

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

NOTE SUR LES MESURES
DE TRANSPORT SOLIDE EN SOLUTION
ET DE QUALITE DES EAUX
EFFECTUEES AU TOGO DE 1965 à 1967

J. COLOMBANI
LOME, OCTOBRE 1967

D8
COL

NTRE ORSTOM DE LOME

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

NOTE SUR LES MESURES
DE TRANSPORT SOLIDE EN SOLUTION
ET DE QUALITE DES EAUX
EFFECTUEES AU TOGO DE 1965 à 1967

J. COLOMBANI
LOME, OCTOBRE 1967

CENTRE ORSTOM DE LOME

D8
COL



14 NOV. 1967

7772ep2

NOTE SUR LES MESURES DE QUALITE DES EAUX
EFFECTUEES AU TOGO ET AU DAHOMEY (1965-66-67)

-----oOo-----

RESUME

Cette note expose quelques faits d'expérience mis en évidence au cours des mesures effectuées en 1965 et 1966 et leurs conséquences en ce qui concerne les méthodes de prélèvements.

I - INTRODUCTION

Simultanément avec les mesures de débit solide dont nous avons déjà parlé dans une autre note, des mesures sur la qualité des eaux sont faites notamment dans le bassin du Mono au Togo, dans le système lagunaire du Sud Togo et dans le delta de l'Ouémé au Dahomey.

Certaines mesures sont faites sur le terrain : température, pH, résistivité, teneur en oxygène dissous, titre alcalin et titre alcalin complet ; d'autres sont faites au laboratoire : teneur en ions alcalins et alcalinoterreux (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++}), teneur en chlore, sulfate, nitrate, nitrite, phosphate, fer et silice. La résistivité est aussi mesurée au laboratoire.

II - INSTRUMENTS UTILISES

1) sur le terrain

a) Mesure de la température

La température est mesurée à environ 20 cm de profondeur à l'aide d'un thermomètre de précision au 1/10. Nous ne disposons pas pour l'instant de sonde thermométrique permettant la mesure en profondeur. Dans le cas des eaux à écoulement rapide, la turbulence est suffisante pour égaliser pratiquement les températures dans une section. Il n'en est plus de même dans des eaux calmes.

b) Mesure du pH

Ne disposant pas d'un pH-mètre électronique portatif, nous avons dû nous contenter d'utiliser un comparateur colorimétrique à disque (type Lovibond). Cet appareil, très facile à employer, donne des résultats acceptables dans les eaux douces mais sujets à caution dans les eaux saumâtres. Pour les eaux douces, des mesures simultanées ont été faites au laboratoire avec le comparateur et avec un pH-mètre électronique. Nous avons traduit les résultats de ces essais sous forme d'un tableau à double entrée (fig. 1). Dans chaque case figure le nombre de fois où l'on a observé au cours d'une mesure simultanée le couple des valeurs indiquées par les têtes de ligne et de colonne correspondant à la case.

.../...

pH-mètre PHILIPS

	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	8,0	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6
7,0																	
7,1																	
7,2																	
7,3						2											
7,4							1										
7,5			1			2											
7,6						1	6	1	1								
7,7							1	2									
7,8								5	3								
7,9								1	1								
8,0									3	4	2						
8,1										2							
8,2									1		3	2	2				
8,3																	
8,4																	
8,5																	
8,6																	

Figure 1

Correspondance entre pH-mètre électronique
et pH-mètre à disque coloré

Les mesures faites au comparateur donnent dans l'ensemble des valeurs légèrement différentes de celles du pH-mètre électronique. On peut corriger le pH donné par le comparateur pour la série de mesures simultanées faites à l'aide du tableau de correction suivant :

pH1	7	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	8,0	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6
pH2	7,2	7,2	7,3	7,4	7,5	7,5	7,6	7,7	7,8	7,8	7,9	8,0	8,1	8,1	8,2	8,3	8,4

pH1 = pH du colorimètre Lovibond ; pH2 = pH corrigé

Notons toutefois que ce tableau est établi d'après les mesures faites par un observateur déterminé, en l'occurrence un de nos aides-techniques. Des essais faits simultanément par un autre opérateur semble prouver l'existence d'un facteur personnel dans les déterminations colorimétriques. Les indicateurs colorés utilisés dans cette bande de pH sont le bleu de Bromothymol, le rouge de Phénol et le rouge de Crésol. Un nouveau tableau (1 bis) dressé à l'aide des pH corrigés montre une bonne concordance d'ensemble. On peut raisonnablement estimer que le pH mesuré au comparateur est exact à $\pm 0,1$ unité de pH près. Dans le cas des eaux saumâtres, la concentration en sel peut affecter la coloration des indicateurs. Un écart possible de $\pm 0,1$ unité de pH paraîtra peut-être important a priori mais nous verrons que les mesures ainsi faites sont quand même tout à fait significatives à certains égards.

c) Résistivité

Nous utilisons sur le terrain un pont de Kolrausch (Chauvin et Arnoux). La précision électrique relative indiquée par le constructeur est de 1 %. En fait nous estimons que par suite de la difficulté à estimer la position d'équilibre du pont (minimum d'un signal sonore), il ne faut pas compter sur une précision meilleure que ± 2 % ou 3 %.

Simultanément avec la mesure de résistivité est faite la mesure de la température. Cela permet de calculer la résistivité ramenée à 25°C afin de pouvoir se livrer à des comparaisons utiles.

D'après B. DUSSART, aux "températures ordinaires" et pour des "solutions ordinaires" on peut écrire :

$$X_t = X_{18} [1 + a(t - 18^\circ)] \quad (1)$$

X_t = conductivité de la solution à $t^\circ\text{C}$, X_{18} = conductivité de la solution à 18°C , a étant un coefficient variant de 0,02 à 0,025 pour des eaux de composition "normale". (Pour des eaux très acides, le coefficient a est plus faible, variant de 0,0149 à 0,0186 pour des pH variant de 3,5 à 5,2). Nous déduisons de (1) :

$$X_t = X_{25} [1 + a'(t - 25)] \quad (2)$$

.../...

pH-mètre PHILIPS

	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	8,0	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6
7,0																	
7,1																	
7,2																	
7,3																	
7,4						2											
7,5			1			2	1										
7,6						1	6	1	1								
7,7							1	2									
7,8								6	4								
7,9									3	4	2						
8,0										2							
8,1									1		3	2	2				
8,2																	
8,3																	
8,4																	
8,5																	
8,6																	

Figure 1 bis

Correspondance entre pH-mètre électronique
et pH-mètre à disque coloré avec correction

avec $a' = \frac{a}{1 + 7a}$ (25°C représente pour nous une température moyenne).

Les valeurs couramment admises pour la variation de résistivité des eaux naturelles en fonction de la température (cf. Mr GOUZY), nous conduisent à choisir : $a' = 0,0203$. On peut aussi écrire simplement :

$$R_{25^{\circ}\text{C}} = KR_{t^{\circ}\text{C}} \quad (3)$$

avec $K = 0,493 + 0,0203t^{\circ}\text{C}$. (1), (2) et (3) sont valables pour des températures pas trop élevées. Une formule meilleure s'écrirait :

$$X_t = X_{25} \left[1 + a'(t - 25) + b'(t - 25)^2 \right]$$

Le terme $b'(t - 25)^2$ reste négligeable tant que t n'est pas trop élevée.

d) Teneur en oxygène dissous

Nous utilisons la méthode WINKLER à l'aide d'un petit laboratoire portatif. Le matériel utilisé (utilisation en particulier d'une microburette) nous permet d'obtenir une précision théorique de $\pm 0,06$ gr/l d'oxygène (ou $\pm 0,15$ cm³/litre à pression normale). En pratique, la précision peut être estimée à $\pm 0,15$ gr/l d'oxygène.

e) Titre alcalin TA (CO₃⁻⁻⁻) et titre alcalin complet TAC (CO₃H⁻)

La mesure est faite en observant le virage de la phénolphthaléine (TA) puis du méthylorange (TAC) dans une prise d'essai sous l'action d'une solution acide diluée. En utilisant une microburette, la précision théorique est de $\pm 0,6$ gr/m³ de CO₃H⁻ et $\pm 0,61$ gr/m³ de CO₃.

2) au laboratoire

a) Résistivité

La mesure en est effectuée à l'aide d'un pont de mesure Philips à six gammes de mesure. Suivant les échelles, l'erreur relative est de 1,5 % à 5,5 %. Dans les gammes généralement utilisées, l'erreur relative maximum est de l'ordre de 2,5 %.

b) pH

Nous utilisons un pH-mètre électronique Philips à trois gammes de mesure. Le constructeur annonce une précision de 0,01 pH.

c) Dosages divers

- alcalins (Na⁺, K⁺) : photométrie de flamme ;
- alcalinoterreux (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺) : complexométrie ;
- chlore : moyennes et fortes teneurs : Méthode Volhard
faibles teneurs (< 10 p.p.m.) : colorimétrie au thiocyanate de mercure ;

.../...

- sulfates : fortes teneurs ($\gg 1 \text{ eq/m}^3$) : gravimétrie
faibles teneurs : turbidimétrie au spectrophotomètre Jean et Constant ; éventuellement pour les teneurs moyennes : complexométrie.
- PO_4 : spectrophotométrie au bleu de Molybdène
- NO_2 : spectrophotométrie à la Tropéoline
- NO_3 : spectrophotométrie à la Diphénylamine sulfonée
- SiO_2 : spectrophotométrie de l'acide silicomolybdique (forme non réduite jaune)
- Fe : par spectrophotométrie de l'orthophénantroline
- Al : par spectrophotométrie de l'Eriochrome cyanine

III - QUELQUES RESULTATS CONCERNANT LES OBSERVATIONS EFFECTUEES DE 1965 à JUIN 1967

1°) Variation dans une section des caractéristiques physiques et chimiques des eaux

a) Eaux douces

Dans le cas d'une rivière à écoulement rapide et suffisamment turbulent, les différentes caractéristiques physiques et chimiques des eaux (exception faite de la teneur de matières en suspension) ne varient pratiquement pas d'un point à un autre d'une même section. (Toutefois il peut être constaté une certaine hétérogénéité à l'aval d'un confluent). Dans ce cas on peut se contenter d'effectuer trois prélèvements de un litre en trois points différents de la section dans les zones où la vitesse du courant est appréciable (1). Nous donnons ci-après (fig. 2 & 3) un exemple des résultats obtenus pour les teneurs en alcalins et alcalinoterreux dans deux stations différentes.

Pour des eaux douces à faible courant ou stagnantes, nous n'avons guère de mesures. Il est cependant raisonnable d'estimer qu'une certaine hétérogénéité peut se manifester (ne serait-ce que pour la température, le pH et l'oxygène dissous). Dans ce cas, l'exploration d'une section complète s'impose.

b) Eaux saumâtres

Nous avons pu constater l'hétérogénéité de la répartition spatiale des concentrations en sels dissous (cf. fig. 4 & 5). Ceci entraîne l'obligation d'une exploration complète des sections étudiées.

.../...

(1) Un seul prélèvement devrait théoriquement suffire, mais, afin de pallier aux erreurs et accidents possibles, nous préférons en faire trois qui doivent, s'ils sont convenablement traités, donner des résultats très proches.

(S)R (T)M
 DATE: 4-4-66
 NESSINE
 M. Fosschi
 P700-8 H

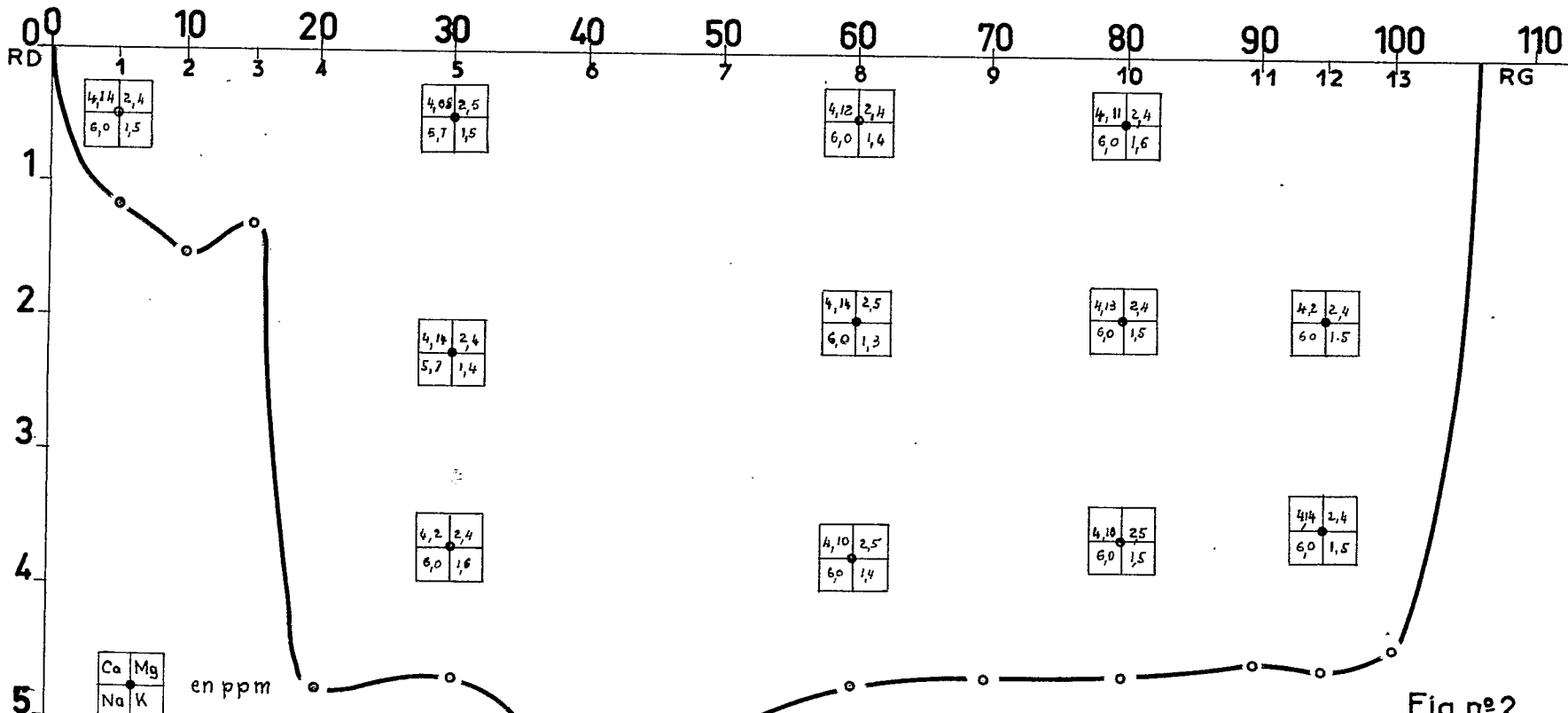
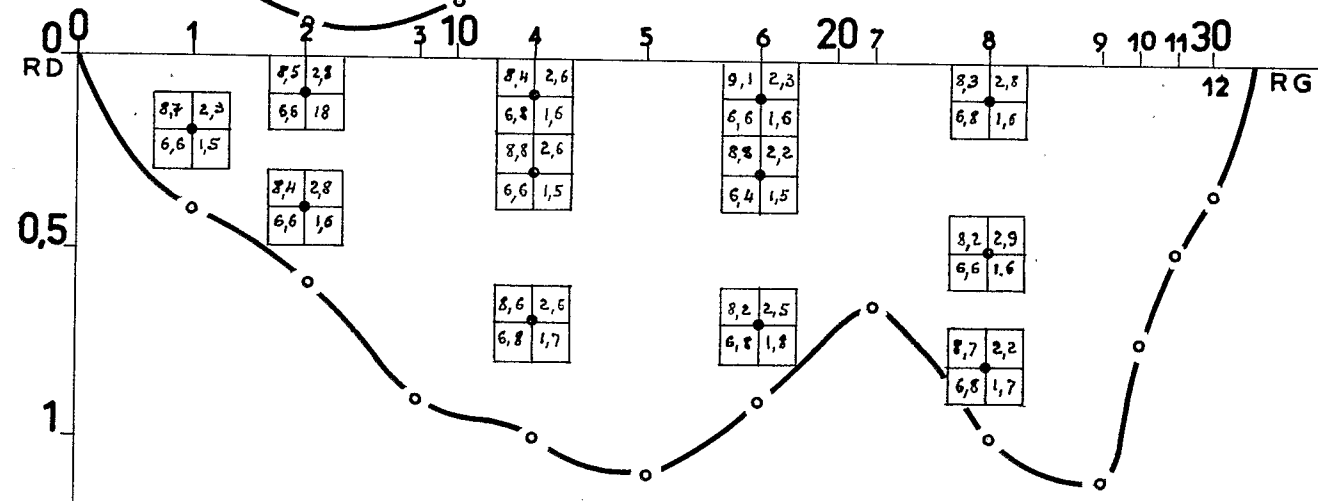


Fig n°2



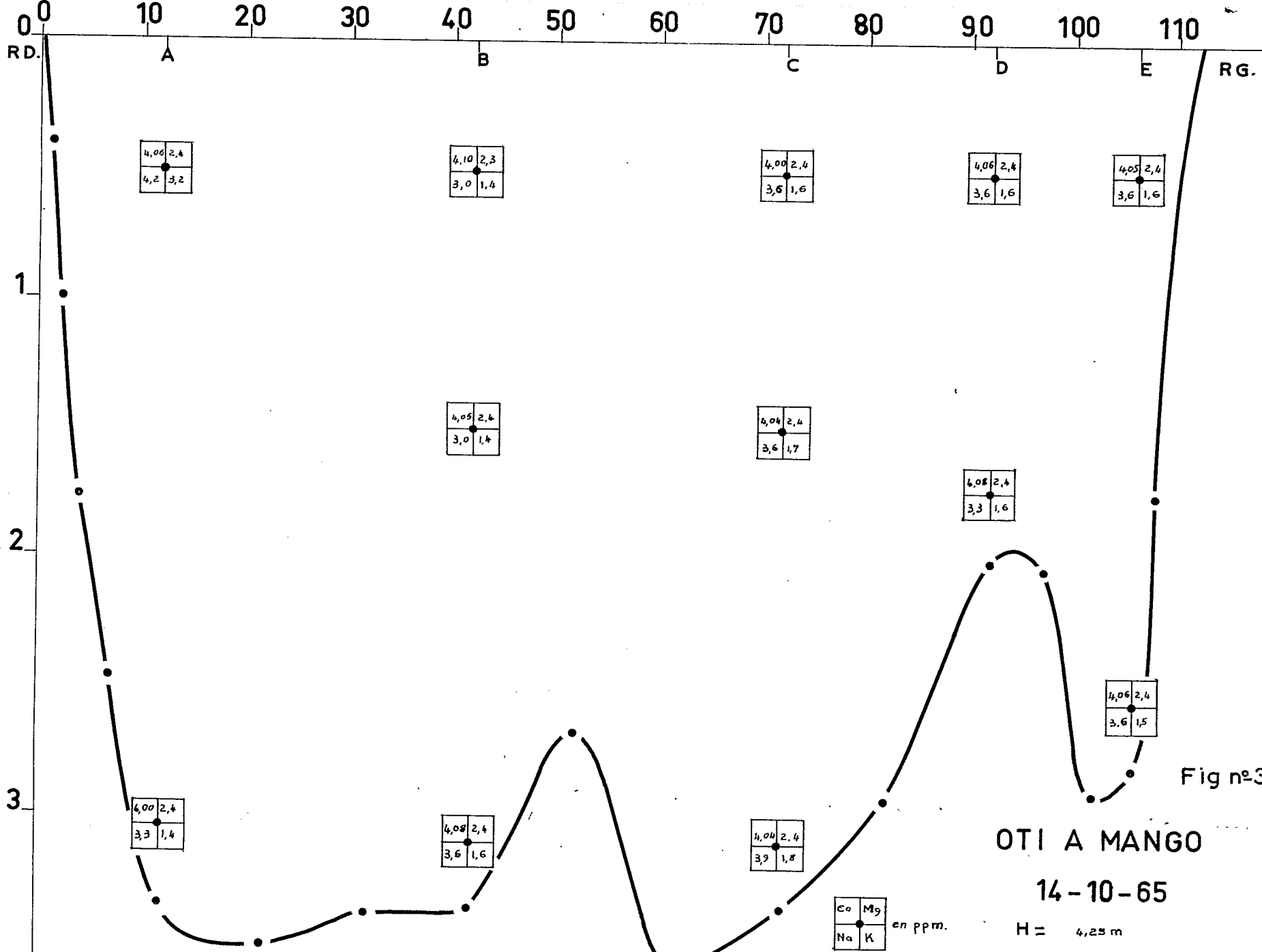
OUÉMÉ A SAGON
9-12-65

OUÉMÉ A SAGON
12-10-65

H = 5,22 m
Q = 385 m³/s

H = 0,65 m
Q = 5,76 m³/s

CHIFFRE (N) / DATE: 9-3-66 / DESSINÉ: M. Sosseh. / T 691 H



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

Co	Mg
Na	K

 en ppm.

