

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE LOME

PREMIERS RESULTATS DES MESURES
DE QUALITE DES EAUX AU TOGO ET AU DAHOMEY

CONTRIBUTION A LA METHODOLOGIE DES
MESURES SYSTEMATIQUES DES DEBITS SOLIDES
EN SUSPENSION

J. COLOMBANI
Maître de Recherches
avec la collaboration de
Messieurs TOURNE,
GOUZY et DOSSOU-YOVO

D8
COL

7044 ex.1

PREMIERS RESULTATS DES MESURES
DE QUALITE DES EAUX AU TOGO ET AU DAHOMEY

18 OCT. 1966



J. COLOMBANI
Maître de Recherches
avec la collaboration de
MM. TOURNE, GOUZY &
DOSSOU-YOVO.

D &
COL

7044 ex.1

I N T R O D U C T I O N

Au cours de l'année 1965, nous avons été amenés à envisager l'organisation d'une campagne de mesures systématiques de qualité des eaux dans les principaux cours d'eau du TOGO et du DAHOMEY. Il nous fallait faire des essais afin de mettre au point les techniques à utiliser. La présente note n'a pour but que de présenter les résultats obtenus durant le 2ème semestre 1965 et le mois de janvier 1966, ainsi que les observations que nous avons pu faire sur les diverses méthodes utilisées.

-----oOo-----

I - ORGANISATION GENERALE DES MESURES

Pour effectuer nos mesures nous ne disposions à l'origine que du matériel courant des sections hydrologiques du Centre ORSTOM de Lomé et du Centre ORSTOM de Cotonou. Il nous a donc fallu compléter ce matériel et l'adapter.

Les hydrologues en poste au TOGO et au DAHOMEY, Messieurs DOSSOU-YOVO et TOURNE, ont été chargés des mesures sur le terrain et des prélèvements, Monsieur GOUZY, Chef du Laboratoire du Centre ORSTOM de Lomé, étant chargé des analyses.

Les mesures ont été couplées avec celles de débit solide exécutées dans le cadre de l'Etude du Bassin du MONO.

Quelques stations repères ont été suivies avec une certaine assiduité tandis que des mesures extensives étaient faites sur l'ensemble du réseau.

.../...

II - TECHNIQUES UTILISEES

En sus du matériel hydrologique courant (Moulinets, Treuils, bateau pneumatique etc...) nous nous sommes procuré des Pompes JAPY pour effectuer les prélèvements et des gourdes en plastique pour transporter les échantillons d'eau. Nous avons choisi la Pompe JAPY en raison de ses facilités d'emploi et de son faible prix, malgré les reproches que l'on peut lui faire, dont le principal, dans l'étude présente, est la mise en contact de l'eau avec les pièces métalliques. En fait ce contact est bref et ne semble pas avoir d'influence sur la qualité des eaux d'après les essais comparatifs faits sur des prélèvements simultanés en surface à la Pompe JAPY et à seau de plastique.

Le transport des échantillons d'eau dans des gourdes de plastique n'est guère susceptible non plus de modifier la concentration en anions et cations (1). Par contre le Ph des eaux est sujet à des variations importantes quel que soit le mode de transport utilisé, ce qui nous a amenés à effectuer la mesure sur place. Pour obtenir des valeurs très précises du Ph il faut utiliser des Ph mètres électroniques portatifs ; ces appareils sont délicats, coûteux et surtout encombrants ; les conditions dans lesquelles nous effectuons nos mesures (véhicules de capacité limitée, longs parcours sur des pistes difficiles etc...) ne nous permettent pas leur emploi pour l'instant. Il existe bien des Ph mètres électroniques portatifs légers et peu encombrants mais cette maniabilité est obtenue au détriment de la précision de la mesure. Nous nous sommes donc décidés à utiliser le comparateur LOVIBOND. Peu coûteux, ni fragile ni encombrant, pratique à l'emploi cet appareil a évidemment l'inconvénient d'une précision restreinte. Cependant, une comparaison faite au laboratoire avec un Ph mètre électronique sur une série d'échantillons d'eau nous a permis de constater que l'écart entre le LOVIBOND et le Ph

.../...

(1) cf. Recherche et dosages des éléments traces - M. PINTA
chapitre I - § 8 - page 41.

mètre électronique était généralement au maximum de l'ordre de 0,1 unité de Ph. Dans ces conditions, il est préférable de mesurer le Ph sur le terrain avec un comparateur LOVIBOND plutôt qu'au laboratoire avec Ph mètre électronique puisque le Ph de l'eau peut varier entre l'instant du prélèvement et la mesure faite une ou deux semaines plus tard d'une unité de Ph et quelquefois plus. Notons que le Ph des eaux très chargées en sels n'est pas mesurable avec précision par la méthode colorimétrique.

Pour des raisons d'ordre pratique, nous n'avons pu effectuer certains dosages : l'oxygène dissout en particulier dont la mesure doit être faite immédiatement après le prélèvement.

La température de l'eau est relevée à chaque série de prélèvements. Au laboratoire les méthodes d'analyses utilisées sont classiques :

Dosage des chlorures (Bromures, Iodures) Méthode Volhard.

Les résultats obtenus ne sont acceptables que pour des concentrations supérieures à 10 ppm en chlore. La valeur obtenue est la chlorinité, c'est-à-dire la concentration en halogènes exprimée en chlore.

Dosage du Calcium et du Magnésium

Par complexométrie - Les résultats obtenus sont assez bons.

Dosage du Sodium et du Potassium

Par photométrie de flamme.

Les résultats sont précis, à condition de tenir compte des interférences possibles (en particulier interférence du Sodium dans le dosage du Potassium pour les eaux lagunaires).

.../...

Dosage des sulfates

Nous n'avons pu utiliser jusqu'à ce jour que la méthode par gravimétrie du sulfate de Baryum. La précision est très faible pour les teneurs inférieures à 30 ppm et les résultats obtenus sont quelque peu incohérents. L'utilisation d'un Spectrophotomètre JEAN & CONSTANT (qui n'existe pas au laboratoire du Centre de Lomé pour l'instant) permettrait le dosage par nephelométrie qui est beaucoup plus précis. (Les colorimètres dont nous disposons n'ont pas de cuves suffisamment grandes pour être utilisables dans cette méthode).

Dosage des phosphates

Par colorimétrie du bleu de molybdène. L'utilisation des colorimètres dont nous disposons nous limite à une longueur d'onde de travail maximum de 6700 Angstroems ce qui est insuffisant pour avoir une bonne précision. En effet, le dosage par colorimétrie au bleu de molybdène peut se faire dans une bande voisine de 6300 Angstroems ou une bande voisine de 8300 Angstroems, mais la mesure n'est précise que dans la bande voisine de 8300 Angstroems. Un Spectrophotomètre JEAN & CONSTANT permettrait de travailler dans cette bande.

Dosage de la silice

Des dosages ont été effectués sur quelques échantillons par évaporation d'une grande quantité d'eau préalablement filtrée. Cette méthode n'est guère applicable pratiquement en grande série. Un Spectrophotomètre JEAN & CONSTANT permettrait des mesures assez précises.

Dosage du Fe

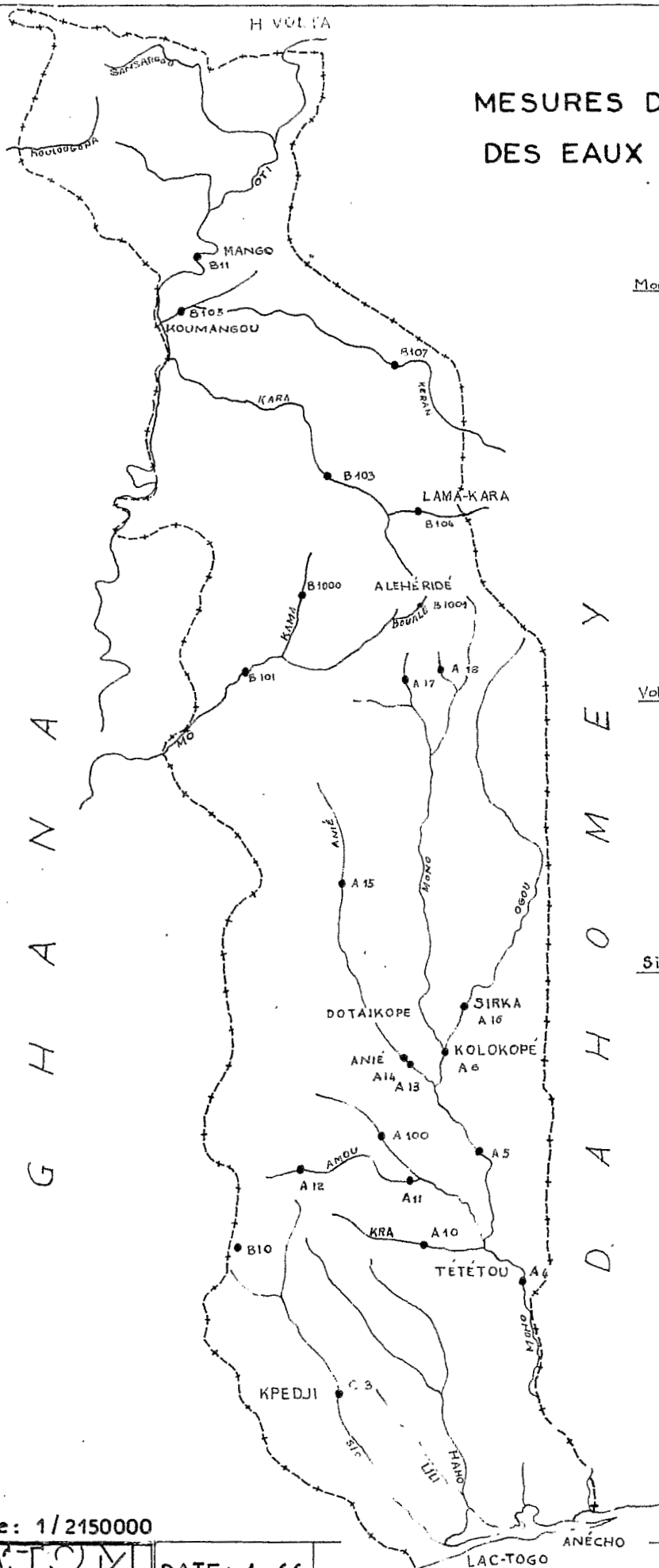
Colorimétrie par l'orthophenantroline. La précision est moyenne au dessus de 2 ppm.

Divers

La mesure de la résistivité des échantillons est également faite au laboratoire à l'aide d'un pont de Kolrausch.

.../...

MESURES DE QUALITE DES EAUX AU TOGO



Stations

Mono

- A4 Mono à Tététou
- A5 " à N'Gamboto
- A6 " à Kolokopé
- A7 " à Dotsikopé
- A10 Chra à Chra
- A11 Amou à Gléï
- A12 Amou à Anou-Oblo
- A13 Anié à Anié-Pont
- A14 Anié à Anié-Gare
- A15 Anié à Blitta-Gare
- A16 Ogoou à Sirka
- A17 Na à Porotao
- A18 Kolowaré à Kolowaré
- A100 Amoutchou à Eléva

Volta

- B10 Doyes à Dzobégan
- B11 Oti à Mango
- B101 Mè à Bongoulou
- B103 Kara à Kpesside
- B104 Kara à Lama-Kara
- B105 Koumangou à Koumangou
- B107 Kéran à Titiro
- B100 Kama à Bossari
- B1001 Boualé à Aléhéridé

Sio

- C3 Sio à Kpédji

● Stations citées dans ce rapport

Echelle: 1/2150000

ORSTOM

DATE: 4-66

DES: M.Sossah

T 024 H

III - MESURES EFFECTUEES

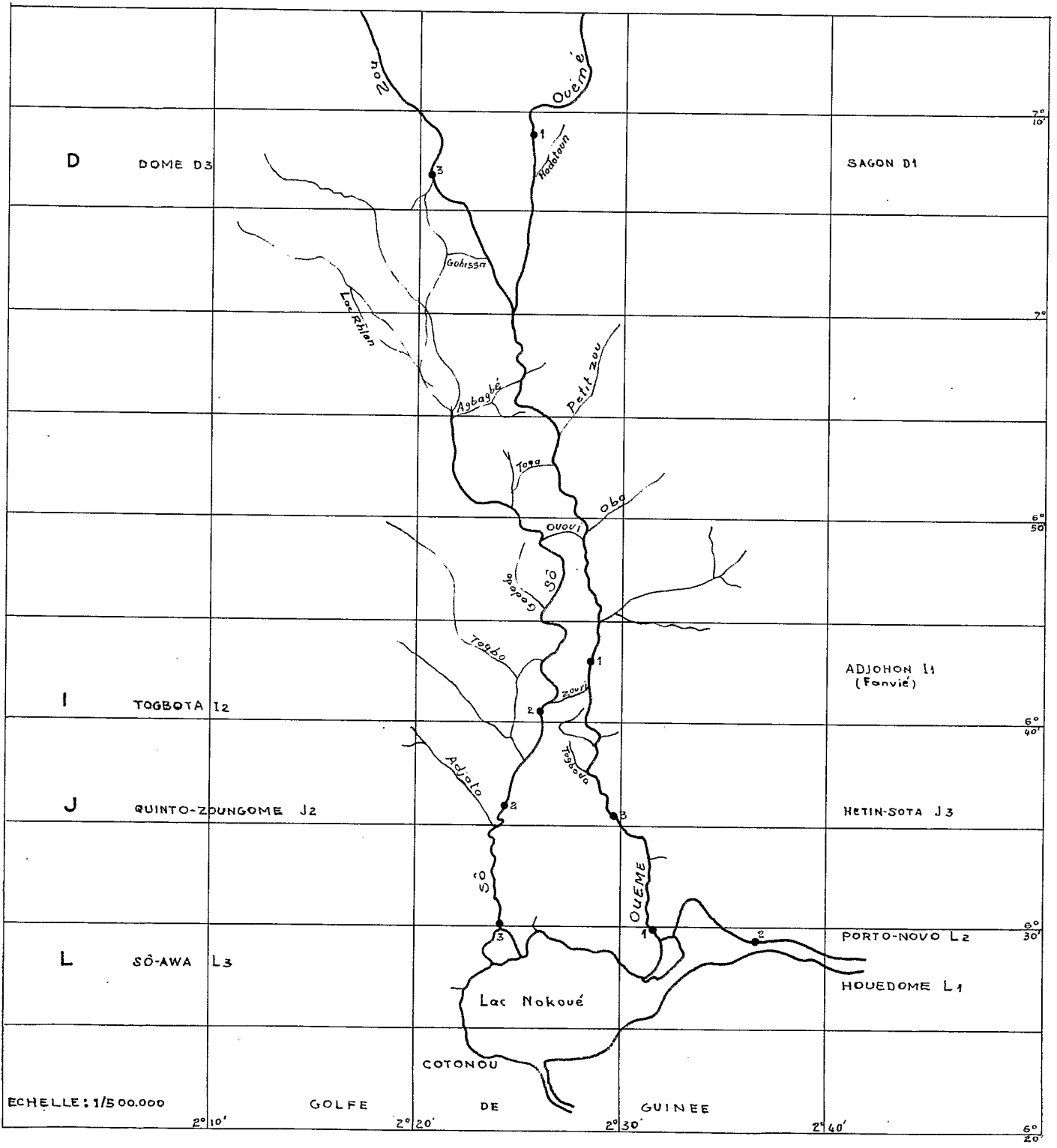
A) - Le but de la campagne de mesures 1965 était essentiellement de faire des essais nous permettant la mise au point d'une campagne de mesures systématiques en 1966. Pour cela nous voulions étudier les variations dans le temps et l'espace des différents éléments définissant la "qualité" de l'eau. En fait, pour des raisons d'ordre pratique, nous nous sommes limités aux dosages des principaux cations (Ca, Mg, Na, K), dans une moindre mesure au dosage des anions (SO_4 , Cl, PO_4). La mesure du Ph, d'abord faite en laboratoire, n'a été faite systématiquement sur le terrain qu'à la fin de la campagne, ainsi d'ailleurs que la mesure de la température. Les mesures de résistivité n'ont été commencées pratiquement qu'au début de l'année 1966, le Pont de Kolrausch utilisé ayant auparavant présenté des défaillances.

B) - Les stations de prélèvements sont les suivantes :

<u>TOGO</u>	<u>Bassin du Mono</u> (fig. 1)	<u>Observations</u>
	Mono à Corrékopé (ou Kolokopé) Anié à Anié (Pont CFT)	{ Stations où des mesures ont été faites sur l'ensemble de la section.
	Mono à Tététou Mono à N'Gambéto Mono à Dotaikopé Anié à Anié Gare Anié à Blitta Ogou à Sirka Kolowaré à Kolowaré Na à Paratao Amou à Gléi Amou à Amou-Oblo Chra à Chra Amoutchou à Ebewa	{ Stations où des mesures ont été faites en un ou deux points de la section seulement
	<u>Bassin du Sio</u> (fig. 1) Sio à Kpédji	{ Mesures en un ou deux points de la section.
	<u>Bassin de la Volta</u> (fig. 1) Oti à Mango	{ Mesures faites sur l'ensemble de la section.

.../...

MESURES DE QUALITE DES EAUX DANS LE DELTA DE L'OUEME



ORSTOM

DATE: 3 - 5 - 66

DESSINÉ:

M. Sossah.

D 025H

Koumangou à Koumangou	{ Mesures en un ou deux points.
Kara à Lama-Kara	
Kara à Kpessidé	
Kéran à Titira	
Mô à Bongoulou	
Boualé à Aléhéridé	
Kama à Bassari	
Dayes à Dzoghégan	

Système lagunaire (fig. 2)

Yacht Club à Porto-Séguro	{ prélèvements heb- domadaires en sur- face de deux échantillons
Pont de Kpémè	
Pont de Zébé	
Pont sur le Boko (Rte Anfoin-Vogan)	
Seva-Tonou (près de Sévagan)	

DAHOMEY

Bassin de l'Ouémé (fig. 3)

Ouémé à Sagon	{ Mesures sur l'en- semble de la sec- tion
Ouémé à Adjohoun	
Ouémé à Hétin Sota	
So à Togbota	
So à Quinto Zoungomé	
Zou à Domé	{ Mesures en quel- ques points seulement.
So à So Awa	
Ouémé à Houédomé	
Lagune de Porto-Novo	

C) - Examen des résultats obtenus

Nous donnons en annexe la totalité des résultats obtenus à la plupart des stations du Togo (à l'exception des stations du système lagunaire pour lesquelles des graphiques sont présentés plus loin). Pour les stations du Dahomey, les résultats seront publiés dans la Monographie du Delta de l'Ouémé.

1°) - Nombre de points de prélèvements nécessaires dans une section pour obtenir une bonne représentation de la qualité des eaux

Aux stations suivantes :

Mono à Corrékopé
Anié à Anié - Pont CFT
Oti à Mango
Ouémé à Adjohoun
Ouémé à Hétin-Sota
Ouémé à Sagon
Zou à Domé
So à Togbota
So à Quinto Zoungomé
So à So Awa

.../...

nous avons effectué des séries de prélèvements en six à douze points différents de la section afin de déceler des variations éventuelles de la concentration des différents cations en relation avec la position dans la section. Les figures 4 à 12 donnent des exemples des résultats obtenus aux diverses stations. Les figures 13 à 15 représentent les mesures de chlorinité effectuées en mars 1965 sur la So à So Awa, la So à Quinto Zoungomé et l'Ouémé à Houédomé.

Il convient de distinguer le cas des eaux faiblement minéralisées et le cas des eaux fortement minéralisées ou moyennement minéralisées à faibles courants. Dans le premier cas (stations des fleuves en général), étant données les erreurs de dosage possibles et les valeurs constatées des concentrations des différents cations pris comme repère (Calcium, Magnésium, Sodium et Potassium), il ne semble pas qu'il y ait une relation quelconque entre la position dans la section et la teneur en éléments dissouts.

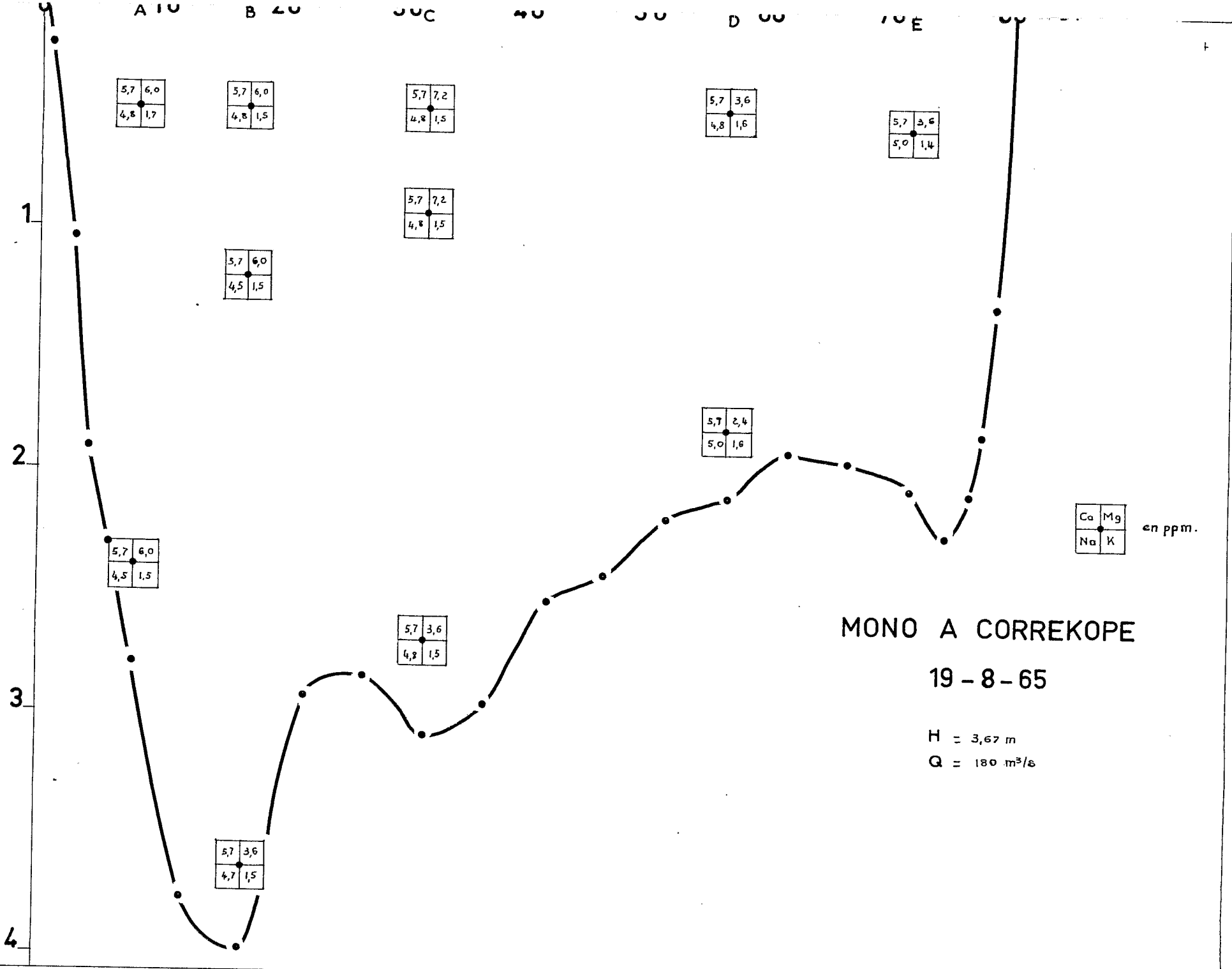
Par contre dans le cas des eaux moyennement ou fortement minéralisées, il y a une hétérogénéité certaine des résultats liée à la profondeur comme on peut le voir en mars 1965 à So Awa, Houédomé et Quinto Zoungomé.

