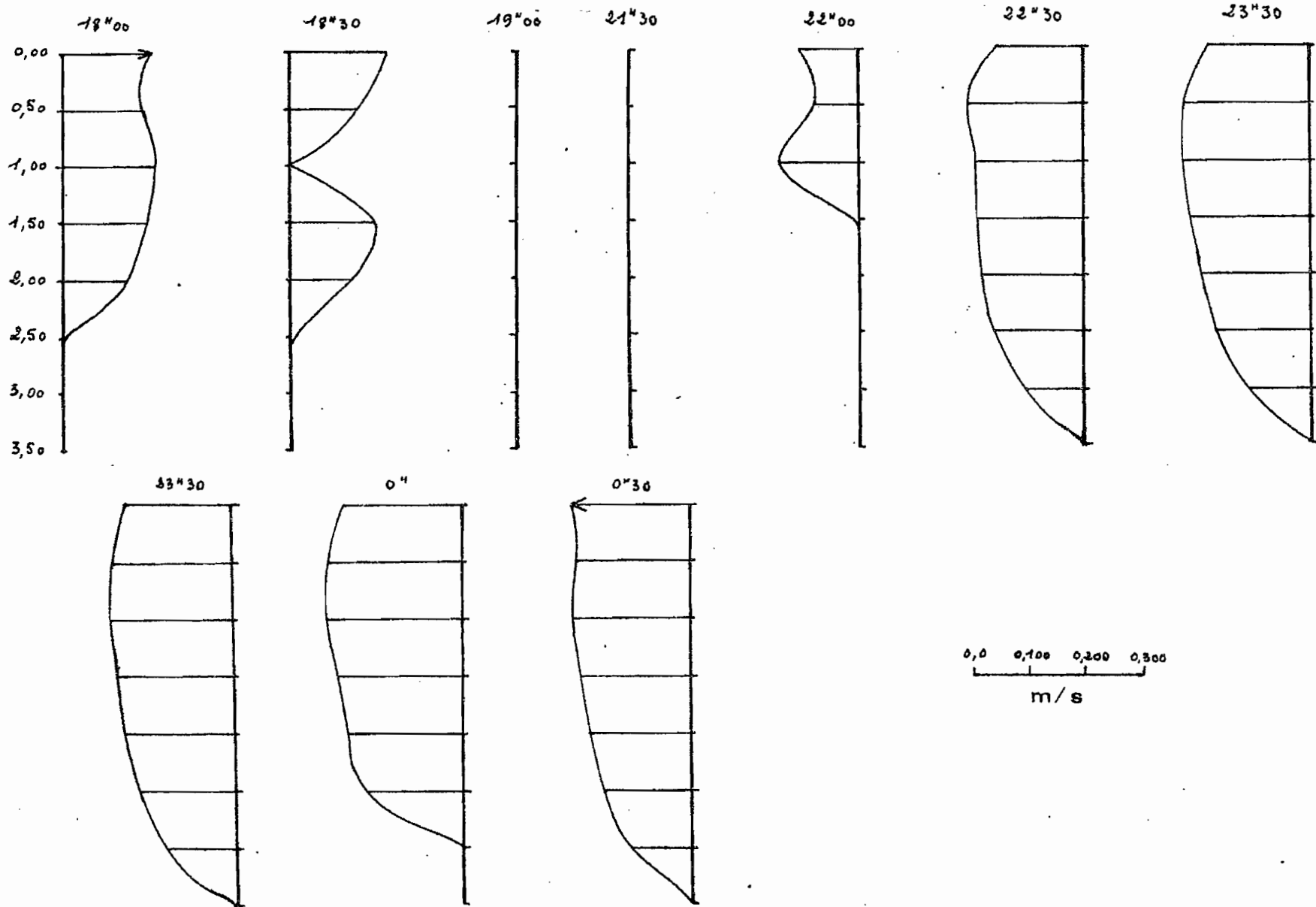


Fig. 12

Tableau A = STATION 19 - ( 15 et 16 mars 1968 )

## VITESSES DE COURANT

Profondeur (m)	Vitesse maxi male flot (m/s)	Vitesse maxi male jusant (m/s)	Heure début flot	Durée des courants de flot	Heure fin flot	Durée étale	Heure début jusant	Durée des courants de jusant	Heure fin jusant
Surface	0,227(15h45)	0,250(21h45)	14h30	4h15	18h15	2h	20h45	6h30	3h15
0,50	0,213(17h45)	0,288(21h45)	14h45	4h00	18h45	2h	20h45	6h30	3h15
1,00	0,219(16h45)	0,289(21h45)	14h45	3h30	18h15	2h30	20h45	6h30	3h15
1,50	0,172(15h45)	0,303(21h45)	15h15	2h30	17h45	3h30	21h15	5h30	2h45
2,00	0,160(16h45)	0,240(22h15)	15h15	2h30	17h45	3h30	21h15	5h30	2h45
2,50	0	0,180(22h15)	-	0	-	9h30	21h15	3h00	0h15
3,00	0	0	-	0	-	Permanent	-	0	-
3,50	0	0	-	0	-	"	-	0	-
4,00	0	0	-	0	-	"	-	0	-
4,50	0	0	-	0	-	"	-	0	-

Des phénomènes identiques ont été observés à la station 21, le 16 mars 1968  
(graph. 9; 10; 11 et 12).

### III.- MAREE SALINE

#### 1. VARIATIONS DE LA RESISTIVITE DES EAUX.

A la station 17, en fevrier 1968 et aux stations 19 et 21 en mars 1968, nous avons effectué des mesures de résistivité au résistivimètre MECI, type IP 31. Ces séries de mesures étaient faites toutes les demi-heures, en des points distants de 0,50 m sur une même verticale. Ces stations fixes de mesures, d'une durée égale à celle d'une marée et demie, soit 18 heures, étaient complétées par une prospection systématique de la zone d'influence de la marée saline (missions de mars 1966, février et mars 1968).

L'étude des courbes de variations des résistivités au cours de deux marées successives (graphiques 3, 4, et 11) et selon la profondeur (graphiques 5, 6, 7, 9 et 10) met en évidence les faits suivants =

A la station 19, aux profondeurs 0,20, 0,50 et 1,00 m =

Marée descendante = Dans la première moitié de la marée descendante de 8h à 11h, les valeurs des résistivités augmentent légèrement, elles passent de 1000 à 2000  $\Omega$ /cm/cm<sup>2</sup>. Dans la seconde moitié, cette augmentation est plus marquée = de 2000 à 4500  $\Omega$ /cm/cm<sup>2</sup>.

Étale de basse-mer = au cours de celui-ci, les résistivités atteignent des valeurs de 6300  $\Omega$ /cm/cm<sup>2</sup>.

Marée montante = les résistivités décroissent régulièrement = de 6000 à 1000 - 1500  $\Omega$ /cm/cm<sup>2</sup>.

Étale de haute-mer: les résistivités continuent de décroître pour atteindre en fin d'étale, des valeurs comprises entre 500 et 1000  $\Omega$ /cm/cm<sup>2</sup>.

Marée descendante = les résistivités croissent régulièrement pour atteindre le pallier des valeurs constaté durant la marée descendante du matin.

Nous pouvons noter un phénomène important dans les variations de la résistivité: en période d'étale de haute-mer et de basse-mer, alors que le niveau de l'eau est stabilisé et que les courants sont nuls, les résistivités continuent de décroître (étale de haute-mer) et de croître (étale de basse-mer); l'augmentation des valeurs de résistivité se poursuit légèrement à la reprise des courants de jusant, ainsi que la diminution, lors de la reprise des courants de flot. Ce phénomène peut être dû à la diffusion moléculaire.

A la station 19, à la profondeur 1,50 m :

l'allure générale de la courbe des variations de résistivités est sensiblement la même que celles des profondeurs 0,20, 0,50 et 1,00m , cependant, l'augmentation des valeurs est moins régulière en étale de basse-mer, et les valeurs sont moins importantes en fin d'étale. Durant le flot, la pente générale de la courbe des valeurs de résistivités décroissantes est plus accentuée que celle des profondeurs 0,20 0,50 et 1,00 m.

à la profondeur 2,00m, l'aspect de la courbe des résistivités est plus heurté en jusant et en étale de basse-mer. Toutes les valeurs sont inférieures (4700 à 700  $\Omega$ /cm/cm<sup>2</sup>) à celles des profondeurs sus-jacentes; cela ira en s'accroissant pour les profondeurs sous-jacentes; le maximum à 2,50 m est de 2000  $\Omega$  /cm/cm<sup>2</sup>. Pour les profondeurs 3,00, 3,50, et 4,00 m, les valeurs de résistivités sont uniformes, elles sont comprises entre 100 et 200  $\Omega$  /cm/cm<sup>2</sup>; il y a existence d'une tranche d'eau constamment salée au-dessous de 2,50 - 3,00 m.