Fig n°3
OTI A MANGO
 14-10-65
 H = 4,25 m
 Q = 225 m³/s
 t° = 31°2 en surface dans le courant

L'OUEME A OUEDOME

(Fig.n°4)

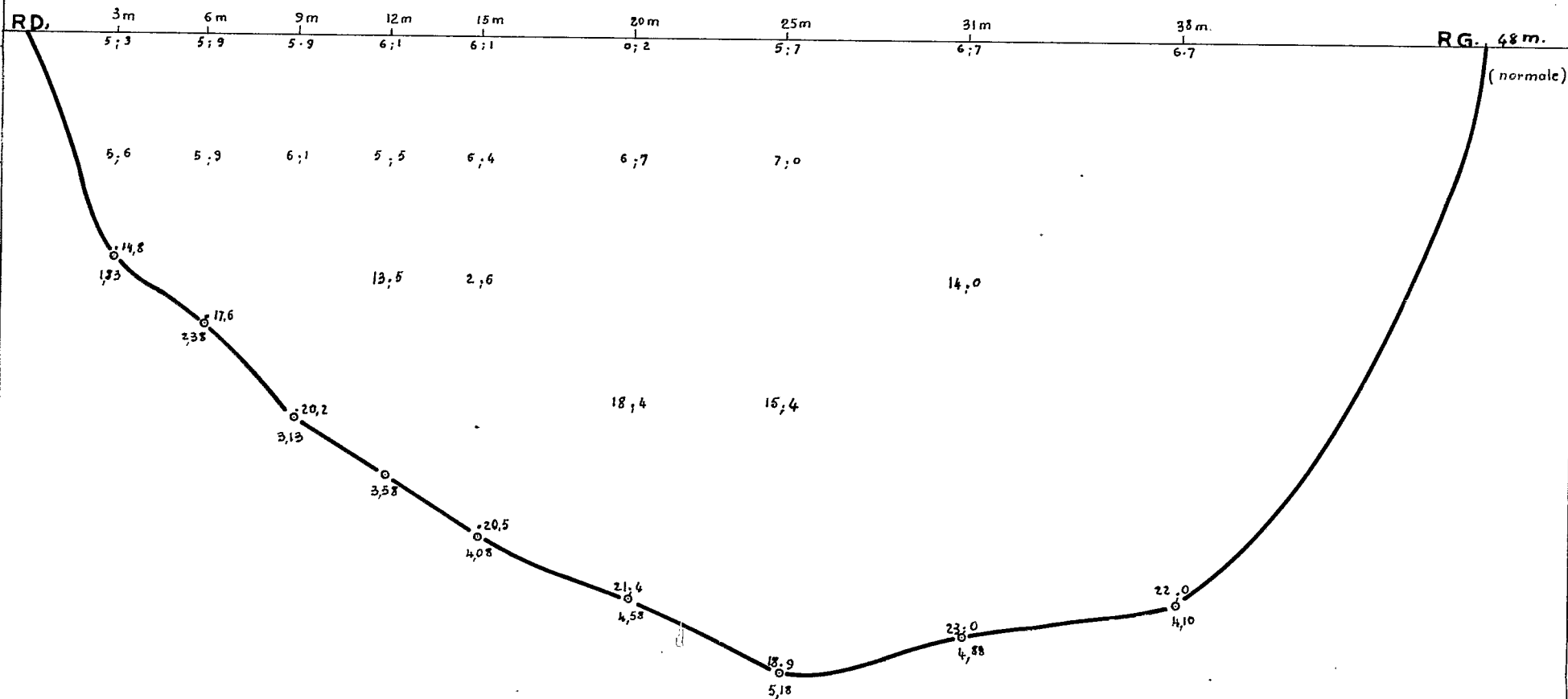
10 - 3 - 65

Courant inverse

(6,1 Nacl en g / 100 cc)

H: { 0,36 à 11h 35'
0,365 à 14 heures

Marée montante
Profil, Section de jaugeage



G.R.A.T.C.Y.

DATE: 22-4-66

DESSINE: M. Sossah

N 7000-16H

LA SÔ A QUINTO ZOUNGOME

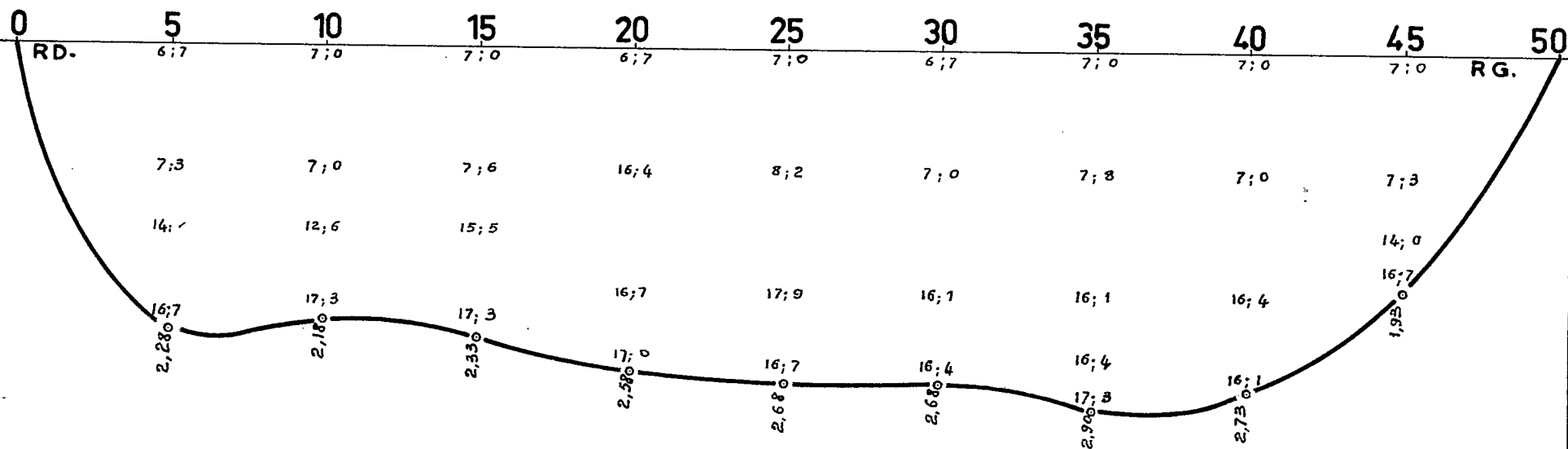
(Fig. n° 5)

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'



OR K-F(0)X
 N T 4-4-66
 P 101N
 M.S. 177H
 P 177H-177H

2°) Variation d'amont en aval des caractéristiques physiques et chimiques des eaux

a) Eaux douces courantes

Il n'apparaît généralement pas de variation rapide des caractéristiques, excepté dans le cas du mélange avec un affluent dont les eaux ont des caractéristiques suffisamment différentes de celles du cours d'eau principal eu égard à leurs débits relatifs.

b) Eaux saumâtres

On a pu constater dans le Delta de l'Ouémé des variations spatiales très rapides de la salinité. Nous donnons en exemple ci-dessous les mesures effectuées en avril et mai 1967 dans le delta de l'Ouémé (cf. fig. 6) (mesures de résistivité). Nous avons constaté au cours de ces mesures l'existence d'un coin d'eau fortement salée reposant sur le fond et recouvert d'une couche d'eau à salinité variable (cf. fig. 7 et 8). Les caractéristiques marquantes de ce système sont les suivantes sur l'Ouémé entre Porto-Novo et Adjohoun :

- la séparation entre le coin salé et le mélange qui le surmonte est nette généralement, la transition s'effectuant sur une profondeur de 50 cm environ ;

- la minéralisation du coin salé ne varie guère d'aval en amont mais son épaisseur diminue progressivement et il disparaît à environ 25 km au nord de Porto-Novo à Hétin-Sota ;

- la minéralisation de la couche supérieure varie très sensiblement d'aval en amont. Cette couche apparaît environ à 5 ou 6 km au Nord de Porto-Novo et son épaisseur croît jusqu'à occuper la section entière à environ 25 km (Hétin-Sota). Dans cette couche supérieure, le passage à l'eau douce est donc progressif mais s'accélère nettement à environ 20 à 23 km aux environs de Kessounou.

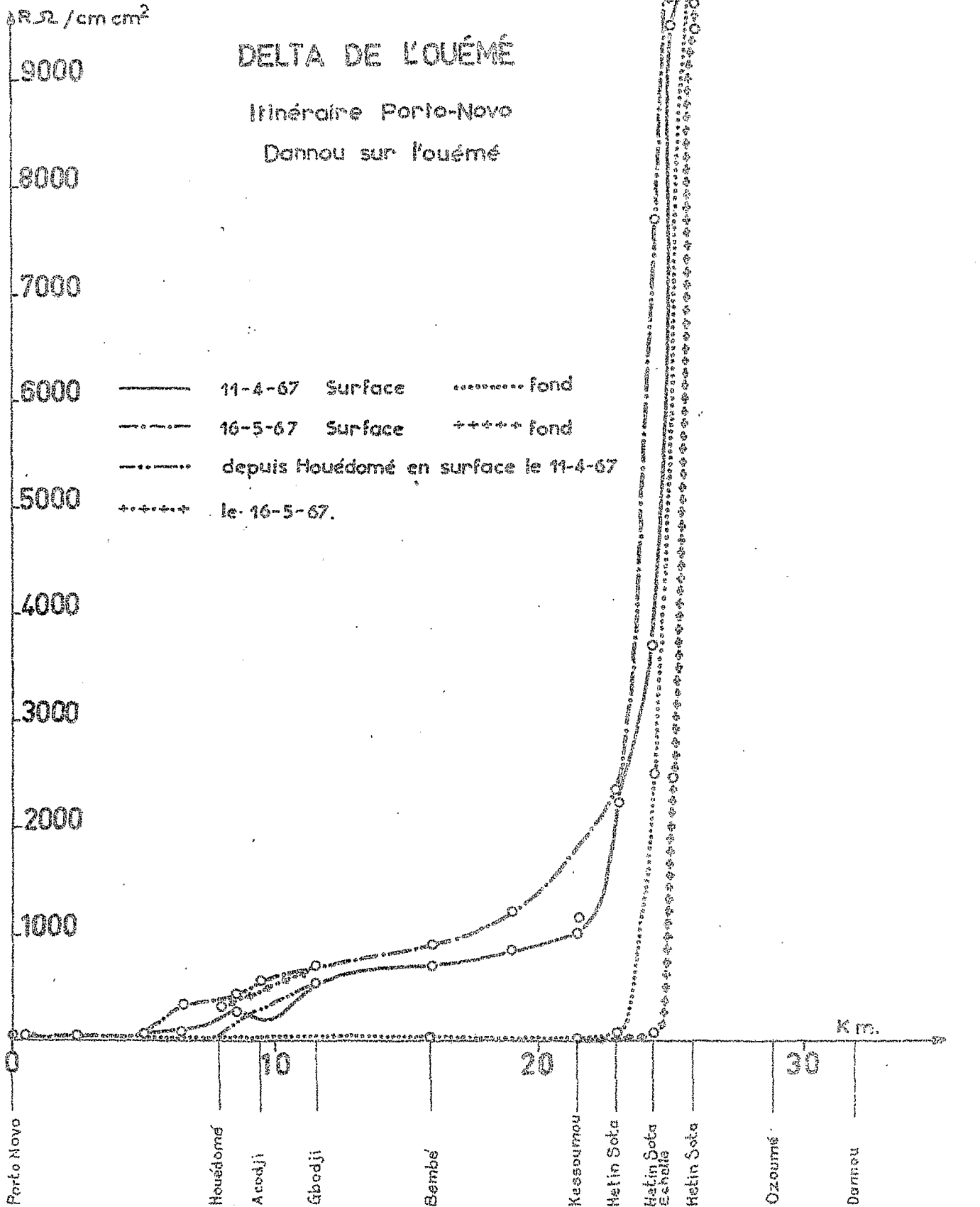
Des mesures ultérieures nous permettrons de suivre l'évolution du système dans le cours de l'année 1967.

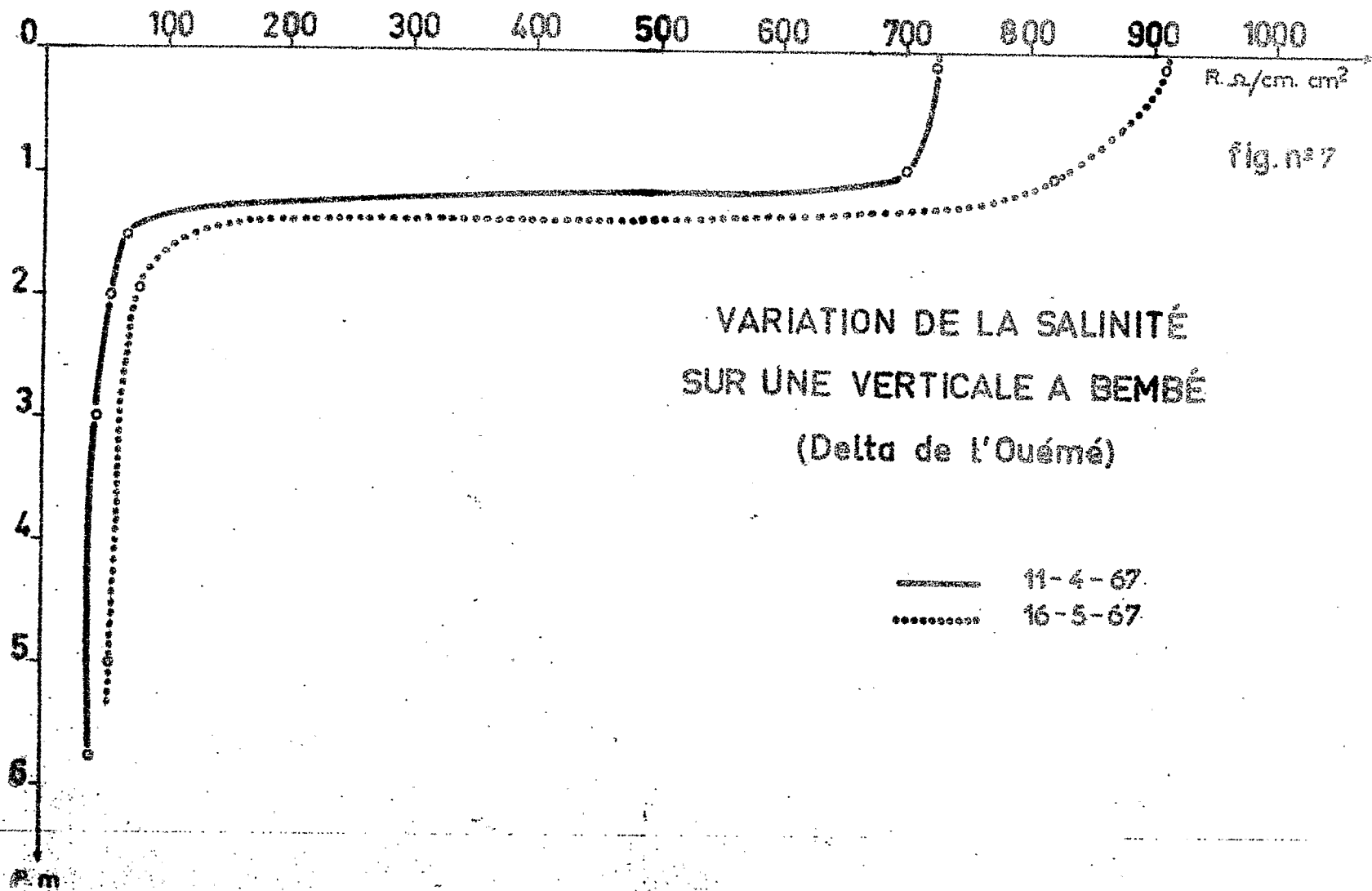
Les mesures faites dans le système lagunaire du sud Togo (Lac Togo, lagune d'Anécho) montrent une grande variabilité de la salinité avec le lieu de prélèvement. Dans une note ultérieure, nous présenterons les résultats des mesures faites en lagune en 1966. Cependant, nous pouvons déjà indiquer qu'une étude complète de la salinité du système lagunaire nécessiterait un réseau beaucoup plus complet de points de mesure.

3°) Variations dans le temps des caractéristiques physiques et chimiques

Ces variations sont étudiées de façon systématique surtout dans le bassin du Mono et en particulier à Corrékopé.

fig. n° 6





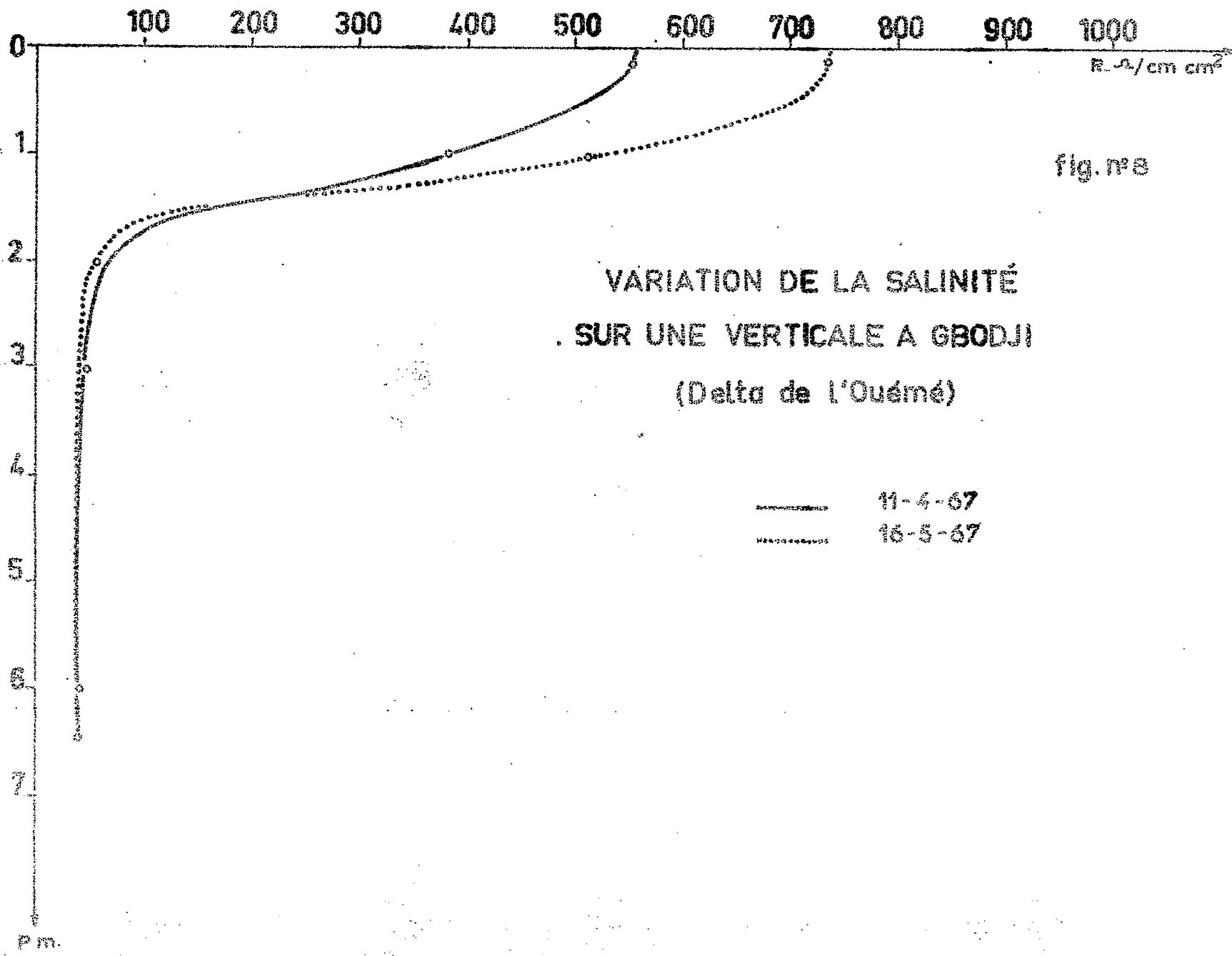


fig. n°8

VARIATION DE LA SALINITÉ
 SUR UNE VERTICALE A GBODJI
 (Delta de l'Ouémé)

— 11-4-67
 16-5-67

Nous exposons ci-dessous principalement les résultats des mesures faites à Corrékopé.

a) Température (mesurée entre 10 et 20 cm de profondeur)

Il se produit une variation journalière de la température de l'eau dont l'amplitude est elle-même très variable suivant l'époque et suivant le débit du fleuve. Sur les figures 9 et 10, nous avons reporté les variations journalières de la température mesurée toutes les heures à différentes époques de l'année. Comme on pouvait s'y attendre, l'amplitude journalière dépend du débit du fleuve ainsi que de l'amplitude journalière de la température de l'air. (Débit et amplitude journalière de la température sous abri sont eux-mêmes en corrélation du fait des circonstances climatiques accompagnant la saison des pluies).