En règle générale, on peut retenir les résultats suivants :

a) - dans le cas des eaux peu minéralisées, avec un écoulement à vitesse moyenne ou forte, le brassage est suffisant pour avoir des teneurs en éléments dissouts sensiblement homogènes dans l'ensemble de la section. Trois prélèvements en trois emplacements différents à 20 cm de profondeur environ, dans les zones à vitesse forte suffiront alors à caractériser la qualité de l'eau. Trois prélèvements valent mieux que deux ou un seul car si une erreur de manipulation ou de dosage intervient il sera facile d'éliminer la valeur inexacte qui se révèlera comme trop différente des deux autres.

.../...

OPERATION DATE: 10-3-66 DESSINÉ: M. Sossch. T 699 H

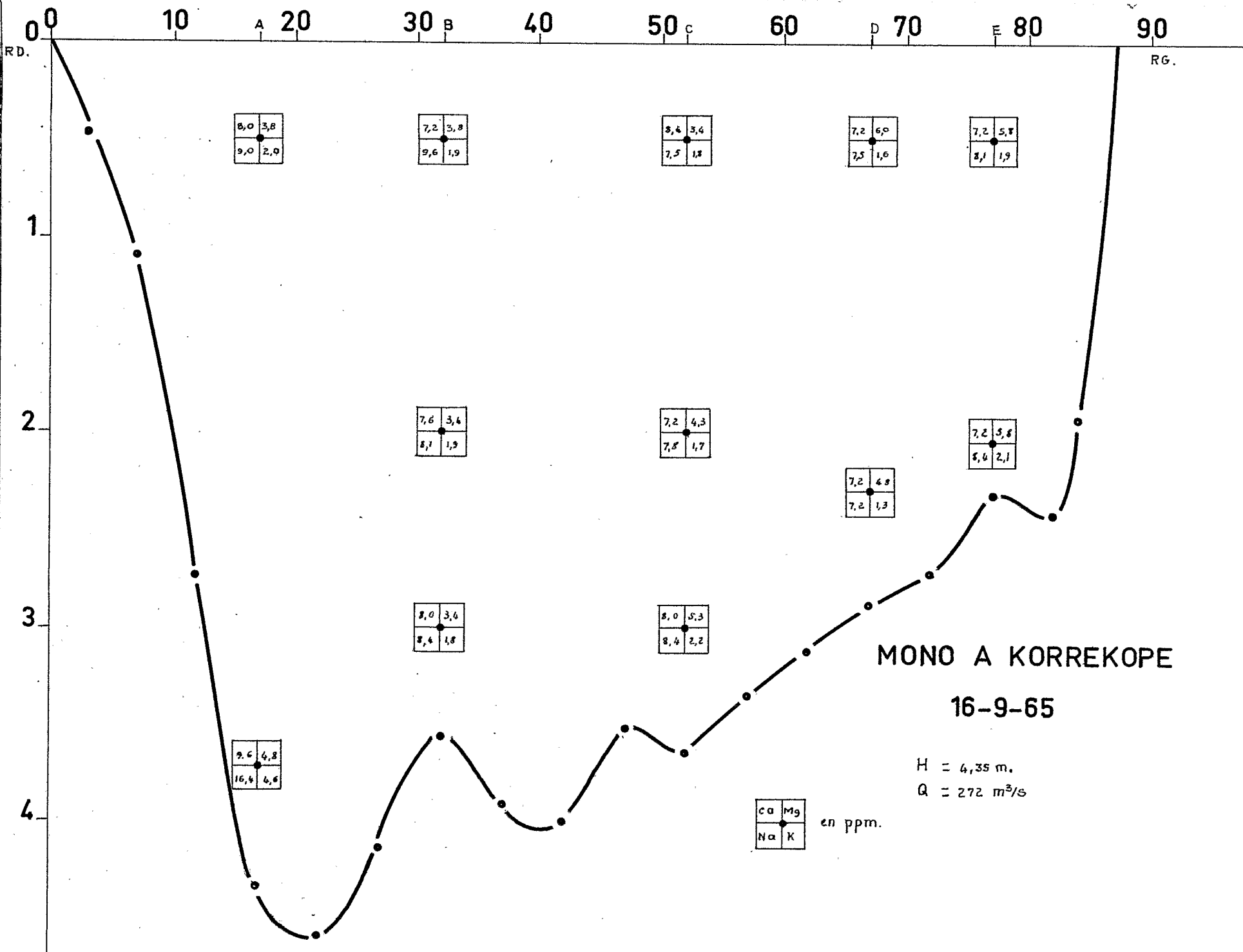


CHARTOY

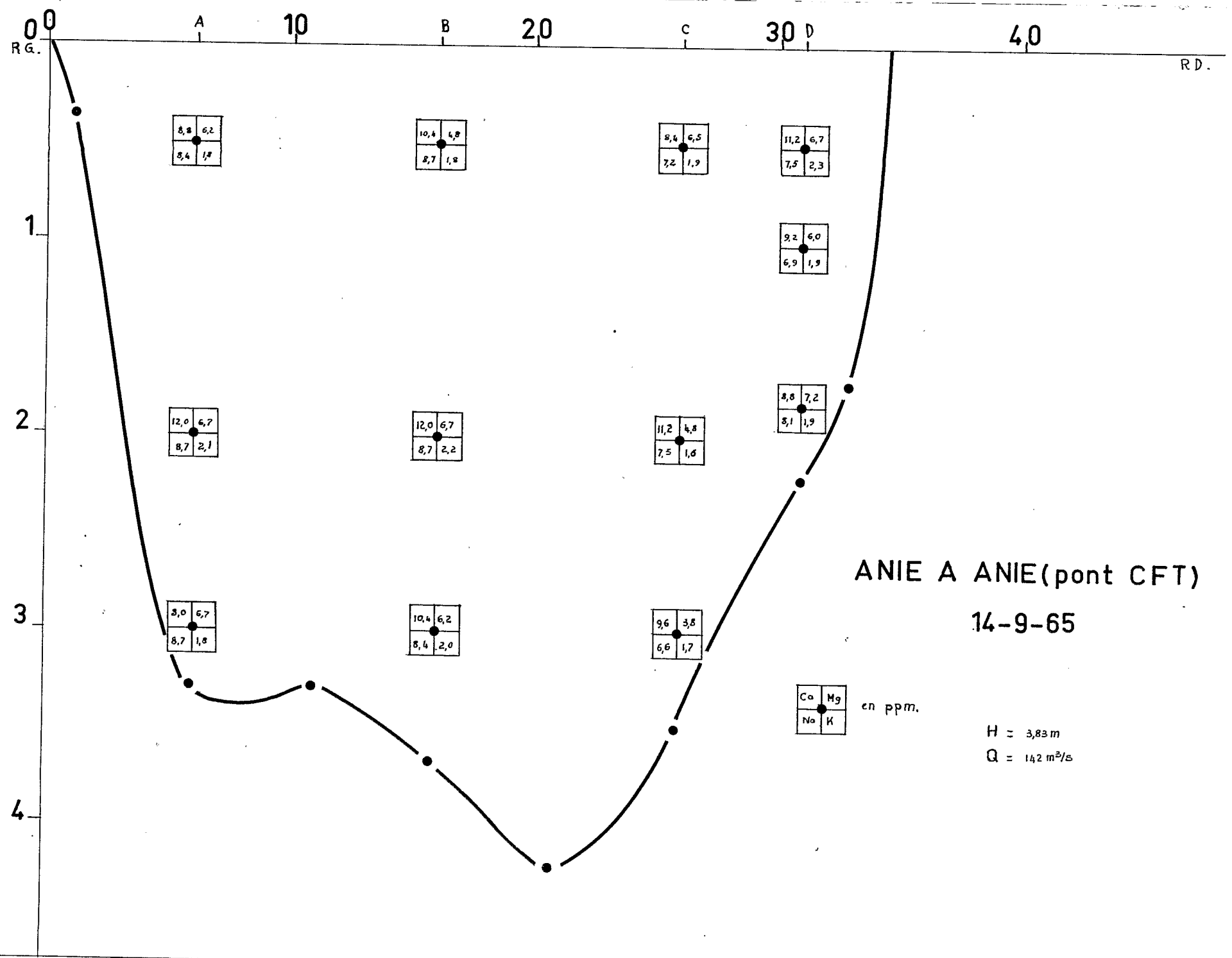
DATE: 8-3-66

DESSINE: M. Sosdch

T 689 H



CRISTOM
 DATE : 9-3-66
 DESSINÉ : M. Sossh.
 T 690 H

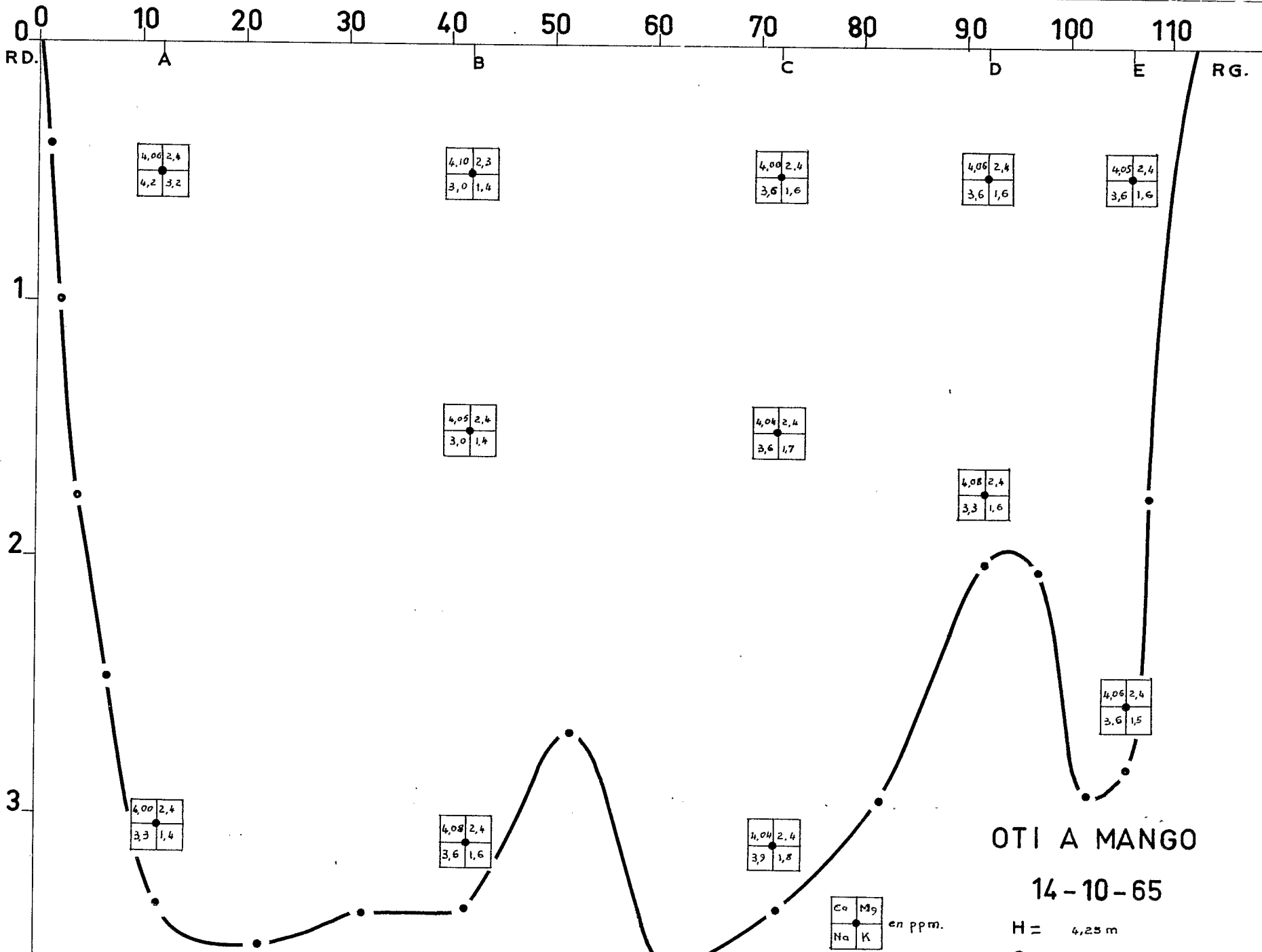


CHARTON

DATE: 9-3-66

DESSINÉ: M. Sossah.

T 691H



Ph: 6,9 Bleu de Bromothymol
 6,8 Rouge de Phenol

OTI A MANGO

14-10-65

H = 4,25 m
 Q = 225 m³/s
 t° = 31°2 en surface dans le courant

Ca	Mg
Na	K

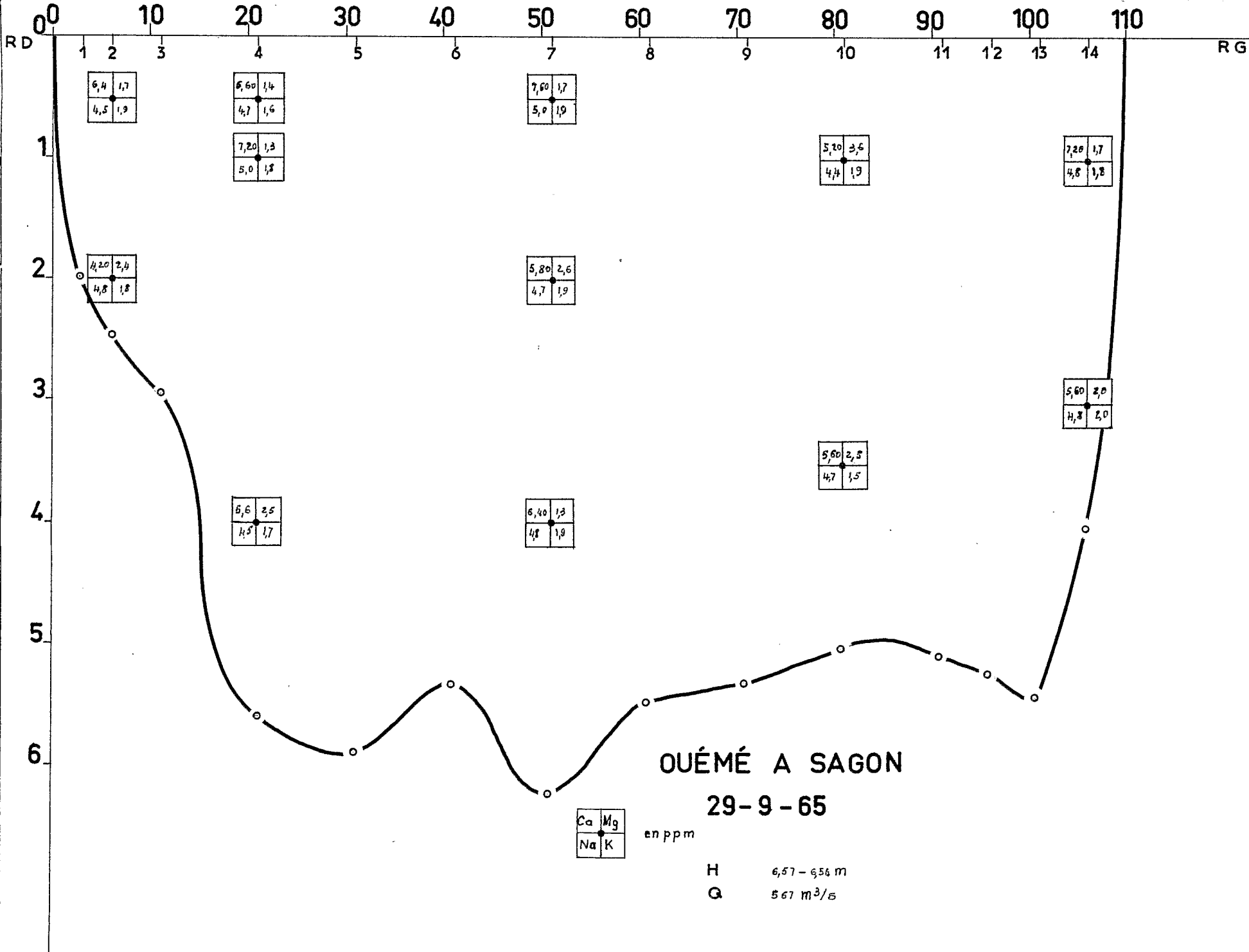
en ppm.

GRANDY

DATE : 1 - 3 - 66

DESSINÉ : M. Sosseh.

D700-7H

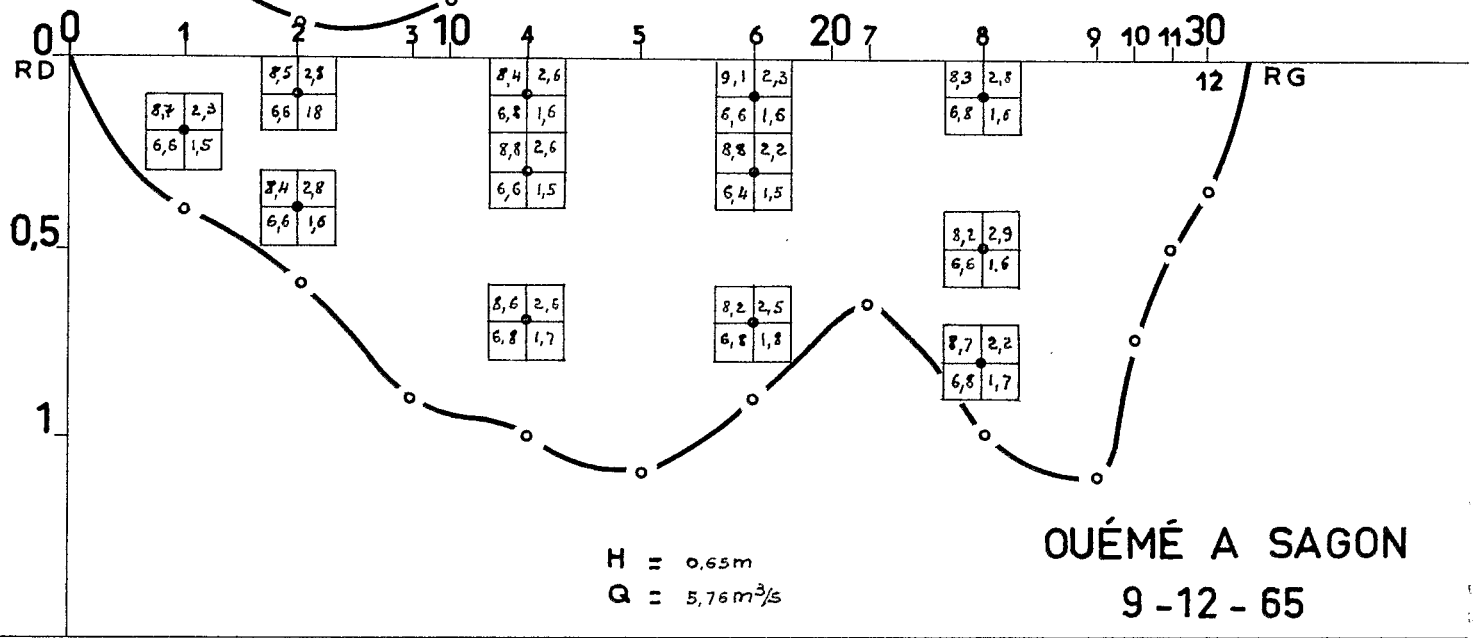
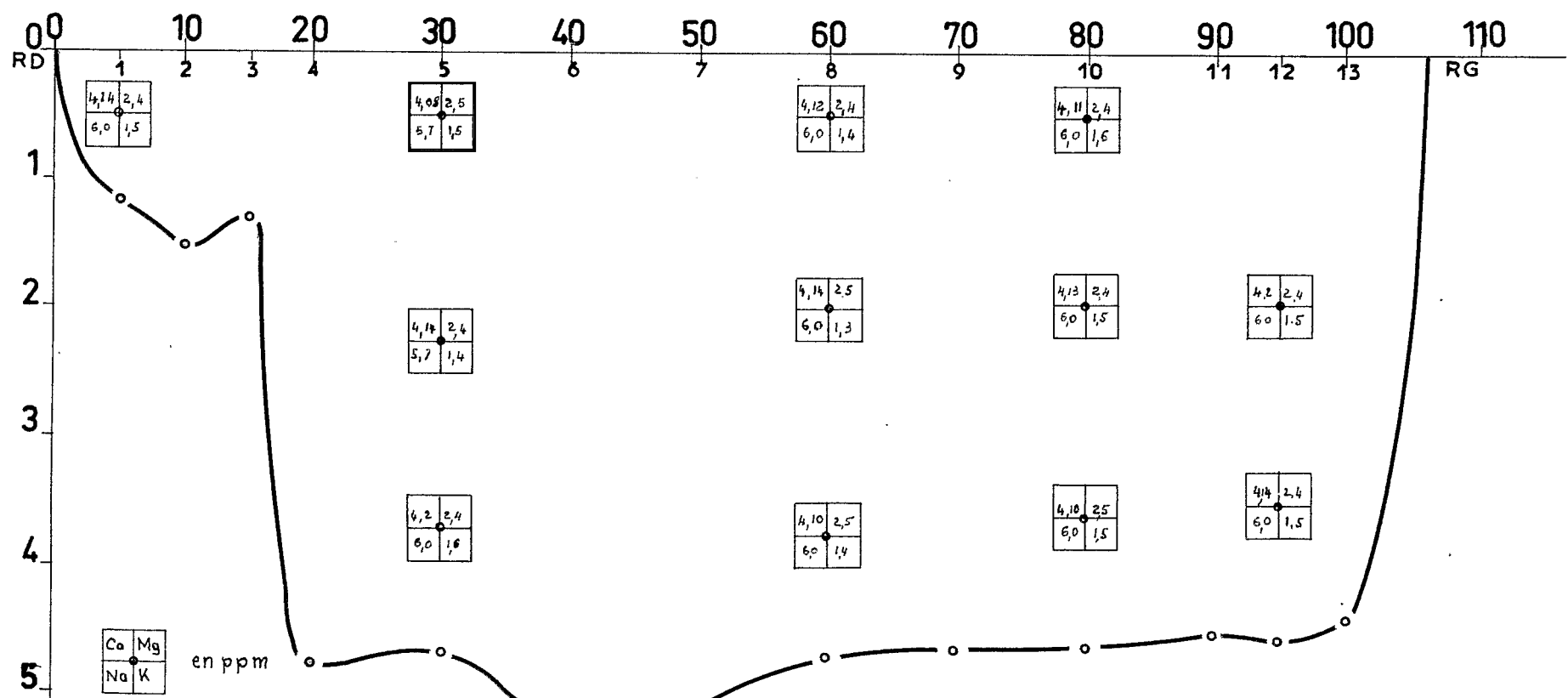


ORSTOM

DATE: 4-4-66 DESSINÉ

M. Sosschi.

D700-8 H



OUÉMÉ A SAGON
12-10-65

H = 5,22 m
Q = 385 m³/s

OUÉMÉ A SAGON
9-12-65

H = 0,65 m
Q = 5,76 m³/s

PHYSIOM

DATE: 29-3-66

DESSINÉ: M. Sossch.