En résumé, les faits suivants sont à souligner :

- Les résistivités des eaux en étale de basse-mer et de haute-mer sont affectées par la mobilité ionique.

- La présence en-dessous de 2,50 - 3,00m de profondeur, d'une tranche d'eau immobile dont les valeurs de résistivités sont toujours comprises entre 100 et 200  $\Omega$ /cm/cm<sup>2</sup>, soit une charge soluble supérieure à 2g/l .

A la station 21, les phénomènes sont identiques à ceux observés à la station 19. Les quelques variantes sont dues à la position plus amont de la station 21 par rapport à la station 19.

A la station 17, étudiée en février 1968, les variations de résistivités représentées sur les graphiques 3 et 4 (représentation logarithmique), fournissent un schéma général différent de ceux des stations 19 et 21. Ceci est dû à ce que la station 17 était représentative de l'extrême limite de la pénétration saline. L'évolution de la résistivité se fait par verticales homogènes, excepté au maximum de flot, où une légère stratification des eaux apparaît .

## 2. CHIMIE DES EAUX MELANGEES.

Nous avons procédé, conjointement aux études physico-chimiques des eaux, à des prélèvements d'échantillons d'eaux de surface pour en effectuer l'analyse chimique. A une même station, au cours d'une marée, nous avons prélevé toute une gamme d'eaux de résistivité différente, et par conséquent de charge soluble unitaire variable (éléments majeurs étudiés: Cl - So<sub>4</sub> - Po<sub>4</sub> - Sio<sub>2</sub> - K - Na - Ca - Mg) (voir graphique 13). Il est, en effet, intéressant d'étudier l'évolution de chaque élément, les relations de ces éléments entre eux, la part des éléments continentaux et marins, pour expliquer les mécanismes intimes de la pénétration saline.

La charge soluble unitaire moyenne des eaux fluviales est de l'ordre de 35 à 40 mg/l (valeurs à la station de TIASSALE). Au cours de la mission de mars 1968, les charges solubles unitaires étudiées, s'échelonnent entre 35, 25 mg/l et 2121,7 mg/l. Les résultats des compositions chimiques sont résumés dans les tableaux B et C .

# RELATION RESISTIVITE-CHARGE SOLUBLE

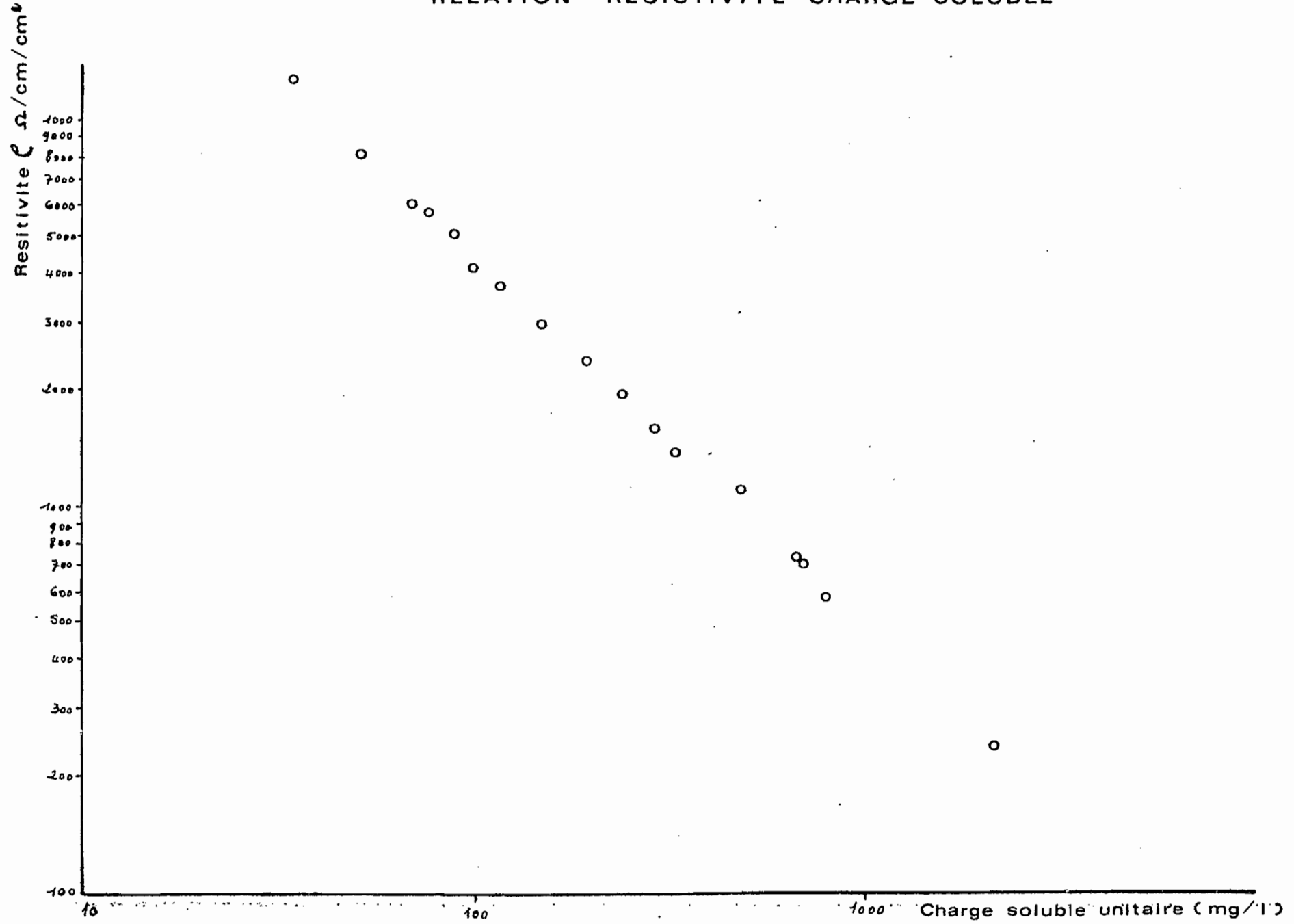


FIG. 13

Ces analyses chimiques ont été effectuées au Laboratoire de Chimie d'Adiopodoumé. Les limites d'analyses sont les suivantes (en mg/l) =

Cl 3      Po<sub>4</sub> 0,001      SiO<sub>2</sub> 0,50      K 0,10  
 Na 0,10      Ca 0,10      Mg 0,10 .

L'étude des pourcentages des divers éléments en mg/l (graphiques 14, 15 et 17) conduit aux remarques suivantes:

- Nous remarquons, dans la suite des histogrammes dressés pour des charges solubles unitaires croissantes, que pour les valeurs voisines de 660 mg/l, les proportions se rapprochent de celles de l'eau de mer (exemple de proportions des éléments majeurs d'une eau de mer de salinité 35 ‰ : Cl = 55,4%    So<sub>4</sub> = 7,7%    K<sup>+</sup> = 1,1%  
 Na<sup>+</sup> = 30,8%    Ca<sup>++</sup> = 1,2%    Mg<sup>++</sup> = 3,7% ). Le tableau suivant montre cette relation.

	EAU DE MER (35 ‰)	GL Océan 3186	GL Océan 3164	EAUX MELANGÉES			
				660,35 mg/l	692,6 mg/l	792,8 mg/l	2121,7 mg/l
Cl	55,4%	55,1	52,3	53,7	54,4	53,7	54,1
So <sub>4</sub>	7,7	5,25	9,0	6,9	7,0	6,9	7,3
Po <sub>4</sub>				0,0	0,0	0,0	0,0
SiO <sub>2</sub>				2,1	1,8	2,1	0,5
K	1,1	1,6	1,6	1,3	1,4	1,3	1,2
Na	30,8	33,3	32,5	30,3	29,6	30,2	31,1
Ca	1,2	1,1	1,05	1,7	1,7	1,6	1,3
Mg	3,7	3,6	3,5	3,8	4,2	4,3	4,3



Il ressort également du tableau ci-dessus, que ces eaux à allure marine, ont des teneurs en silice encore notables.