Le maximum de température observé au cours des mesures en 24 heures est de 33°2 pour un débit de 392 l/s le 15.5.67. Le minimum de température observé au cours des observations de 24 heures est de 22°0 pour un débit de 83 l/s le 30.1.67. Notons que nous avons observé au cours des mesures de routine (3 fois par jour) des valeurs extrêmes différentes : maximum 34°1 à 18 h le 10.5.67 pour $Q = 808$ l/s, minimum 20°4 à 8 h le 4.1.67 pour $Q = 368$ l/s

L'amplitude journalière qui peut atteindre plus de 5°0 dépend également de l'amplitude de la variation de la température de l'air et de l'insolation. Une chute de pluie se traduit généralement par une baisse rapide de la température, ce qui perturbe l'allure régulière du phénomène en général.

Le maximum s'observe généralement vers 16 h. On observe parfois un palier prolongé jusqu'à 20 h ou même plus tard.

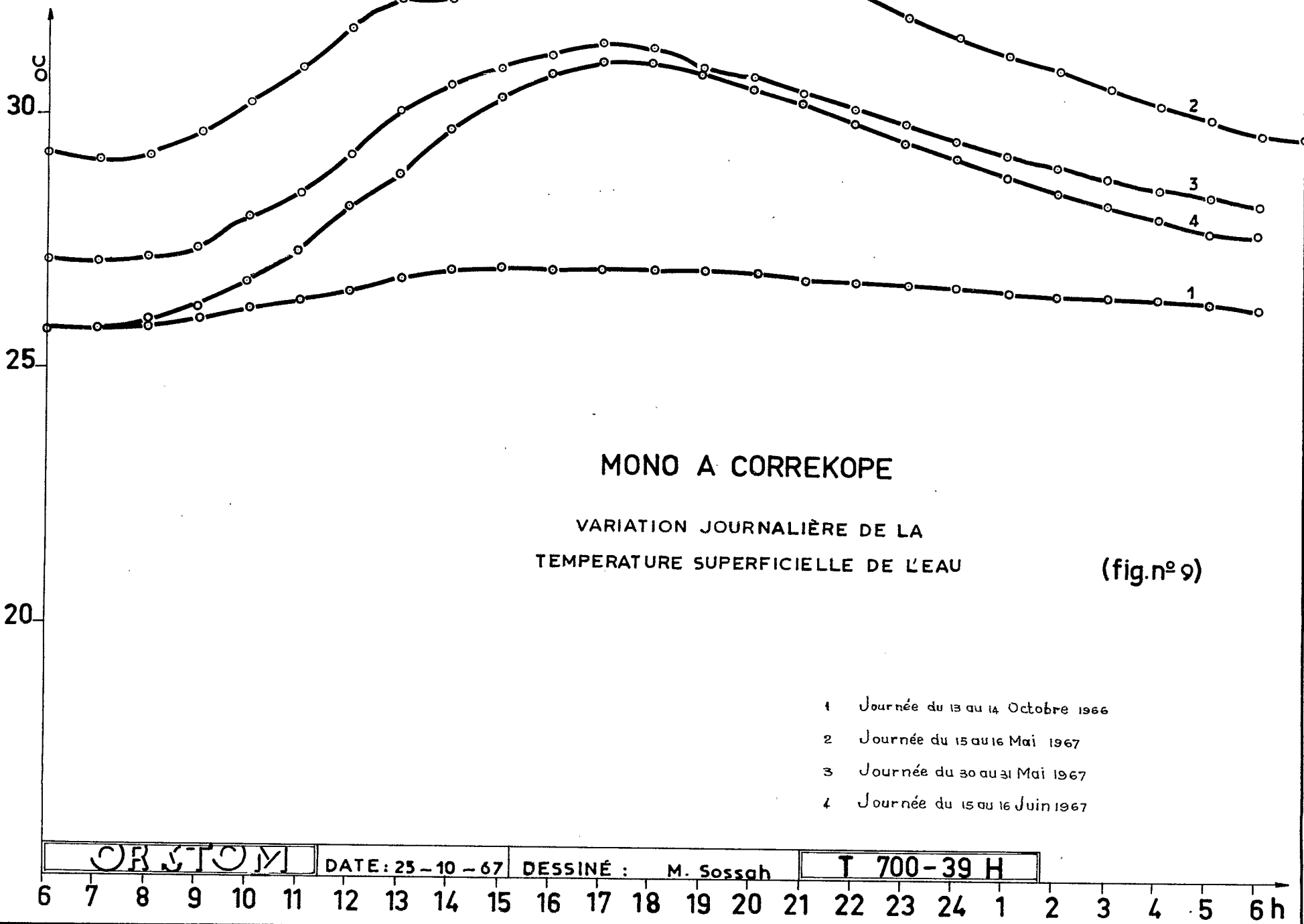
Le minimum s'observe généralement vers 6 h ou 7 h du matin. On observe généralement un palier jusque vers 8 heures.

Les mesures de routine permettant la connaissance correcte des températures de l'eau doivent comporter au moins quatre mesures journalières à 6 h, 12 h, 16, 18 h et de plus des mesures toutes les heures pendant 24 heures une fois tous les quinze jours en basses eaux, une fois par mois en période de crue.

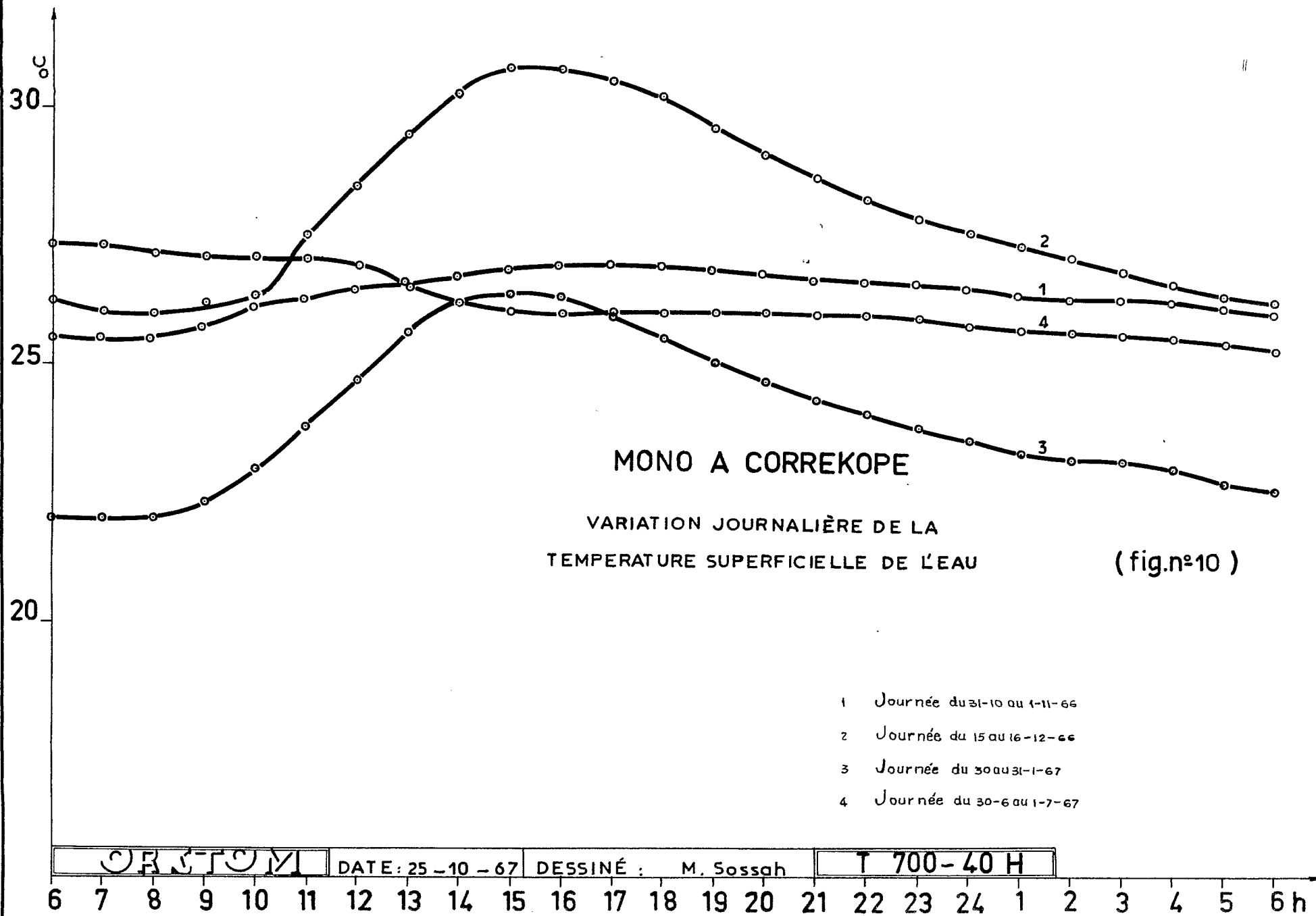
b) pH

Les variations journalières, faibles en période de crue, sont beaucoup plus marquées en basses eaux. A plusieurs reprises nous avons procédé à une série de mesures toutes les heures environ. Les résultats sont consignés dans les tableaux 12, 13, 14, 15, 16, 17 et 18 ci-après. De plus, du 22.12.66 au 25.1.67, le pH a été mesuré tous les jours à 8 h et à 18 h, puis à partir du 26.1.67 trois fois par jour à 8 h, 12 h et 18 h. Bien que la mesure faite à 18 h ne représente généralement pas le maximum

.../...



- 1 Journée du 13 au 14 Octobre 1966
- 2 Journée du 15 au 16 Mai 1967
- 3 Journée du 30 au 31 Mai 1967
- 4 Journée du 15 au 16 Juin 1967



ORSTOM

DATE: 25-10-67

DESSINÉ: M. Sossah

T 700-40 H

6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 1 2 3 4 5 6 h

TABLEAU 12
MONO à CORREKOPE
LE 21.12.1966

Heures	pH	t°C
8 h 00	7,6	23°09
9 h 30	7,6	24°04
10 h 30	7,6	24°09
11 h 35	7,9	25°07
12 h 35	8,1	26°05
13 h 45	8,2	27°06
14 h 50	8,2	28°01
15 h 30	8,4	28°01
17 h 10	8,2	28°01

Q = 35 à 42 m³/s

TABLEAU 13
MONO à CORREKOPE
LE 22.2.1967

Heures	pH	t°C
6 h 35	7,9	-
7 h 30	7,9	28°04
8 h 15	7,9	28°05
9 h 05	8,0	28°08
11 h 10	8,1	30°08
12 h 35	8,2	31°00
14 h 45	8,3	32°02
15 h 15	8,3	31°09
15 h 30	8,2	31°09
16 h 00	8,2	31°08

écoulement arrêté
le 21.2.1967

TABLEAU 14
MONO à CORREKOPE LES 15-16 MAI 1967

Heures	pH	t°C	Heures	pH	t°C
6	7,6	29°03	18	7,9	33°02
7	7,6	29°02	19	7,9	33°00
8	7,6	29°03	20	7,9	33°01
9	7,6	29°07	21	7,9	32°09
10	7,6	30°03	22	7,9	32°05
11	7,8	31°00	23	7,8	32°01
12	7,9	31°08	24	7,6	31°08
13	7,9	32°04	1	7,6	31°04
14	8,0	32°03	2	7,6	31°01
15	8,0	33°02	3	7,6	30°07
16	7,9	33°02	4	7,5	30°04
17	7,9	33°02	5	7,5	30°01
			6	7,5	29°08

Q = 0,368 à 0,392 m³/s

.../...

TABLEAU 15
MONO à CORREKOPE LES 30-31 MAI 1967

Heures	pH	t°C	Heures	pH	t°C
6	7,5	27°01	18	7,8	31°04
7	7,6	27°01	19	7,8	31°01
8	7,6	27°02	20	7,8	30°09
9	7,6	27°04	21	7,8	30°05
10	7,6	28°00	22	7,8	30°02
11	7,6	28°05	23	7,6	30°00
12	7,8	29°03	24	7,6	29°06
13	7,8	30°01	1	7,6	29°04
14	7,8	30°07	2	7,6	29°01
15	7,9	31°00	3	7,5	28°09
16	7,9	31°03	4	7,5	28°07
17	7,9	31°05	5	7,5	28°05
			6	7,5	28°04

$$Q = 0,65 \text{ à } 1,03 \text{ m}^3/\text{s}$$

TABLEAU 16
MONO à CORREKOPE LE 15-16 JUIN 1967

Heures	pH	t°C	Heures	pH	t°C
6	7,5	25°08	18	7,5	31°01
7	7,5	25°08	19	7,5	30°09
8	7,4	26°00	20	7,5	30°06
9	7,5	26°03	21	7,6	30°03
10	7,5	26°08	22	7,5	29°09
11	7,6	27°04	23	7,5	29°05
12	7,5	28°03	24	7,5	29°02
13	7,5	28°08	1	7,6	28°09
14	7,5	29°08	2	7,5	28°06
15	7,5	30°04	3	7,5	28°04
16	7,5	30°09	4	7,5	28°01
17	7,5	31°02	5	7,6	27°08
			6	7,5	27°08

$$Q = 0,560 \text{ à } 0,839 \text{ m}^3/\text{s}$$

.../...

TABLEAU 17
MONO à CORREKOPE LES 30.6-1.7-1967

Heures	pH	t°C	Heures	pH	t°C
6	7,3	27°04	18	7,3	26°00
7	7,3	27°03	19	7,3	26°00
8	7,3	27°02	20	7,3	26°00
9	7,3	27°01	21	7,3	26°00
10	7,3	27°01	22	7,5	26°00
11	7,3	27°00	23	7,5	25°09
12	7,3	26°09	24	7,5	25°08
13	7,3	26°05	1	7,5	25°07
14	7,3	26°02	2	7,5	25°07
15	7,3	26°01	3	7,5	25°06
16	7,3	26°01	4	7,5	25°06
17	7,3	26°00	5	7,5	25°04
			6	7,4	25°03

$$Q = 36 \text{ à } 56 \text{ m}^3/\text{s}$$

TABLEAU 18
MONO à CORREKOPE LES 5-6.7.1967

Heures	pH	t°C	Heures	pH	t°C
8 h 00	7,3	27°01	15 h 50	7,4	28°01
8 h 50	7,3	27°02	16 h 30	7,4	28°01
9 h 15	7,3	27°02	17 h 15	7,4	28°00
10 h 10	7,3	27°02	18 h 00	7,4	27°09
10 h 35	7,4	27°03	22 h 40	7,2	27°06
11 h 15	7,4	27°04	6 h 00	7,3	26°07
12 h 00	7,4	27°05	6 h 15	7,3	26°07
12 h 50	7,4	27°06	7 h 00	7,3	26°07
13 h 30	7,4	27°08	8 h 00	7,3	26°07
13 h 50	7,4	27°09			
14 h 30	7,4	28°00			
15 h 15	7,4	28°01			

$$Q = 35 \text{ à } 42 \text{ m}^3/\text{s}$$

MONO à CORREKOPE - Variations du pH de l'eau à différentes époques - Tableaux 12 à 18.

.../...

journalier du pH, on peut aussi constater des écarts assez considérables (cf. tableau 19 ci-après).

L'amplitude journalière maximum observée est de 0,8 unité de pH mais elle peut atteindre certainement 1 unité et même plus. On peut retenir les règles suivantes pour la mesure systématique du pH :

- en période de crue, trois ou quatre mesures journalières suffisent (6 h, 12 h, 16 h, 18 h)

- en période de basses eaux : on effectuera en sus des quatre mesures journalières à 6 h, 12 h, 16 h et 18 h, des mesures toutes les heures, une fois tous les quinze jours.

c) Oxygène dissous

Nous avons effectué à trois reprises des dosages d'oxygène dissous à peu près toutes les heures pendant une fraction de journée (généralement entre 6 h et 18 h car les dosages faits la nuit sont difficiles à réaliser : la mesure doit être faite immédiatement après le prélèvement et le virage coloré de fin de réaction n'est pas très net en éclairage de terrain avec une lampe torche ou une lampe à gaz). Les mesures ont été faites aux dates suivantes :

20-21.12.1966 (débit 0,95 m³/s)

22.2.1967 (débit nul depuis le 21.2.1967)

5-6.7.1967 (débit 34,9 à 41,9 m³/s)

Les résultats sont rassemblés dans les tableaux 20, 21 et 22 ci-après.

A une température donnée, l'eau prise sous une pression partielle d'oxygène normale est saturée par une quantité connue d'oxygène. Tous les auteurs ne sont pas d'accord sur les valeurs de cette teneur de saturation mais les écarts ne dépassent guère 4 à 5 %. Au cours de nos essais nous mesurons la température de l'eau mais nous n'avons pas connaissance de la pression atmosphérique. Compte tenu de l'altitude de la station (environ 148 m) et des observations de pression faites par le service météorologique à Atakpamé, Sokodé et Mango, nous avons supposé que la pression atmosphérique pendant nos mesures était de 745 mm de mercure. Il semble qu'elle varie en fait généralement entre 740 et 750 mm (987 à 1 000 millibars). Nous avons aussi admis que l'oxygène entrant pour 20,95 % dans la composition de l'air. Cela nous a permis de calculer une teneur de saturation "normale" en oxygène pour chacun de nos prélèvements, ainsi que la teneur de nos prélèvements en oxygène en pourcentage de la teneur de saturation. Cela permet d'éliminer l'influence directe de la température sur la teneur en oxygène dissous et de comparer utilement les mesures faites aux diverses époques.

.../...