D700-5H

00 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130

RD 1 2 3 4 5 6

RG

OUÉMÉ A HETIN-SOTA

21-10-65

H = 1,01 m

Q = 275 m³/s

6,8	1,8
4,7	1,7

7,0	1,1
4,4	1,8

7,0	1,2
4,4	1,8

6,4	1,7
4,5	1,5

7,0	1,2
4,5	1,8

6,3	1,8
4,4	1,8

6,6	1,3
4,5	1,8

1

2

3

4

5

6

00 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130

RD 1 2 3 4 5 6

RG

Ca Mg
Na K an ppm

OUÉMÉ A HETIN-SOTA

2-10-65

H = 1,75 m

Q = 365 m³/s

4,16	2,48
6,3	1,7

4,27	2,46
6,9	1,7

4,27	2,46
6,6	1,5

4,21	2,51
6,9	1,8

4,21	2,48
7,8	1,7

4,15	2,53
7,5	1,7

1

2

3

4

4,15	2,51
6,3	1,7

4,23	2,46
6,8	1,7

4,18	
6,9	1,7

4,20	2,47
6,6	1,4

4,21	2,46
6,6	1,7

4,14	2,49
7,2	1,7

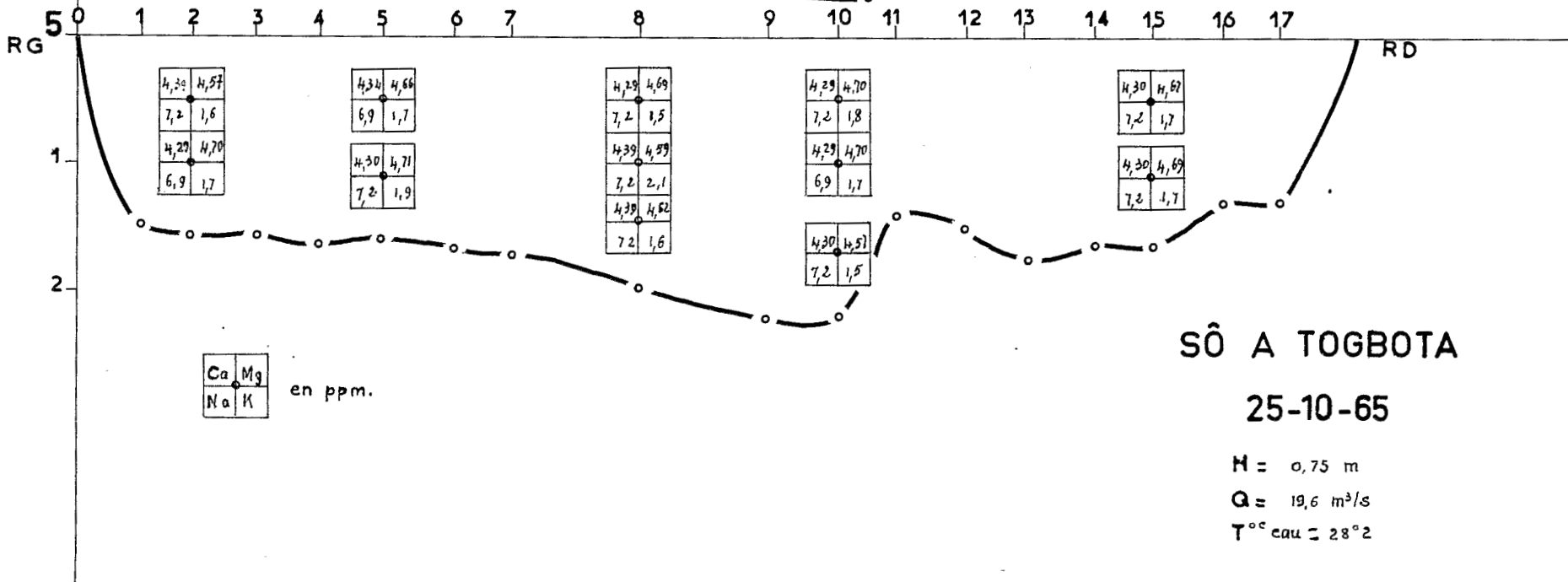
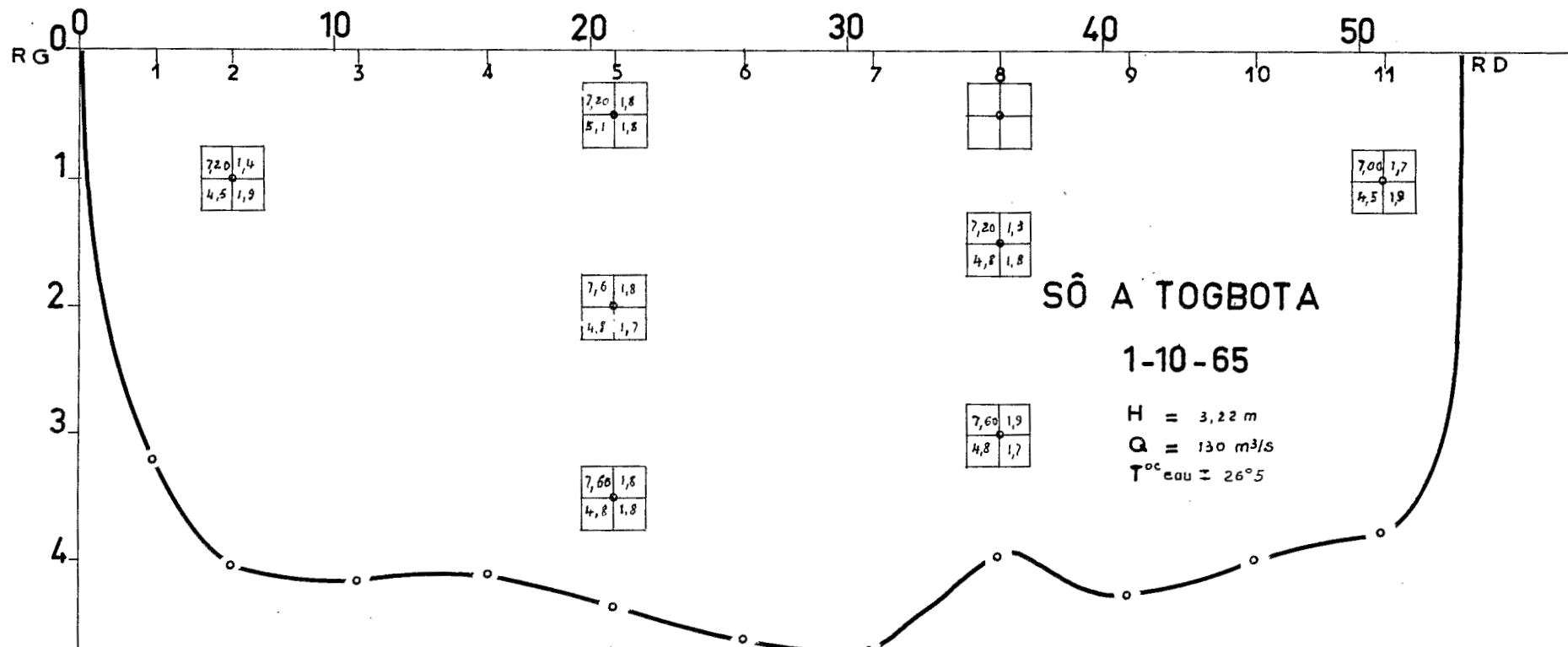
GRATIY

DATE, 6-4-66

DESSINÉ :

M. Sossch

D 700-9-H



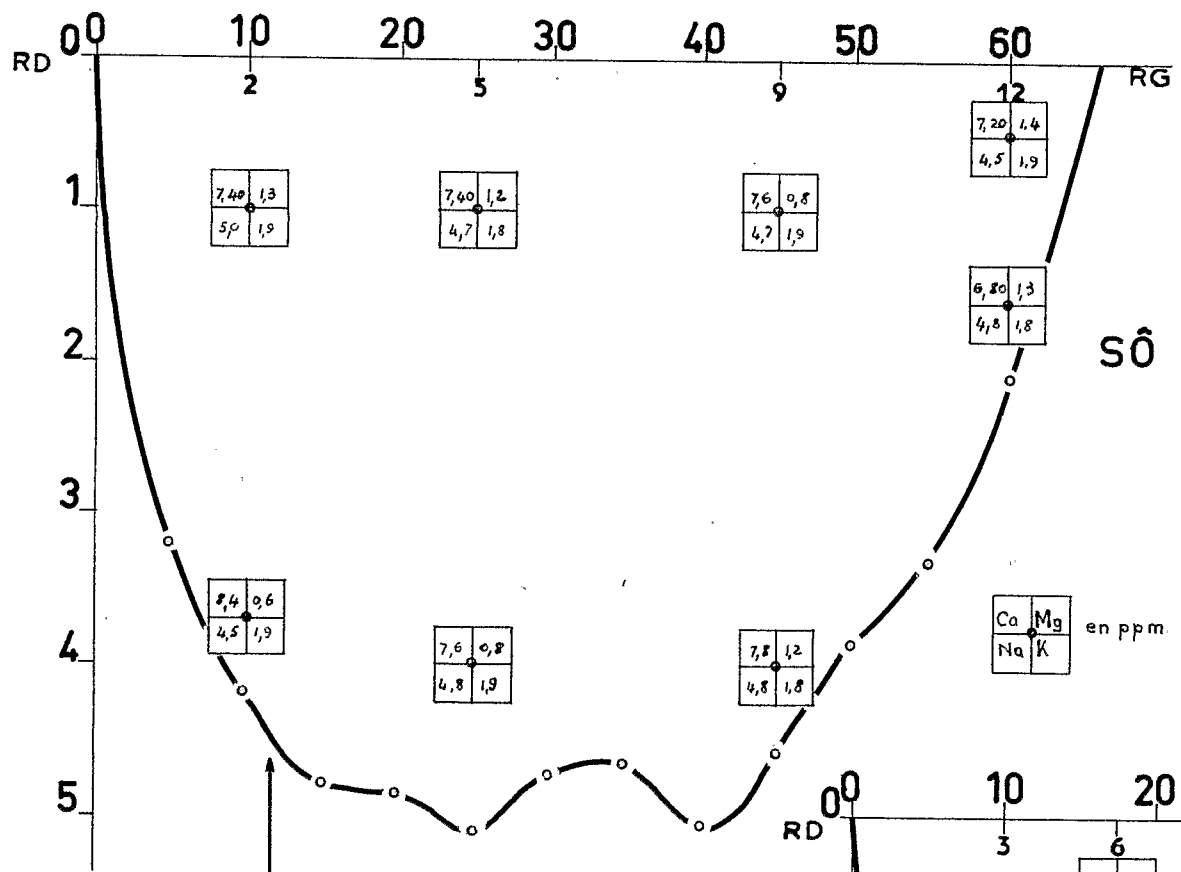
CRISTOM

DATE: 30-3-66

DESSINÉ :

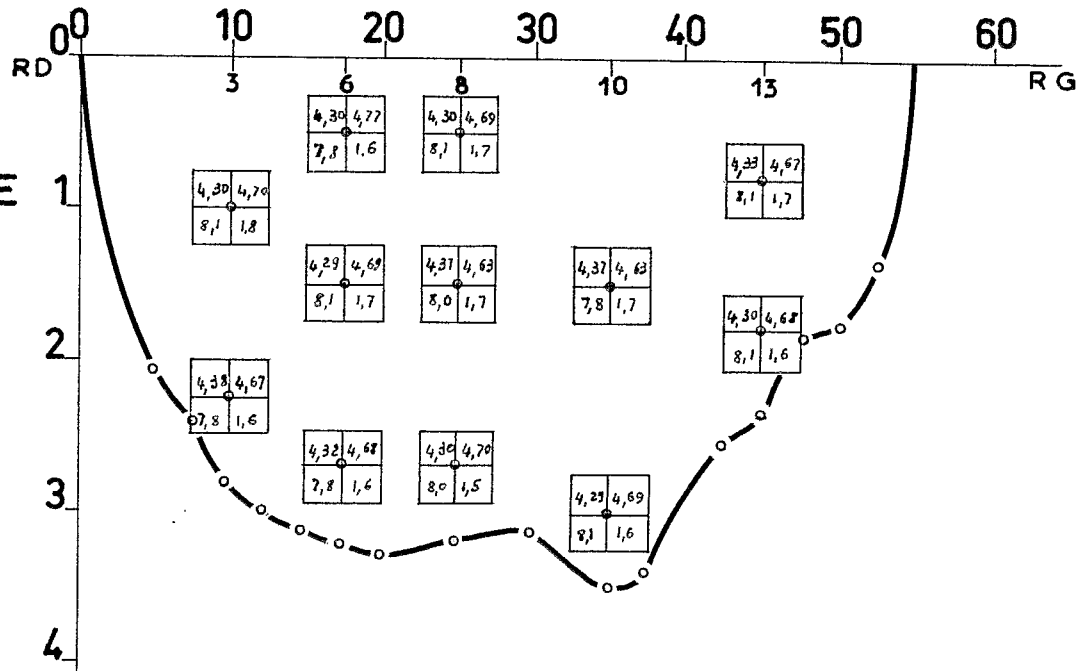
M. Sossoh

D 700-6H



SÔ A QUINTO ZOUNGOME
1 - 10 - 65

H = 2,80 m
Q = 22,6 m³/s



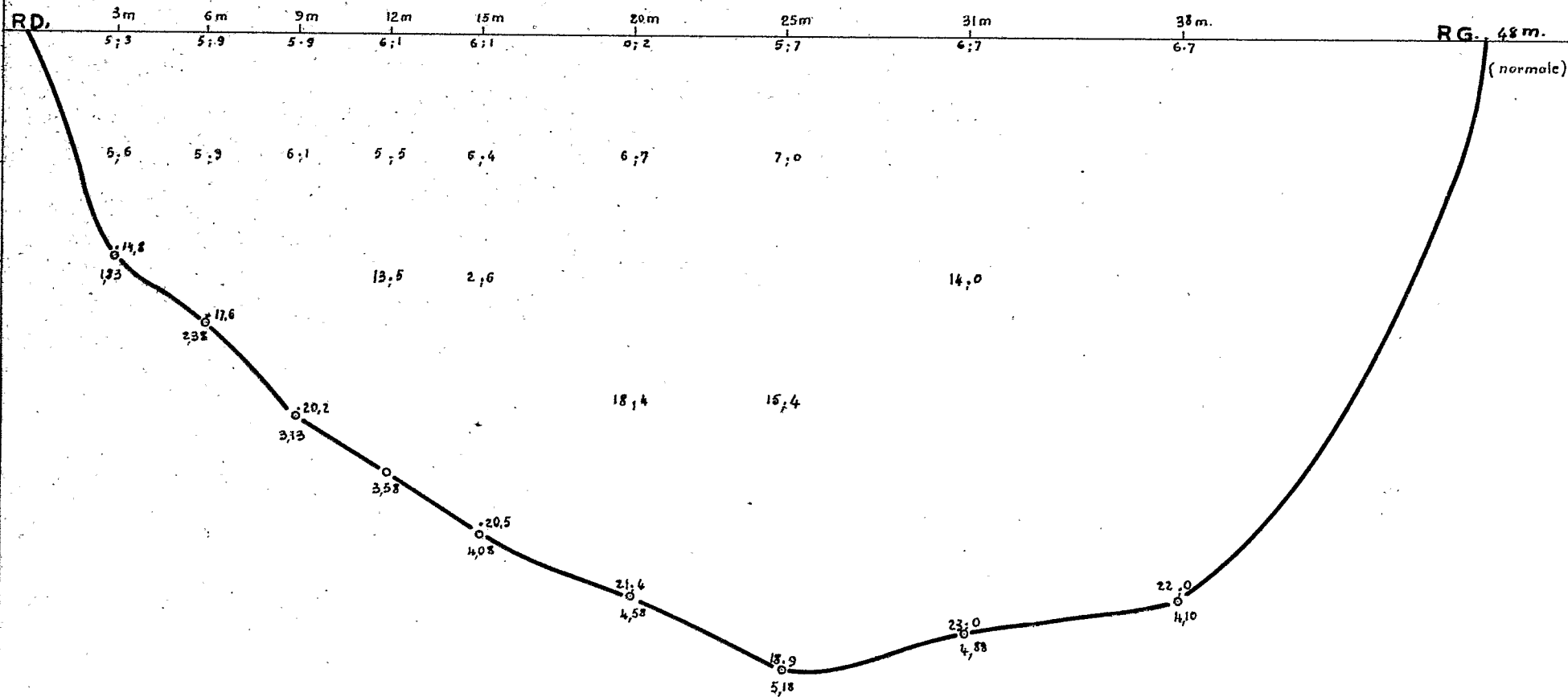
L'OUEME A OUEDOME

10 - 3 - 65

H: { 0,36 à 11h 35'
0,365 à 14 heures

Courant inverse
(6,1 Nacl en g / 100 cc)

Marée montante
Profil, Section de jaugeage



GRS T O Y

DATE: 22-4-66

DESSINE: M. Sossch

D 700-16H

LA SÔ A SÔ AWA

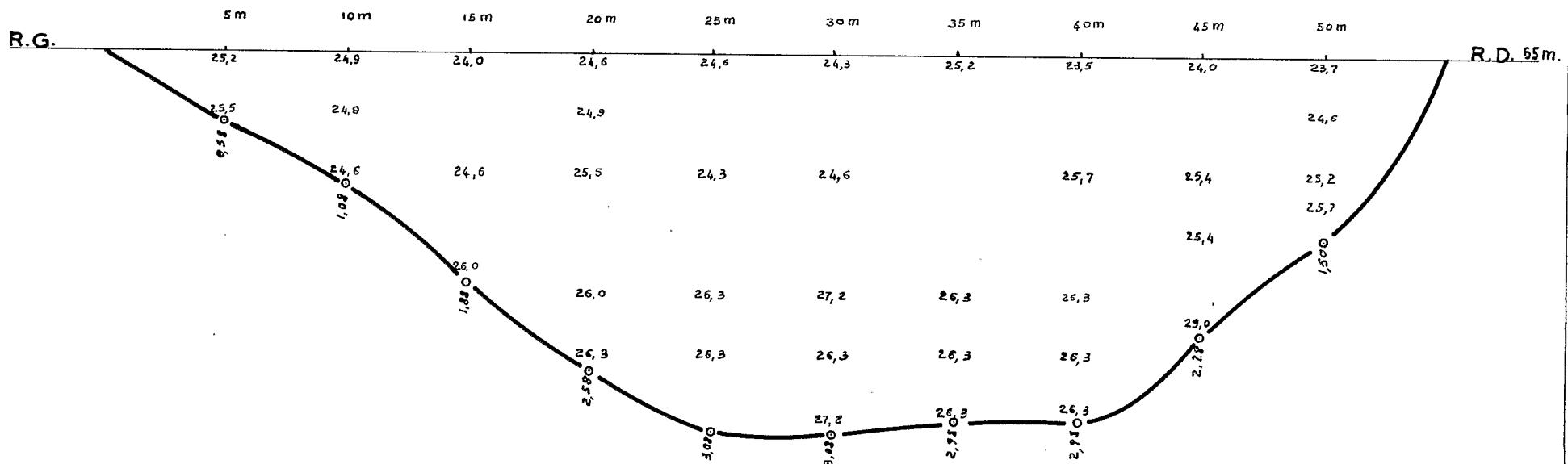
19 - 3 - 65

SALINITE

(25,5 NaCl en g par l)

Salinité déterminée au laboratoire de Cotonou
par dosage du chlorure de Sodium

H. { 0,28 à 9 heures
0,28 à 10h.15'



Chenal: Abomey Calavi → Ganvier

Surface: 26,3, 26,0

G.R.T.G.V.

N.T.: 3-4-66

DRESSÉ: M. Sosseh.