Les graphiques 15 et 16 montrent les relations qui existent entre chaque élément chimique et la charge soluble unitaire :

- les teneurs en chlorures (mg/l) croissent avec la charge soluble unitaire, ce qui est normal, étant donné l'origine marine de ces eaux. Les proportions de chlorures augmentent rapidement et atteignent, à partir d'une charge soluble égale à 190,0 mg/l, des valeurs constantes, voisines de 54% ;

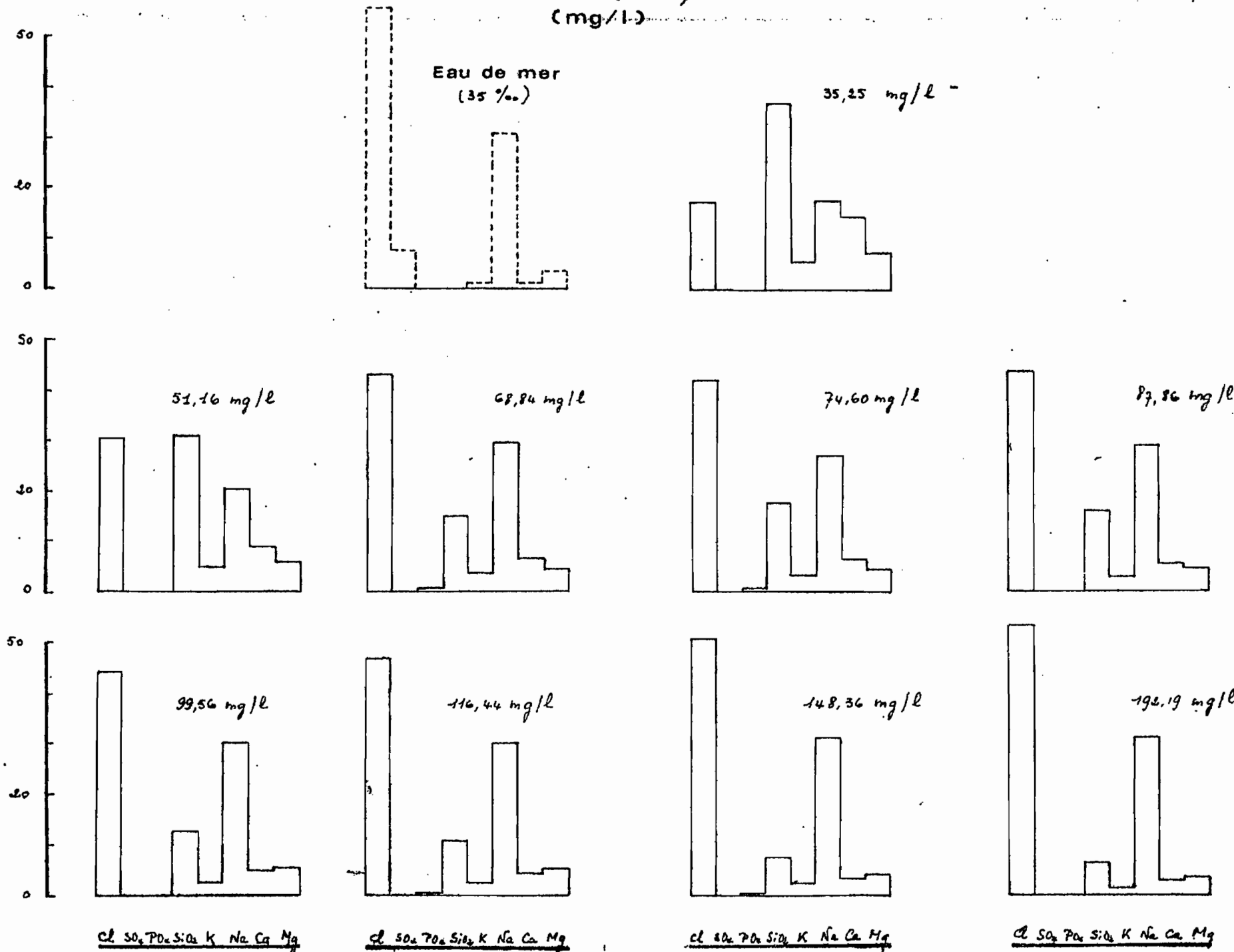
- les teneurs en alcalins (Na, K) et alcalino-terreux (Ca, Mg) varient dans le même sens que les chlorures; cependant les pourcentages de ces divers éléments évoluent de façon différente: les pourcentages de Na oscillent autour de 30%, à partir d'une charge soluble unitaire voisine de 100 mg/l; par contre, les pourcentages de K et Ca décroissent lorsque la charge soluble unitaire augmente. Les variations des pourcentages de Mg sont plus irrégulières. Il sera intéressant d'étudier les rapports des éléments entre eux et de les comparer aux rapports des éléments entrant dans la composition de l'eau de mer;

- les teneurs en sulfates, décelables à partir d'une charge soluble unitaire égale à 480 mg/l environ, varient dans le même sens que celles des chlorures, par contre les pourcentages semblent se stabiliser autour de 7%;

- les teneurs en phosphates présentent une allure en dents de scie;

- les teneurs en silice affectent un tracé irrégulier et varient entre 10 et 15 mg/l; les pourcentages correspondants décroissent régulièrement avec l'augmentation de la charge soluble unitaire.

POURCENTAGES ELEMENTS CHIMIQUES / CHARGE SOLUBLE UNITAIRE  
(mg/l)



POURCENTAGES ELEMENTS CHIMIQUES / CHARGE SOLUBLE UNITAIRE (suite)

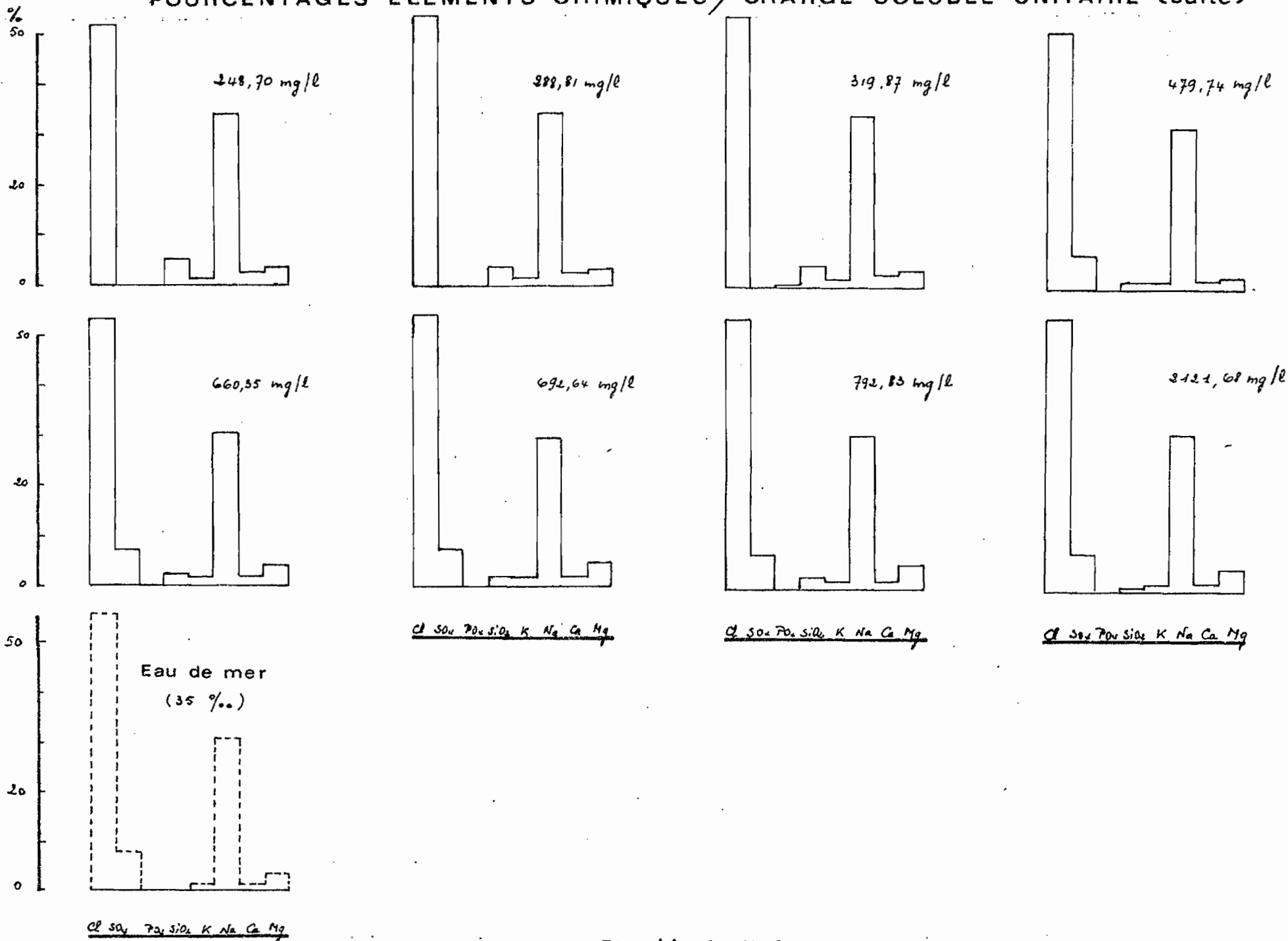


Fig. 14 (suite)