TABLEAU 19
MONO à CORREKOPE - VARIATIONS JOURNALIERES DU pH

Dates	8 h		12 h		18 h		Dates	8 h		12 h		18 h	
	pH	t°C	pH	t°C	pH	t°C		pH	t°C	pH	t°C	pH	t°C
22.12.66	7,6	22°06			8,2	26°05	22.1.67	7,6	22°04			7,6	25°08
23	7,6	21°09			8,2	27°00	23	7,6	23°02			7,9	27°00
24	7,6	22°04			8,1	26°05	24	7,6	24°05			7,9	27°01
25	7,6	23°00			8,1	26°05	25	7,8	23°01			7,9	26°01
26	7,6	22°08			7,9	27°00	26	7,8	22°01	7,9	24°07	7,9	25°00
27	7,6	23°00			8,1	28°00	27	7,8	21°06	7,9	24°03	8,1	24°08
28	7,6	24°08			8,1	28°09	28	7,8	21°06	7,9	24°00	7,9	24°05
29	7,7	25°04			8,1	29°08	29	7,6	21°06	7,9	24°06	8,1	25°05
30	7,6	25°00			8,1	28°05	30	7,8	22°00	7,9	24°07	8,1	25°06
31	7,6	23°00			8,1	26°05	31	7,8	22°04	7,9	26°00	8,1	26°01
1.1.67	7,6	22°00			-	-	1.2.67	7,6	23°04	7,9	28°00	8,1	27°00
2	7,6	21°02			8,1	24°08	2	7,6	25°01	7,9	28°00	7,9	29°00
3	7,6	20°08			7,9	25°00	3	7,6	25°09	7,9	29°00	8,1	29°00
4	7,6	20°04			7,9	24°05	4	7,6	26°01	7,9	30°00	8,1	-
5	7,6	20°05			7,9	23°05	5	7,6	26°03	7,8	30°05	7,9	30°05
6	7,6	20°05			7,9	23°05	6	7,6	26°07	7,9	30°08	8,1	31°04
7	7,6	21°02			7,9	24°02	7	7,6	27°02	8,1	31°03	8,1	31°04
8	7,6	21°08			7,9	25°00	8	7,6	27°03	8,1	31°00	8,1	31°00
9	7,6	22°00			7,9	25°05	9	7,6	27°04	7,9	31°04	8,2	32°03
10	7,6	23°08			7,9	27°05	10	7,5	27°02	-		8,1	31°08
11	7,6	25°05			7,9	28°00	11	7,6	27°01	7,9	32°08	8,1	31°00
12	7,6	25°02			7,9	28°02	12	7,6	27°08	7,9	31°08	8,1	30°05
13	7,6	26°00			7,8	29°06	13	7,6	27°04	7,9	30°04	8,1	31°09
14	7,6	26°09			7,8	30°00	14	7,6	26°02	7,9	30°08	8,2	31°08
15	7,6	26°07			7,8	27°08	15	7,6	26°05	7,9	31°03	8,2	32°01
16	7,6	25°08			7,8	27°00	16	7,5	26°04	7,8	31°05	8,2	33°00
17	7,6	25°05			7,8	27°02	17	7,5	26°08	7,6	31°00	8,1	33°00
18	7,6	23°08			7,8	26°00	18	7,5	27°00	7,9	30°07	8,1	33°00
19	7,6	22°05			7,9	25°02	19	7,6	27°08	7,9	31°04	8,1	33°00
20	7,6	21°07			7,9	24°05	20	7,6	27°04	7,9	32°00	8,1	33°00
21	7,6	21°08			7,9	25°05	21	7,4	27°07				

TABLEAU 20
MONO à CORREKOPE - MESURES EN SURFACE (20-21.12.1966)

Heures	t ₁ °C	pH	O ₂ mg/l	CO ₃ H ⁻ mg/l	CO ₃ ⁻⁻ mg/l	t ₂ °C	O ₂ mg/l à saturation normale	O ₂ % de la saturation normale	CO ₃ H ⁻ + CO ₃ ⁻⁻ méq/l
17 h 30			9,24						
6 h 45			6,46						
8 h 00	23°09	7,6	6,46			22°00	8,35	77,4	
9 h 30	24°04	7,6	7,10			26°00	7,82	90,9	
10 h 30	24°09	7,6	7,74	73,2	0	29°04	7,43	104,0	1,2
11 h 35	25°07	7,9	8,06	76,2	0	30°05	7,32	110,0	1,25
12 h 35	26°05	8,1	8,39	73,2	0	31°08	7,19	116,8	1,2
13 h 45	27°06	8,2	8,71	62,5	4,5	32°02	7,16	121,5	1,175
14 h 50	28°01	8,2	9,03	61,0	4,5	31°08	7,19	125,6	1,15
15 h 30	28°01	8,4	9,03	53,4	7,5	31°08	7,19	125,6	1,125
17 h 10	28°01	8,2	8,86	50,3	9,0	25°02	7,92	112,0	1,125

$$Q = 0,95 \text{ m}^3/\text{s}$$

t₁°C = température de l'eau

t₂°C = température de l'eau sous-abri

TABLEAU 21
MONO à CORREKOPE - MESURES EN SURFACE (22.2.1967)

Heures	t ₁ °C	pH	O ₂ mg/l	CO ₃ H ⁻ mg/l	CO ₃ ⁻⁻ mg/l	t ₂ °C	O ₂ mg/l à saturation normale	O ₂ % de la saturation normale	CO ₃ H ⁻ + CO ₃ ⁻⁻ méq/l
6 h 25	28°05	-							
6 h 35	-	7,9	6,46				7,53	85,9	
7 h 30	28°04	7,9	6,14	100,1	0		7,55	81,4	1,64
8 h 15	28°05	7,9	6,46	94,5	0		7,53	85,9	1,55
9 h 05	28°08	8,0	-	94,5	0		7,50	-	1,55
11 h 10	30°18	8,1	-	97,5	0		7,29	-	1,60
12 h 35	31°00	8,2	-	79,4	9,0		7,26	-	1,60
12 h 45	-	-	-	82,4	9,0		-	-	1,65
14 h 45	32°02	8,3	7,75	85,4	7,5		7,15	108,3	1,65
15 h 15	31°09	8,3	-	82,4	9,0		7,18	-	1,65
15 h 30	31°09	8,2	7,75	85,4	9,0		7,18	108,0	1,70
16 h 00	31°08	8,2	-	-	-		7,19	-	

$$Q = 0$$

TABLEAU 22
 MONO à CORREKOPE - MESURES EN SURFACE (5-6.7.1967)

Heures	t ₁ °C	pH	O ₂ mg/l	CO ₃ H ⁻ mg/l	CO ₃ -- mg/l	t ₂ °C	O ₂ mg/l à saturation normale	O ₂ % de la saturation normale	CO ₃ H ⁻ + CO ₃ -- még/l
8 h 00	27°01	7,3	-	61,2	0				0,4
8 h 50	27°15	7,3	6,71	45,8			7,70	87,2	0,3
9 h 15	27°15	7,3	6,49	45,8			7,70	84,3	0,3
10 h 10	27°15	7,3	6,46	45,8			7,70	84,0	0,3
10 h 35	27°25	7,4	6,53	45,8			7,68	85,2	0,3
11 h 15	27°04	7,4	6,56	45,8			7,66	85,6	0,3
12 h 00	27°45	7,4	6,56	38,3			7,66	85,6	0,25
12 h 50	27°06	7,4	6,27	45,8			7,64	82,2	0,3
13 h 30	27°75	7,4	6,56	38,3			7,63	85,9	0,25
13 h 50	27°85	7,4	6,56	38,3			7,61	86,2	0,25
14 h 30	28°00	7,4	6,56	38,3			7,60	86,3	0,25
15 h 15	28°05	7,4	-	38,3			7,59	-	0,25
15 h 50	28°05	7,4	(5,94)	38,3			7,59	(78,5)	0,25
16 h 30	28°05	7,4	6,59	38,3			7,59	86,9	0,25
17 h 15	28°00	7,4	6,53	38,3			7,60	86,0	0,25
18 h 00	27°09	7,4	6,56	38,3			7,62	86,0	0,25
22 h 40	27°06	7,2	6,53	45,8			7,64	85,6	0,3
6 h 00	26°07	7,3					7,75		
6 h 15	26°07	7,3	6,85	42,0			7,75	88,4	0,28
7 h 00	26°07	7,3	6,85	38,3			7,75	88,4	0,25
8 h 00	26°07	7,3	7,43	38,3			7,75	96,0	0,25

$$Q = 35 \text{ à } 42 \text{ m}^3/\text{s}$$

t₁ °C = température de l'eau

t₂ °C = température de l'eau sous-abri

De nouvelles mesures plus complètes devront être faites mais on peut déjà observer quelques faits intéressants. En saison des pluies (mesures des 5 et 6 juillet 1967 $Q = 35$ à 42 m³/s), nous constatons (cf. fig. 23) que pratiquement la teneur en oxygène dissous exprimée en pourcentage de la valeur de saturation ne varie que très peu autour de 86 %. Autrement dit, la teneur en oxygène dans ce cas est liée essentiellement à la température de l'eau et se trouve un peu inférieure à la valeur de saturation (1). En période de tarissement (20 et 21 décembre 1966), la teneur en oxygène, toujours exprimée en pourcentage de la saturation, varie fortement au cours de la journée (cf. fig. 23). Un maximum d'environ 126 % apparaît aux environs de 15 heures alors qu'à 8 heures la teneur n'était que de 77 %. Dans ce cas, la teneur en oxygène est en grande partie la résultante de l'activité biologique. La sursaturation en oxygène est due à la photosynthèse réalisée par les organismes végétaux dans l'eau et dont le sous-produit est l'oxygène. Le Mono présente en période de tarissement une succession de biefs à courant très faible, où les organismes végétaux peuvent se développer, et de seuils où l'écoulement est relativement rapide, sur de courtes distances généralement (quelques dizaines de mètres). Nos prélèvements étaient faits sur l'un de ces seuils.

Enfin, une troisième série de mesures a été faite le 22 février 1967 alors que le débit s'était annulé depuis le 21 février seulement. Cette série de mesures, quoique très incomplète, montre aussi une variation de la teneur en oxygène avec un maximum aux environs de 15 heures (cf. fig. 23). La sursaturation paraît moindre qu'en décembre. Peut-être la raison en est-elle une plus grande consommation d'oxygène par les organismes aérobies présents dans l'eau en février. Du point de vue méthodes de mesures, nous retiendrons les faits suivants : en saison des pluies, les mesures en 24 heures d'oxygène dissous pourront être faites toutes les 4 heures environ, la périodicité de ces mesures restant à déterminer. En période de tarissement, les mesures doivent être faites toutes les heures. Même remarque en ce qui concerne la périodicité des séries de 24 heures.

d) Teneur en CO_3H^- et CO_3^{--}

Les mesures ont été faites sur le terrain simultanément avec celles d'oxygène dissous. Les résultats figurent dans les tableaux 20 à 22.

Les mesures faites en juillet nous donnent une teneur en carbonates (CO_3^{--}) nulle, ce qui est évident puisque le pH est inférieur à 8,3.

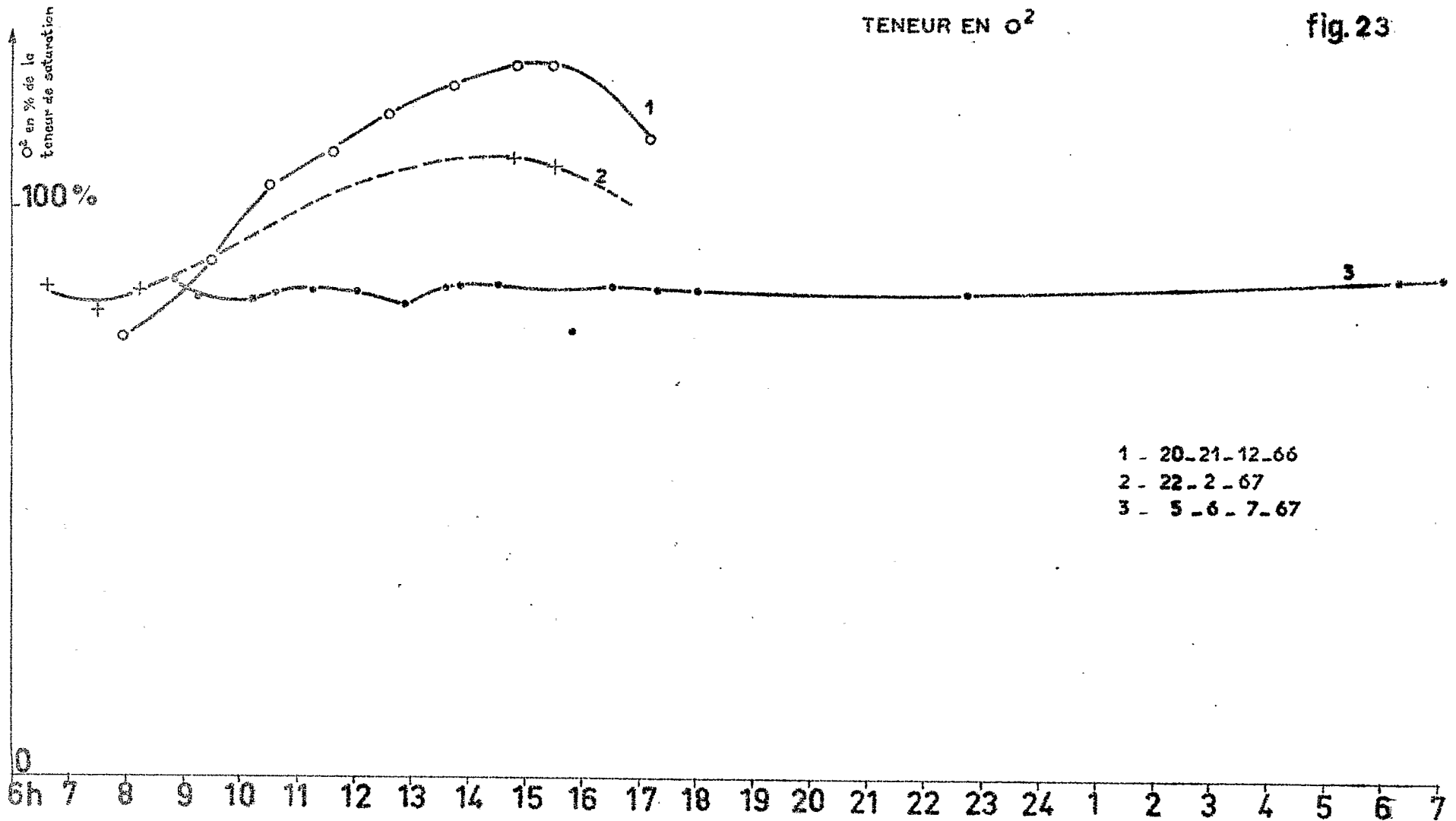
.../...

(1) Toutefois, il peut se faire en début de saison des pluies qu'après une première crue la rivière tarisse à nouveau complètement ou presque complètement au quel cas on observerait peut-être des phénomènes analogues à ceux de décembre 1966.

MONO A CORREKOPE

TENEUR EN O²

fig. 23

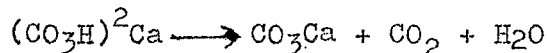


Il en sera vraisemblablement de même pendant toute la saison des pluies (1). La teneur en bicarbonates (CO_3H^-) est faible en juillet 1967 (de 38 à 46 mg/l). Nous verrons par la suite que la teneur en $\text{CO}_3\text{H}^- + \text{CO}_3^{--}$ correspond, exprimée en équivalent, à la différence des anions (Cl^- , SO_4^{--}) et cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Fe^{+++}) exprimée aussi en équivalent.

Les variations observées du 5 au 6 juillet ne sont pas significatives car nous ne disposions pas ce jour-là d'une microburette pour le dosage du CO_3H^- . Or les volumes du réactif de dosages nécessaires étant de l'ordre de 0,5 à 0,6 cm³, la précision des mesures était donc assez faible. Au cours des mesures du 20 au 21 décembre 1966, nous avons pu noter l'apparition de carbonates (Le PH étant monté à 8,3 et plus). Ce phénomène s'explique par l'activité biologique du milieu. La photosynthèse réalisée par les végétaux aquatiques conduit approximativement à la réaction suivante :



Nous avons d'une part libération d'oxygène avec les effets constatés plus haut, d'autre part consommation de l'anhydride carbonique libre. Le CO_2 libre consommé doit être remplacé dès que sa teneur devient inférieure à celle du CO_2 équilibrant. Cela se fait au détriment du bicarbonate qui se décompose selon la réaction :



(s'il s'agit de bicarbonate de calcium).

Nous observons bien une diminution des bicarbonates et l'apparition de carbonates. La teneur globale exprimée en équivalents de CO_3^{--} et CO_3H^- est peu variable. Cependant, il y a une diminution légère lorsque le pH augmente. Cela peut s'expliquer par la précipitation du carbonate de calcium en excès (sa solubilité est faible, de l'ordre de 13 mg/l à 15°), mais la faible précision de notre mesure en ce qui concerne les carbonates (absence de microburette comme indiqué précédemment), ne nous permet pas de conclure.

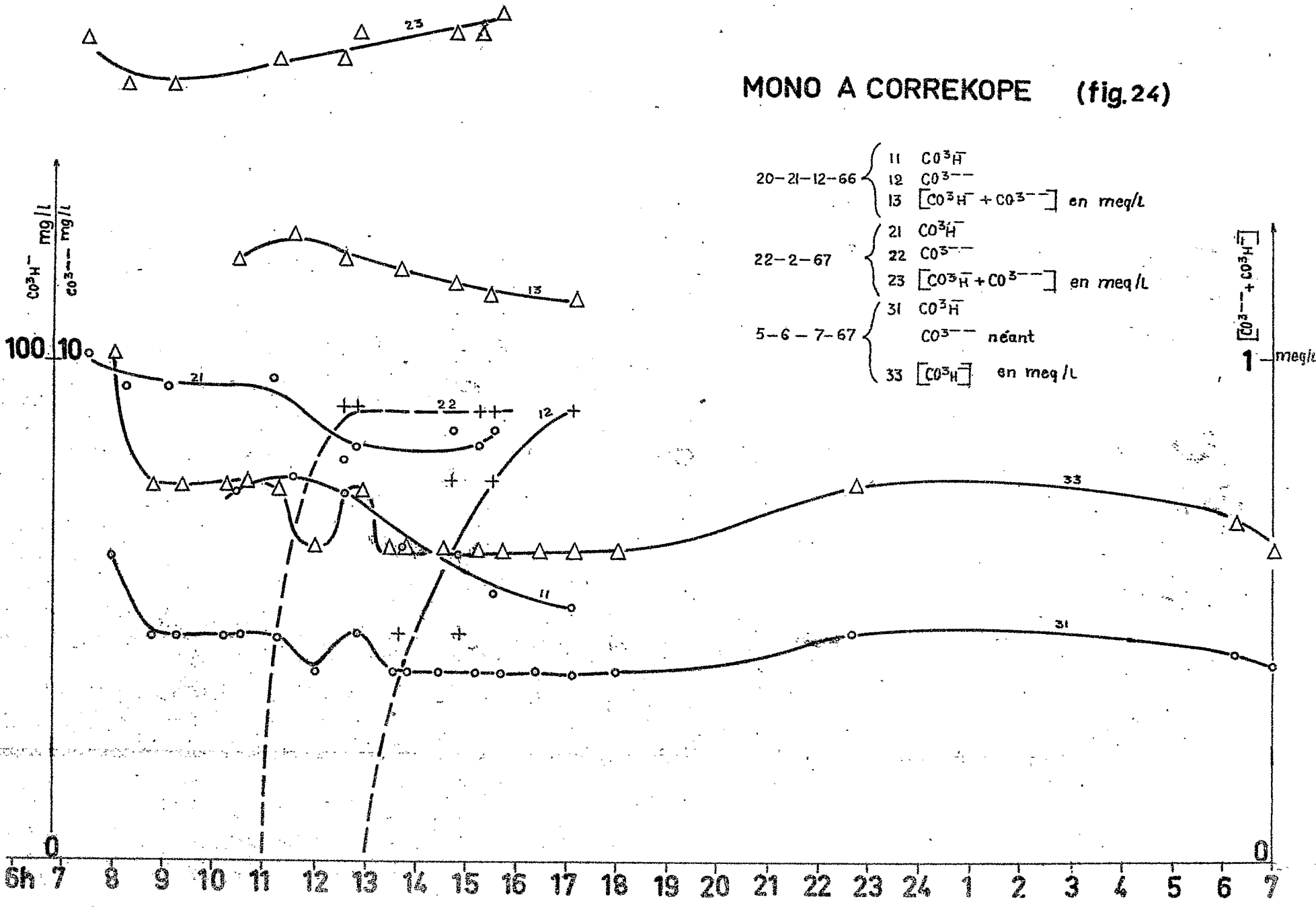
Les mesures faites le 22 février 1967 donnent des résultats analogues à ceux de décembre 1966, sauf en ce qui concerne la variation de la concentration globale en CO_3^{--} et CO_3H^- (exprimée en équivalent/m³) qui semblerait croître légèrement lors de l'apparition des carbonates. Sur la figure 24, nous avons tracé les courbes de variations correspondant à ces mesures.