N7NN-15H

LA SÔ A QUINTO ZOUNGOME

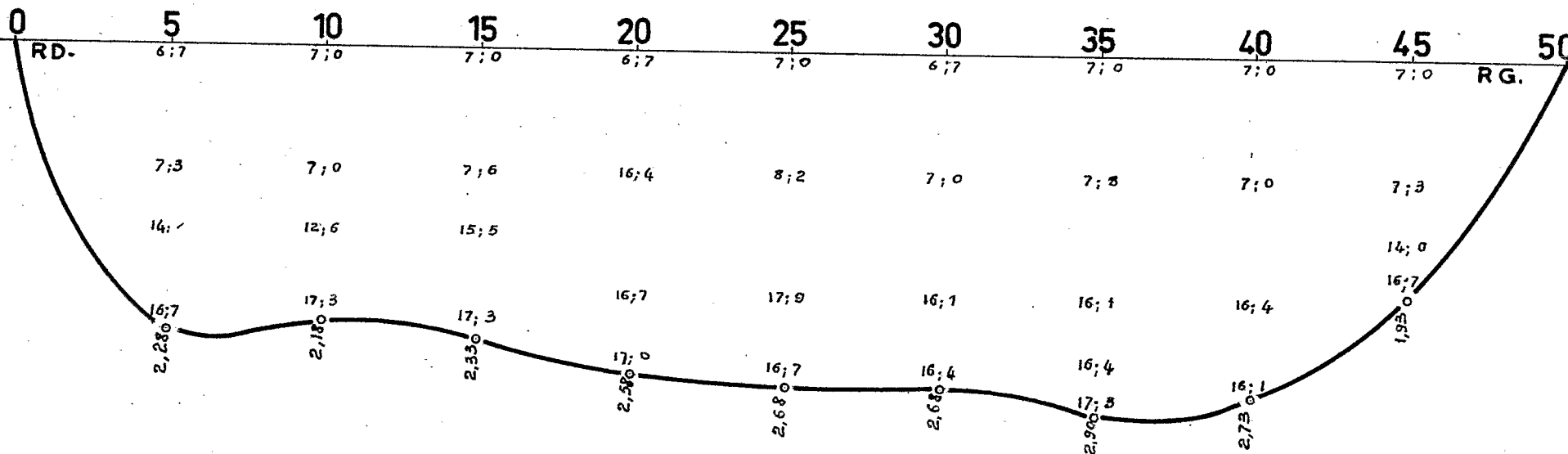
19-3-65

SALINITE

(16;7, Nacl en g par l)

dosé au Laboratoire de Cotonou

H: { 0,49m. à 11h45'
0,50m. à 12h45'



G.R.F. S.V.

DATE: 23-4-66

DESSINÉ:

M. SOSSOH.

D700-17H

La probabilité pour que deux mesures sur trois soient entachées d'erreur est relativement faible.

Il conviendra cependant d'éviter les prélèvements à l'aval immédiat d'un confluent, le mélange des eaux pouvant nécessiter quelques kilomètres de parcours.

A éviter aussi les prélèvements à l'aval immédiat des agglomérations importantes surtout en basses eaux (à moins évidemment que l'on s'intéresse à la pollution des eaux).

b) - dans le cas des eaux à minéralisation plus élevée, des prélèvements en une douzaine de points répartis sur toute la section sont nécessaires. Ce sera le cas des estuaires et deltas où le mélange des masses d'eau douce et d'eau salée est généralement très imparfait.

2°)- Variations dans le temps des concentrations en cations

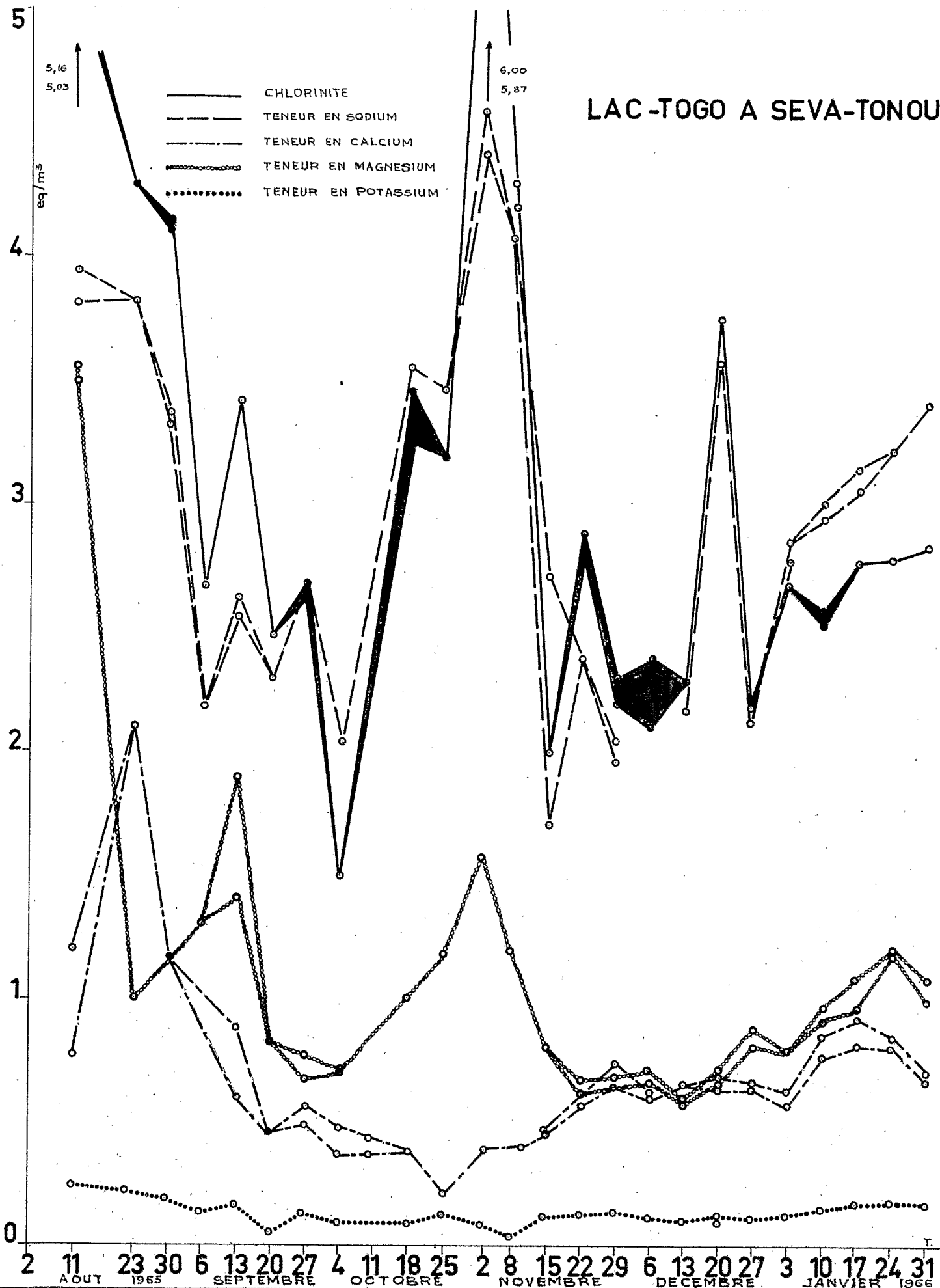
Nos mesures n'ont pas été suffisamment systématiques pour avoir des séries de valeurs très longues, exception faite pour les prélèvements en lagune exécutés toutes les semaines. Nous donnons ci-après les graphiques représentant les variations de la chlorinité et des teneurs en Calcium, Magnésium, Sodium et Potassium pour les stations de la lagune et du lac Togo :

- Lac Togo à Seva-Tonou fig. 16
- Lac Togo au Yacht Club de Porto-Séguro fig. 17
- Lac Togo au pont de Kpémé fig. 18
- Lagune d'Anécho au Pont de Zébé Fig. 19 et 20
- Boko au pont de la route Anfoin-Vogan (extension de la lagune vers le Nord). fig. 21.

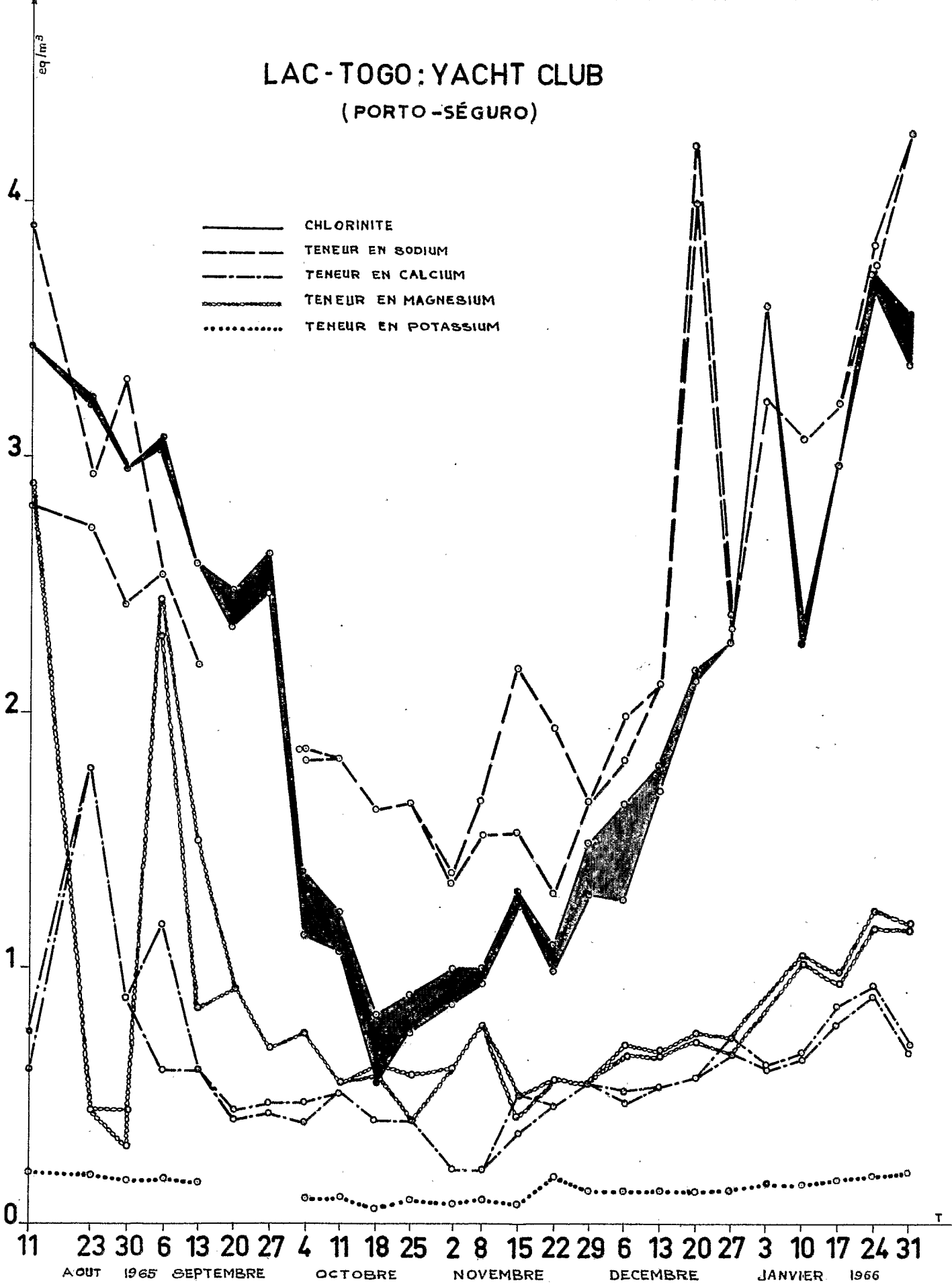
Les concentrations sont indiquées en équivalent par mètre cube (ou milliéquivalent par litre) de façon à rendre comparable du point de vue ionique les teneurs des différents éléments. Deux valeurs sont portées à chaque date pour chaque élément. Ces valeurs correspondent aux deux prélèvements qui étaient effectués.

.../...

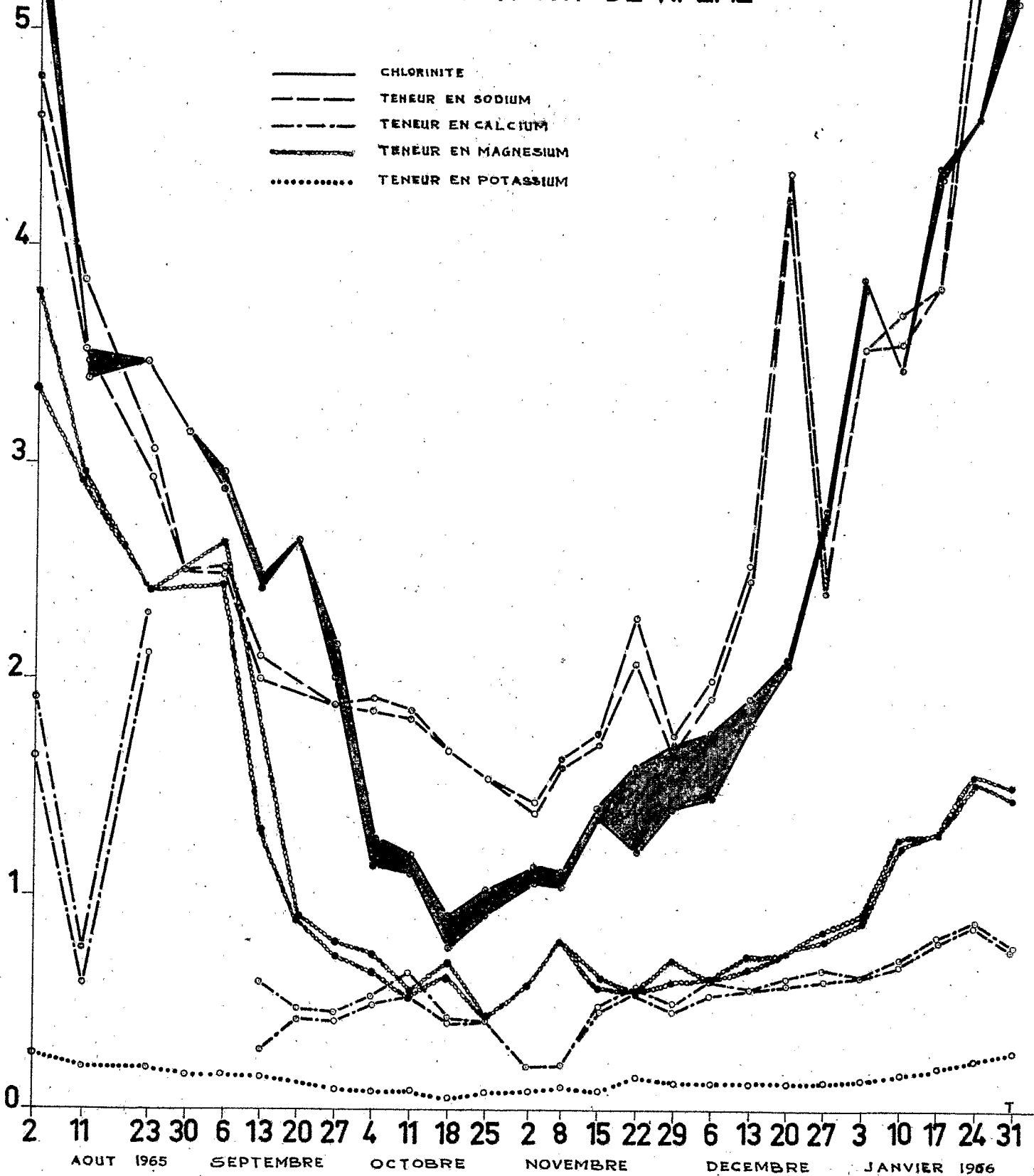
LAC-TOGO A SEVA-TONOU



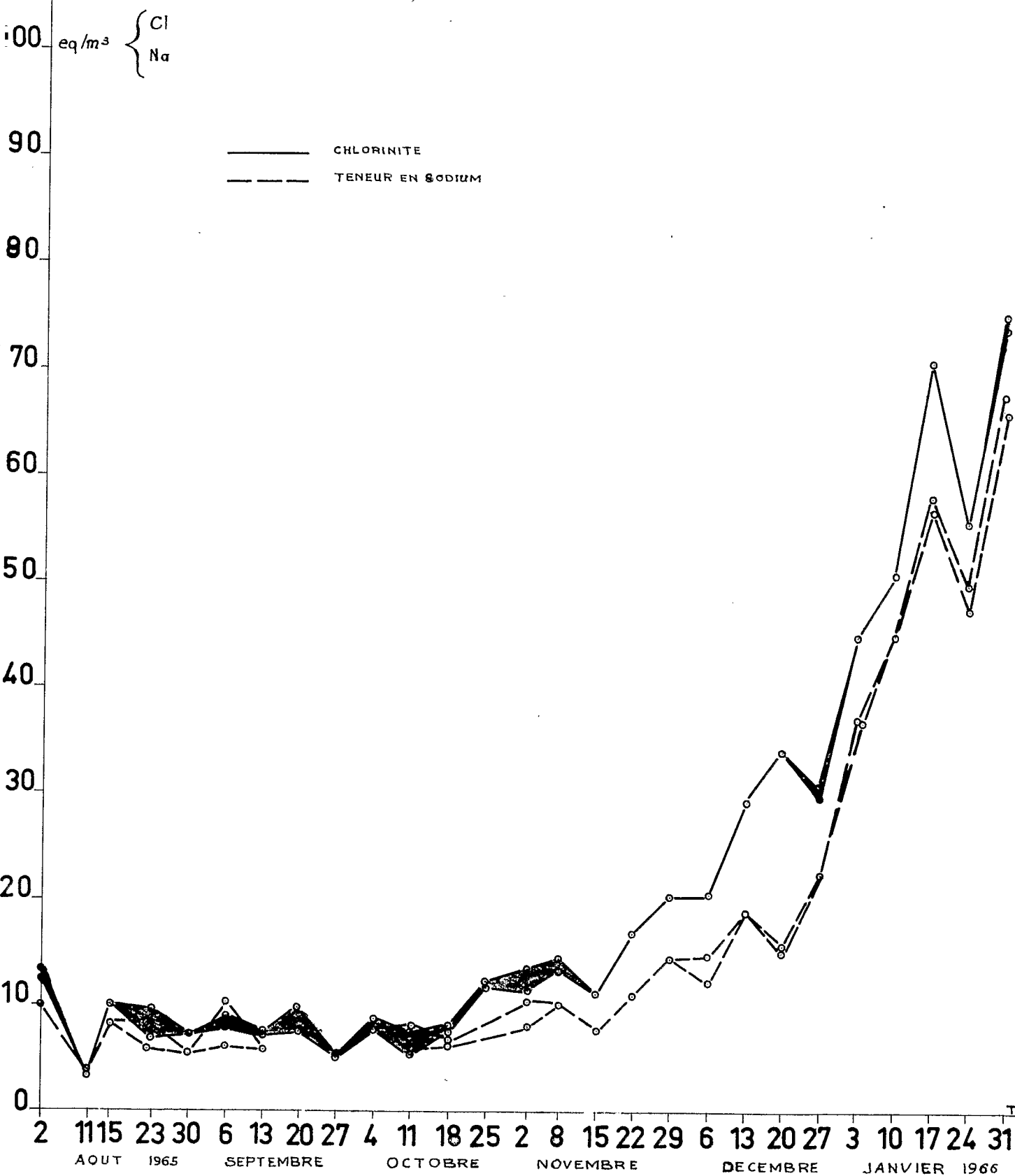
LAC-TOGO: YACHT CLUB (PORTO-SÉGURO)



LAC-TOGO : PONT DE KPEME



PONT DE ZEBE (LAGUNE D'ANECHO)



ORSTOM

DATE : 23-3-66

DESSINÉ : M. Sossah.

T 700-2H

PONT DE ZEBE (LAGUNE D'ANECHO)

20 eq/m³ { Ca
Mg
K

----- TENEUR EN CALCIUM
 - - - - - TENEUR EN MAGNESIUM
 TENEUR EN POTASSIUM

15

10

5

0

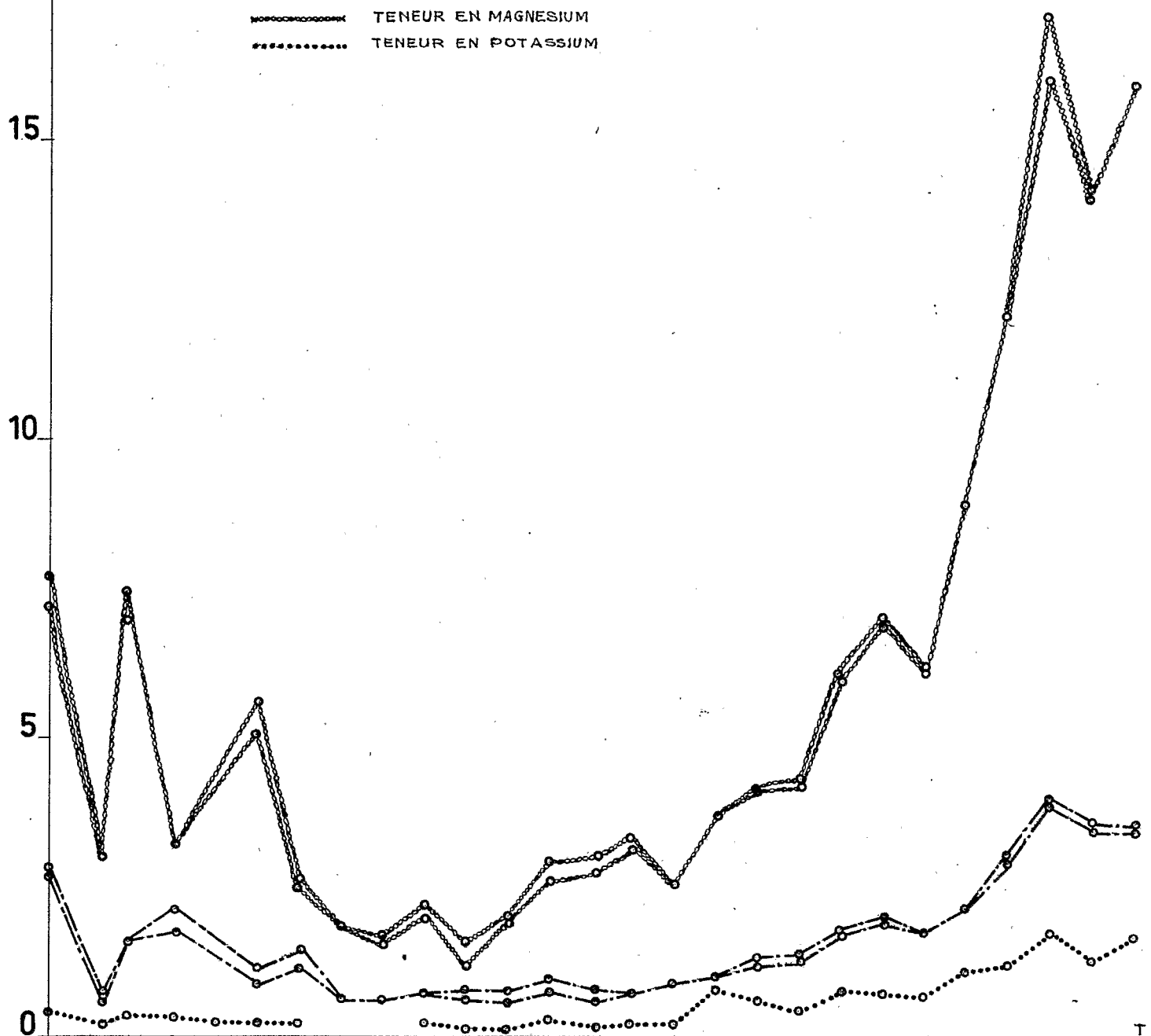
2 11 15 23 30 6 13 20 27 4 11 18 25 2 8 15 22 29 6 13 20 27 3 10 17 24 31
 AOUT 1965 SEPTEMBRE OCTOBRE NOVEMBRE DECEMBRE JANVIER 1966