POURCENTAGE DE CHAQUE ELEMENT CHIMIQUE EN FONCTION

DE LA CHARGE SOLUBLE UNITAIRE

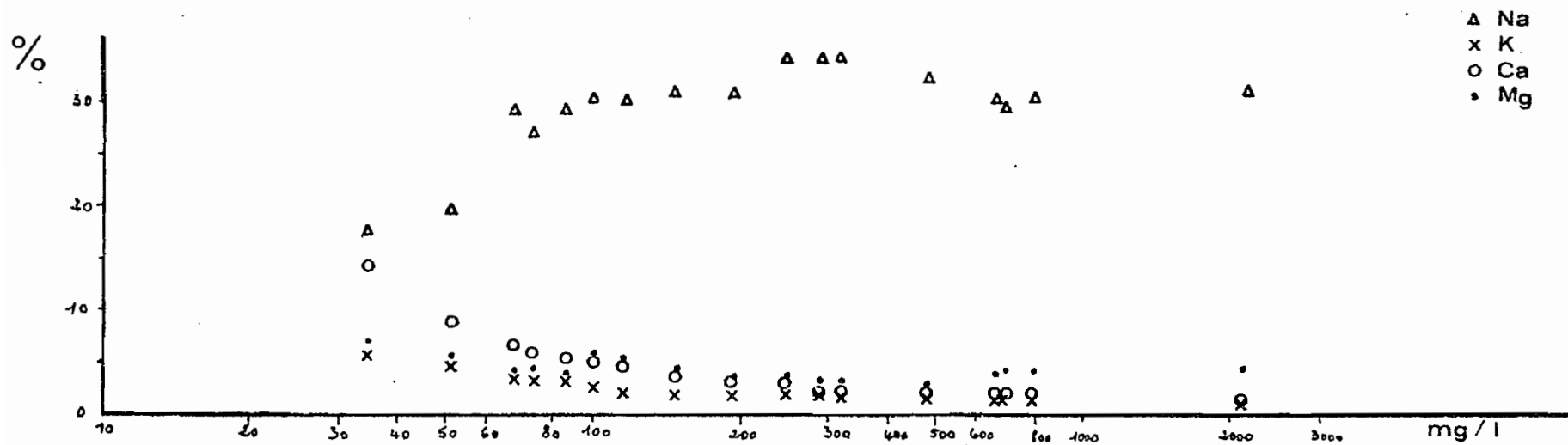
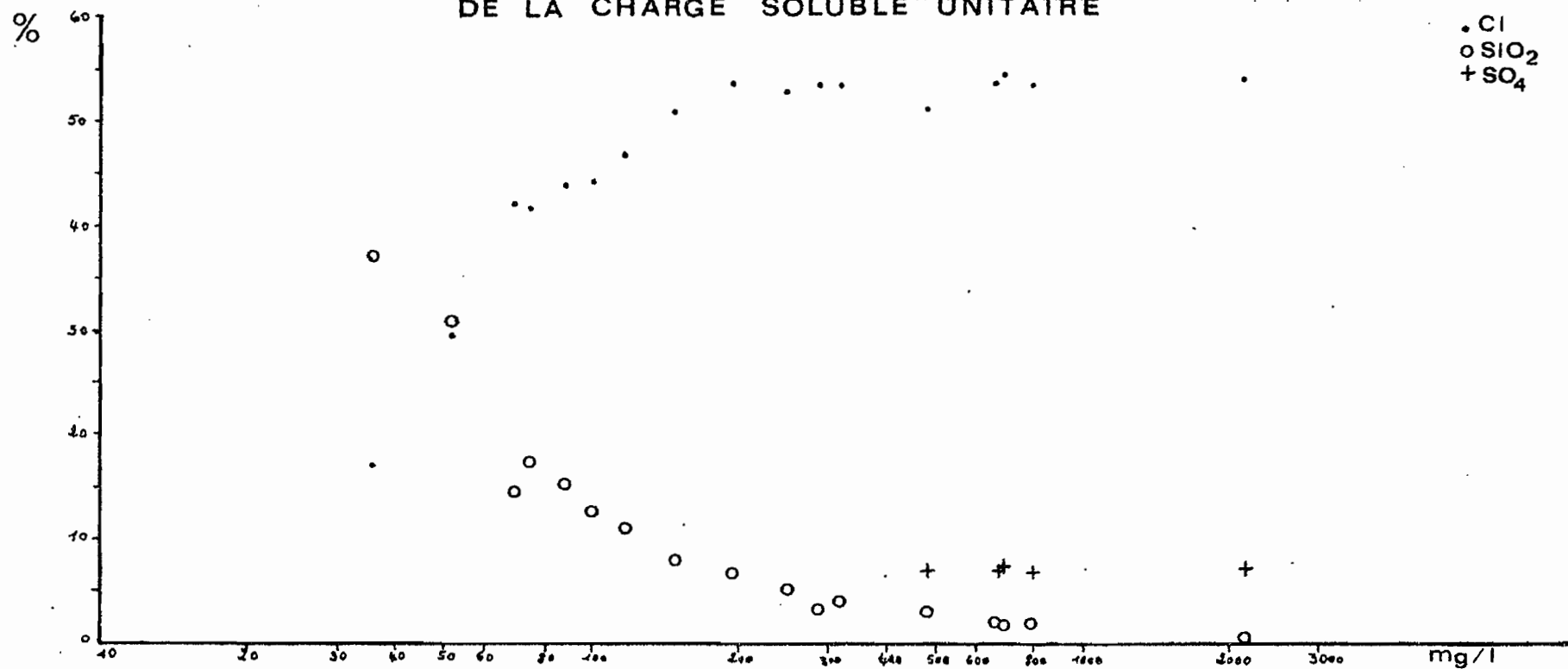
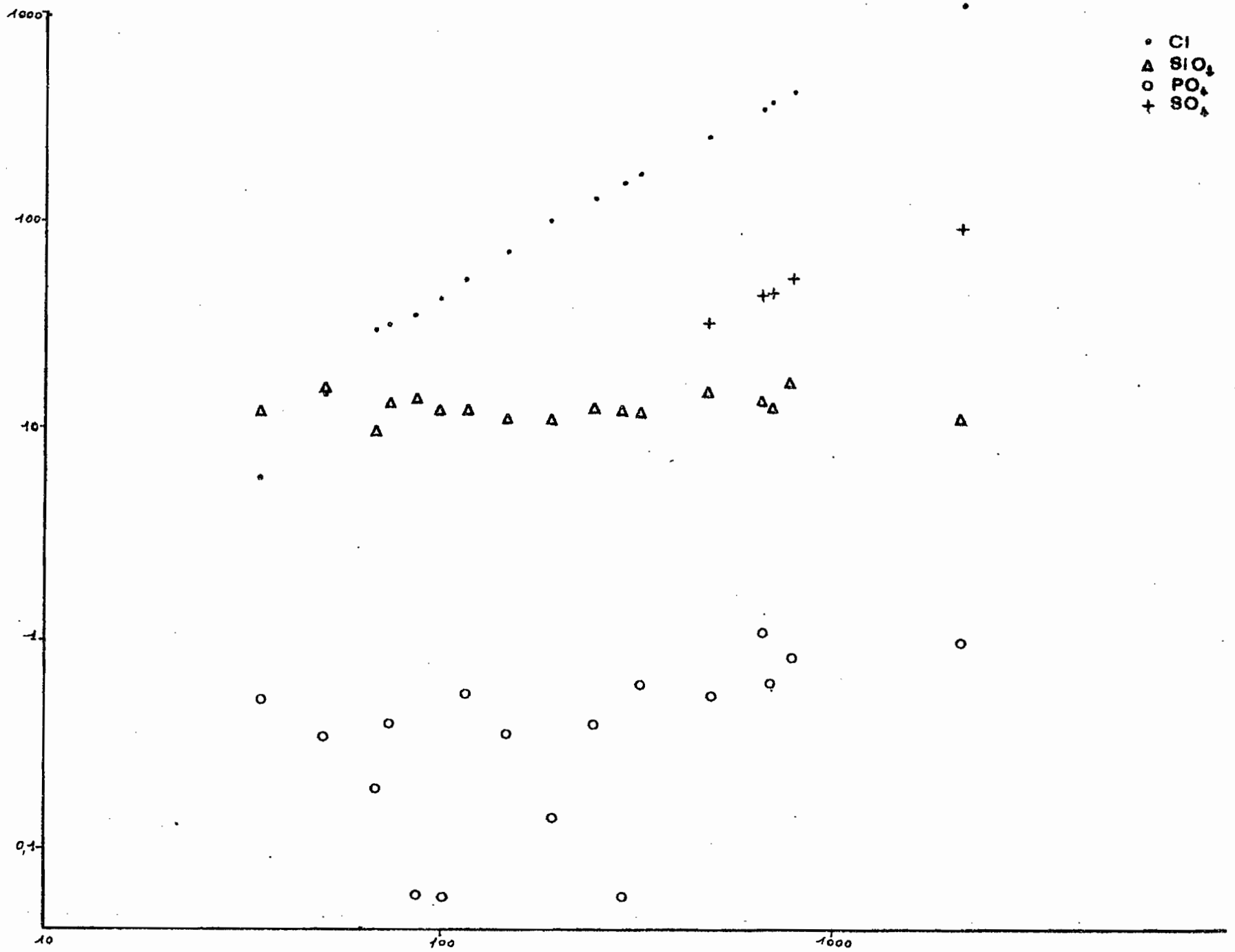