Notons l'importante différence qu'il y a entre les valeurs globales des concentrations en CO_3^{--} et CO_3H^- entre la saison des pluies et la période de tarissement. Ces valeurs suivent d'ailleurs des variations de la minéralisation globale des eaux comme nous le verrons ci-après.

.../...

(1) cf. note page 16

MONO A CORREKOPE (fig.24)



Au point de vue des méthodes de mesure, retenons les faits suivants :

- en saison des pluies : 1 mesure toutes les 4 heures pendant 24 heures suffira, la périodicité restant à déterminer ;
- en période de tarissement : il conviendra d'effectuer une mesure toutes les heures, la périodicité restant aussi à déterminer.

Notons enfin la nécessité d'utiliser des microburettes de précision aussi bien pour l'oxygène dissous que pour le CO_3^{--} et le CO_3H^- , ainsi que des prises d'essai suffisant importantes (oxygène 250 cm³, CO_3^{--} et CO_3H^- 100 cm³).

e) Résistivité

Les mesures sur le terrain sont surtout utilisées pour les eaux saumâtres pour étudier commodément la variation spatiale de la salinité.

Nous avons vu que la précision obtenue n'est pas très bonne. Les mesures que nous avons faites sur le Mono à Corrékopé avec le Pont de Kolrausch aux dates suivantes : 20-21.12.1966 et 22.2.1967 sont rassemblées dans les tableaux 25 et 26 ci-après :

TABLEAU 25
MONO à CORREKOPE LE 21.12.1967

Heure	R_1 $\Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$	$t^\circ\text{C}$	$R_{25^\circ\text{C}}$ $\Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$
8 h 00	9 700	23°09'	9 460
9 h 30	9 300	24°04'	9 200
10 h 30	8 700	24°09'	8 680
11 h 35	9 000	25°07'	9 150
12 h 35	9 000	26°05'	9 300
13 h 45	8 700	27°06'	9 160
14 h 50	8 600	28°01'	9 130
15 h 30	8 600	28°01'	9 130
17 h 10	9 200	28°01'	(9 750)

R_1 = résistivité mesurée sur le terrain

$t^\circ\text{C}$ = température de l'eau

$R_{25^\circ\text{C}}$ = résistivité ramenée à 25°C

Erreur possible estimée à $\pm 270 \Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$

.../...

TABLEAU 26
MONO à CORREKOPE LE 22.2.1966

Heure	R ₁ Ω/cm/cm ²	t°C	R _{25°C} Ω/cm/cm ²
6 h 25!	5 600	28°05!	6 000
7 h 30!	5 800	28°35!	6 200
8 h 15!	5 600	28°45!	6 000
9 h 05!	5 600	28°08!	6 030
11 h 10!	5 200	30°75!	5 800
12 h 35!	5 200	31°00!	5 850
14 h 45!	5 000	32°02!	5 750
15 h 15!	5 200	31°09!	5 950
15 h 30!	5 100	31°09!	5 850
16 h 00!	5 200	31°75!	5 910

Même notation que le tableau 25.

Erreur possible estimée à $\pm 180 \Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$

Etant donné les marges d'erreur possibles, on ne peut guère conclure à une variation sensible de la résistivité au cours de la journée autre que celle due à la variation de température (ce qui ne veut pas dire qu'il n'y ait pas de variations).

f) Eléments dissous autres que O₂, CO₃⁻⁻ et CO₃H⁻,
Charge solide dissoute totale

Nous avons en 1966-67 effectué à Correkopé des prélèvements quotidiens depuis le début de l'écoulement en 1966 jusqu'au tarissement complet en février 1967. Puis en 1967, nous avons repris les prélèvements avec un certain retard sur le début de l'écoulement (assez précoce cette année) et ces prélèvements se poursuivront jusqu'au tarissement début 1968.

En 1966-67 ont été dosés les éléments principaux suivants : Cl⁻, SO₄⁻⁻, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺. La résistivité a été également mesurée. Fe, Al, NO₂ et NO₃ ont été occasionnellement dosés. Le dosage des ions alcalins et alcalinoterreux est précis. Celui du chlore et de l'ion sulfate n'est devenu précis qu'en avril 1967 après réception d'un spectrophotomètre Jean et Constant. En 1967-68 les mêmes dosages sont effectués et de surcroît nous dosons la silice dissoute (grâce au spectrophotomètre Jean et Constant) et les ions CO₃H⁻ et CO₃⁻⁻. Ainsi se trouve réalisée cette année une analyse quasi-complète de l'eau. Un équilibre satisfaisant des anions et des cations peut être constaté eu égard à la faible charge solide dissoute. Le tableau 27 donne un échantillon des dosages effectués cette année.

.../...

TABEAU 27

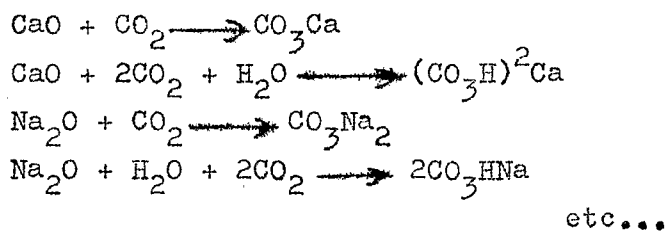
E A U X		Station : Mono à Corrékopé								Date de prélèvement diverses						Bulletin d'Analyses N° E - 67//170				
RESULTATS D'ANALYSES		Nbre d'échant. : 15								Echantillons reçus le 12.9.1967										
Référence des échantil- lons	Résisti- vité à 25°	CO ₃ H ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ⁻⁻		Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		K ⁺		éq/m ³		SiO ₂	Fe	Al
		g/m ³	éq/m ³	g/m ³	éq/m ³	g/m ³	éq/m ³	g/m ³	éq/m ³	g/m ³	éq/m ³	g/m ³	éq/m ³	g/m ³	éq/m ³	Anions	Cations	g/m ³	g/m ³	g/m ³
429 C 114	16 588	35,38	0,58	1,45	0,04	1,62	0,03	7,20	0,36	2,35	0,19	2,3	0,10	1,40	0,03	0,65	0,68	19,80	0,14	0,31
430 -"	16 588	35,38	0,58	1,25	0,03	3,25	0,06	6,96	0,35	2,83	0,23	2,3	0,10	1,40	0,03	0,67	0,71	19,40	0,10	0,32
431 -"	16 622	35,38	0,58	0,98	0,02	3,12	0,06	6,64	0,33	2,69	0,22	2,3	0,10	1,40	0,03	0,66	0,68	20,20	0,10	0,33
433 -"	17 415	34,77	0,57	1,25	0,03	3,00	0,06	6,32	0,31	2,97	0,24	2,4	0,10	1,36	0,03	0,66	0,68	19,00	0,14	0,29
434 -"	17 415	35,07	0,57	0,90	0,02	2,25	0,04	6,96	0,35	2,25	0,18	2,3	0,10	1,28	0,03	0,63	0,66	19,20	0,10	0,40
435 -"	17 415	34,46	0,56	1,22	0,03	3,50	0,07	6,72	0,33	2,59	0,21	2,3	0,10	1,32	0,03	0,66	0,67	18,20	0,21	0,12
439 C 116	22 494	27,45	0,45	1,33	0,03	1,87	0,04	5,76	0,29	2,49	0,20	1,6	0,07	1,40	0,03	0,52	0,59	15,00	0,10	0,17
440 -"	23 220	28,67	0,47	1,41	0,04	3,00	0,06	6,72	0,33	1,58	0,13	1,6	0,07	1,40	0,03	0,57	0,56	15,00	0,10	0,09
441 -"	23 220	27,75	0,45	1,22	0,03	3,00	0,06	5,60	0,28	2,01	0,16	1,6	0,07	1,46	0,04	0,54	0,55	14,80	0,17	0,15
443 -"	20 440	29,89	0,49	1,10	0,03	3,37	0,07	5,92	0,29	2,49	0,20	1,8	0,08	1,46	0,04	0,59	0,61	16,20	0,17	0,07
444 -"	20 440	29,28	0,48	1,22	0,03	3,25	0,06	5,92	0,29	2,88	0,24	1,6	0,07	1,52	0,04	0,57	0,64	15,80	0,10	0,14
445 -"	20 440	29,89	0,49	0,94	0,02	3,87	0,08	6,08	0,30	2,49	0,20	1,6	0,07	1,52	0,04	0,59	0,61	16,20	0,10	0,36
449 C 118	16 060	30,50	0,50	0,82	0,02	2,25	0,04	7,12	0,35	2,73	0,22	2,3	0,10	1,36	0,03	0,56	0,70	20,40	0,14	0,25
450 -"	16 060	36,90	0,60	0,86	0,02	2,87	0,06	6,88	0,34	2,88	0,24	2,4	0,10	1,40	0,03	0,68	0,71	19,40	0,10	0,31
451 -"	16 060	36,60	0,60	1,02	0,03	2,37	0,05	6,96	0,35	3,17	0,26	2,3	0,10	1,52	0,04	0,68	0,75	19,60	0,10	0,24

Nous cherchons à atteindre divers objectifs par ces mesures : évaluation de la charge solide dissoute transportée par le fleuve (et érosion chimique correspondante), proportion relative des divers éléments dissous, comparaison avec d'autres cours d'eau de la région.

1) Evaluation de la charge solide dissoute

Une remarque préliminaire s'impose au sujet de la charge solide dissoute : la charge totale C_t comprend les ions Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Fe , Al , NO_2 , NO_3 , PO_4 , Cl^- , SO_4^{--} , CO_3H^- , CO_3^{--} + des traces d'autres éléments, la silice dissoute, les gaz dissous CO_2 et O_2 . Nous n'évaluerons pas cette charge, plusieurs éléments nous manquant généralement. Il y a ensuite une charge réduite C_r qui correspondra assez bien à ce que l'on appelle la "salinité équivalente". Cette charge réduite prendra en compte les éléments suivants : Cl^- , SO_4^{--} , CO_3H^- , CO_3^{--} , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , SiO_2 , (Fe , Al) (1).

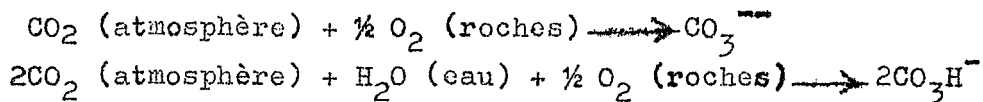
On peut également définir la charge dissoute d'érosion C_e qui correspondra à la part de la charge solide provenant de l'érosion des roches du bassin versant. La détermination exacte de C_e n'est pas très facile si l'on ne connaît pas la composition des eaux de pluie. Toutefois on obtient une bonne approximation en supposant que les apports de l'eau de pluie sont négligeables et en retirant de C_r la part qui provient de l'atmosphère c'est-à-dire le gaz carbonique combiné sous forme de CO_3H^- et CO_3^{--} . (Dans le bassin du Mono en amont de Corrékopé il n'y a pas de roche carbonatée à notre connaissance). Les ions Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ existent dans les roches principalement sous forme d'oxydes diversement combinés avec le silicium (d'après Pascal (2) l'oxygène entre en poids pour 46,6 % dans les roches de la lithosphère pour laquelle il propose l'appellation d'"oxysphère". En volume, l'oxygène sous forme d'ions occuperait 90 % du volume total). Par suite de la dissolution du gaz carbonique dans l'eau, il se produit des réactions telles que :



.../...

-
- (1) Pour mémoire, vu la très faible concentration de ces éléments ici.
- (2) P. PASCAL, Nouveau Traité de Chimie Minérale Tome VIII . 2 Le Silicium (MASSON & Cie).

On peut écrire que :



On peut donc évaluer C_e en retranchant de C_r la somme $[2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}]$ pour $[2\text{CO}_3\text{H}^-]$ présent, soit 53 p.p.m. pour 61 p.p.m. de CO_3H^- . Si CO_3^{--} est présent, il faut aussi retrancher $[\text{CO}_2]$ pour $[\text{CO}_3^{--}]$, soit 44 p.p.m. pour 60 p.p.m. de CO_3^{--} présent. C'est ainsi que nous évaluons C_r et C_e en 1967-68.

Pour la campagne 1966-67, nos analyses n'étaient pas complètes : CO_3H^- et CO_3^{--} étant rarement dosés ainsi que SiO_2 , teneurs en chlore et en sulfate étant incertaines. Cependant la résistivité des échantillons a été régulièrement mesurée et si nous pouvions établir une corrélation entre cette résistivité et les charges dissoutes, il serait possible d'évaluer l'érosion chimique sur le bassin du Mono pour cette campagne. Il existe des formules pour évaluer la "salinité équivalente" d'une eau à partir de la résistivité. Rappelons brièvement la formule de DOROSCHEWSKY :

$$S_{\text{mg/l}} = \frac{620\ 576}{R_{\Omega/\text{cm}/\text{cm}^2} \text{ (à } 25^\circ\text{C)}}$$

Cette formule trop générale ne donne qu'une approximation grossière.

C. RICHARD et N'Guyen Van Cu ont établi des formules :

$$S = \frac{K}{R_{25^\circ\text{C}}}$$

adaptées à des plages déterminées de résistivités :

pour	$R < 100 \Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$	K =	767 090
"	$100 < R < 300 \Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$	K =	684 207
"	$300 < R < 1\ 200 \Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$	K =	684 207
"	$1\ 200 < R < 3\ 000 \Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$	K =	645 760
"	$3\ 000 < R < 6\ 000 \Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$	K =	694 156
"	$6\ 000 < R < 20\ 000 \Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$	K =	854 788
"	$R > 20\ 000 \Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$	K =	1 231 301

Ces formules donnent des résultats moins mauvais que celle de DOROSCHEWSKY mais elles présentent le grave inconvénient de donner des valeurs discontinues pour S lorsque l'on passe d'une plage de résistivité à une autre puisque K varie de façon discontinue. Notons aussi que les formules de DOROSCHEWSKY et de C. RICHARD et N'Guyen Van Cu donnent en principe la valeur du résidu sec obtenu dessiccation à 105° . Ce résidu sec ne représente qu'imparfaitement la charge dissoute C_r car les bicarbonates se transforment en carbonates, les sulfates cristallisent avec les molécules d'eau, il peut y avoir de la silice colloïdale.

.../...

Comme les eaux que nous étudions présentent une certaine homogénéité dans leur composition relative, nous avons pensé qu'il devait être possible d'établir une corrélation particulière entre C_r , C_e et R , valable pour la station de Corrékopé (et peut-être les stations voisines sur les affluents du Mono). Nous avons reporté en coordonnées bilogarithmiques sur le graphique n° 28 les couples des valeurs (R , C_r) puis sur le graphique n° 29, les couples (R , C_e). Cette étude ne pourra être achevée qu'à la fin des mesures de la campagne 1967-68. Toutefois, les premiers résultats portant sur 160 échantillons d'eau recueillis de mai à août 1968 nous permettent d'avancer des conclusions provisoires.

On peut ajuster graphiquement sur chacun des graphiques n° 28 et n° 29 une droite autour de laquelle les points expérimentaux ne sont pas trop dispersés. Les relations suivantes en découlent :

$$C_r = 130\ 910 R^{-0,779} \quad (1)$$

$$C_e = 4\ 374 R^{-0,493} \quad (2)$$

Cependant nous avons des raisons de penser que la dispersion des résultats était due en grande partie aux fluctuations des teneurs en silice. Nous avons calculé C'_r et C'_e en retranchant respectivement de C_r et C_e la teneur en silice. Le report des couples (R , C'_r) et (R , C'_e) est fait sur les graphiques n° 30 et n° 31. La dispersion des points expérimentaux est nettement moins importante. Des raisons diverses peuvent être avancées pour expliquer l'influence de la teneur en silice sur la dispersion des résultats : il est possible que la teneur en silice ait sur la résistivité une influence bien moindre que celle des autres corps dissous. Il est possible aussi que nos dosages de silice, malgré toutes les précautions prises, présentent une certaine incertitude ; il est en effet connu qu'il est assez difficile d'obtenir des résultats cohérents dans le dosage de la silice par spectrophotométrie de l'acide silicomolybdique.

L'ajustement graphique conduit aux formules ci-après :

$$C'_r = 419\ 432 R^{-0,923} \quad (3)$$

$$C'_e = 49\ 882 R^{-0,792} \quad (4)$$

Les formules (1), (2), (3) et (4) peuvent être provisoirement considérées comme valables entre $5\ 500 \Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$ et $50\ 000 \Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$, pour les eaux du Mono à Corrékopé et des affluents du Mono (l'extension des graphiques vers les fortes résistivités a été réalisée grâce aux analyses faites sur des échantillons de l'Amou, de l'Amoutchou et de la Kolowaré).

Notons que les formules de DOROSCHEWSKY et de C. RICHARD et N'Guyen Van Cu sont aussi de la forme $C = KR^{-a}$, avec $a = 1$. Nous allons évaluer l'érosion chimique en amont de Corrékopé en 1966-67 en utilisant la formule (2) :

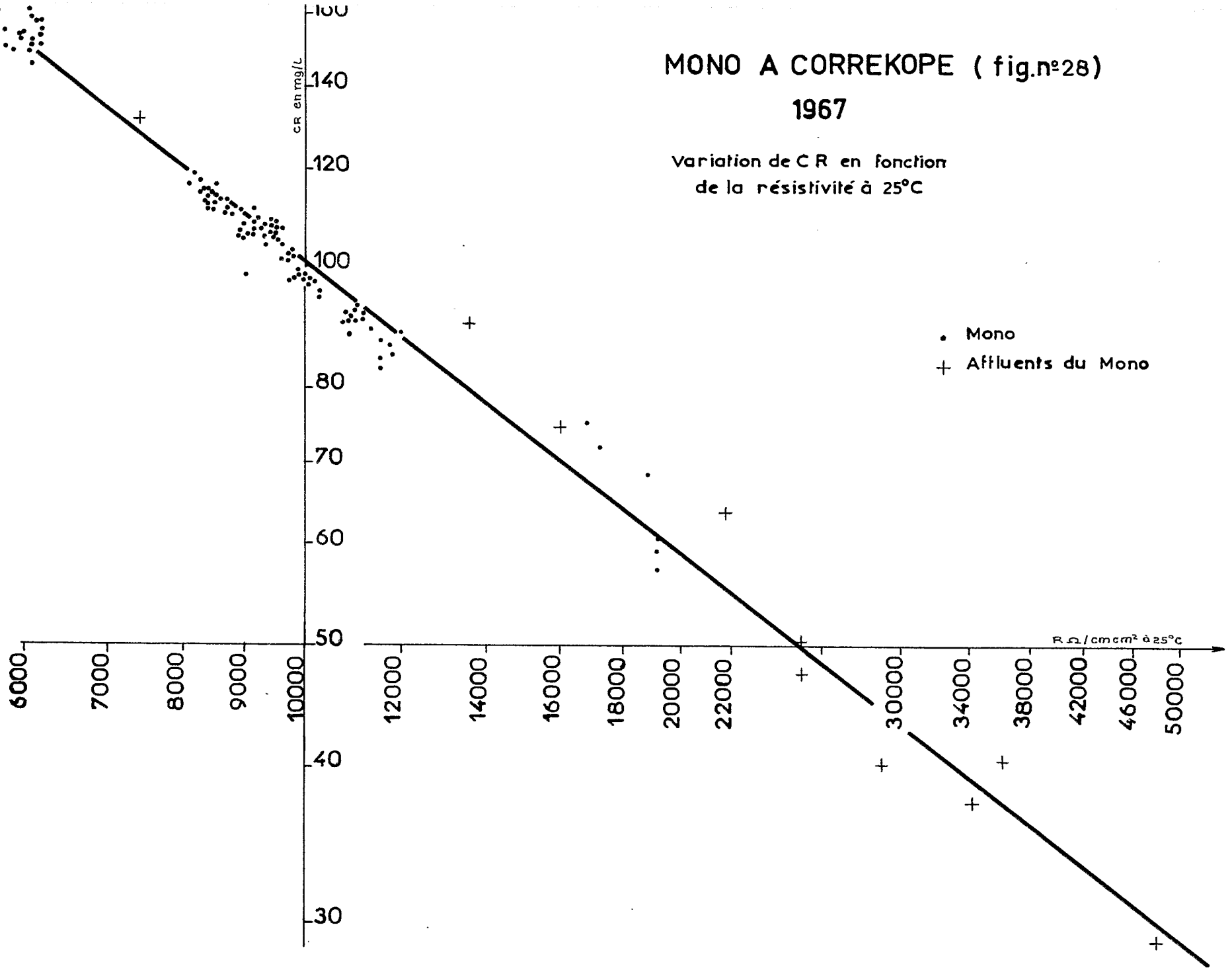
$$C_e = 4\ 374 R^{-0,493}.$$

.../...