ORSTOM

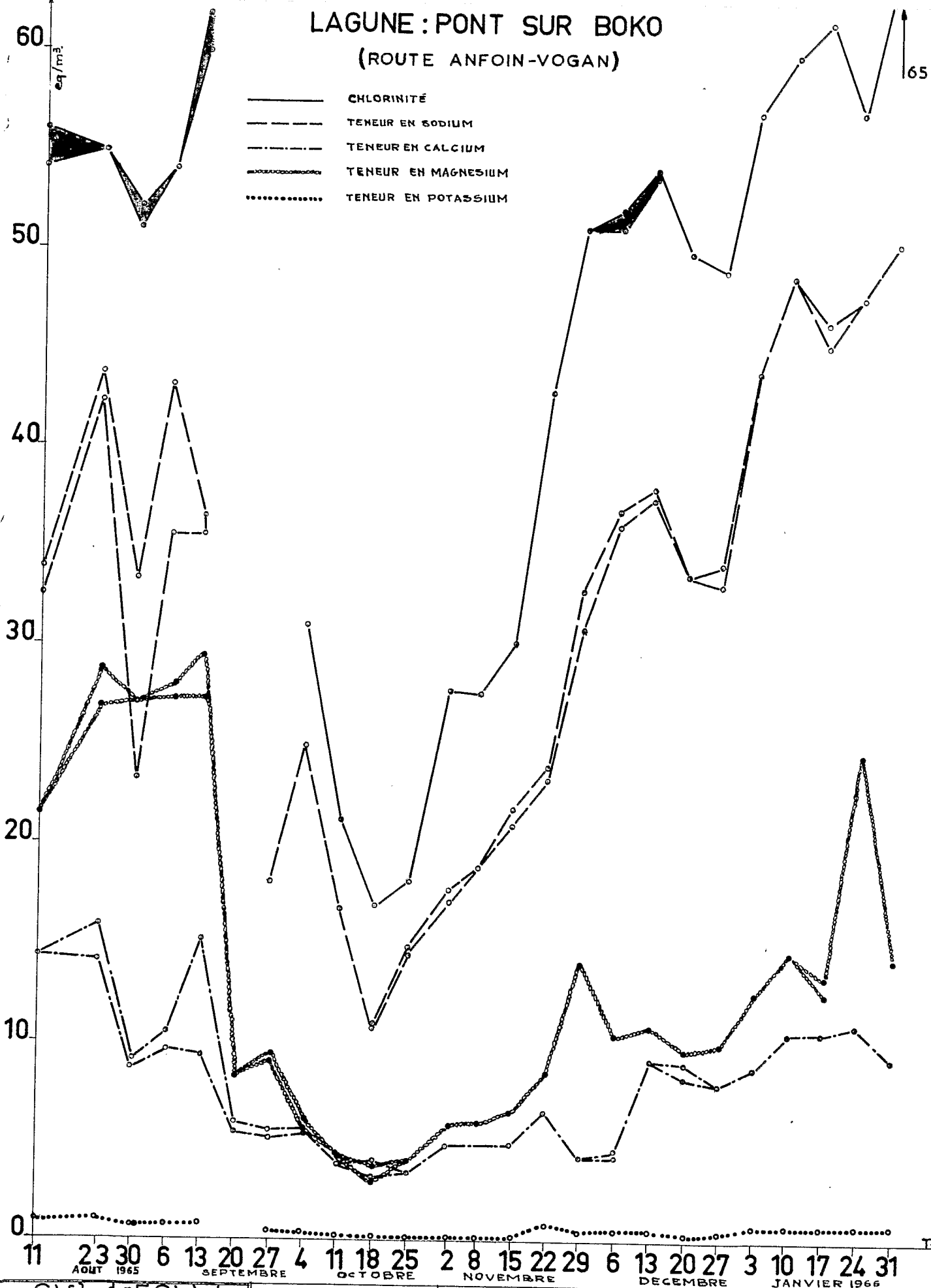
DATE : 26-3-66

DESSINÉ : M. Sossah.

T 700-4H



LAGUNE : PONT SUR BOKO (ROUTE ANFOIN-VOGAN)



11 23 30 6 13 20 27 4 11 18 25 2 8 15 22 29 6 13 20 27 3 10 17 24 31
 AOUT 1965 SEPTEMBRE OCTOBRE NOVEMBRE DECEMBRE JANVIER 1966

ORSTOM

DATE: 15-3-66 DESSINÉ: M. Sossah.

T 699 H

Elles divergent parfois de façon considérable. Si dans certains cas on peut soupçonner que cet écart provient d'une erreur de dosage ou de manipulation (en particulier les premiers dosages d'août 1965 et septembre étaient loin d'être parfaits), dans d'autre cas il est certain que nos prélèvements faits en surface à quelques mètres de distance étaient de compositions réellement différentes. Notre méthode de prélèvement en lagune est évidemment très critiquable, mais il ne pouvait être question d'étudier la lagune dans son ensemble. Cela nécessiterait des moyens que nous n'avions pas. De plus en certains points soumis à l'influence des marées, la salinité peut varier sensiblement au cours d'une même journée.

En conclusion nous estimons nécessaire pour suivre l'évolution de la qualité des eaux dans le temps d'effectuer des prélèvements hebdomadaires au minimum et si possible journaliers.

3°) - Divers aspects des résultats obtenus.

a) - Mesures en lagune au Togo

Nous constatons en lagune des variations importantes de la minéralisation, le minimum observé depuis août 1965 se situant en octobre. Il est vraisemblable qu'un maximum sera observé à la fin de la grande saison sèche.

Les éléments dominants sont le chlore et le sodium. Les variations des teneurs de ces deux éléments sont sensiblement parallèles dès que la concentration est suffisante. Les concentrations varient considérablement d'un emplacement à l'autre. Si l'on s'explique aisément les minéralisations assez faibles des stations de Seva-Tonou, du Yacht Club de Porto-Séguro et du Pont de Kpémé (situées à proximité des embouchures du Sio et du Haho et assez loin des débouchés dans la mer) et la forte salinité observée au pont de Zébé (proximité des débouchés sur la mer : le cordon lagunaire est ouvert à Anécho tous les deux ou trois ans), par contre la salinité

.../...

élevée observée à la traversée de la route Anfoin-Vogan (extension de la lagune dans le lit du Boko) est un peu anormale à priori. En fait l'écoulement du Boko, dont le bassin versant est situé sur les "terres de barre", est très faible. Il n'est pas impossible aussi que des sols salés soient présents dans cette zone.

Il nous a paru intéressant de comparer sur des graphiques les valeurs obtenues pour certains rapports des éléments dans les eaux de lagune et dans l'eau de mer standard.

Des rapports souvent utilisés sont les suivants : (1)

- indice d'échange de base, noté i.e.b. =

$$\text{i.e.b.} = \frac{r \text{ Cl} - (r \text{ Na} + r \text{ K})}{r \text{ Cl}}$$

- les rapports

$$\frac{r \text{ Mg}}{r \text{ Ca}}, \quad \frac{r \text{ SO}^4}{r \text{ Cl}}, \quad \frac{r \text{ K}}{r \text{ Na}},$$

les $r \text{ Cl}$, $r \text{ Na}$ etc... représentent les concentrations des éléments dans l'eau en équivalents par mètre cube ou milliéquivalents par litre.

Les valeurs des rapports ci-dessus pour l'eau de mer "standard" (2) sont :

$$\text{i.e.b.} = + 0,125 \frac{r \text{ Mg}}{r \text{ Ca}} = 5,3 \frac{r \text{ K}}{r \text{ Na}} = 0,0212 \quad \frac{r \text{ SO}^4}{r \text{ Cl}} = 0,104$$

Deux échantillons d'eau de mer prélevés au Wharf de Lomé à des dates différentes ont donné les valeurs suivantes :

i.e.b.	+ 0,174	et	+ 0,173
$\frac{r \text{ Mg}}{r \text{ Ca}}$	(4,3)	et	5,7
$\frac{r \text{ SO}^4}{r \text{ Cl}}$	0,102	et	0,097
$\frac{r \text{ K}}{r \text{ Na}}$	0,023	et	0,023

(1) cf. "Les Eaux Souterraines" H. SCHOELLER.

(2) cf. "Hand Book of applied Hydrology" (La composition de l'eau de mer) (par VEN TE CHOW).

Notons que l'indice d'échange de base ne correspond pas forcément à une échange de base mais correspond plus généralement au déséquilibre chloro-alcalins. Dans l'analyse des eaux de lagune le chlore n'est pas distingué des autres halogènes, Brome et Iode, mais l'erreur résultante sur la teneur en chlore en faible.

Nous avons reporté sur les graphiques 22 à 26 les valeurs des rapports ci-dessus pour les différentes stations de la lagune en indiquant les valeurs obtenues pour l'eau de mer standard.

Nous voyons sur ces courbes que la valeur de l'indice d'échange de base est d'autant plus proche de celle de l'indice d'échange de base de l'eau de mer que la salinité est plus forte résultat auquel on pouvait d'ailleurs s'attendre à priori.

Deux stations, le Yacht Club à Porto-Séguro et le pont de Kpémé, présentent des caractéristiques remarquablement semblables (ces deux stations ne sont distantes que d'environ trois kilomètres par voie d'eau).

Au pont sur le Boko l'indice d'échange de base est constamment positif et supérieur à celui de l'eau de mer.

Au pont de Zébé l'indice d'échange de base oscille autour de la valeur de celui de l'eau de mer.

Aux trois autres stations l'indice d'échange de base est presque constamment inférieur à celui de l'eau de mer, restant presque toujours négatif.

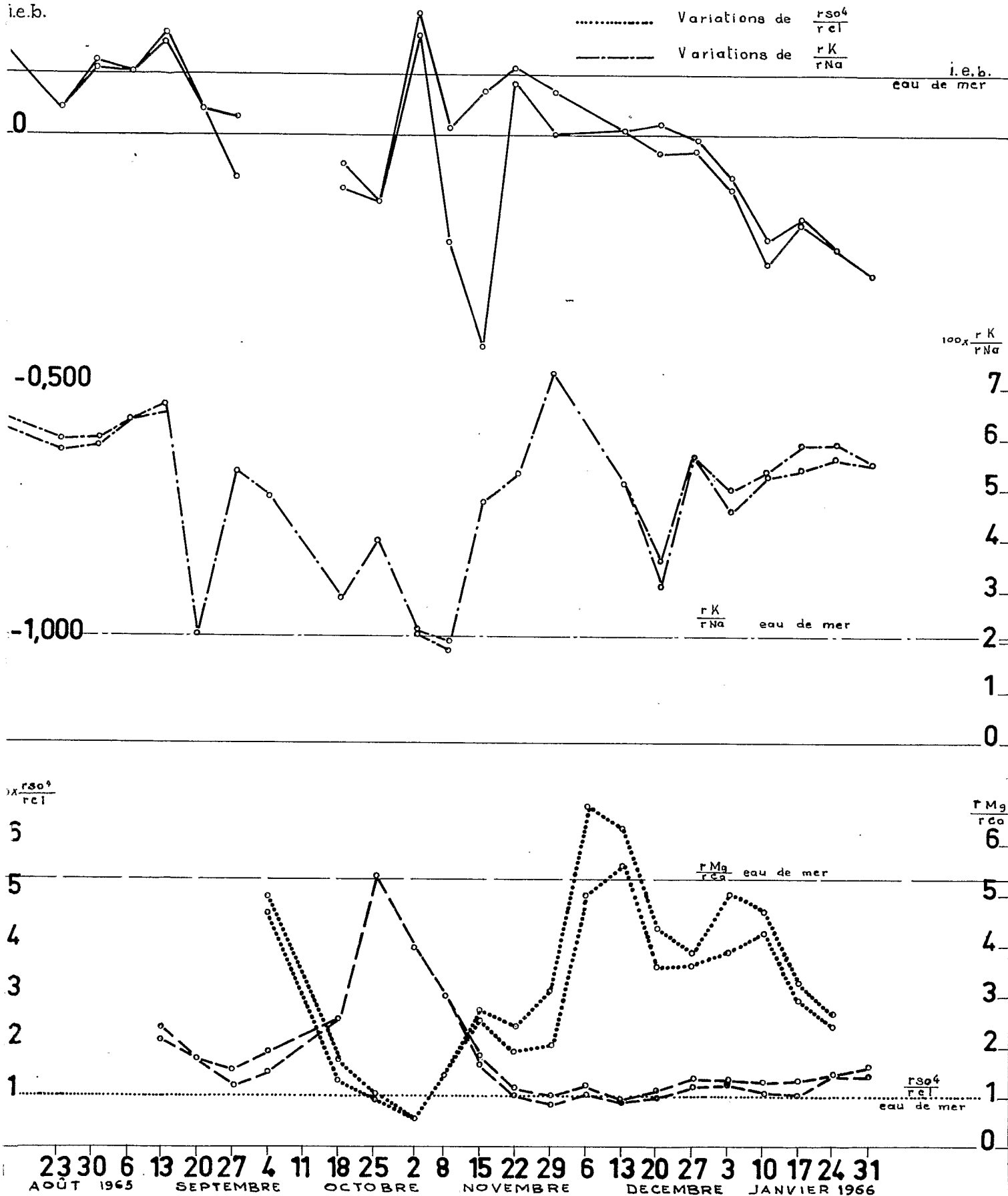
b) - Mesures sur les fleuves

Ces mesures, faites de façon très extensive, ne permettent guère d'interprétation. Notons seulement que les eaux des marigots dont le bassin versant s'étend sur le socle cristallin (granites, gneiss, miscaschites principalement) sont très peu minéralisées.

.../...

LAC TOGO A SEVA-TONOU

- Variations de i.e.b.
- - - Variations de $\frac{rMg}{rCa}$
- ⋯ Variations de $\frac{rSO_4}{rCl}$
- · - Variations de $\frac{rK}{rNa}$



ORSTOM

DATE: 14 - 4 - 66

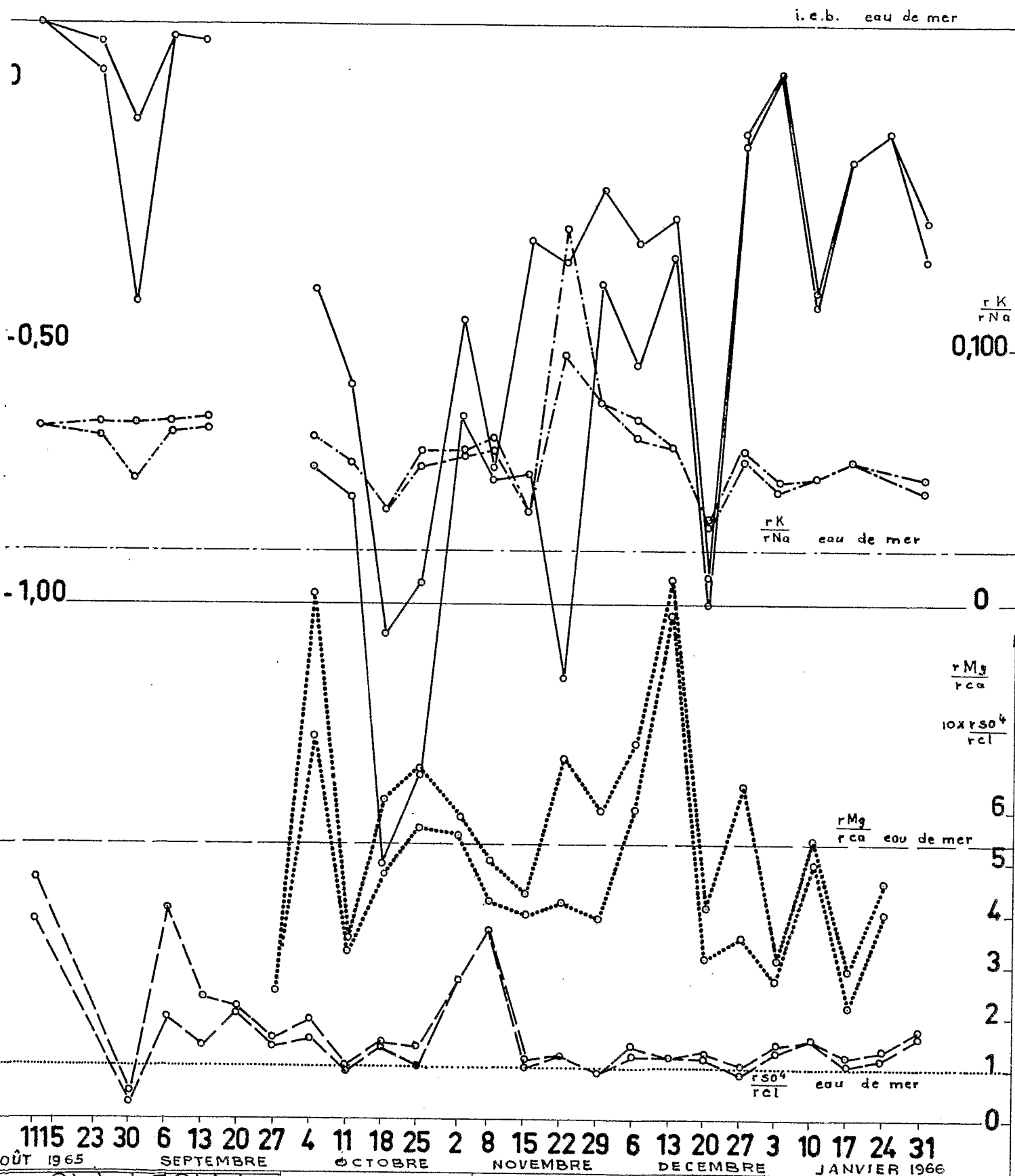
DESSINÉ : M. Sossah.

T 700-12 H

- Variations de i.e.b.
- - - Variations de $\frac{rMg}{rCa}$
- Variations de $\frac{rSO_4}{rCl}$
- · - Variations de $\frac{rK}{rNa}$

LAC-TOGO : YACHT CLUB

(PORTO - SEGURO)



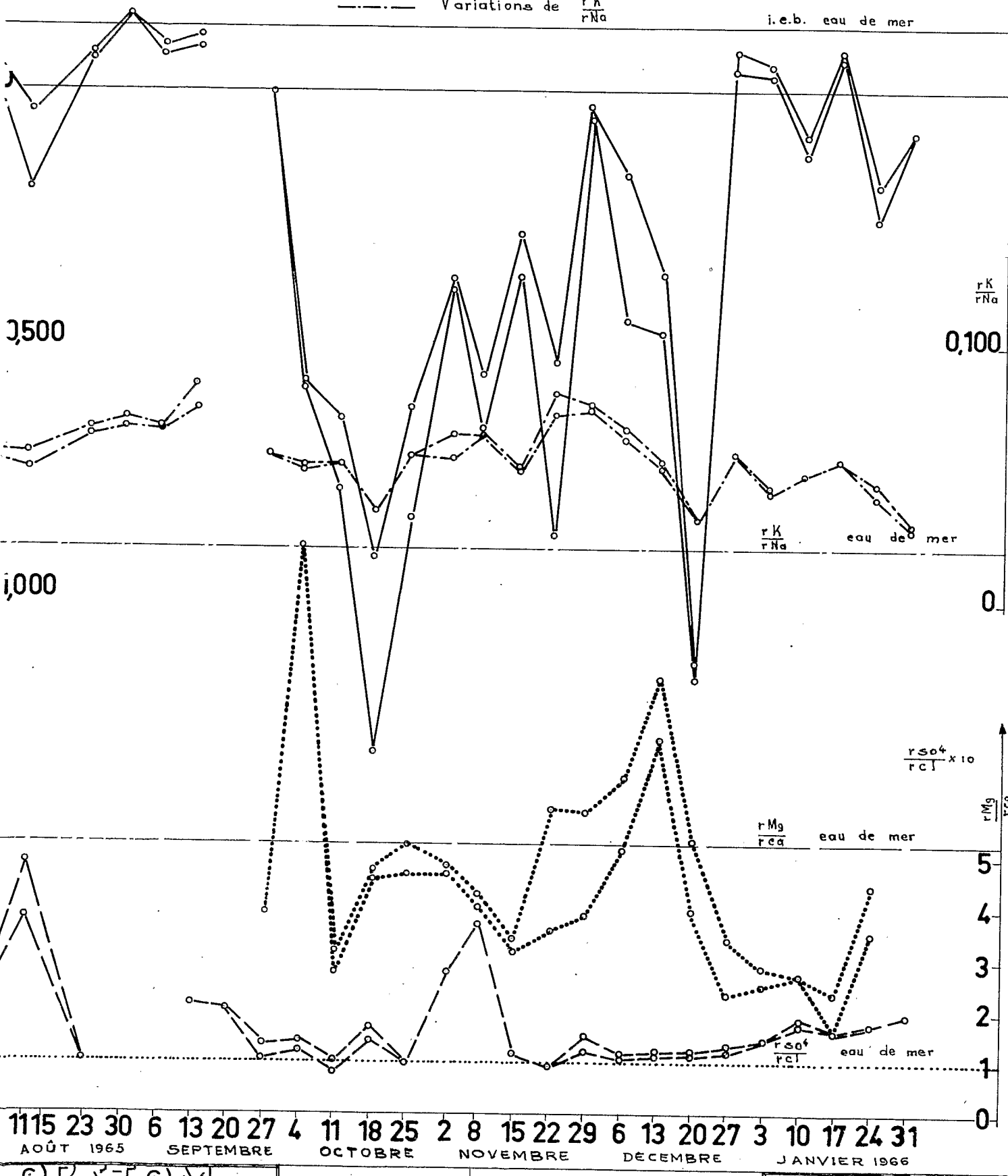
0,500

LAC TOGO: PONT DE KPEME

i.b.