Fig. 15

VARIATIONS ELEMENT CHIMIQUE / CHARGE SOLUBLE UNITAIRE (mg/l)



VARIATIONS ELEMENT CHIMIQUE / CHARGE SOLUBLE UNITAIRE ( mg/l )

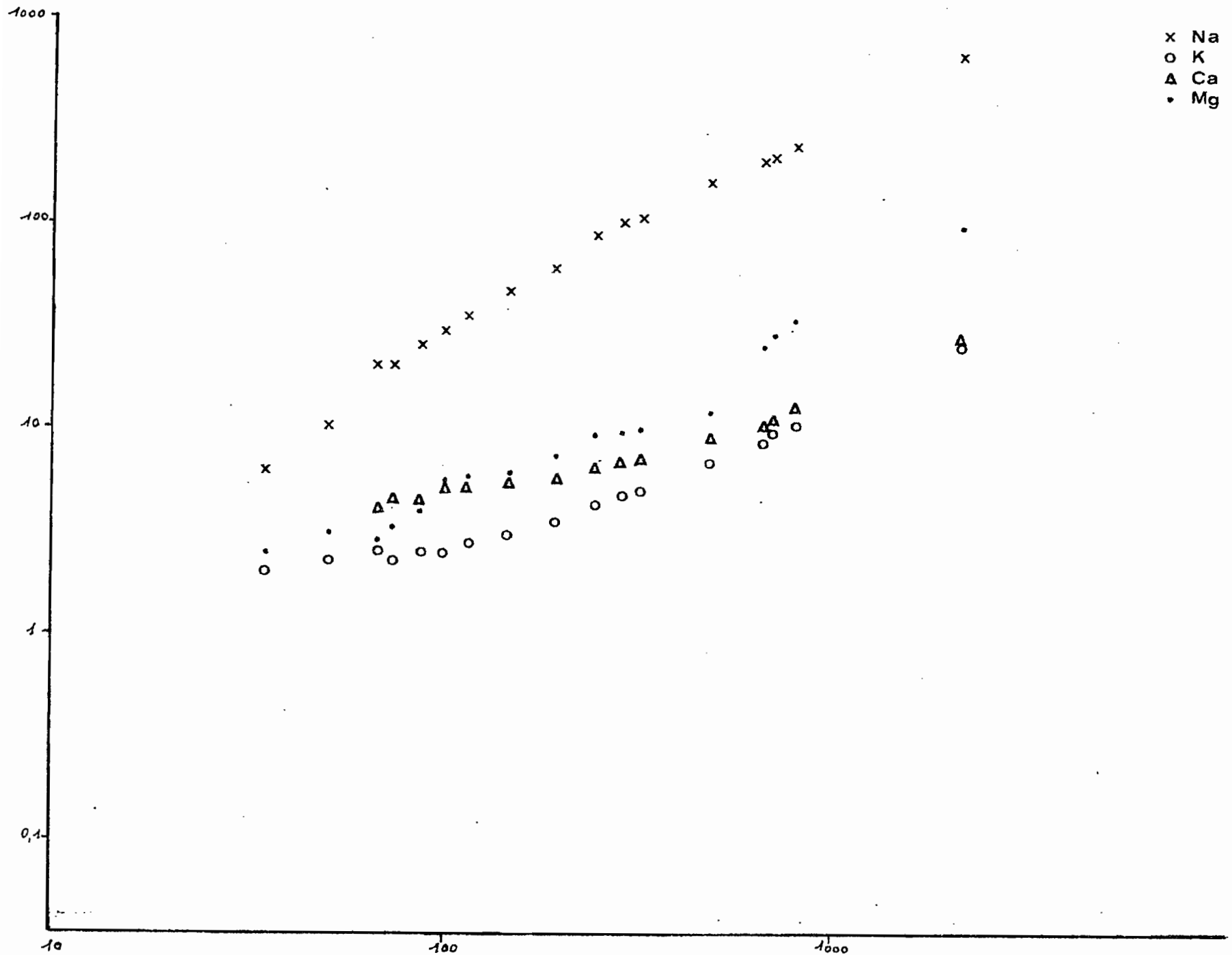


Fig. 17

Tableau B : CHIMIE DES EAUX MELANGEES (Bandama Inf. 15 - 16.3.68)

No Ech.	Résistivité terrain /cm/cm2	Charge soluble unitaire (mg/l)	Cl mg/l	Cl mé/l	So4 mg/l	So4 mé/l	Po4 mg/l	Po4 mé/l	SiO2 mg/l	K mg/l	K mé/l	Na mg/l	Na mé/l	Ca mg/l	Ca mé/l	Mg mg/l	Mg mé/l
1	12.979	35,25	6,05	0,17	-	-	0,50	0,016	13,0	2,00	0,057	6,2	0,27	5,00	0,25	2,50	0,21
2	8.100	51,16	15,3	0,43	-	-	0,36	0,011	15,55	2,25	0,051	10,2	0,44	4,50	0,225	2,80	0,25
3	6.000	68,84	29,1	0,82	-	-	0,19	0,006	10,0	2,50	0,064	20,0	0,87	4,25	0,21	2,30	0,23
4	5.700	74,60	31,2	0,88	-	-	0,40	0,013	13,0	2,25	0,057	20,0	0,87	4,50	0,225	3,25	0,27
5	5.100	87,86	38,3	1,08	-	-	0,06	0,002	13,5	2,50	0,064	25,0	1,09	4,50	0,225	4,00	0,33
6	4.050	99,56	44,0	1,24	-	-	0,06	0,002	12,5	2,50	0,064	30,0	1,30	5,00	0,25	5,50	0,45
7	3.650	116,44	54,6	1,54	-	-	0,56	0,018	12,55	2,75	0,070	35,0	1,52	5,00	0,25	5,98	0,49
8	2.920	148,36	74,5	2,10	-	-	0,36	0,011	11,5	3,00	0,077	45,5	1,98	5,50	0,275	6,00	0,50
9	2.475	192,19	103,0	2,90	-	-	0,14	0,004	13,0	3,50	0,090	59,8	2,60	5,75	0,28	7,00	0,58
10	1.910	248,70	131,0	3,69	-	-	0,40	0,013	12,55	4,25	0,109	85,0	3,70	6,50	0,325	9,00	0,74
11	1.560	288,81	156,0	4,40	-	-	0,06	0,002	11,5	4,75	0,122	100,0	4,35	7,00	0,35	9,50	0,79
12	1.375	319,87	173,5	4,89	-	-	0,64	0,020	13,5	5,00	0,128	110,0	4,79	7,25	0,36	9,98	0,82
13	1.190	479,74	248,0	6,98	33,0	0,69	0,56	0,018	15,0	6,98	0,179	155,0	6,74	9,00	0,45	12,20	1,0
14	733	660,35	355,0	10,0	45,7	0,95	1,10	0,035	14,05	8,50	0,218	200,0	8,70	11,00	0,55	25,00	2,06
15	700	692,64	376,0	10,6	48,6	1,01	0,64	0,020	12,5	9,50	0,244	205,0	8,91	11,50	0,575	28,90	2,39
16	570	792,83	425,0	12,0	54,4	1,13	0,83	0,026	16,5	10,50	0,269	239,0	10,40	12,50	0,625	34,10	2,82
17	236	2121,68	1150,0	32,4	154,2	3,22	0,98	0,031	11,5	25,50	0,650	660,0	28,70	27,50	1,38	92,00	7,60

TABLEAU C : CHIMIE DES EAUX MELANGEES (suite)