MONO A CORREKOPE (fig.n°28)

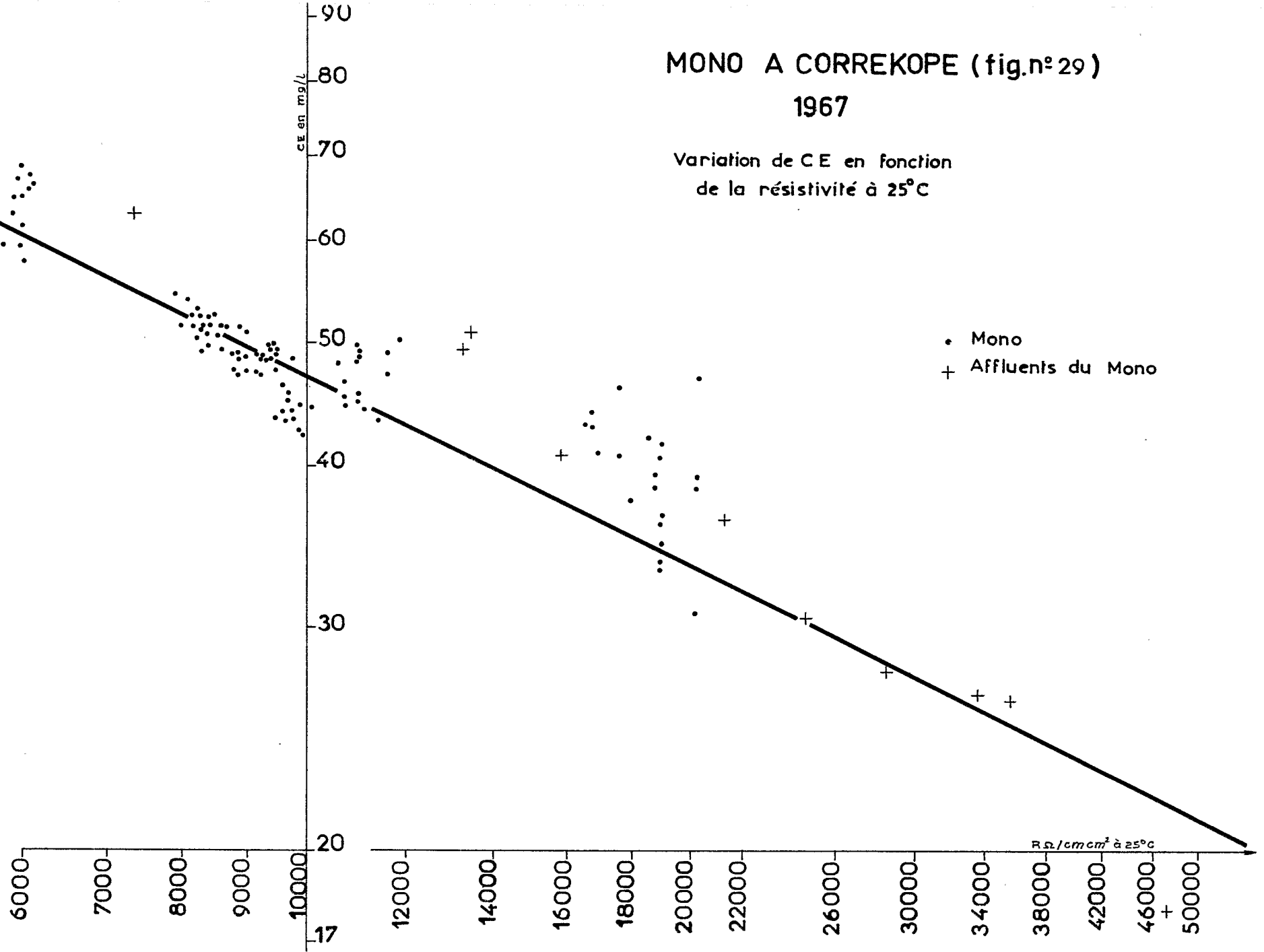
1967

Variation de CR en fonction
de la résistivité à 25°C



MONO A CORREKOPE (fig.n°29) 1967

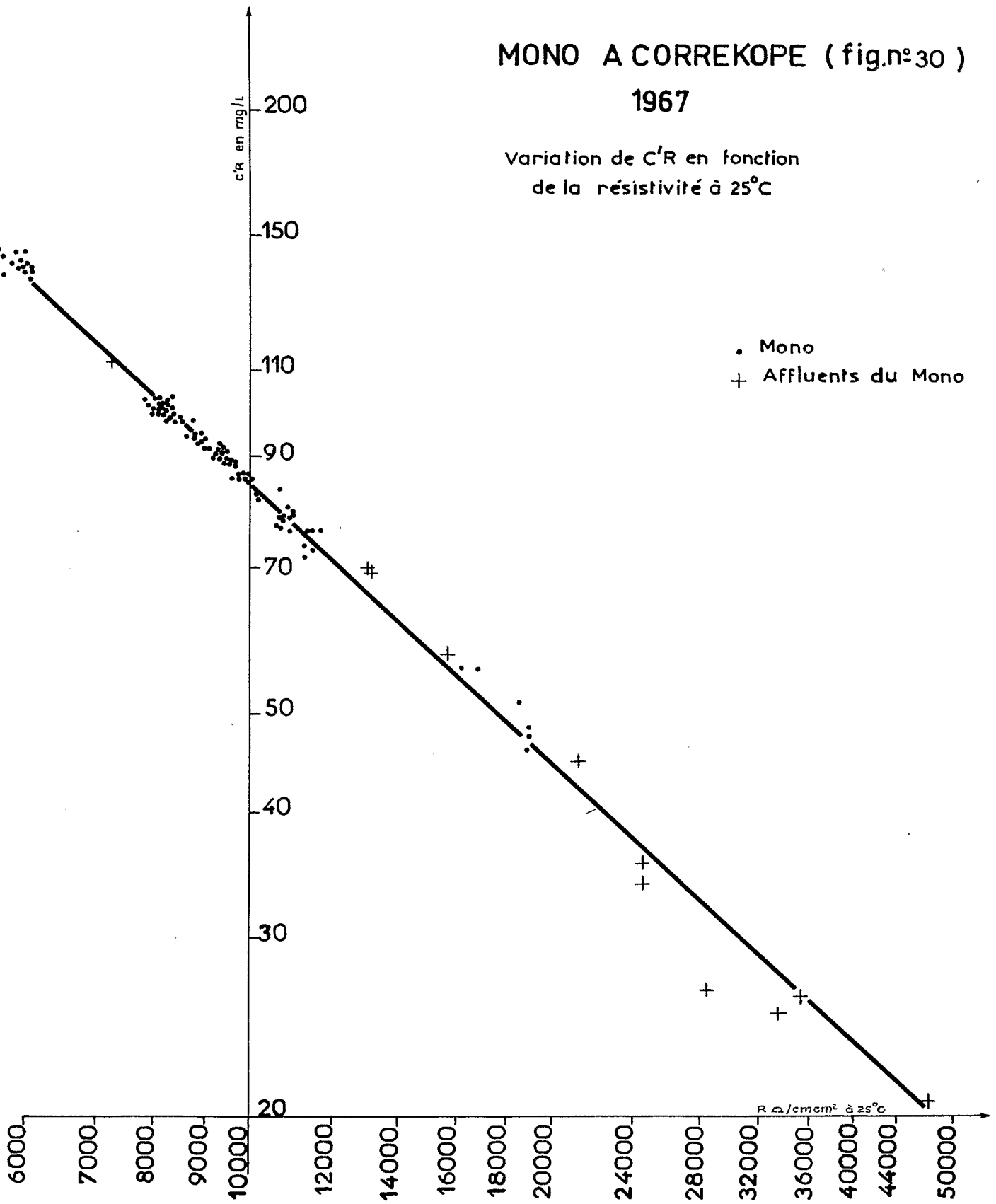
Variation de CE en fonction
de la résistivité à 25°C



MONO A CORREKOPE (fig.n°30)

1967

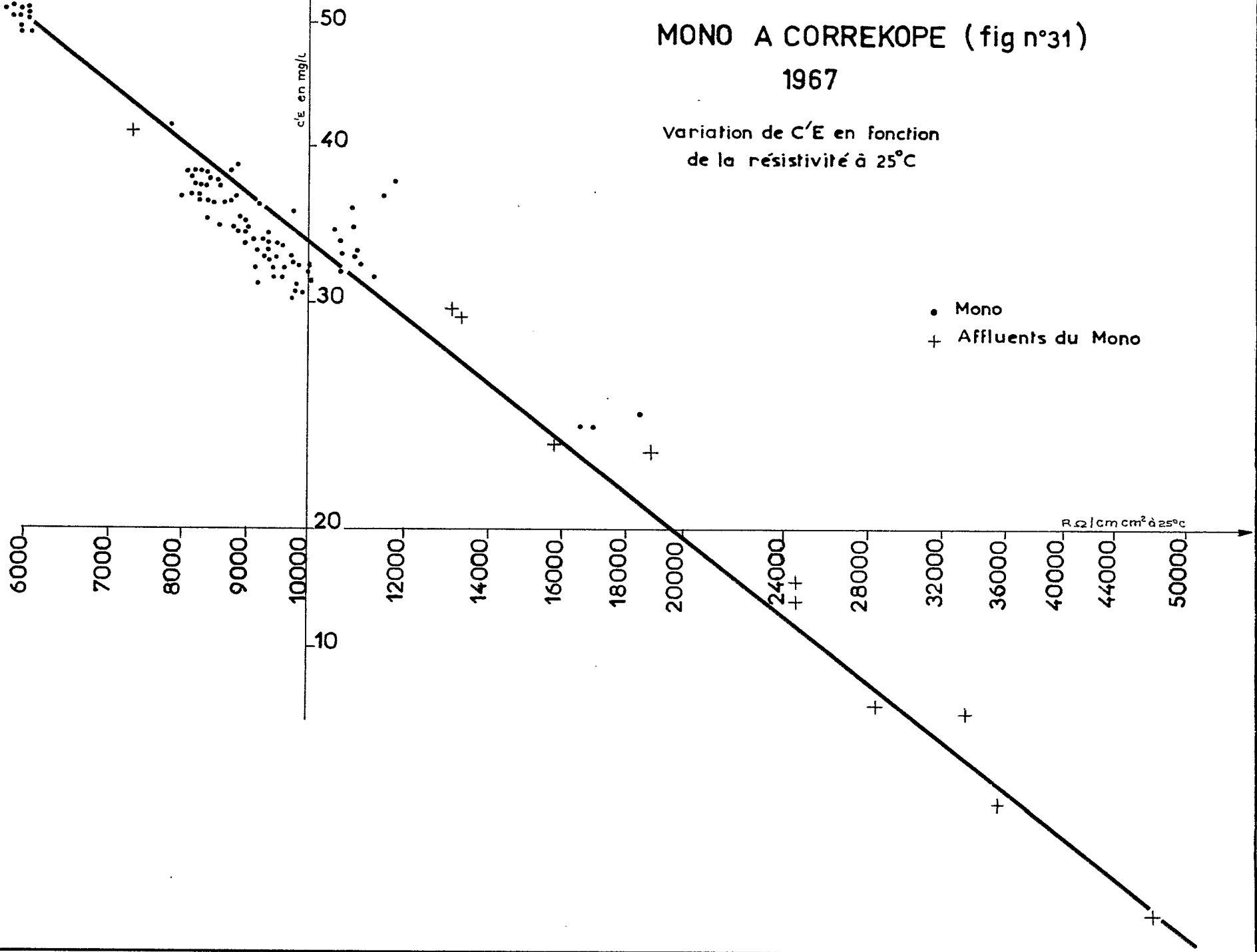
Variation de C'R en fonction
de la résistivité à 25°C



MONO A CORREKOPE (fig n°31)

1967

Variation de C'E en fonction
de la résistivité à 25°C



A titre de comparaison nous calculerons aussi le transport solide en solution correspondant à C_r (avec $C_r = 130\ 910\ R^{-0,779}$).

Les tableaux ci-après (32 à 41) donnent pour l'année 1966-67 les éléments suivants : Q_m débit journalier en m^3/s , P_t charge solide journalière transportée en suspension (en tonnes), T_{mp} turbidité moyenne pondérée journalière (en mg/l) (calculée par le rapport $P_t/volume$ d'eau écoulé journalier), R résistivité de l'eau (en $\Omega/cm/cm^2$), C_r , C_e (en mg/l), P_{cr} charge solide journalière transportée en solution (en tonnes) (y compris les bicarbonates), P_{ce} charge solide journalière transportée en solution et correspondant à l'érosion chimique du bassin.

Un tableau récapitulatif donne les transports mensuels P_t , P_{cr} , P_{ce} puis le total $P_t + P_{cr}$, le total $P_t + P_{ce} = P_e$ qui est le transport solide provenant de l'érosion chimique et l'érosion mécanique (Tableau 42).

Enfin nous avons évalué les pourcentages de l'érosion totale provenant de l'érosion mécanique :

$$\left(\text{soit } \frac{100 P_t}{P_e} \right)$$

et de l'érosion chimique : $\left(\text{soit } \frac{100 P_{ce}}{P_e} \right)$ pour chaque mois et pour l'année (1).

TABLEAU 32
MONO à CORREKOPE MAI 1966

Date	Q m ³ /s	P_t tonnes	T_{mp} mg/l	R $\Omega/cm/cm^2$	C_r mg/l	C_e mg/l	P_{cr} tonnes	P_{ce} tonnes
30	0,0045	0,019	48,0		(150)	(60)	0,058	0,023
31	0,0475	0,158	38,5	6 120	147	59,5	0,603	0,244
Total		0,177					0,661	0,267

(1) Il s'agit de l'année hydrologique de mai 1966 à février 1967

TABLEAU 33
MONO à CORREKOPE JUIN 1966

Date	Q m ³ /s	P _t tonnes	T _{mp} mg/l	R Ω/cm/cm ²	C _r mg/l	C _e mg/l	P _{cr} tonnes	P _{ce} tonnes
1	0,198	1,63	95,3	8 120	118	51,8	2,01	0,89
2	0,378	1,14	34,9	6 040	149	60,0	4,87	1,96
3	0,265	0,537	23,4	5 600	158	62,1	3,62	1,42
4	0,207	0,41	23,0	5 400	162	63,2	2,90	1,13
5	0,153	0,24	18,1	5 200	167	64,5	2,21	0,85
6	0,256	2,13	96,1	6 000	149	60,0	3,30	1,33
7	2,45	3,30	15,6	6 000	149	60,0	31,5	12,7
8	3,31	2,73	9,6	6 000	149	60,0	42,6	17,2
9	2,59	2,20	9,8	6 000	149	60,0	33,3	13,4
10	2,18	1,60	8,4	6 000	149	60,0	28,1	11,3
11	1,94	1,30	7,8	6 400	142	58,2	23,8	9,76
12	1,61	1,00	7,2	6 400	142	58,2	19,8	8,10
13	2,36	1,10	5,4	6 800	135	56,4	27,5	11,5
14	21,2	89,3	48,8	7 400	126	54,2	231	99,3
15	19,5	88,6	52,6	16 000	69,5	37,0	117	62,3
16	10,4	36,7	40,9	15 200	72,4	38,0	65,1	34,1
17	11,6	47,7	47,7	15 200	72,4	38,0	72,6	38,1
18	10,2	37,2	42,1	14 400	75,5	39,0	66,5	34,4
19	8,22	20,7	29,2	12 400	84,8	42,0	60,2	29,8
20	8,58	17,3	23,4	12 400	84,8	42,0	62,9	31,1
21	20,1	79,6	45,8	13 200	80,7	40,7	140	70,7
22	18,7	72,8	45,1	15 200	72,4	38,0	117	61,4
23	16,8	27,1	18,7	15 200	72,4	38,0	105	55,2
24	11,8	26,5	25,9	14 400	75,5	39,0	77,0	39,8
25	10,0	24,7	28,3	13 200	80,7	40,7	69,7	35,2
26	16,7	40,9	28,4	12 800	82,7	41,3	119	59,6
27	24,8	126,9	59,1	13 600	78,9	40,1	169	85,9
28	40,6	349,2	99,7	14 800	73,9	38,5	259	135
29	37,6	197,2	60,7	14 800	73,9	38,5	240	125
30	27,8	102,2	42,5	15 600	70,9	37,5	170	90
Total		1 404					2 366	1 178
moyenne	11,1		48,9		82,4	41,0		
V _e 10 ⁶ m ³	28,7							

.../...

TABLEAU 34
MONO à CORREKOPE JUILLET 1966

Date	Q m ³ /s	Pt tonnes	Tmp mg/l	R Ω /cm/cm ²	Cr mg/l	Ce mg/l	Pcr tonnes	Pce tonnes
1	23,8	93,1	45,3	14 800	73,9	38,5	152	79,2
2	19,6	58,6	34,4	14 400	75,5	39,0	128	66,0
3	14,9	35,4	27,5	13 600	78,9	40,1	102	51,6
4	12,4	21,2	19,7	12 800	82,7	41,3	88,6	44,2
5	10,2	19,4	22,0	13 200	80,7	40,7	71,1	35,9
6	9,12	15,7	19,9	12 400	84,8	42,0	66,8	33,1
7	8,64	14,2	19,0	12 000	87,0	42,7	64,9	31,9
8	7,45	19,1	29,6	11 800	88,2	43,1	56,8	27,7
9	10,4	20,0	22,3	11 600	89,3	43,4	80,2	39,0
10	10,9	17,6	18,8	12 000	87,0	42,7	81,9	40,2
11	20,3	60,0	34,2	12 400	84,8	42,0	149	73,7
12	22,7	59,9	30,5	13 600	78,9	40,1	155	78,6
13	17,8	72,2	46,8	13 600	78,9	40,1	121	61,7
14	51,2	687	155,3	14 800	73,9	38,5	327	170
15	56,3	937	192,6	17 200	65,7	35,7	320	174
16	27,6	180	75,6	16 800	66,9	36,1	160	86,1
17	17,5	63,1	41,7	15 200	72,4	38,0	109	57,5
18	13,5	39,6	33,9	14 400	75,5	39,0	88,1	45,5
19	44,8	754	195	14 000	77,1	39,5	298	153
20	193	591	335	17 600	64,6	35,3	1 077	589
21	80,8	982	141		(66,6)	(36,0)	465	251
22	59,6	488	94,7	15 600	70,9	37,5	365	193
23	165	2 970	208	14 400	75,5	39,0	1 076	556
24	152	3 190	243	18 400	62,4	34,5	819	453
25	131	1 906	168	16 800	66,9	36,1	757	409
26	143	2 479	201	16 400	68,2	36,6	843	452
27	117	1 989	197	18 000	63,4	34,9	641	353
28	98,5	817	96,1	16 000	69,5	37,0	591	315
29	128	1 436	130	15 200	72,4	38,0	801	420
30	91,4	789	99,9	16 800	66,9	36,1	528	285
31	67,9	357	60,8	16 000	69,5	37,0	408	217
Total		26 161					10 990	5 842
moyenne	58,9		166		69,6	37,0		
Ve 10 ⁶ m ³	158							

.../...