- Variations de i.e.b.
- - - Variations de $\frac{rMg}{rCa}$
- Variations de $\frac{rSO_4}{rCl}$
- · - Variations de $\frac{rK}{rNa}$

i.e.b. eau de mer

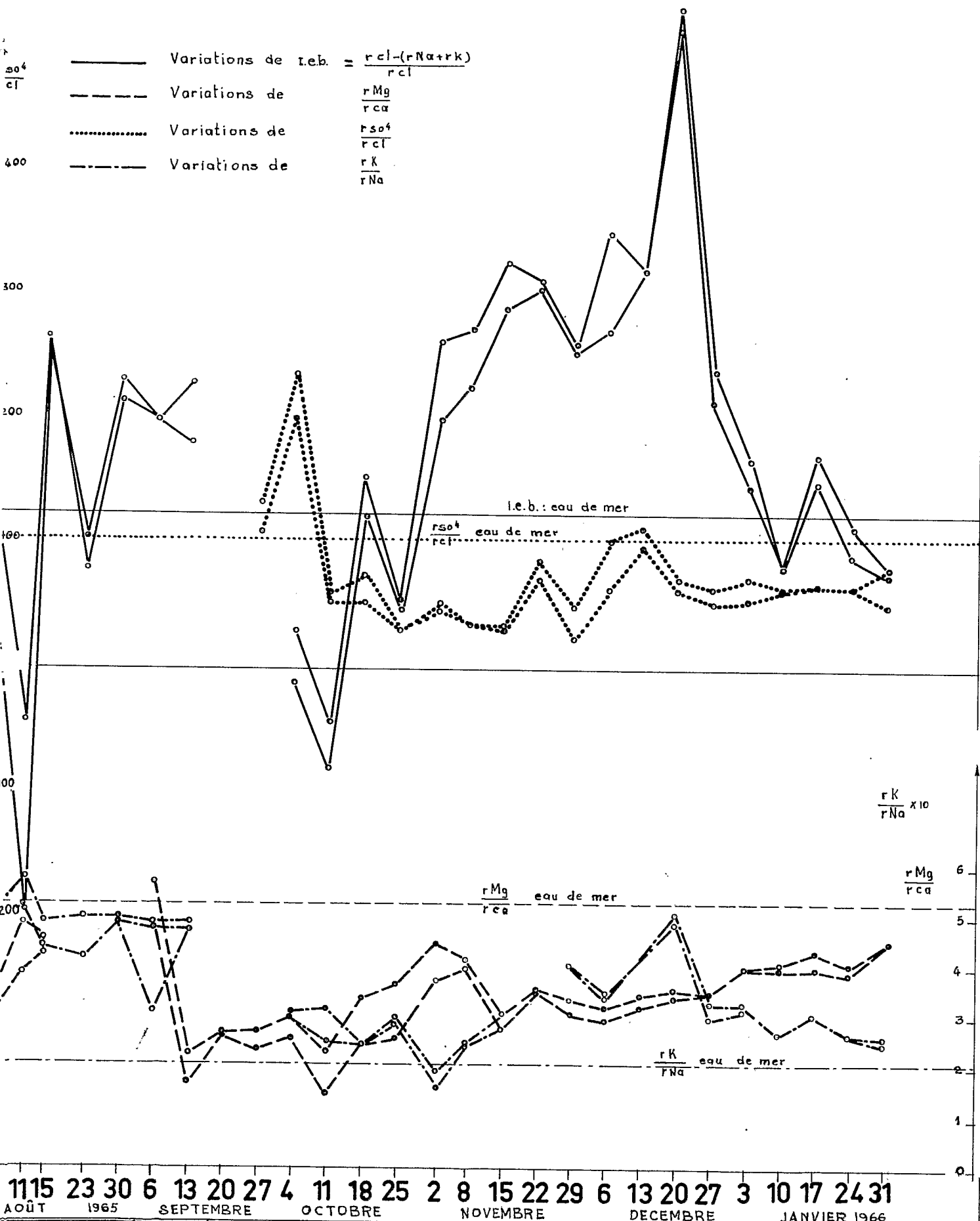


© R. V. P. M.

DATE: 22/10/65

T 700 11 4

LAGUNE D'ANECHO SUR PONT DE ZEBE



ORSTOM

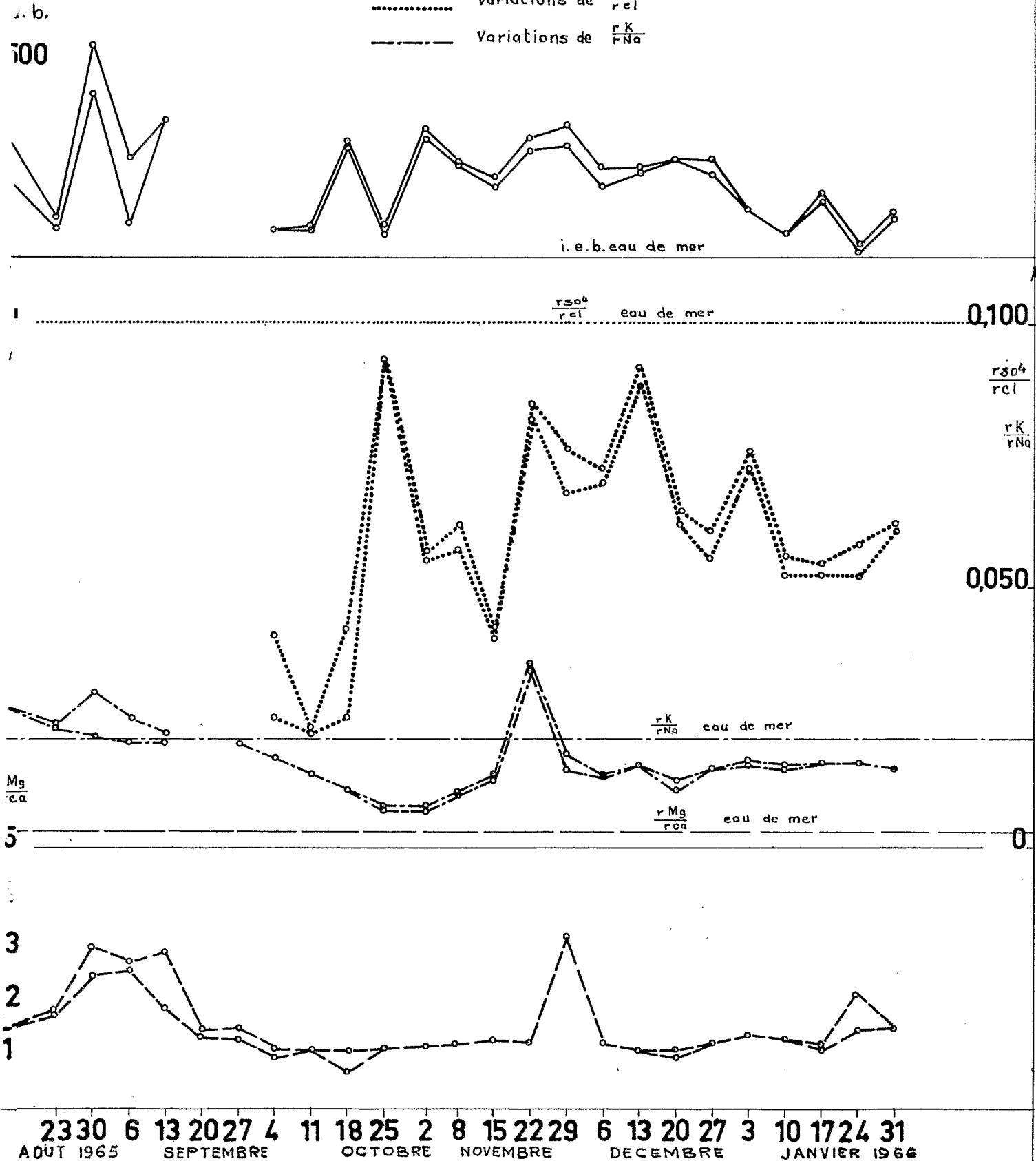
DATE: 8-4-66

DESSINÉ: M. Sossah.

T 700-10 H

PONT SUR LE BOKO (ROUTE ANFOIN-VOGAN)

- Variations de i.e.b.
- - - Variations de $\frac{rMg}{rCa}$
- Variations de $\frac{rSO_4}{rCl}$
- · - Variations de $\frac{rK}{rNa}$



L'indice d'échange de base considéré plus haut n'a plus grand intérêt ici. Le chlore en effet est très peu abondant dans ces eaux et l'indice d'échange de base prend des valeurs négatives très fortes en valeur absolue. Nous nous contentons de donner ci-après en annexe les résultats bruts. Nous espérons obtenir en 1966 un plus grand nombre de mesures systématiques qui seront plus intéressantes à considérer, en relation avec les sols et les roches des bassins versants.

A N N E X E S

RESULTATS BRUTS OBTENUS SUR LES
FLEUVES DU TOGO.

Station : MONO à Corrékopé (ou Kolokopé)

Résultats d'analyses

					Teneurs en ppm et en eq/m ³											
					Ca		Mg		Na		K		SO ₄		Cl	
Dates	Ph	Ph	T°C	R	ppm	eq	ppm	eq	ppm	eq	ppm	eq	ppm	eq	ppm	eq
	(1)	(2)			/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³
6.8.65	7,5				23,6	1,18	15,6	1,30	4,5	0,19	1,8	0,04				
	7,5				23,6	1,18	18,6	1,55	4,4	0,19	1,5	0,03				
	7,5				23,6	1,18	9,6	0,80	4,4	0,19	1,5	0,03				
	7,5				17,9	0,89	9,0	0,75	4,4	0,19	1,5	0,03				
Moyenne				22,0	1,10	13,2	1,1	4,4	0,19	1,6	0,04					
19.8.65	7,4				5,7	0,28	6,0	0,50	4,8	0,20	1,7	0,04				
	7,4				5,7	0,28	6,0	0,50	4,8	0,20	1,5	0,03				
	7,3				5,7	0,28	6,0	0,50	4,8	0,20	1,5	0,03				
	7,4				5,7	0,28	6,0	0,50	4,7	0,20	1,5	0,03				
	7,3				5,7	0,28	3,6	0,30	4,7	0,20	1,5	0,03				
	7,4				5,7	0,28	7,2	0,60	4,8	0,20	1,5	0,03				
	7,3				5,7	0,28	7,2	0,60	4,8	0,20	1,5	0,03				
	7,3				5,7	0,28	3,6	0,30	4,8	0,20	1,5	0,03				
					5,7	0,28	3,6	0,30	4,8	0,20	1,6	0,04				
					5,7	0,28	2,4	0,20	5,0	0,21	1,6	0,04				
					5,7	0,28	3,6	0,30	5,0	0,21	1,4	0,03				
Moyenne				5,7	0,28	5,02	0,41	4,8	0,20	1,5	0,03					
16.9.65					9,6	0,48	4,8	0,40			4,6	0,11				
					7,20	0,36	3,8	0,32	9,6	0,41	1,9	0,04				
					8,00	0,40	3,8	0,32	9,0	0,39	2,0	0,05				

Ph (1) = Ph au Laboratoire

Ph (2) = Ph sur le terrain au "LOVIBOND"

T = Température de l'eau au moment du prélèvement

R = Résistivité à 25°C.

Station : MONO à Correkopé (ou Kolokopé)

Résultats d'analyses

				Teneurs en ppm et en eq/m ³												
				Ca		Mg		Na		K		SO ₄		Cl		
Dates	Ph (1)	Ph (2)	T°C	R	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³
16.9.65 (Suite)					7,60	0,38	3,4	0,28	8,1	0,35	1,9	0,04				
					8,00	0,40	3,4	0,28	8,4	0,36	1,8	0,04				
					8,40	0,42	3,4	0,28	7,5	0,32	1,8	0,04				
					7,20	0,36	4,3	0,36	7,8	0,33	1,7	0,04				
					8,0	0,40	5,3	0,44	8,4	0,36	2,2	0,05				
					7,2	0,36	6,0	0,50	7,5	0,32	1,6	0,04				
					7,2	0,36	4,8	0,40	7,2	0,31	1,3	0,03				
					7,2	0,36	5,8	0,48	8,1	0,35	1,9	0,04				
					7,2	0,36	5,8	0,48	8,4	0,36	2,1	0,05				
	Moyenne					7,7	0,38	4,6	0,38	8,9	0,39	2,1	0,05			
21.10.65					4,3	0,21	4,8	0,39	6,0	0,26	1,4	0,03	10,3	0,21		
					4,2	0,21	4,8	0,39	4,8	0,20	1,2	0,03	10,3	0,21		
					4,3	0,21	4,8	0,39	5,1	0,22	1,2	0,03	12,4	0,25		
					4,3	0,21	4,7	0,39	4,6	0,20	1,1	0,03	10,3	0,21		
					4,3	0,21	4,7	0,39	6,0	0,26	1,3	0,03	8,2	0,17		
					4,3	0,21	4,8	0,39	5,4	0,23	1,5	0,03	8,2	0,17		
					4,3	0,21	4,7	0,39	6,9	0,30	1,3	0,03	10,3	0,21		
					4,3	0,21	4,7	0,39	6,6	0,28	1,2	0,03	10,3	0,21		
					4,2	0,21	4,7	0,39	6,3	0,27	1,2	0,03	10,3	0,21		

Ph (1) = Ph au Laboratoire

T = Température de l'eau au moment du prélèvement

Ph (2) = Ph sur le terrain au "LOVIBOND"

R = Résistivité à °C.

Station : MONO à Correkopé (ou Kolokopé)

Résultats d'analyses

		Teneurs en ppm et en eq/m ³														
		Ca		Mg		Na		K		SO ₄		Cl				
Dates	Ph (1)	Ph (2)	T°C	R	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³
21.10.65 (Suite)					4,3	0,21	4,7	0,39	7,2	0,31	1,2	0,03	14,4	0,30		
					4,2	0,21	4,8	0,39	7,5	0,32	1,2	0,03	10,3	0,21		
					4,3	0,21	4,7	0,39	6,6	0,28	1,2	0,03	18,5	0,38		
Moyenne					4,3	0,21	4,7	0,39	6,1	0,27	1,3	0,03	11,2			
19.12.65 - 06	8,1	7,6			13,0	0,65	5,6	0,47	4,6	0,20	1,68	0,04	20,6	0,43	1,8	0,05
14.1.66 - 07		7,6			12,6	0,63	6,4	0,53	7,0	0,30	2,2	0,06	11,6	0,24	8,9	0,25
		7,6			13,0	0,65	5,9	0,49	7,4	0,32	2,3	0,06	21,8	0,45	6,2	0,17
Moyenne					12,8	0,64	6,1	0,50	7,2	0,31	2,2	0,06	16,7		7,5	

Ph (1) = Ph au Laboratoire

T = Température de l'eau au moment du prélèvement

Ph (2) = Ph sur le terrain au "LOVIBOND"

R = Résistivité à °C.

Résultats d'analyses

Teneurs en ppm et en eq/m ³																		
Date	Ph (1)	Ph (2)	T°C	R	Ca		Mg		Na		K		SO ₄		Cl		ppm	eq /m ³
					ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³		
14. 9.65					12,0	0,60	6,7	0,56	8,7	0,37	2,1	0,05						
					8,00	0,40	6,7	0,56	8,7	0,37	1,8	0,05						
					8,80	0,44	6,2	0,52	8,4	0,36	1,8	0,05						
					10,40	0,52	4,8	0,40	8,7	0,37	1,8	0,05						
					12,00	0,60	6,7	0,56	8,7	0,37	2,2	0,06						
					10,40	0,52	6,2	0,52	8,4	0,36	2,0	0,05						
					18,40	0,42	6,5	0,54	7,2	0,31	1,9	0,05						
					11,20	0,56	4,8	0,40	7,5	0,32	1,6	0,04						
					9,60	0,48	3,8	0,32	6,6	0,28	1,7	0,04						
					11,20	0,56	6,7	0,36	7,5	0,32	2,3	0,06						
					9,20	0,46	6,0	0,50	6,9	0,30	1,9	0,05						
					8,80	0,44	7,2	0,60	8,1	0,35	1,9	0,05						
Moyenne					10,00	0,50	6,0	0,50	8,0	0,35	1,9	0,05						
22.10.65	7,5				8,2	0,41	7,0	0,58	5,4	0,23	1,1	0,03	8,2	0,17				
	7,5				8,2	0,41	7,1	0,59	5,7	0,24	1,0	0,03	6,2	0,12				
	7,4				8,2	0,41	7,1	0,59	5,4	0,23	1,0	0,02	10,3	0,21				
Moyenne					8,2	0,41	7,1	0,59	5,5	0,24	1,0	0,03	8,2	0,17				

Ph (1) = Ph au Laboratoire

T = Température de l'eau au moment du prélèvement

Ph (2) = Ph sur le terrain au "LOVIBOND"

R = Résistivité à °C.

Station : ANIE à Anié (Pont CFT) - (Suite)

Résultats d'analyses

Teneurs en ppm et en eq/m ³																	
					Ca		Mg		Na		K		SO ₄		Cl		
Date	Ph (1)	Ph (2)	T °C	R	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	
19.12.65	7,5	7,4			25,7	1,28	12,7	1,06	19,6	0,85	2,6	0,06	24,7	0,51	6,6	0,18	
11. 1.66		7,6			24,1	1,21	16,9	1,41	32,4	1,41	4,0	0,10	34,2	0,71	15,1	0,42	
					24,5	1,23	16,7	1,39	33,2	1,44	3,9	0,10	23,4	0,49	15,1	0,42	
Moyenne					24,3	1,22	16,8	1,40	32,8	1,42	3,9	0,10	28,8	0,60	15,1	0,42	

Ph (1) = Ph au Laboratoire

T = Température de l'eau au moment du prélèvement.

Ph (2) = Ph sur le terrain au "LOVIBOND"

R = Résistivité à °C.

Station : MONO à Dotaikopé

Résultats d'analyses

																	Teneurs en ppm et en eq/m ³											
					Ca		Mg		Na		K		SO ₄		Cl													
Date	Ph (1)	Ph (2)	T°C	R	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³												
18.9.65	7,0				8,80	0,44	1,4	0,12	5,1	0,22	1,4	0,03																
19.12.65	7,8	7,6			14,5	0,72	4,6	0,39	4,6	0,20	1,68	0,04	22,2	0,46	3,5	0,10												
14. 1.66		7,6			11,8	0,59	5,9	0,49	7,4	0,32	2,0	0,05	0,0	0,0	4,9	0,13												
					12,0	0,60	6,1	0,51	7,6	0,33	2,0	0,05	28,6	0,59	4,4	0,12												
Moyenne					11,9	0,60	6,0	0,50	7,5	0,33	2,0	0,05	?	?	4,6	0,13												

Ph (1) = Ph au Laboratoire

T = Température de l'eau au moment du prélèvement

Ph (2) = Ph sur le terrain au "LOVIBOND"

R = Résistivité à °C.

Station : AMOU à Gléi

Résultats d'analyses

Teneurs en ppm et en eq/m ³																		
				Ca	Mg		Na		K		SO ₄		Cl					
Date	Ph (1)	Ph (2)	T°C	R	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³
7.8.65	7,3				12,1	0,60	13,8	1,15	3,5	0,15	1,0	0,02						
23.9.65	7,0				4,00	0,20	2,8	0,24	4,2	0,18	1,1	0,02						
	7,2				4,00	0,20	3,3	0,28	4,2	0,18	1,2	0,03						
Moyenne					4,00	0,20	3,05	0,26	4,2	0,18	1,1	0,02						
27.10.65	6,7						2,5	0,20	3,6	0,15	1,1	0,02	16,5	0,34				
	6,7						2,4	0,20	3,3	0,14	1,1	0,02	16,5	0,34				
Moyenne							2,4	0,20	3,5	0,15	1,1	0,02	16,5	0,34				
18.12.65	6,9	7,2			9,1	0,25	2,2	0,18	1,0	0,04	0,8	0,02	17,3	0,36	1,8	0,05		

Ph (1) = Ph au Laboratoire

T = Température de l'eau au moment du

Ph (2) = Ph sur le terrain au "LOVIBOND"

R = Résistivité à °C.

Station : CHRA à Chra

Résultats d'analyses

Teneurs en ppm et en eq/m3																	
				Ca		Mg		Na		K		SO4		Cl			
Date	Ph (1)	Ph (2)	T°C	R	ppm	eq/m3	ppm	eq/m3	ppm	eq/m3	ppm	eq/m3	ppm	eq/m3	ppm	eq/m3	
7.8.65	7,5				30,0	1,5	18,6	1,55	6,3	0,27	2,2	0,05					
23.9.65	7,2				11,2	0,56	10,5	0,88	9,0	0,39	1,6	0,04					
27.10.65	7,5				12,0	0,60	14,5	1,20	7,8	0,33	1,7	0,04	8,2	0,17			

Ph (1) = Ph au Laboratoire

T = Température de l'eau au moment du prélèvement

Ph (2) = Ph sur le terrain au "LOVIBOND" R = Résistivité à °C.

Résultats d'analyses

		Teneurs en ppm et en eq/m ³														
		Ca		Mg		Ca		K		SO ₄		Cl				
Stations et dates	Ph (1)	Ph (2)	T°C	R	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³	ppm	eq /m ³		
BOUALE à Aléhéridé																
	7,0	7,0			4,3	0,21	1,1	0,09	0,6	0,02	0,8	0,02	20,6	0,43	1,8	0,05
BA1																
BA2		6,6			2,8	0,14	0,9	0,08	1,2	0,05	0,9	0,02	22,0	0,66	2,7	0,07
					2,6	0,13	0,6	0,05	1,6	0,07	0,8	0,02	13,8	0,29	3,5	0,10
Moyenne					2,7	0,14	0,75	0,07	1,4	0,06	0,9	0,02	?	?	3,1	0,08
GBAN-HOU à Brouffou 12.1.66		7,4			5,2	0,26	3,5	0,29	3,4	0,15	0,9	0,02	16,4	0,34	2,7	0,07
GB1					4,7	0,24	4,4	0,37	3,4	0,15	0,9	0,02	15,4	0,32	2,7	0,07
Moyenne					4,95	0,25	3,95	0,33	3,4	0,15	0,9	0,02	15,9	0,33	2,7	0,07
KOLOWARE à Kolowaré 29.9.65		6,8			3,20	0,16	1,9	0,16	3,0	-	0,5	0,01				
K1		7,0			3,60	0,18	2,1	0,18	3,0	-	0,6	0,01				
Moyenne					3,4	0,17	2,0	0,17	3,0		0,6	0,01				
21.12.65	7,1	7,2			4,5	0,23	2,2	0,18	1,00	0,04	0,52	0,01	24,7	0,51	2,7	0,07
K2																
17.1.66		6,8			3,4	0,17	2,6	0,22	2,2	0,09	0,9	0,02	23,0	0,48	2,7	0,07
K3					3,0	0,15	2,2	0,18	2,0	0,09	1,0	0,03	30,4	0,63	2,7	0,07
Moyenne					3,2	0,16	2,4	0,20	2,1	0,09	1,0	0,03	26,8	0,55	2,7	0,07

Ph (1) = Ph au Laboratoire

T = Température de l'eau au moment du prélèvement

Ph (2) = Ph sur le terrain au "LOVIBOND"

R = Résistivité à °C.