N° Ech.	% Cl	% So <sub>4</sub>	% Po <sub>4</sub>	% SiO <sub>2</sub>	% K	% Na	% Ca	% Mg	So <sub>4</sub> /Cl	Cl/Na	Cl/K	Cl/Ca	Cl/Mg	So <sub>4</sub> /K
1	17,2	0,0	0,01	36,9	5,7	17,6	14,2	7,1	-	0,63	3,3	0,6	0,81	-
2	29,9	0,0	0,00	30,3	4,4	19,9	8,8	5,9	-	0,98	7,5	1,9	1,72	-
3	42,3	0,0	0,28	14,6	3,6	29,1	6,3	4,1	-	0,94	12,8	3,9	3,56	-
4	41,7	0,0	0,54	17,4	3,0	26,8	6,0	4,35	-	1,01	15,5	3,9	3,26	-
5	43,6	0,0	0,00	15,4	2,85	28,5	5,1	4,6	-	0,99	16,9	4,8	3,28	-
6	44,2	0,0	0,00	12,55	2,5	30,1	5,0	5,5	-	0,95	19,4	5,0	2,75	-
7	46,9	0,0	0,48	10,75	2,4	50,0	4,3	5,1	-	1,01	22,0	6,2	3,14	-
8	51,0	0,0	0,25	7,9	2,05	31,1	3,8	4,1	-	1,06	27,3	7,6	4,20	-
9	53,6	0,0	0,07	6,8	1,8	31,1	3,0	3,6	-	1,11	32,2	10,3	5,00	-
10	52,6	0,0	0,16	5,0	1,7	34,2	2,6	3,6	-	1,00	33,8	11,3	4,99	-
11	54,0	0,0	0,00	4,0	1,6	34,6	2,4	3,3	-	1,01	36,0	12,6	5,56	-
12	54,3	0,0	0,20	4,2	1,6	34,4	2,3	3,1	-	1,02	38,2	13,6	5,96	-
13	51,8	6,9	0,00	3,1	1,5	32,4	1,9	2,5	0,099	1,04	39,0	15,5	6,91	3,86
14	53,7	6,9	0,00	2,1	1,3	30,3	1,7	3,8	0,095	1,15	45,8	18,2	4,86	4,35
15	54,4	7,0	0,00	1,8	1,4	29,6	1,7	4,2	0,095	1,13	43,4	18,4	4,44	4,14
16	53,7	6,9	0,00	2,1	1,3	30,2	1,6	4,3	0,094	1,15	44,6	19,2	4,26	4,20
17	54,1	7,3	0,00	0,5	1,2	31,1	1,3	4,3	0,099	1,13	49,8	23,4	4,26	4,96



TABLEAU D : CHIMIE DES EAUX MELANGEES (suite).

N°	So <sub>4</sub> /Na	So <sub>4</sub> /Ca	So <sub>4</sub> /Mg	K/Na	Mg/Ca	K/Ca	Na/Ca	K/Mg	Mg/Na	$\frac{K + Na}{Ca + Mg}$
1	-	-	-	0,019	0,84	0,20	1,08	0,24	0,78	0,70
2	-	-	-	0,013	1,11	0,25	1,96	0,23	0,57	1,05
3	-	-	-	0,074	1,09	0,30	4,14	0,28	0,30	2,12
4	-	-	-	0,066	1,20	0,25	3,87	0,21	0,31	1,87
5	-	-	-	0,059	1,47	0,28	4,85	0,19	0,30	2,08
6	-	-	-	0,049	1,80	0,26	5,20	0,14	0,34	1,95
7	-	-	-	0,046	1,96	0,28	6,08	0,14	0,32	2,14
8	-	-	-	0,039	1,82	0,28	7,20	0,15	0,25	2,64
9	-	-	-	0,035	2,07	0,32	9,29	0,15	0,22	3,12
10	-	-	-	0,029	2,28	0,34	11,4	0,15	0,20	3,57
11	-	-	-	0,028	2,26	0,35	12,4	0,15	0,18	3,92
12	-	-	-	0,027	2,28	0,36	13,3	0,16	0,17	4,16
13	0,102	1,53	0,68	0,027	2,24	0,40	15,0	0,18	0,15	4,73
14	0,109	1,73	0,46	0,025	3,74	0,40	15,8	0,11	0,24	3,42
15	0,113	1,76	0,42	0,027	4,16	0,42	15,5	0,10	0,27	3,09
16	0,108	1,81	0,40	0,026	4,51	0,43	16,6	0,095	0,27	3,10
17	0,112	2,34	0,42	0,023	5,50	0,47	20,8	0,086	0,26	3,27

## Etude des rapports entre éléments chimiques

Tout d'abord, nous allons rappeler les rapports des éléments chimiques d'une eau marine classique, de salinité 35‰ et d'une eau fluviale, de charge soluble unitaire égale à 35, 25 mg/l .

	So <sub>4</sub> /Cl	Cl/Na	Cl/K	Cl/Ca	Cl/Mg	So <sub>4</sub> /K	So <sub>4</sub> /Na	So <sub>4</sub> /Ca	So <sub>4</sub> /Mg
EAU DE MER	0,103	1,17	54,6	26,4	5,13	5,64	0,12	2,7	0,53
EAU FLUVIALE	-	0,63	3,3	0,6	0,81	-	-	-	-
	K/Na	Mg/Ca	K/Ca	Na/Ca	K/Mg	Mg/Na	$\frac{K + Na}{Ca + Mg}$		
EAU DE MER	0,021	5,13	0,48	22,6	0,094	0,23	3,75		
EAU FLUVIALE	0,019	0,84	0,20	1,08	0,24	0,78	0,70		

Si nous comparons ces valeurs à celles reportées sur les tableaux "chimie des eaux mélangées", (tableaux B et C) nous constatons sur les graphiques 18 et 19 que nous avons toute la gamme des valeurs des différents rapports des éléments chimiques des eaux de composition intermédiaire entre celle de l'eau de mer et celle de l'eau douce. Ces résultats demandent à être vérifiés au cours d'autres missions.

Les rapports où interviennent les sulfates, ne peuvent être pris en considération, les limites d'analyses des sulfates étant trop élevées.

Les rapports Cl/k , Cl/Ca (graphique 19) et les rapports K/Ca, Na/Ca (graphique 18) de même que Mg/Ca, augmentent régulièrement avec la charge soluble unitaire.

RAPPORTS ELEMENTS CHIMIQUES EN FONCTION DE LA  
CHARGE SOLUBLE UNITAIRE (mg/l)