TABLEAU 35
MONO à CORREKOPE AOUT 1966

Date	Q m ³ /s	Pt tonnes	Tmp mg/l	R Ω/cm/cm ²	C _r mg/l	C _e mg/l	P _{cr} tonnes	P _{ce} tonnes
1	81,5	519	73,7	14 800	73,9	38,5	520	271
2	73,4	711	112	16 800	66,9	36,1	424	229
3	74,6	482	74,9	15 400	71,7	37,7	462	243
4	122	1 248	119	15 600	70,9	37,5	747	395
5	132	1 941	170	17 600	64,6	35,3	737	403
6	81,8	909	129	16 800	66,9	36,1	473	255
7	58,2	899	179	16 400	68,2	36,6	343	184
8	47,7	494	120	14 600	74,7	38,7	308	159
9	77,3	1 136	170	14 400	75,5	39,0	504	260
10	143	3 586	290	18 000	63,4	34,9	783	431
11	159	4 509	328	20 000	58,4	33,2	802	456
12	199	5 564	324	19 200	60,3	33,8	1 037	581
13	141	2 643	217	16 400	68,2	36,6	831	446
14	164	2 951	209	15 600	70,9	37,5	1 005	531
15	226	5 000	256	16 000	69,5	37,0	1 357	722
16	240	4 918	237	16 400	68,2	36,6	1 414	759
17	296	5 874	230	16 000	69,5	37,0	1 777	946
18	350	9 127	302	16 800	66,9	36,1	2 023	1 092
19	404	9 634	276	16 000	69,5	37,0	2 426	1 292
20	470	10 549	260	18 400	62,4	34,5	2 534	1 401
21	566	9 008	184	16 800	66,9	36,1	3 272	1 765
22	464	7 795	194	16 400	68,2	36,6	2 734	1 467
23	375	7 378	228	17 200	65,7	35,7	2 129	1 157
24	506	11 398	261	18 800	61,3	34,2	2 680	1 495
25	631	10 184	187	20 000	58,1	33,2	3 184	1 810
26	680	10 207	174	19 200	60,3	33,8	3 543	1 986
27	691	8 301	139	18 000	63,4	34,9	3 785	2 084
28	578	8 629	173	20 000	58,4	33,2	2 916	1 658
29	430	5 256	141	16 400	68,2	36,6	2 534	1 360
30	430	6 380	172	15 600	70,9	37,5	2 634	1 393
31	628	10 840	200	17 600	64,6	35,3	3 505	1 915
Total		168 070					53 423	29 146
moyenne	307		204		65,0	35,4		
V _e 10 ⁶ m ³	822,5							

.../...

TABLEAU 36
MONO à CORREKOPE SEPTEMBRE 1966

Date	Q m ³ /s	Pt tonnes	Tmp mg/l	R Ω/cm/cm ²	C _r mg/l	C _e mg/l	P _{cr} tonnes	P _{ce} tonnes
1	729	9 395	149	19 200	60,3	33,8	3 798	2 129
2	699	7 288	121	15 600	70,9	37,5	4 282	2 265
3	425	4 914	134	14 800	73,9	38,5	2 714	1 414
4	257	2 784	125	14 000	77,1	39,5	1 712	877
5	271	3 886	166	14 000	77,1	39,5	1 805	925
6	486	11 584	276	18 000	63,4	34,9	2 662	1 465
7	362	6 581	210	15 600	70,9	37,5	2 218	1 173
8	349	5 077	168	15 600	70,9	37,5	2 138	1 131
9	355	4 802	156	16 400	68,2	36,6	2 092	1 123
10	369	4 787	150	15 600	70,9	37,5	2 260	1 196
11	356	5 643	183	14 800	73,9	38,5	2 273	1 184
12	258	3 071	138	14 400	75,5	39,0	1 683	869
13	193	1 738	104	13 600	78,9	40,1	1 316	669
14	187	2 635	163	13 600	78,9	40,1	1 275	648
15	267	6 164	267	17 200	65,7	35,7	1 516	824
16	245	2 907	138	15 200	72,4	38,0	1 533	804
17	260	3 395	151	16 000	69,5	37,0	1 561	831
18	256	4 165	189	17 200	65,7	35,7	1 453	790
19	282	5 323	218	15 600	70,9	37,5	1 727	914
20	367	7 255	229	18 000	63,4	34,9	2 010	1 107
21	249	3 630	169	16 000	69,5	37,0	1 495	796
22	178	1 994	130	14 130	76,7	39,4	1 180	606
23	234	3 426	169	15 468	71,3	37,6	1 442	760
24	277	4 451	186	16 387	68,2	36,6	1 632	876
25	201	3 030	175	16 566	67,6	36,3	1 174	630
26	195	2 453	145	12 375	84,8	42,0	1 429	708
27	207	3 015	168	14 000	77,1	39,5	1 379	706
28	307	8 074	304	19 600	59,4	33,5	1 576	889
29	258	4 556	205	16 800	66,9	36,1	1 491	805
30	263	5 777	254	18 000	63,4	34,9	1 441	793
Total		143 800					56 267	29 907
moyen- ne	311		178		69,7	37,1		
10 ⁶ m ³	807,1							

.../...

TABLEAU 37
MONO à CORREKOPE OCTOBRE 1966

Date	Q m ³ /s	P _t tonnes	T _{mp} mg/l	R Ω/cm/cm ²	C _r mg/l	C _e mg/l	P _{cr} tonnes	P _{ce} tonnes
1	173	2 749	184	14 800	73,9	38,5	1 105	575
2	133	1 261	110	13 600	78,9	40,1	907	461
3	145	1 690	135	14 000	77,1	39,5	966	495
4	129	1 251	112	14 000	77,1	39,5	859	440
5	115	757	76,2	13 600	78,9	40,1	784	398
6	95,8	583	70,4	12 800	82,7	41,3	685	342
7	91,0	597	75,9	13 200	80,7	40,7	634	320
8	122	1 434	136	12 800	82,7	41,3	872	435
9	134	1 740	150	13 200	80,7	40,7	934	471
10	95,4	1 018	123	15 162	72,4	38,0	597	313
11	74,3	765	119	14 547	75,1	38,9	482	250
12	92,6	1 068	133	13 477	79,3	40,2	634	322
13	112	1 581	164	14 001	77,1	39,5	746	382
14	109	1 051	112	13 946	77,1	39,6	726	373
15	131	1 912	169	13 946	77,1	39,6	873	448
16	112	1 693	175	15 775	70,2	37,2	679	360
17	75,7	1 010	154	15 359	71,7	37,7	469	247
18	87,5	1 089	144	13 863	77,5	39,6	586	299
19	76,6	761	115	13 701	78,4	39,9	519	264
20	74,9	547	84,5	13 863	77,5	39,6	501	256
21	56,7	459	93,7	13 863	77,5	39,6	380	194
22	50,6	352	80,6	12 237	85,9	42,3	376	185
23	46,5	240	59,6	13 118	81,2	40,8	326	164
24	46,7	288	71,2	12 969	81,7	41,0	330	165
25	46,7	172	42,7	13 416	79,8	40,4	322	163
26	38,4	152	45,8	13 267	80,3	40,5	266	134
27	34,1	133	45,3	13 298	80,3	40,5	237	119
28	31,8	116	42,2	12 939	82,2	41,2	226	113
29	37,1	217	67,0	13 363	79,8	40,4	256	129
30	95,3	1 237	150	12 902	82,2	41,2	677	339
31	105	1 546	171	13 363	80,3	40,4	728	367
Total		29 469					18 682	9 523
moyen- ne	89,3		123		78,1	39,8		
10 ⁶ V _e m ³	239,2							

...../.....

TABLEAU 38
MONO à CORREKOPE NOVEMBRE 1966

Date	Q m ³ /s	Pt tonnes	T _{mp} mg/l	R Ω/cm/cm ²	C _r mg/l	C _e mg/l	P _{cr} tonnes	P _{ce} tonnes
1	67,7	719	123	15 622	70,9	37,5	415	219
2	51,0	349	79,3	13 823	78,0	39,8	344	175
3	41,6	226	62,8	13 055	81,2	40,8	292	147
4	36,0	145	46,7	13 209	80,7	40,7	251	127
5	31,4	108	39,7	11 964	87,0	42,7	236	116
6	28,2	82	33,8	12 007	87,0	42,9	212	104
7	32,5	129	46,0	11 793	88,2	43,1	248	121
8	29,0	89	35,3	13 631	78,9	40,1	198	100
9	24,1	61,9	29,7	13 171	80,7	40,7	168	84,7
10	21,9	51,4	27,1	12 159	85,9	42,3	163	80,0
11	19,9	54,9	32,0	13 071	81,7	40,8	140	70,1
12	18,5	51,8	32,4	13 018	81,7	41,0	131	65,5
13	18,3	47,3	29,9	12 159	85,9	42,3	136	66,9
14	16,2	41,5	29,7	12 287	85,3	42,2	119	59,1
15	14,4	23,0	18,5	12 441	84,8	42,0	106	52,3
16	12,9	22,0	19,7	11 095	92,5	44,3	103	49,4
17	11,4	16,6	16,8	11 775	88,2	43,1	86,9	42,5
18	10,6	11,1	12,1	12 311	85,3	42,2	78,7	38,6
19	9,87	9,80	11,4	12 219	85,9	42,3	73,3	36,1
20	9,30	8,55	10,7	12 142	86,4	42,5	69,4	34,1
21	8,50	7,60	10,3	12 235	85,9	42,3	63,1	31,1
22	8,00	7,04	10,2	12 159	85,9	42,3	59,4	29,2
23	7,70	6,95	10,5	12 077	86,4	42,5	57,5	28,3
24	7,10	6,87	11,2	12 007	87,0	42,5	53,4	26,1
25	6,60	4,70	8,24	11 855	87,6	42,9	50,0	24,5
26	5,84	3,60	7,15	11 990	87,0	42,7	43,9	21,5
27	5,32	2,68	5,82	11 855	87,6	42,9	40,3	19,7
28	4,90	2,34	5,52	11 885	87,6	42,9	37,1	18,2
29	4,57	1,89	4,84	11 551	89,3	43,4	35,3	17,1
30	4,26	2,04	5,57	11 597	89,3	43,4	32,9	16,0
Total		2 293					4 043	2 020
moyen- ne	18,9		46,8		82,2	41,2		
V _e 10 ⁶ m ³	49,0							

.../...

TABLEAU 39
MONO à CORREKOPE DECEMBRE 1966

Date	Q m ³ /s	Pt tonnes	T _{mp} mg/l	R Ω/cm/cm ²	C _r mg/l	C _e mg/l	P _{er} tonnes	P _{ce} tonnes
1	3,80	2,97	9,05	11 589	89,3	43,4	29,3	14,2
2	3,33	2,43	8,42	11 206	91,8	44,1	26,4	12,7
3	3,10	2,64	9,84	11 752	88,2	43,1	23,6	11,5
4	2,80	1,73	7,16	11 234	91,8	44,1	22,2	10,7
5	2,46	1,05	4,80	11 134	92,5	44,3	19,7	9,42
6	2,20	1,09	5,7	11 231	91,8	44,1	17,4	8,38
7	2,24	0,965	5,0	10 524	96,5	45,5	18,7	8,81
8	2,12	0,935	5,1	10 276	97,9	46,0	17,9	8,43
9	1,96	1,08	6,4	10 709	95,1	45,1	16,1	7,64
10	1,84	0,668	3,9	10 430	97,2	45,7	15,5	7,27
11	1,63	0,759	5,4	10 400	97,2	45,7	13,7	6,44
12	1,54	1,00	7,5	10 214	98,6	46,2	13,1	6,15
13	1,44	0,559	4,5	9 827	102	47,2	12,7	5,87
14	1,39	0,565	4,7	9 797	102	47,2	12,2	5,67
15	1,28	0,490	4,4	9 905	101	46,9	11,2	5,19
16	1,26	0,414	3,8	9 889	101	46,9	11,0	5,11
17	1,18	0,460	4,5	9 827	102	47,2	10,4	4,81
18	1,18	0,503	4,9	9 750	102	47,2	10,4	4,81
19	1,18	0,538	5,3	9 208	107	48,6	10,9	4,95
20	1,06	0,376	4,1	9 642	103	47,7	9,43	4,37
21	0,95	0,372	4,5	9 286	106	48,4	8,70	3,97
22	0,90	0,266	3,4	9 440	105	48,1	8,16	3,74
23	0,82	0,370	5,2	9 410	105	48,1	7,44	3,41
24	0,808	0,279	4,0	9 131	108	48,9	7,54	3,41
25	0,746	0,239	3,7	8 919	110	49,4	7,09	3,18
26	0,690	0,236	3,9	8 888	110	49,4	6,56	3,95
27	0,684	0,226	3,8	8 921	110	49,4	6,50	2,92
28	0,620	0,284	5,3	8 857	110	49,4	5,89	2,65
29	0,550	0,238	5,0	8 886	110	49,4	5,23	2,35
30	0,512	0,291	6,3	8 577	113	50,2	5,00	2,22
31	0,488	0,198	4,8	8 451	114	50,5	4,81	2,13
Total		24,3					395	186
moyen- ne	1,51		6,01		97,7	46,0		
Ve 10 ⁶ m ³	4,04							

.../...

TABLEAU 40
MONO à CORREKOPE JANVIER 1967

Date	Q m ³ /s	Pt tonnes	Temp mg/l	R Ω /cm/cm ²	Cr mg/l	Ce mg/l	P _{cr} tonnes	P _{ce} tonnes
1	0,464	0,196	4,9	8 295	116	51,1	4,65	2,05
2	0,416	0,160	4,4	8 248	116	51,5	4,17	1,85
3	0,400	0,104	3,0	8 359	115	50,8	3,97	1,76
4	0,368	0,101	3,0	8 100	118	51,8	3,75	1,65
5	0,368	0,063	2,0	8 423	115	50,8	3,66	1,62
6	0,340	0,112	3,8	8 316	116	51,1	3,41	1,50
7	0,320	0,088	3,2	8 168	117	51,5	3,23	1,42
8	0,320	0,111	4,0	8 012	119	52,1	3,29	1,44
9	0,300	0,093	3,6	8 264	116	51,1	3,01	1,32
10	0,276	0,095	4,0	8 451	114	50,5	2,72	1,20
11	0,276	0,082	3,5	8 451	114	50,5	2,72	1,20
12	0,254	0,101	4,6	8 326	116	51,1	2,55	1,12
13	0,254	0,117	5,4	8 295	116	51,1	2,55	1,12
14	0,232	0,081	4,1	8 225	117	51,5	2,35	1,03
15	0,210	0,077	4,2	7 872	120	52,4	2,18	0,951
16	0,210	0,136	7,5	7 688	123	53,1	2,23	0,963
17	0,188	0,099	6,1	7 856	120	52,8	1,95	0,858
18	0,210	0,093	5,1	7 862	120	52,8	2,18	0,958
19	0,180	0,059	3,8	7 645	124	53,5	1,93	0,832
20	0,148	0,052	4,1	7 675	123	53,1	1,57	0,679
21	0,144	0,055	4,4	7 732	123	53,1	1,53	0,661
22	0,144	0,044	3,5	7 278	128	54,5	1,59	0,678
23	0,135	0,043	3,7	7 632	124	53,5	1,45	0,624
24	0,120	0,031	3,0	7 230	129	54,9	1,34	0,569
25	0,100	0,048	5,6	7 226	129	54,9	1,11	0,474
26	0,096	0,040	4,8	7 133	131	55,2	1,09	0,458
27	0,092	0,049	6,1	7 119	131	55,2	1,04	0,439
28	0,092	0,043	5,4	7 155	129	54,9	1,03	0,436
29	0,087	0,032	4,2	7 332	128	54,5	0,962	0,410
30	0,083	0,038	5,3	7 132	131	55,2	0,939	0,396
31	0,079	0,030	4,3	7 011	131	55,2	0,894	0,377
Total		2,47					71,0	31,0
moyenne	0,22		4,1		119	51,9		
Ve 10 ⁶ m ³	0,597							

.../...

TABLEAU 41
MONO à CORREKOPE FEVRIER 1967

Date	Q m ³ /s	Pt tonnes	T _{mp} mg/l	R Ω/cm/cm ²	C _r mg/l	C _e mg/l	P _{cr} tonnes	P _{ce} tonnes
1	0,079	0,037	5,3	7 055	131	55,2	0,894	0,377
2	0,075	0,042	6,5	7 035	132	55,6	0,855	0,360
3	0,075	0,049	7,6	6 751	135	56,4	0,875	0,365
4	0,075	0,036	5,6	6 779	135	56,4	0,875	0,365
5	0,066	0,029	5,2	6 897	134	56,0	0,764	0,319
6	0,066	0,029	5,2	6 708	137	56,9	0,781	0,324
7	0,066	0,039	6,9	6 611	138	57,3	0,787	0,327
8	0,050	0,030	(7)	6 595	138	57,3	0,596	0,248
9	0,050	0,073	16,8	6 621	138	57,3	0,596	0,248
10	0,049	0,026	6,1	6 796	135	56,4	0,572	0,239
11	0,066	0,055	9,6	6 961	132	55,6	0,753	0,317
12	0,050	0,033	7,7	6 823	135	56,4	0,583	0,244
13	0,045	0,032	8,2	6 912	134	56,0	0,521	0,218
14	0,035	0,027	8,8	6 798	135	56,4	0,408	0,171
15	0,028	0,019	8,0	6 712	137	56,9	0,331	0,138
16	0,019	0,012	7,1	6 503	140	57,7	0,230	0,095
17	0,012	0,009	8,2	6 393	142	58,2	0,147	0,060
18	0,008	0,007	9,7	6 345	144	58,6	0,100	0,041
19	0,0075	0,004	7,1	6 305	144	58,6	0,093	0,038
20	0,004	0,002	7,5	6 042	149	60,0	0,051	0,021
21	0 fin de l'écoulement							
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
Total		0,590					10,8	4,15
moyen- ne	0,035	(1)						
Ve								
106 m ³	0,086							

(1) sur 28 jours.

.../...

TABLEAU 42
 RECAPITULATION DES TRANSPORTS SOLIDES
 DE MAI 1966 A FEVRIER 1967

	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	janv.	fév.	Année (1)
P_t	0,177	1 404	26 161	168 070	143 800	29 469	2 293	24,3	2,47	0,59	371 225
P_{cr}	0,661	2 366	10 990	53 423	56 267	18 682	4 043	395	71,0	10,8	146 248
P_{ce}	0,267	1 178	5 842	29 146	29 907	9 523	2 020	186	31,0	4,15	77 837
$P_t + P_{cr}$	0,838	3 770	37 151	221 493	200 067	48 151	6 336	419	73,5	11,4	517 473
$P_e = P_t + P_{ce}$	0,444	2 582	32 003	197 216	173 707	38 992	4 313	210	33,5	4,74	449 062
$\frac{100 P_t}{P_e}$	39,8 %	54,4 %	81,7 %	85,2 %	82,8 %	75,6 %	53,2 %	11,4 %	7,5 %	12,4 %	82,7 %
$\frac{100 P_{ce}}{P_e}$	60,2 %	45,6 %	18,3 %	14,8 %	17,2 %	24,2 %	46,8 %	88,6 %	92,5 %	87,6 %	17,3 %

(1) Année Hydrologique de mai 1966 à février 1967

L'examen des tableaux précédents fait apparaître la part non négligeable de l'érosion chimique dans l'érosion totale : 17,3 % des transports totaux pour l'année 1966-67 proviennent de l'érosion chimique.

La part de l'érosion chimique est minimum au mois d'août avec 14,8 % de l'érosion totale. Elle atteint son maximum en janvier et février aux environs de 90 % de l'érosion totale.

Le bassin du Mono à Corrékopé couvre une superficie de 9 952 km² et l'érosion spécifique annuelle totale est de 45,1 tonnes par an et par km², dont 37,3 tonnes pour l'érosion mécanique et 7,8 tonnes pour l'érosion chimique. Cela correspond à un débit spécifique annuel moyen en solution de 0,247 gr/s/km², variant de 0 (débit nul) à 2,63 gr/s/km² (1) (le 6 septembre 1966). Le professeur MANGIN (et autres) note pour le BANDAMA en Côte d'Ivoire un débit spécifique annuel moyen de 0,167 gr/s/km² avec une variation de 0,01 (étiage) à 0,79 (crue). La comparaison avec nos chiffres ne peut être faite qu'après majoration de ceux du BANDAMA, puisque nous avons tenu compte de l'oxygène lié dans les roches aux Ca, Mg, Na et K, contrairement à ce qui a été fait en Côte d'Ivoire. La majoration peut être grossièrement évaluée entre 15 et 20 %. Nous admettons 20 %. Cela conduit pour le BANDAMA à un débit spécifique moyen annuel de 0,200 gr/s/km² avec une variation de 0,012 à 0,95.