Résultats d'analyses

																	Teneurs en ppm et en eq/m ³									
					Ca		Mg		Na		K		SO ₄		Cl											
Stations	Ph	Ph	T°C	R	ppm	eq	ppm	eq	ppm	eq	ppm	eq	ppm	eq	ppm	eq										
et dates	(1)	(2)			/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³	/m ³										
ANIE à Anié-																										
Gare	7,3	7,6			27,6	1,38	12,6	1,05	20,0	0,86	3,6	0,09	17,3	0,36	6,6	0,18										
19.12.65																										
11.1.66		7,6			30,8	1,54	27,5	2,29	38,6	1,68	4,2	0,11	29,0	0,60	35,5	1,0										
					31,3	1,56	27,5	2,29	38,6	1,68	4,2	0,11	26,4	0,55	36,4	1,02										
Moyenne					31,05	1,55	27,5	2,29	38,6	1,68	4,2	0,11	27,7	0,57	35,9	1,01										
ANIE à Blitta	7,3				6,40	0,32	2,4	0,20	4,2	0,18	1,2	0,03														
19.9.65					6,00	0,30	3,1	0,26	4,5	0,19	1,3	0,03														
Moyenne					6,20	0,31	2,7	0,23	4,35	0,19	1,25	0,03														
21.12.65	7,5	7,6			14,7	0,73	6,5	0,54	7,0	0,30	2,4	0,06	20,6	0,43	0	0										
AMOUTCHOU	7,1				12,1	0,60	10,8	0,90	5,4	0,23	0,3	0,07														
à Ebewa					2,7	0,14	1,9	0,16	2,2	0,09	0,9	0,02	30,2	0,63	3,50	0,10										
13.1.66		6,8			2,5	0,12	1,9	0,16	2,4	0,10	0,8	0,02	11,6	0,24	3,50	0,10										
Moyenne					2,6	0,13	1,9	0,16	2,3	0,10	0,8	0,02	?	?	3,50	0,10										

Ph (1) = Ph au Laboratoire

Ph (2) = Ph sur le terrain au "LOVIBOND"

T = Température de l'eau au moment du prélèvement

R = Résistivité à °C.

Résultats d'analyses

		Teneurs en ppm et en eq/m ³														
		Ca		Mg		Na		K		SO ₄		Cl				
Stations et dates	Ph (1)	Ph (2)	T°C	R	ppm /m ³	eq /m ³	ppm /m ³	eq /m ³	ppm /m ³	eq /m ³	ppm /m ³	eq /m ³	ppm /m ³	eq /m ³		
Mô à Bongoulou					6,6	0,33	4,4	0,36	6,4	0,28	2,0	0,05				
19.1.66		7,6			6,7	0,34	4,3	0,35	6,0	0,26	2,0	0,05				
Moyenne					6,65	0,34	4,35	0,36	6,2	0,27	2,0	0,05				
=====																
Mono à N'Gamboto	7,6	7,6			15,9	0,79	5,6	0,46	7,0	0,30	1,68	0,04	20,6	0,43	3,5	0,10
18.12.65	N1															
11.1.66	N2	7,6			13,6	0,68	7,8	0,65	9,8	0,43	2,3	0,06				
					13,5	0,68	7,7	0,64	9,4	0,41	2,3					
Moyenne					13,55	0,68	7,75	0,64	9,6	0,42	2,3	0,06				
=====																
SIO à Kpédji	7,4				4,0	0,20	2,6	0,20	7,5	0,32	1,2	0,03	14,4	0,30		
28.10.65																
23.12.65	7,3	7,2			9,9	0,49	3,4	0,28	2,8	0,12	1,04	0,02	7,4	0,15	1,8	0,05
=====																
DAYES à Dzogbégan	6,5				2,8	0,14	1,58	0,13	0,3	0,01	0,4	0,01	24,7	0,51	2,66	0,07
15.12.65																
=====																

Ph (1) = Ph au Laboratoire

T = Température de l'eau au moment du prélèvement

Ph (2) = Ph sur le terrain au "LOVIBOND"

R = Résistivité à °C.

Résultats d'analyses

		Teneurs en ppm et en eq/m ³																	
		Ph		T ^{°C}	R	Ca		Mg		Na		K		SO ₄		Cl			
Stations et Dates		(1)	(2)			ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³	ppm	eq/m ³
CGOU à Sirka		6,8																	
17.9.65	S1					9,20	0,46	1,2	0,10	6,0	0,26	2,0	0,05						
20.12.65	S2	7,4	7,6			15,6	0,78	6,2	0,52	8,4	0,36	2,0	0,05	16,9	0,35	3,5	0,10		
NA à Paratao		6,9				4,80	0,24	2,4	0,20	3,0	0,13	0,9	0,02						
20.9.65	P1	7,5				4,80	0,24	1,9	0,16	3,6	0,15	1,5	0,03						
Moyenne						4,8	0,24	2,15	0,18	3,3	0,14	1,2	0,03						
21.12.65	P2	7,0	7,3			6,2	0,31	2,4	0,20	2,8	0,12	1,56	0,04	28,8	0,60	0	0		
17.1.66	P3		7,0			4,7	0,23	2,8	0,23	4,0	0,17	3,1	0,08						
						4,6	0,23	3,1	0,26	4,0	0,17	3,3	0,08						
Moyenne						4,65	0,23	2,95	0,25	4,0	0,17	3,2	0,08						
AMOU à Amou-Oblo		6,5				4,0	0,20	1,4	0,12	3	-	0,5	0,01						
29.9.65	01																		
25.10.65	02	6,4								3	-	1	-	6,2	0,12				
KARA à Kpéssidé			7,3			6,6	0,33	4,6	0,38	3,8	0,16	1,1	0,03	Traces	1,77	0,05			
21.1.66	KA1					7,0	0,35	4,2	0,35	4,8	0,21	1,3	0,03		0	0			
Moyenne						6,8	0,34	4,4	0,37	4,3	0,18	1,2	0,03		?	?			

Ph (1) = Ph au Laboratoire

T = Température de l'eau au moment du prélèvement

Ph (2) = Ph sur le terrain au "LOVIBOND"

R = Résistivité à °C.

Resultats d'analyses

		Teneurs en ppm et en eq/m3															
		Ca		Mg		Na		K		SO4		Cl					
Stations	Ph	Ph	T°C	R	ppm	eq	ppm	eq	ppm	eq	ppm	eq	ppm	eq	ppm	eq	
et dates	(1)	(2)			/m3	/m3	/m3	/m3	/m3	/m3	/m3	/m3	/m3	/m3	/m3	/m3	
KAMA à Bassari																	
22.12.65	KB1	7,2	7,4		8,4	0,42	2,7	0,22	4,2	0,18	0,96	0,02	23,1	0,48	0,9	0,02	
19.1.66	KB2		7,0		4,9	0,24	4,4	0,36	7,6	0,33	1,3	0,03	Néant	0,89	0,02		
					5,1	0,26	4,2	0,35	8,8	0,38	1,4	0,03		0	0		
	Moyenne				5,0	0,25	4,3	0,36	8,2	0,35	1,3	0,03		?	?		
KOUMANGOU à Koumangou																	
21.1.66		7,4			7,1	0,36	4,0	0,33	3,8	0,16	0,9	0,02					
					6,8	0,34	4,0	0,33	3,8	0,16	1,0	0,03					
	Moyenne				6,95	0,35	4,0	0,33	3,8	0,16	0,95	0,03					
KERAN à Titira																	
21.1.66					4,3	0,22	2,6	0,21	2,4	0,10	0,8	0,02					
			7,2		4,2	0,21	2,6	0,21	2,4	0,10	0,9	0,02					
	Moyenne				4,25	0,21	2,6	0,21	2,4	0,10	0,85	0,02					
KARA à Lama-Kara																	
21/1/66					6,6	0,33	2,6	0,22	3,0	0,13	1,0	0,03					
			7,2		5,6	0,28	2,9	0,24	3,0	0,13	0,9	0,02					
	Moyenne				6,1	0,30	2,75	0,23	3,0	0,13	0,95	0,03					

Ph (1) = Ph au Laboratoire

T = Température de l'eau au moment du prélèvement

Ph (2) = Ph sur le terrain au "LOVIBOND" R = Résistivité à °C.

Contribution à la méthodologie des mesures
systématiques de débits solides en suspension

J. COLOMBANI
Maître de Recherches
avec la collaboration de
Messieurs TOURNE,
GOUZY et DOSSOU-YOVO

1.- INTRODUCTION-

Conjointement avec les mesures de qualité des eaux entreprises au Togo et au Dahomey, nous avons effectué des mesures de débit solide en suspension. Il est inutile de souligner l'intérêt tant scientifique que technique de telles mesures.

Notre but en 1965 était d'essayer de mettre au point une méthode de prélèvement que nous mettrions en pratique en 1966. La présente note expose les résultats auxquels nous sommes parvenus.

Le principe de la méthode n'est pas nouveau. Bien des mesures de débit solide ont déjà été faites de cette façon, en particulier par les hydrologues de l'O.R.S.T.O.M. . Mais nous avons cru bon de nous attarder sur le détail des mesures et des dépouillements.

II - MATERIEL ET TECHNIQUES UTILISES

Comme nous l'avons indiqué, nos mesures de débit solide se faisaient en même temps que celles de qualité des eaux. Le matériel utilisé sur le terrain est le même : essentiellement, en dehors du matériel hydrologique classique, la pompe Japy et des jerricans de 10 litres en plastique.

Une objection est souvent faite à l'utilisation de la pompe Japy : le champ des vitesses au voisinage de l'ajutage serait modifié de telle sorte que la distribution granulométrique des sédiments prélevés ne serait pas identique à celle des sédiments transportés, la turbidité étant elle-même modifiée. En réalité, dans les rivières qui nous intéressent, les sédiments transportés en suspension sont très fins, sauf peut-être à proximité immédiate du fond. Ces éléments sont peu sensibles à des variations de vitesse. Nous nous efforçons en dirigeant l'ajutage de prise face au courant et par une cadence rapide et continue de pompage, de limiter au maximum le ralentissement. La vitesse de l'eau dans l'ajutage, dans les conditions où nous opérons, est de l'ordre de 30 à 80 cm/s. Dans les zones à forte vitesse (1,5 à 2 m/s assez fréquemment) nous avons un ralentissement sensible mais pratiquement sans effet sur les éléments fins.

Au voisinage immédiat du fond (nos points de prise les plus bas sont à 30 cm du fond), le ralentissement est bien moins sensible et se transforme dans certains cas en accélération sans que les écarts de vitesse soient considérables. Dans ce cas, l'effet perturbateur est réduit au minimum même pour des éléments plus grossiers (sables fins).

Notons encore que la part de la tranche d'eau voisine du fond et des berges dans le transport solide total est faible, eu égard aux faibles vitesses qu'on y rencontre et à la faible portion de section intéressée, cela malgré une turbidité élevée.

La méthode de la pompe Japy a déjà été utilisée, en particulier au Tchad par Monsieur BOUCHARDEAU, et a donné des résultats satisfaisants.

Un avantage certain de la pompe Japy est de pouvoir prélever un volume d'eau important sans opérations multiples. Nos prélèvements sont de 10 litres par point, exceptionnellement 5 litres quand la nécessité de transporter des échantillons sur un long parcours fluvial nous impose une charge limite en rapport avec la capacité de nos canots pneumatiques. Les teneurs observées étant en moyenne de l'ordre de 50 à 150 gr/m³, les poids des résidus correspondant à 10 litres sont de l'ordre de 0,5 à 1,5 gr. Des prélèvements de 1 litre dans les mêmes conditions ne nous donneraient que 0,05 à 0,15 gr. Les balances de précision permettent de mesurer avec précision des poids inférieurs à 0,05 gr, mais par contre les erreurs et pertes en cours de manipulation risquent d'être d'autant plus importantes en valeur relative que le poids du résidu est faible.

Les mesures granulométriques et les déterminations chimiques effectuées sur les sédiments nécessitent des poids relativement importants que nous atteignons à grand-peine, même avec des prélèvements de 10 litres.

L'opération de prise de 10 litres dure approximativement 1 minute, cela permet une intégration dans le temps et supprime à peu près complètement l'influence des fluctuations de turbidité dues à la turbulence.

Les prélèvements de 10 litres sont décantés sur place dans des seaux en plastique avec adjonction de 5cm³ d'acide chlorhydrique pour 10 litres. Le résidu, après siphonnage, est mis en bouteille et ramené à Lomé où il est séché et pesé.

Le personnel a été entraîné à opérer avec le plus grand soin pour éviter toute perte de matière.

III - RESULTATS OBTENUS

Nous ne donnerons pas ci-dessous les résultats bruts complets des mesures effectuées en 1965. Cela serait sans intérêt, ces mesures étant trop dispersées dans le temps. Nous nous bornerons à exposer les points qui nous ont paru intéressants.

a) Répartition des points de prélèvements dans la section, calcul de la turbidité, calcul du débit solide en suspension

Nos prélèvements ont été effectués en 12 points répartis dans la section sur 5 verticales, exactement les mêmes que pour les mesures de qualité des eaux. On obtient ainsi 12 valeurs de la turbidité. Le problème qui se pose est d'évaluer avec le plus de précision possible, le débit solide à partir de ces 12 valeurs.

La méthode la plus simple consiste à effectuer la moyenne arithmétique des 12 valeurs de turbidité. La valeur obtenue, que nous noterons T_{ma} , multipliée par le débit liquide Q , donne une valeur approchée du débit solide Q_s soit $Q_{s1} = QT_{ma}$.

Si les points de prélèvements sont répartis uniformément dans la section, cette méthode sommaire conduit à surestimer le débit solide en donnant la même importance aux turbidités fortes du fond dans la zone de superficie réduite des faibles vitesses qu'aux turbidités plus faibles du reste de la section où les vitesses sont notablement plus élevées.

Il faut donc, pour obtenir une meilleure approximation, pondérer les turbidités par les vitesses aux points de prélèvement. Le produit de la turbidité par la vitesse de l'eau en un point représente le débit solide par unité de surface de la section, que nous noterons $q_{s/us}$. On obtient donc 12 valeurs du débit solide par unité de surface. L'interpolation graphique de ces valeurs fournirait un réseau de courbes d'égal débit solide par unité de surface. Le planimétrage des surfaces limitées par ces courbes fournirait directement le débit solide total.

En pratique, l'interpolation entre les 12 valeurs du débit solide par unité de surface pour obtenir un tel réseau n'est guère réalisable directement.

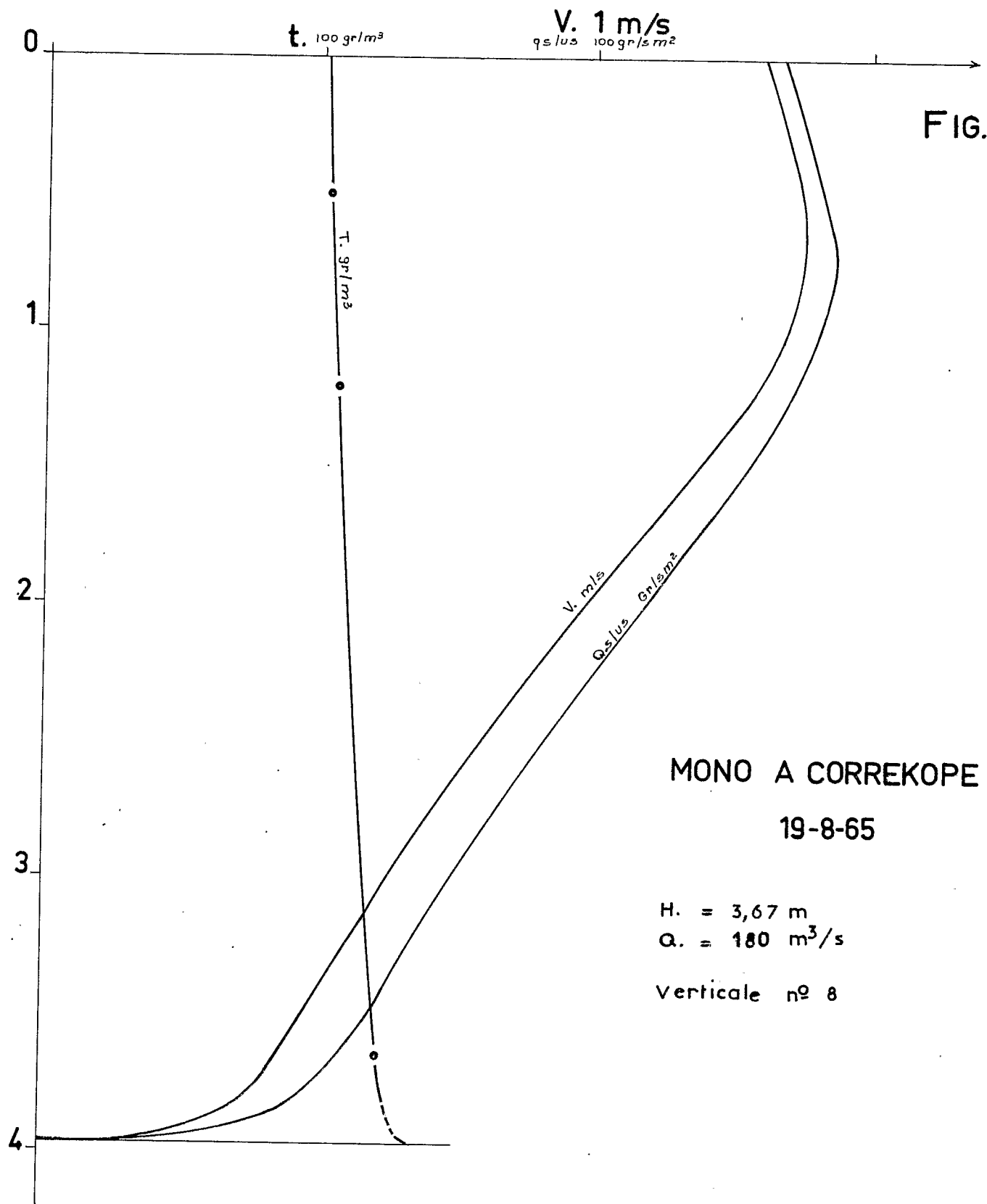


FIG. 1

MONO A CORREKOPE

19-8-65

H. = 3,67 m
 Q. = 180 m³/s

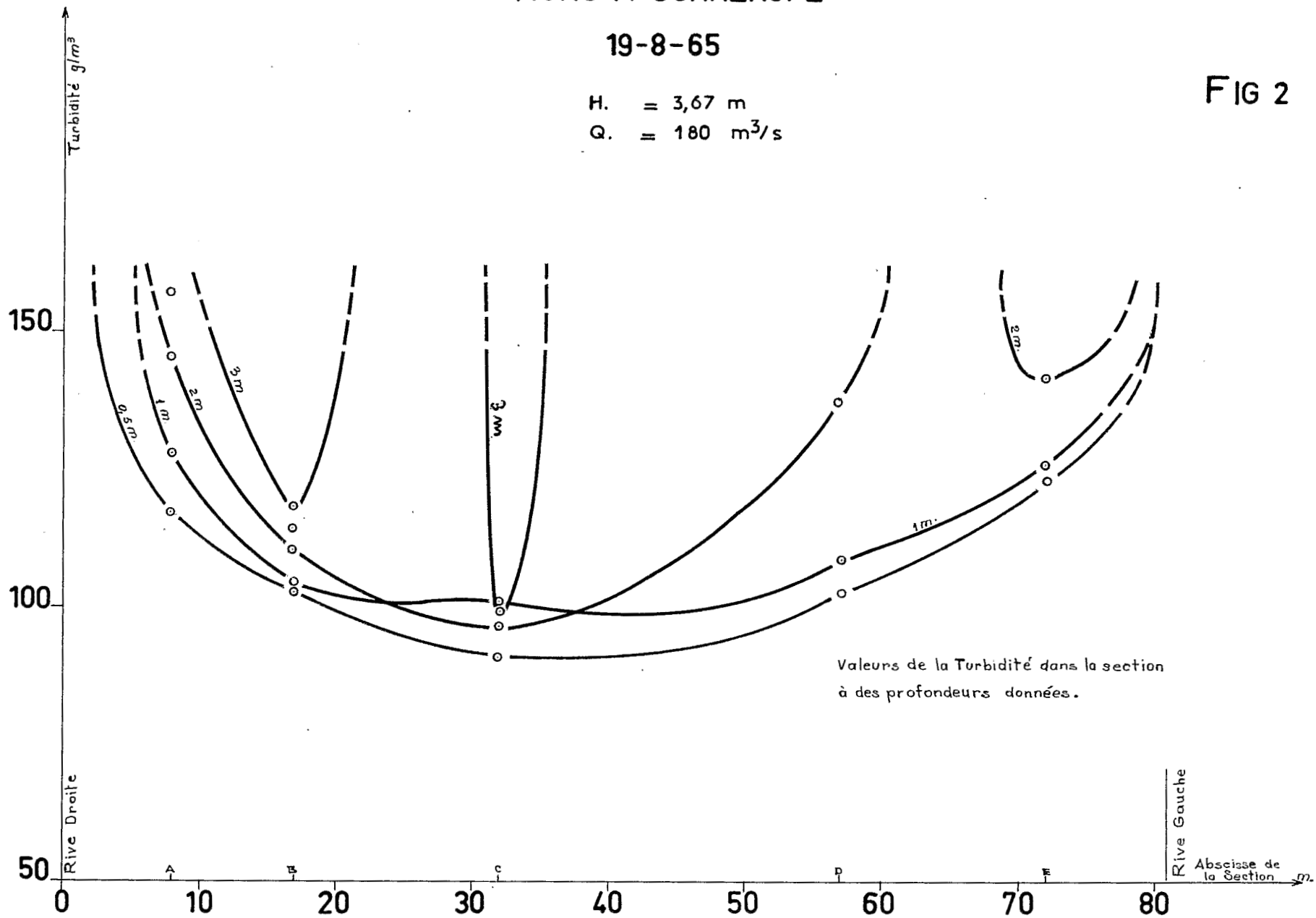
Verticale n° 8

MONO A CORREKOPE

19-8-65

H. = 3,67 m
 Q. = 180 m³/s

FIG 2



Notons alors que si la turbidité n'est mesurée qu'en 12 points répartis sur 5 verticales, la vitesse du courant est mesurée, elle, généralement en 40 à 50 points au moins, répartis sur une douzaine de verticales, ce dont il faut tirer parti.