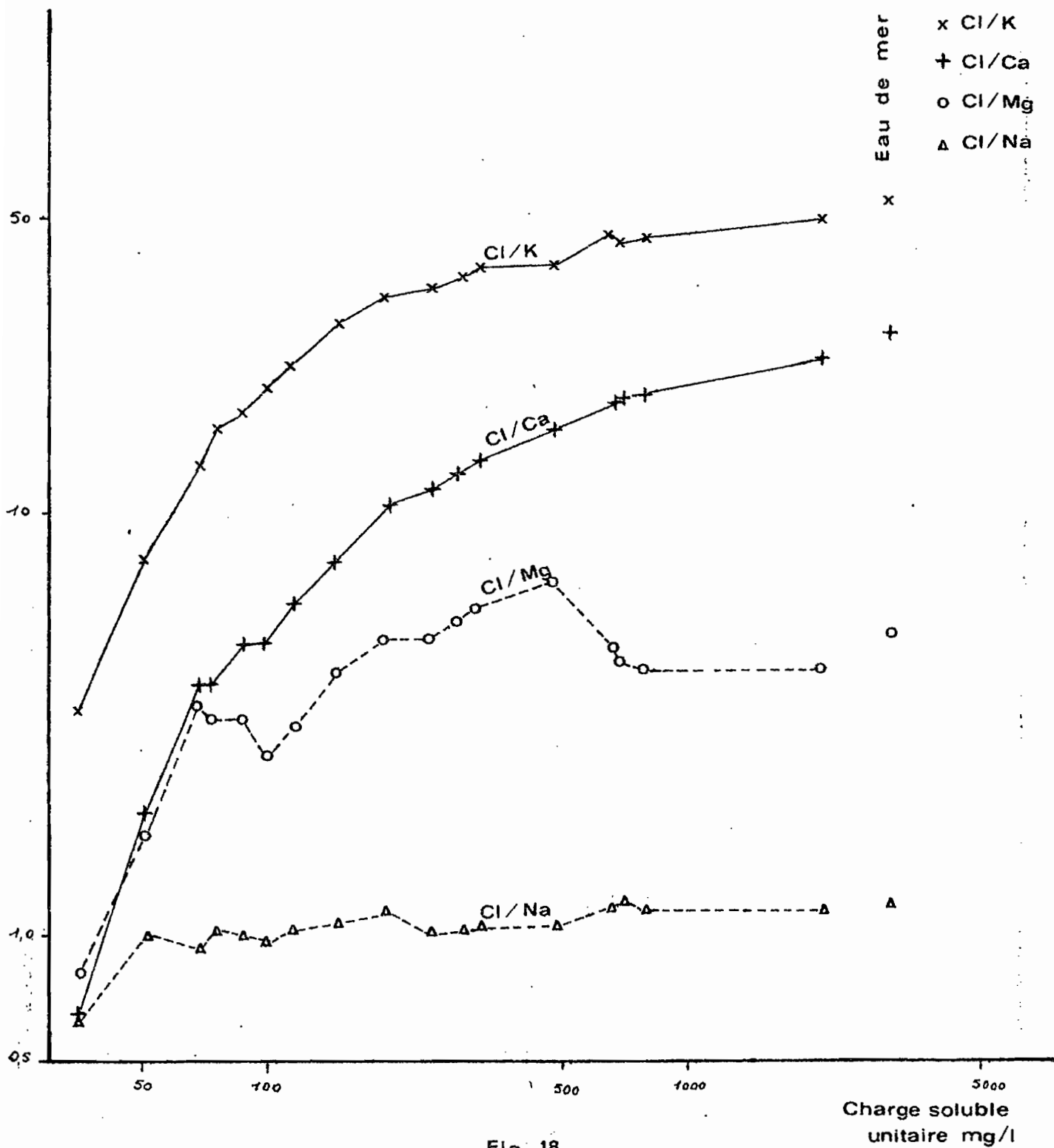


Fig. 18

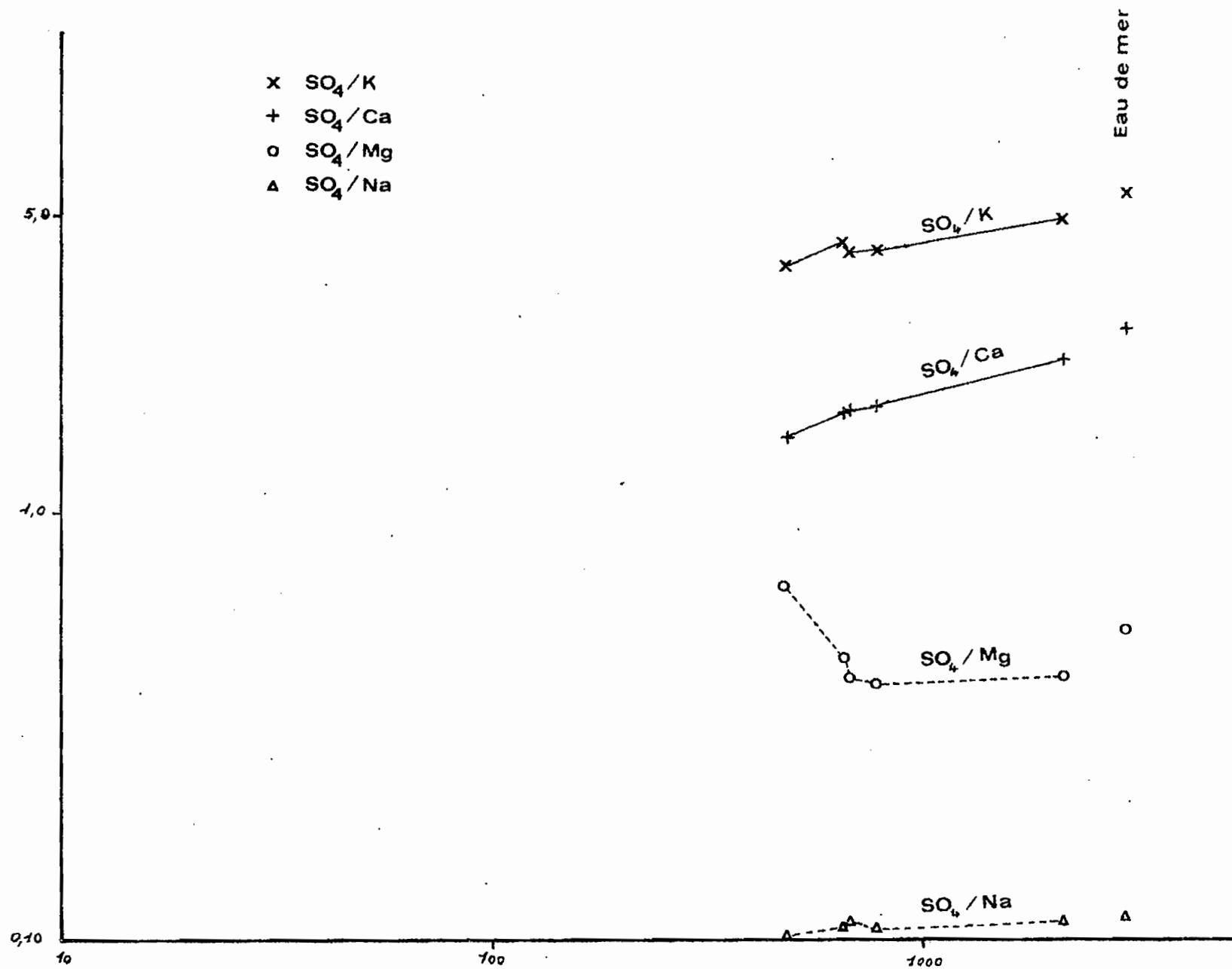


Fig. 18 ( suite )