Il est possible de faire porter l'interpolation d'abord sur les 12 valeurs de la turbidité. On trace, pour chaque verticale de prélèvement, la courbe représentant la variation de la turbidité en fonction de la profondeur. L'allure de ces courbes est assez régulière dans les cas que nous avons rencontrés (cf. fig.1). Cela constitue une première interpolation graphique en fonction de la profondeur. Puis on établit un réseau de courbes tracées de la façon suivante : on porte en abscisse, les abscisses des verticales dans la section. En ordonnée, on porte les valeurs de la turbidité. Sur chaque verticale de prélèvement, on détermine la turbidité à une profondeur donnée, 0,5 m par exemple. on reporte les valeurs obtenues sur le graphique et on trace une courbe qui représente la variation de la turbidité à la profondeur 0,5 m en fonction de la position de la verticale. On procède de même à diverses profondeurs et on obtient un réseau de courbes de répartition des turbidités (cf. fig. 2). Ainsi est réalisée en deux étapes, une interpolation graphique dans la section. Cette interpolation est assez grossière mais elle présente l'intérêt de pouvoir tenir compte ensuite de toutes les mesures de vitesses, le facteur vitesse étant très important pour le calcul du débit solide.

L'étape suivante consiste à tracer sur le graphique les verticales où il n'y avait pas eu de prélèvements et à en déduire la courbe de variation de la turbidité pour chaque verticale.

Pour arriver enfin au débit solide, il faut multiplier les turbidités par les vitesses en chaque point. A chaque verticale, on obtient une courbe représentant la variation du débit solide par unité de surface en fonction de la profondeur (cf. fig.1). Il s'agit en quelque sorte des "paraboles" du débit solide par unité de surface par analogie avec les méthodes de dépouillement des jaugeages du débit liquide. La suite des opérations est d'ailleurs

la même que pour le dépouillement des jaugeages de débit liquide. Deux méthodes sont en effet alors possibles :

1°) On planimètre la surface limitée par chaque "parabole", obtenant ainsi le débit solide par unité de largeur dans la section, soit $q_{s/ul}$ à chaque verticale. Il est facile de tracer une courbe donnant la variation du débit solide $q_{s/ul}$ le long de la section (cf. fig. 3). Le planimétrage de la surface limitée par cette courbe donne le débit solide total soit Q_s . En effet, on a $Q_s = \int_S q_{s/us} ds$ ce qui peut aussi s'écrire : $Q_s = \int_0^P \int_0^l q_{s/us} dx dp$ (x abscisse dans la section, p profondeur, l largeur totale, P profondeur totale à une verticale).

Le planimétrage des surfaces limitées par les paraboles correspond à l'opération $\int_0^P \int_0^l q_{s/us} dx dp = q_{s/ul} dx$.

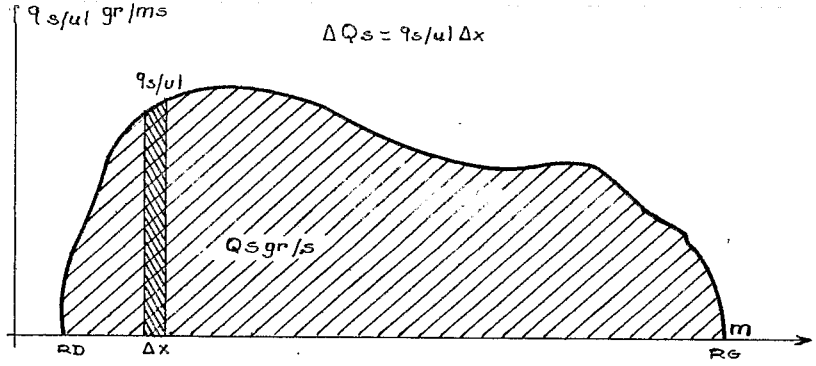
Le planimétrage de la 2ème courbe correspond à l'opération $Q_s = \int_0^l q_{s/ul} dx$.

2°) On peut aussi, de même que pour le débit liquide, tracer dans la section un réseau de courbes d'égal débit solide par unité de surface (équivalentes aux courbes isotaches). On planimètre les surfaces cumulées limitées par les courbes par valeurs croissantes de débit solide. Sur un nouveau graphique, on porte en abscisse les superficies et en ordonnée, les valeurs correspondantes des débits solides par unité de surface. Le planimétrage de la surface limitée par la courbe obtenue donne le débit total Q_s (cf. fig. 4).

Le calcul du débit solide total étant fait, on peut calculer la turbidité moyenne pondérée par la vitesse soit T_{mp} par la formule $T_{mp} = \frac{Q_s}{Q}$.

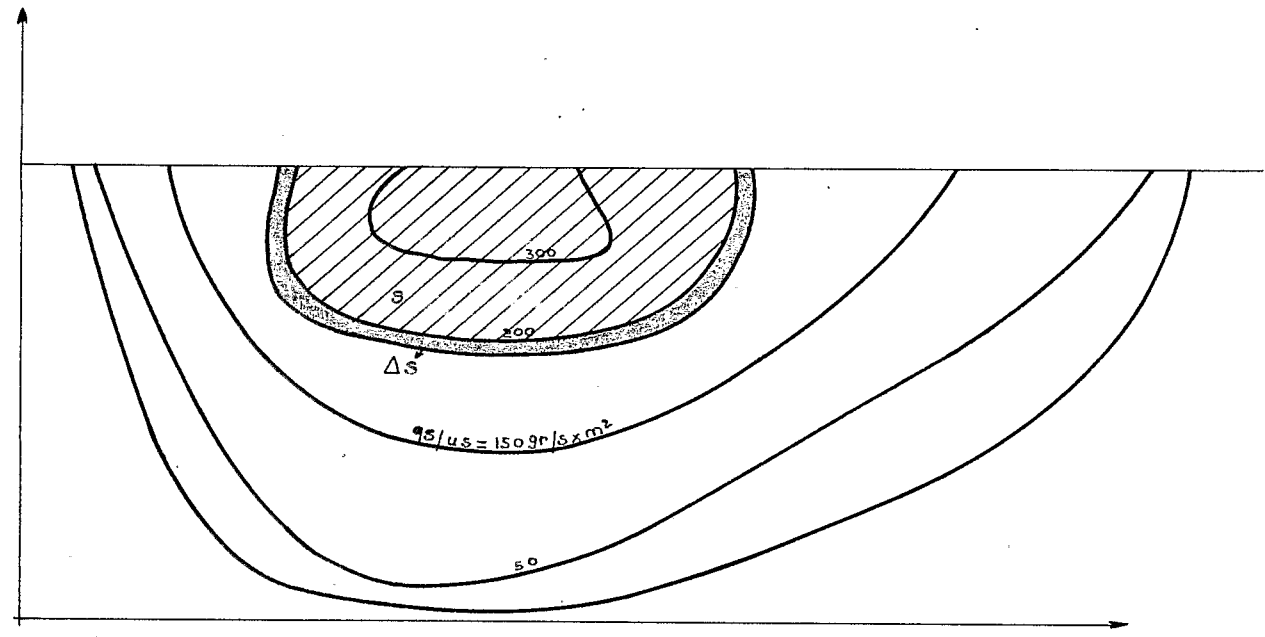
Toutes ces opérations sont assez longues et encore faut-il savoir si leur utilisation est justifiée par une différence de résultat importante.

Nous avons pratiqué cette méthode sur plusieurs mesures de débit solide et avons simultanément utilisé la moyenne arithmétique. Les résultats sont rassemblés dans le tableau comparatif ci-dessous :

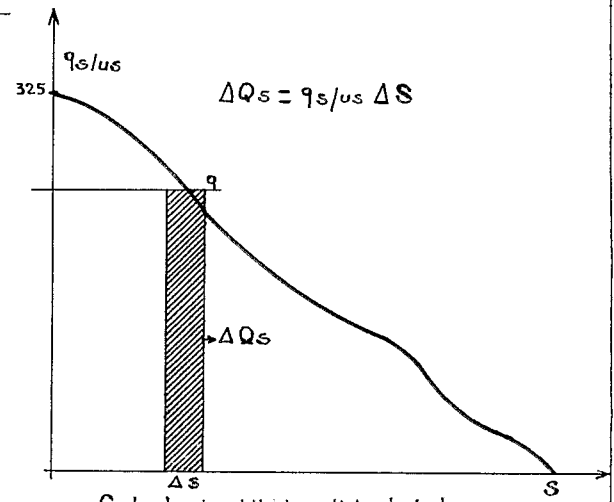


Variation du debit solide par unite de largeur le long de la section

FIG. 3



Courbes d'egal debit solide par unite de surface.



Calcul du debit solide total

FIG. 4

STATIONS	DATE	T_{ma} gr/m ³	Q_{s1} g/s	Q_s g/s	T_{mp} g/m ³	$100 \frac{\Delta Q}{Q}$ %
Mono à (Corrékopé)	19. 8.65	117	21 000	20 700	115	+ 1,4
So à Quin (to Zougomey)	1.10.65	18,4	4 160	4 000	17,7	+ 4
	25.10.65	19,2	606	630	19,6	- 3,8
So à (Togbota)	1.10.65	21,2	2 760	3 100	23,8	- 11,0
	25.10.65	32,4	634	630	32,2	+ 0,7
Ouémé à (Hétin Sota)	2.10.65	51,5	18 800	18 900	51,8	- 0,5
	21.10.65	80,7	22 200	21 300	77,3	+ 4,2
Ouémé à (Sagon)	29. 9.65	55,4	31 400	30 400	53,5	+ 3,3
	12.10.65	49,4	19 000	19 800	51,4	- 4,0
	9.12.65	21,7	125	120	20,8	+ 4,2
Ouémé à (Adjohon)	30. 9.65	66,3	39 400	39 200	66,0	+ 0,5
	21.10.65	67,3	18 600	18 200	66,0	+ 2,2
Zou à (Domé)	11.10.65	84,8	8 700	8 770	85,5	- 0,8
	5.11.65	72,5	537	509	68,8	+ 5,5
	9.12.65	23,3	37,5	38,6	24	- 2,8

Dans 9 cas sur 15, l'utilisation de la moyenne arithmétique conduit à des valeurs de débit solide surestimées. L'examen des 6 autres cas nous a permis de constater qu'il n'avait pas été fait de prélèvements près du fond dans ces cas, par suite d'impossibilités techniques, et que par conséquent la moyenne arithmétique trouvée était trop faible.

Dans la mesure où les points de prélèvements sont bien répartis dans la section, on peut utiliser simplement la moyenne arithmétique des turbidités pour calculer le débit solide tout en sachant que le débit solide ainsi calculé est surestimé de 2 à 3% en moyenne. (Notons que dans le cas de fortes turbidités, l'écart peut être plus considérable, peut-être 10 %). Cela présente l'avantage pratique de pouvoir, dans le cas où la station est bien étalonnée, se dispenser d'effectuer un jaugeage ou des mesures de vitesses si l'on est seulement intéressé par le débit solide.

Dans le cas où un jaugeage est nécessaire à la connaissance du débit liquide, on pourra effectuer les prélèvements de débit solide après le jaugeage sans inconvénients majeurs, sous réserve que la cote à l'échelle ne varie pas trop vite.

Nous nous proposons d'effectuer en 1966, une ou deux mesures de débit solide en effectuant 30 ou 40 prélèvements au lieu de 12 pour voir la précision que l'on pourrait gagner sur le débit solide.

Il faut également savoir si à partir de prélèvements effectués en surface on peut extrapoler sans trop d'erreur pour trouver le débit solide total. Sur un certain nombre de mesures de débit solide en 1965, nous avons comparé les turbidités T_{ma} et T_{mp} à la moyenne T_{m3} des turbidités des trois prélèvements faits près de la surface (0,50 m de profondeur) sur les trois verticales du centre. Les résultats sont rassemblés dans le tableau comparatif ci-dessous :

STATIONS	DATE	T_{m3}	T_{ma}	T_{mp}	$100 \frac{T_{mp} - T_{m3}}{T_{mp}} \%$
So à Quinto Zoungomey	25.10.65	19,4	19,2	19,6	+ 1,02
So à Togbota	25.10.65	30,1	32,4	32,2	+ 6,5
Ouémé à Hétin Sota	21.10.65	85,7 (1)	80,7	77,3	- 10,9
Ouémé à Sagon	29. 9.65 12.10.65 9.12.65	55,6 (1) 47,2 23,3	55,4 49,4 21,7	53,5 51,4 20,8	- 3,9 + 8,2 - 12,0
Ouémé à Adjohoun	30. 9.65 21.10.65	63,5 64,3	66,3 67,3	66,0 66,0	+ 3,8 + 2,6
Zou à Domé	11.10.65	72,4	84,8	85,5	+ 9,5
Anié à Anié	14. 9.65	293	364	non calculé	+ 19,5 (2)
Oti à Mango	14.10.65	66,8	69,0	-	+ 3,2 (2)
Mono à Corrékopé	16. 9.65	145	162	-	+ 10,5 (2)

(1) moyenne de 2 prélèvements seulement

(2) $100 \frac{T_{ma} - T_{m3}}{T_{ma}}$

Il sera nécessaire de poursuivre en 1966 ces comparaisons de façon systématique afin de trouver une corrélation si possible.

En effet, la mesure quotidienne du débit solide en suspension ne peut être menée à bien que par des prélèvements en surface (pour des raisons matérielles), des mesures régulières avec 12 prélèvements étant faites tous les 10 jours environ. Une corrélation assez serrée pourra peut-être être établie pour chaque station étudiée.

b) Etude granulométrique des sédiments transportés en suspension :

Les turbidités mesurées jusqu'à ce jour étant généralement faibles, il est difficile de procéder à des mesures granulométriques sur les résidus des prélèvements.

On peut, pour disposer d'un volume de sédiments plus important, mélanger l'ensemble des 12 prélèvements et effectuer les mesures granulométriques sur le mélange. Quand la turbidité est suffisante, on peut étudier la répartition granulométrique des sédiments en fonction de la profondeur. Nous donnons ci-dessous (cf. fig. 5) un exemple des résultats obtenus au cours de la mesure effectuée sur l'Anié à Anié le 14.9.65 à la cote $H = 3,91$ mètres pour un débit de $142 \text{ m}^3/\text{s}$. Les prélèvements sur la verticale ont été effectués à 0,5 m, 2 m et 3 m de profondeur. La profondeur totale était de 3,43 m, mais des difficultés techniques n'ont pas permis de prélèvements plus profonds.

Nous avons pu déterminer la granulométrie des sédiments pour chacun des trois prélèvements de 10 litres, le poids des résidus variant de 3 à 6 gr. Ces valeurs sont les plus fortes que nous ayons relevées en 1965.

La classification granulométrique adoptée est la suivante :

- argile $d < 2 \mu$
- limon fin $2 \mu < d < 20 \mu$
- limon moyen et gros $20 \mu < d < 50 \mu$

ORSTOM

DATE: 5-8-66

DESSINÉ: M. Sossch

T 547H

FIG. 5

REPARTITION GRANULOMETRIQUE
 EN FONCTION DE LA PROFONDEUR
 ANIE A ANIE PONT C.F.T.
 VERTICALE A 6m. DE LA RIVE GAUCHE
 14-9-65

H: 3,91 m

Profondeur totale de la Verticale... = 343







0 100 200 300 400 500 600 Gr/m³ Turbidité

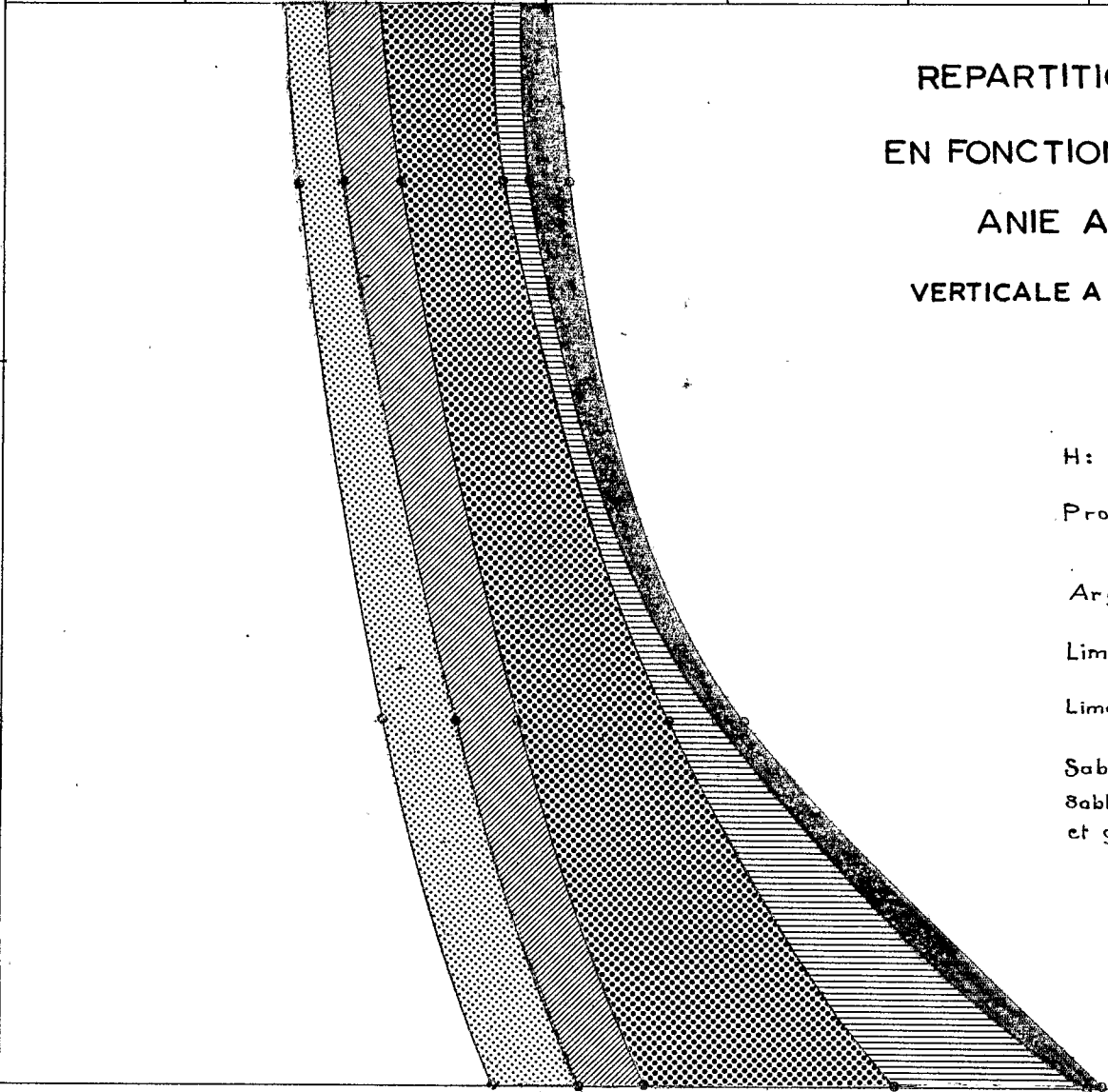
1

2

3

Profondeur en mètre

- Argile.....  $1 < 2 \mu$
- Limon fin.....  $2 \mu < d < 20 \mu$
- Limon moyen  $20 \mu < d < 50 \mu$
- Sable fin  $50 \mu < d < 200 \mu$
- Sable moyen et grossier....  $d \geq 200 \mu$
-  Pertes
(Matières organiques détruites, pertes au cours des manipulations)



Ces trois fractions sont déterminées par une méthode fondée sur la loi de STOKES (chute des particules dans un liquide de viscosité connue).

- sable fin $50 \mu < d < 200 \mu$
- sable moyen et grossier $d > 200 \mu$

Ces deux fractions sont déterminées au tamis.

Notons, bien que cela n'ait pas été mesuré, qu'aucune particule ne devait dépasser 250 à 300 μ . L'examen des résultats obtenus révèle que les particules d'un diamètre inférieur à 50 μ , soit le limon et l'argile, représentent de 50 à 70 % des sédiments transportés. Les particules supérieures à 200 μ ne représentent qu'une faible fraction du transport total.

Nous avons fait figurer sur le graphique, une frange teintée en noir qui représente les pertes inévitables au cours des manipulations. Les éléments perdus dont la granulométrie n'est pas connue représentent une faible fraction du total des résidus, l'erreur résultante est faible.

Quand les résidus utilisés sont de l'ordre du gramme pour 10 litres, il n'en est malheureusement plus de même et à fortiori si l'on utilisait des prélèvements de 1 litre.

Si nous désirons à l'avenir étudier la répartition granulométrique des sédiments transportés en fonction de la profondeur, il nous faudra généralement effectuer des prélèvements spéciaux de plus grands volumes d'eau : 30 à 40 litres. Une étude de la granulométrie moyenne pourra être faite en mélangeant les résidus des prélèvements de 10 litres habituels.

c) Analyse chimique des sédiments transportés en suspension :

Jusqu'à ce jour, les analyses n'ont porté que sur le carbone et l'azote. Le carbone est dosé par la méthode d'Anne, l'azote est dosé par la méthode de Kjeldhal. La teneur en matières organiques est estimée en multipliant la teneur en carbone par le coefficient 1,724 (procédé utilisé par les pédologues).

Des analyses complètes des sédiments sont envisagées pour 1966.

d) Périodicité des prélèvements

En 1965, il n'y a pas eu de prélèvements journaliers. L'intervalle séparant deux prélèvements était en moyenne de 15 à 20 jours. C'est évidemment tout à fait insuffisant pour estimer le débit solide en suspension. Nous pensons qu'il est nécessaire d'effectuer un prélèvement journalier de routine, trois prélèvements pour chaque crue notable (un au cours de la montée de la crue, un au maximum, et un à la décrue). Ces prélèvements sont faits en surface et le débit solide total évalué par corrélation. Tous les 10 jours environ, une mesure régulière avec 12 prélèvements répartis dans la section est faite. Telles sont les dispositions que nous mettrons en oeuvre en 1966 pour au moins, une station.

IV. CONCLUSION

Si nous avons cru bon d'exposer ici les méthodes de mesure du débit solide en suspension utilisées par nous, c'est que nous avons lu d'assez nombreux rapports et articles sur les résultats obtenus en différents pays et que ces rapports, très intéressants au demeurant, ne donnent guère de détails sur les procédés de mesure utilisés.

Dans ces conditions, la comparaison des résultats obtenus est difficile, certains étant obtenus sans doute par des procédés très élaborés, d'autres résultant de mesures plus grossières.

Nos méthodes ne sont pas particulièrement fines mais elles doivent probablement nous permettre d'obtenir des valeurs quantitatives de débit solide à 5 % ou à 10 % près. De plus, elles ont l'avantage d'être relativement peu coûteuses, de ne nécessiter qu'un matériel assez léger. Leur mise en oeuvre en est facilitée dans des pays où les accès aux stations de mesures sont difficiles et les moyens disponibles réduits.