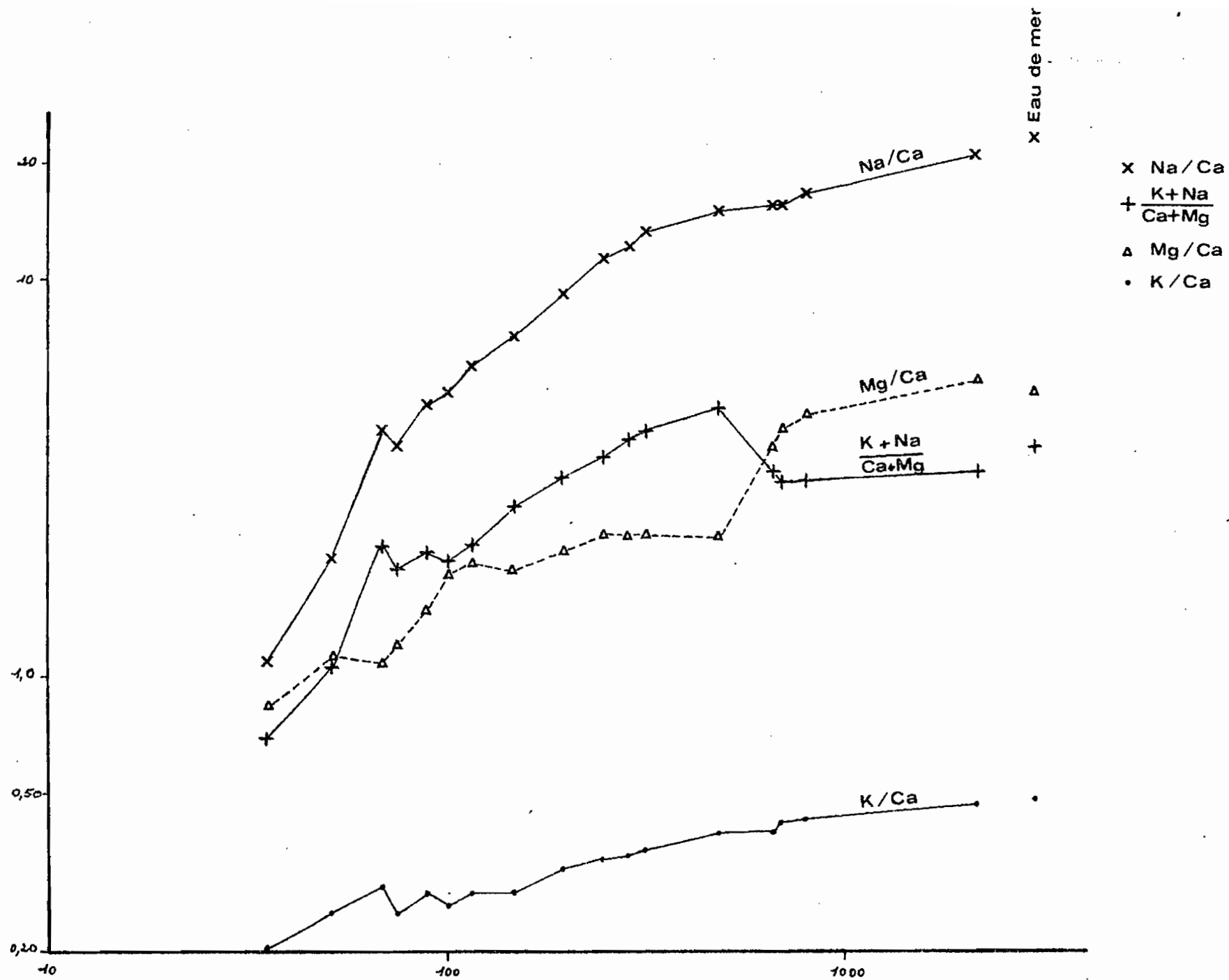


Fig. 19

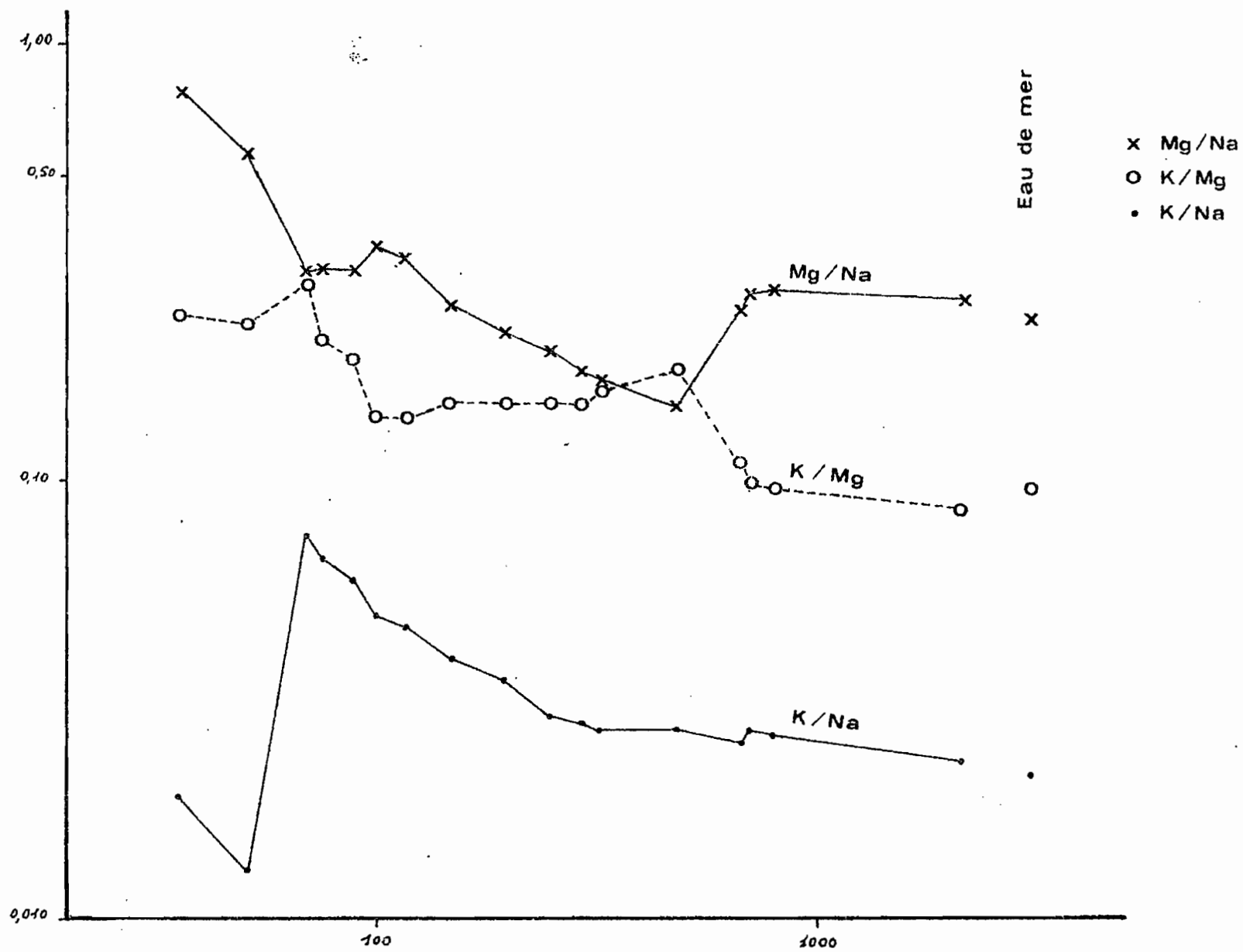


Fig. 19 (suite)

Le rapport Cl/Na atteint très rapidement des valeurs voisines de 1.

Les autres rapports où intervient Mg, présentent des variations importantes dues à cet élément.

#### IV.- CONCLUSION

Cette étude bien qu'incomplète nous<sup>a</sup> permis d'observer les phénomènes suivants:

- L'influence de la marée dynamique est importante dans le cours inférieur du Bandama : dans le cas d'une marée de coefficient 120-130, pour un débit d'étiage du Bandama égal à 15,6 m<sup>3</sup>/s, les amplitudes des niveaux d'eau aux stations de N'Zida (17 Km de l'embouchure) et de Tamabo (42 Km de l'embouchure) sont de l'ordre de 25 cm. Cette onde de marée n'existe plus pour un débit du Bandama égal à 220 m<sup>3</sup>/s environ.

- L'étude des vitesses de courant met en évidence la correspondance entre courants et niveaux d'eau, sauf, pour les courants de flot qui se poursuivent 30' après l'étales de haute-mer. De plus, nous pouvons noter la présence d'une tranche d'eau immobile, en-dessous de 2,50 - 3,00 m, cette masse d'eau présente une charge soluble unitaire supérieure à 2 g/l.

- Les courbes de variations des valeurs de résistivités nous montrent le schéma des échanges eaux salées-eaux douces : l'allure des ces courbes varie selon la position de la station choisie: à la station 17, située à la limite de l'influence marine, on assiste à une déssalure progressive de toute la tranche d'eau, excepté, en maximum de flot - aux stations 19 et 21, situées plus en aval, la stratification des eaux est plus prononcée, les résistivités des eaux de surface augmentent et diminuent progressivement, même durant les étales.

- La limite maximale de la pénétration saline a pu être déterminée, en conditions optimales: marées de vives-eaux, étiage du fleuve : cette zone de contact se situe à la station 16, soit à 31,250 Km de l'embouchure (observations du 16 février 1968).

- L'analyse chimique des échantillons d'eau de résistivités différentes nous montre l'évolution des teneurs et des pourcentages des éléments chimiques des eaux de composition intermédiaire entre celle de l'eau de mer et de l'eau fluviale. Les eaux ayant une charge soluble unitaire voisine de 660 mg/l ont une composition chimique proportionnelle à celle de l'eau de mer. Les teneurs en silice confirment son rôle d'indicateur des eaux d'origine continentale.

La connaissance des paramètres physiques et chimiques des eaux de cette zone, devra être complétée pour diverses parties de l'hydrogramme du Bandama, couplées à des forces de marées variées. Ceci est nécessaire pour l'étude des phénomènes de sédimentation des particules transportées en suspension et par charriage.



FIGURES ET GRAPHIQUES

- 1 - Situation géographique de l'étude.
- 2 - Marée dynamique à N'Zida et Tamabo.
- 3 - Variations de la résistivité à la station 17 (16.2.68) au cours de la marée.
- 4 - Variations de la résistivité à la station 17 (16.2.68) au cours de la marée (suite).
- 5 - Vitesses de courant (m/s) et résistivités ( $\Omega$  /cm/cm<sup>2</sup>) à la station 19 (15 - 16.3.68) - surface - 0,50 - 1,00 m .
- 6 - Vitesses de courant (m/s) et résistivités ( $\Omega$  /cm/cm<sup>2</sup>) à la station 19 (15 - 16.3.68) - surface - 1,50 - 2,00 - 2,50 m .
- 7 - Vitesses de courant (m/s) et résistivités ( $\Omega$  /cm/cm<sup>2</sup>) à la station 19 (15 - 16.3.68), au cours de la marée.
- 8 - Vitesses de courant (m/s) à la station 19 (15 - 16.3.68) par verticale.
- 9 - Vitesses de courant (m/s) et résistivités ( $\Omega$  /cm/cm<sup>2</sup>) à la station 21 (16.3.68) par profondeur.
- 10 - Vitesses de courant (m/s) et résistivités ( $\Omega$  /cm/cm<sup>2</sup>) à la station 21 (16.3.68) par profondeur (suite).
- 11 - Vitesses de courant (m/s) et résistivités ( $\Omega$  /cm/cm<sup>2</sup>) à la station 21 (16.3.68) au cours de la marée.
- 12 - Vitesses de courant (m/s) à la station 21 (16.3.68) par verticale.
- 13 - Relation résistivité ( $\Omega$  /cm/cm<sup>2</sup>) - charge soluble unitaire (mg/l).
- 14 - Histogrammes : Pourcentages éléments chimiques de chaque échantillon - charge soluble unitaire (mg/l).
- 15 - Histogrammes : Pourcentages éléments chimiques - charge soluble unitaire (mg/l).
- 16 - Variations teneurs éléments chimiques - charge soluble unitaire (mg/l).
- 17 - Variations pourcentages éléments chimiques - charge soluble unitaire (mg/l).
- 18 - Rapports éléments chimiques.
- 19 - Rapports éléments chimiques (suite).