La valeur moyenne n'est pas tellement différente de celle que nous avons trouvée. Par contre la valeur maximum est nettement inférieure. Cela tient sans doute au bassin versant beaucoup plus petit du Mono (rapport de 1 à 10 environ) et à ses pointes de crue relativement plus accusées.

La charge soluble est maximum le 5 juin 1966, quelques jours après le début de l'écoulement avec 64,5 p.p.m. pour C_e et 167 p.p.m. pour C_r alors que le 20 février 1967, veille de l'arrêt de l'écoulement, on observait 60 p.p.m. pour C_e et 149 p.p.m. pour C_r. On peut expliquer l'existence de ce maximum en juin par la remise en solution des sels solubles déposés dans les sols au cours du tarissement de l'année précédente. Ce fait pourrait peut-être être vérifié par les pédologues par la recherche des sels solubles dans les sols à différentes époques de l'année.

La charge soluble minimum a été atteinte à trois reprises au mois d'août avec C_e = 33,2 p.p.m. et C_r = 58,4 p.p.m.. On a également atteint C_e = 33,5 et C_r = 59,4 le 28 septembre. La charge soluble moyenne a été calculée de mai 1966 à février 1967 : C_{em} = 36,9 p.p.m. et C_r = 69,3 p.p.m. Les chiffres correspondants obtenus en Côte d'Ivoire par le Professeur MANGIN et son équipe sont :

.../...

(1) moyenne journalière maximum

39 p.p.m. pour la moyenne
 44 p.p.m. pour le maximum
 32 p.p.m. pour le minimum

En majorant ces chiffres de 20 %, on obtient :

moyenne 46,8 p.p.m.
 maximum 52,2 p.p.m.
 minimum 38,4 p.p.m.

La moyenne est plus élevée en Côte d'Ivoire mais le maximum est plus faible et le minimum plus élevé.

Le débit solide en solution a atteint le 2 septembre 26,2 kg/s (moyenne de 24 heures). Nous avons reporté sur le graphique n° 43 les valeurs journalières de C_e en mg/l des teneurs en Calcium et Magnésium exprimées en milliéquivalents par litre. Les périodes de crue sont indiquées au bas du graphique par des tirets horizontaux.

Comme nous l'avons déjà indiqué, le maximum de concentration des matières dissoutes a été observé quelques jours après le début de l'écoulement. A chaque crue correspond un abaissement des concentrations suivi d'un relèvement plus ou moins fort à la décrue. Ce phénomène très marqué au début de l'écoulement (chute brutale des concentrations vers la mi-juin) s'estompé un peu par la suite, les variations devenant plus faibles.

Une dernière remarque concernant les valeurs trouvées pour l'érosion du bassin du Lion :

En supposant que la charge solide provient à l'origine de la roche en place à laquelle on attribuera une densité moyenne de 2,5, on peut évaluer l'érosion en hauteur de roche détruite. En prenant comme unité de temps le millénaire et en supposant la constance du climat, l'érosion globale peut se chiffrer à 18 mm dont 14,9 mm pour l'érosion mécanique et 3,1 mm pour l'érosion chimique. Notons cependant que nous sommes partis des valeurs trouvées pour une année particulière (45,1 T/an et km², 37,3 T/an et km² et 7,8 T/an et km²) (1966-67) et que les valeurs moyennes interannuelles sont vraisemblablement différentes.

Ces chiffres sont cependant comparables à ceux donnés par J. CORBEL (1) quoique plus faibles :

- Erosion chimique en climat équatorial : 5 à 30 mm par millénaire ;
- Erosion mécanique de l'ordre de 20 à 45 mm par millénaire ;
- Erosion totale de l'ordre de 50 mm par millénaire

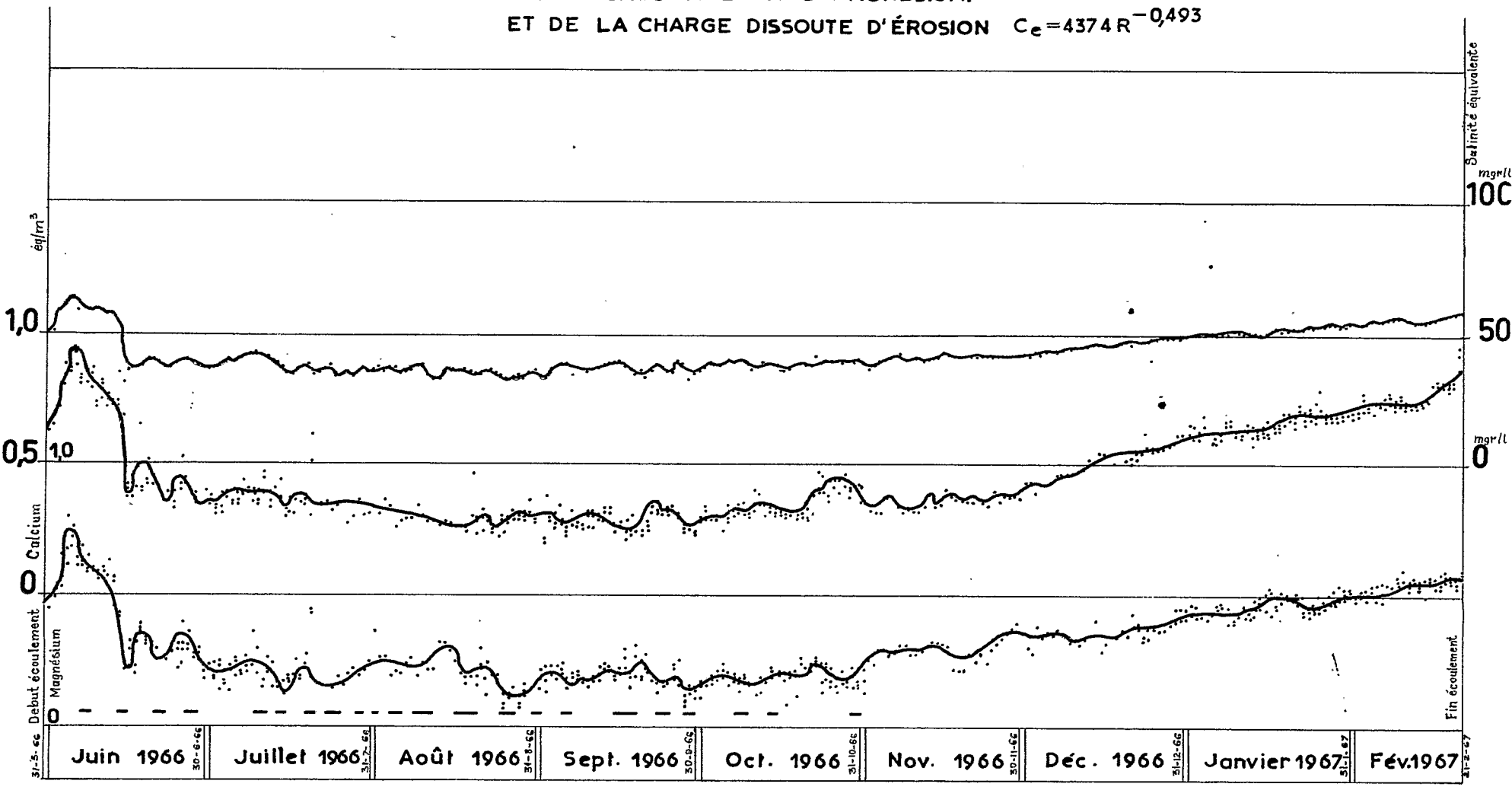
.../...

(1) J. CORBEL "L'érosion chimique des granites et silicates sous climats chauds" - Revue de Géomorphologie dynamique 1957 VIII

MONO A CORREKOPE 1966-67

FIG. n° 43

VARIATION DES CONCENTRATIONS EN
IONS CALCIUM ET IONS MAGNÉSIUM.
ET DE LA CHARGE DISSOUE D'ÉROSION $C_e = 4374 R^{-0,493}$



2°) Composition relative de la charge dissoute

Nous attendrons d'avoir pu exploiter les résultats de l'année 1967-68 pour développer ce paragraphe. Notons cependant que nous avons retenu un système graphique de représentation de la composition relative de la charge solide dissoute C_r . Nous utilisons un graphique en coordonnées trilineaires (1) en groupant les éléments de la façon suivante : les anions Cl^- , CO_3H^- + CO_3^{--} , SO_4^{--} , les cations Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ + K^+ .

Les teneurs étant exprimées en équivalents, on calcule les pourcentages des teneurs des différents anions par rapport à la teneur totale en anions, et de même pour les cations.

Le diagramme est constitué par un triangle équilatéral dont les hauteurs sont les axes de coordonnées. La somme des distances d'un point intérieur au triangle aux trois côtés est égale à la hauteur du triangle. Par conséquent, un point intérieur au triangle peut représenter une certaine proportion entre les trois sortes d'anions retenues (Cl^- , SO_4^{--} , CO_3H^- + CO_3^{--}). De même avec les cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ + K^+).

Si on fait coïncider les axes relatifs à (CO_3H^- + CO_3^{--}) et à Ca^{++} , à SO_4^{--} et à Mg^{++} , et enfin à Cl^- et à (Na^+ + K^+), la composition relative d'une eau sera représentée par un groupe de deux points qu'on peut relier par un segment de droite. Nous donnons un exemple avec les graphiques n° 44 et n° 45.

Sur le graphique n° 45, nous avons reporté la composition relative de diverses eaux : dans l'angle inférieur gauche figurent des eaux allant de l'eau de mer à des eaux plus ou moins saumâtres (fortes teneurs en Cl^- et Na^+). Dans l'angle supérieur figurent des eaux du Mono à Corrékopé avec prédominance de l'ion CO_3H^- . Nous avons également figuré des eaux du Chra à Chra. Cette représentation graphique ne fait pas ressortir toutes les qualités des eaux, il manque en particulier : la valeur de la minéralisation totale, la silice dissoute, l'oxygène et le gaz carbonique dissous.

g) Conclusion

Cette note, très incomplète, n'est destinée qu'à faire le point de nos études. Cela nous a permis de modifier notre programme d'étude pour 1968 de façon à obtenir une production maximum de renseignements avec les moyens dont nous disposons.

J. COLOMBANI

Maître de Recherches de l'ORSTOM

(1) P. PASCAL - Nouveau Traité de Chimie Minérale
Tome I et H. SCHOELLER - Les eaux souterraines. .../...

EXEMPLE DE REPRÉSENTATION TRILINÉAIRE
DE LA COMPOSITION RELATIVE
DE LA CHARGE DISSOUTE CR.

$a + b + c = 100\%$

a% de $[CO_3H^- + CO_3^{2-}]$

b% de Cl^-

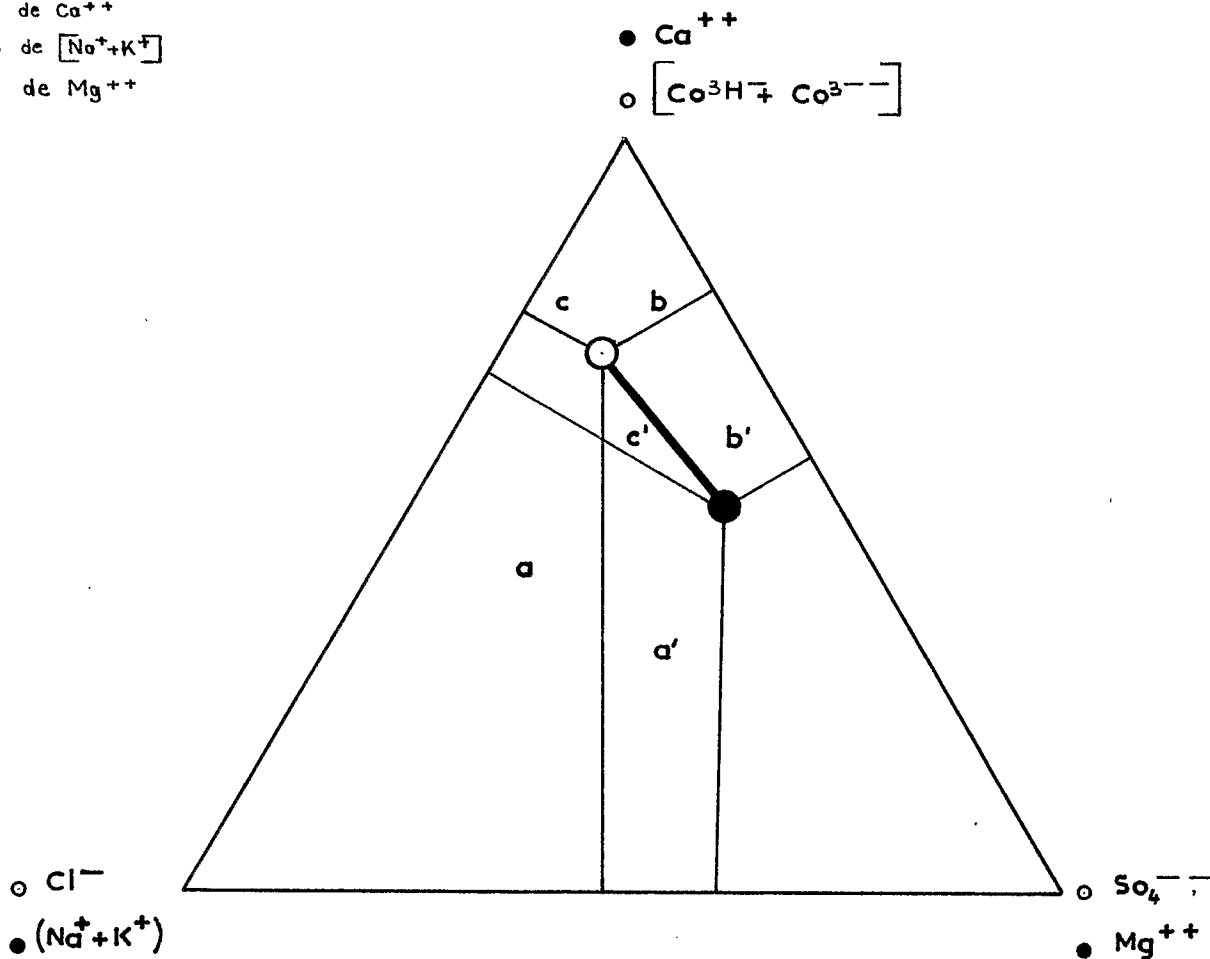
c% de SO_4^{2-}

$a' + b' + c' = 100\%$

a'% de Ca^{++}

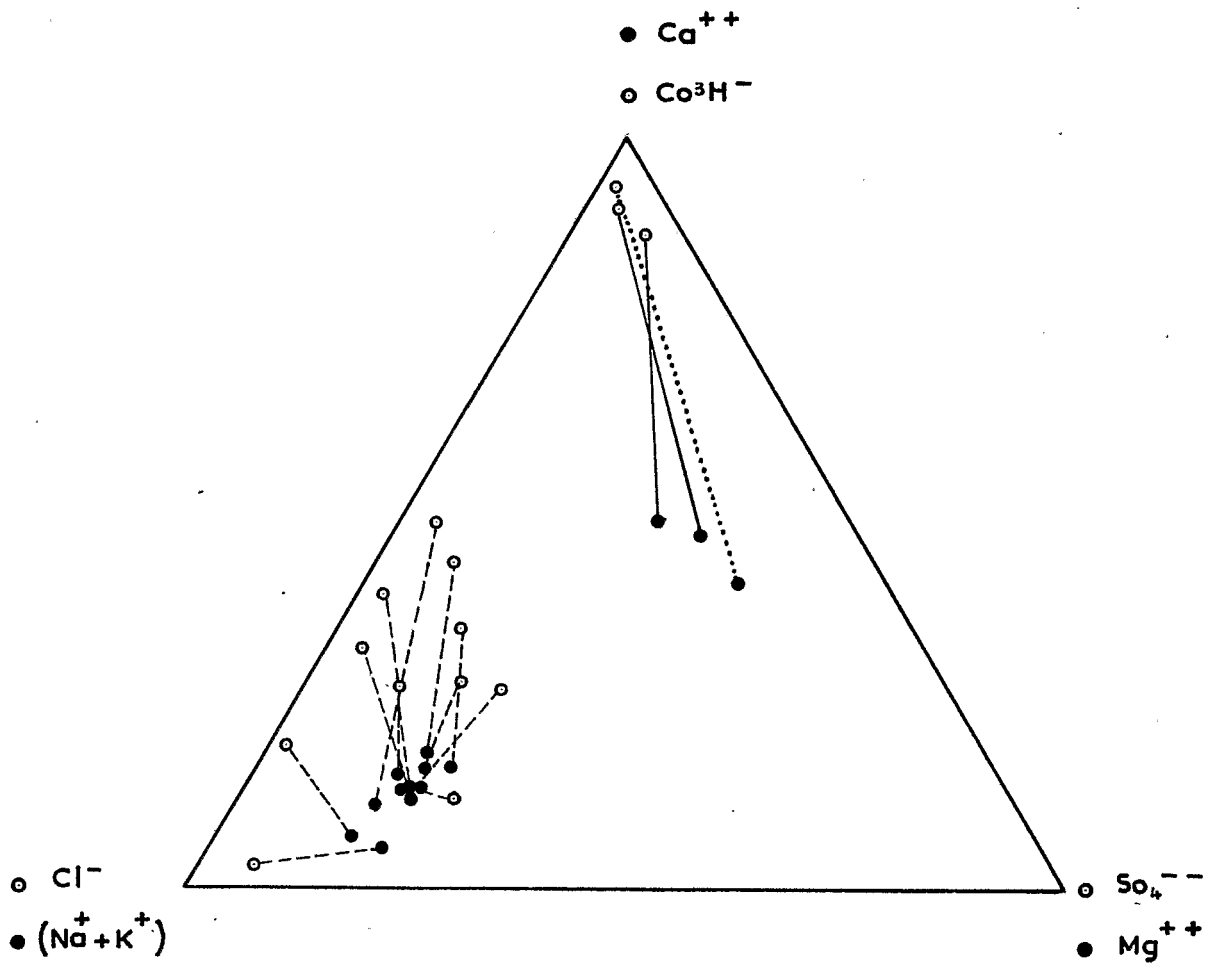
b'% de $[Na^+ + K^+]$

c'% de Mg^{++}



EXEMPLE DE LA COMPOSITION RELATIVE
DE LA CHARGE DISSOUE CR. DE QUELQUES EAUX

- Eaux saumâtres
- Mono à Corrékopé
- Chra à Chra
- Point figuratif des anions
- Point figuratif des cations



BIBLIOGRAPHIER. BREMOND

Note sur l'agressivité et la corrosivité des eaux naturelles (CIEH) ;

J. CORBEL

L'érosion chimique des granites et silicates sous climats chauds - Revue de Géomorphologie Dynamique 1957 VIII ;

DEGREMONT

Mémento technique de l'eau ;

B. DUSSART

Limnologie (Gauthier-Villars) ;

M. GOUZY

L'analyse des sols, eaux et végétaux au Centre ORSTOM de Lomé (Ronéo Lomé) ;

J. LARRAS

Embouchures, estuaires, lagunes et deltas (Eyrolles) ;

J. P. MANGIN, J. LECOLLE, P. MATHIEU, C. MONNET, S. PINTA et J. SIRCOULON

Géochimie des eaux naturelles ; le transport en solution par un fleuve de Côte d'Ivoire - CR Académie des Sciences Paris T 262 pages 2 204-2 206 Série D;

P. PASCAL

Nouveau Traité de Chimie Minérale : Tome I Généralités, Tome VIII Deuxième fascicule - Le Silicium (Masson & Cie) ;

J. RODIER

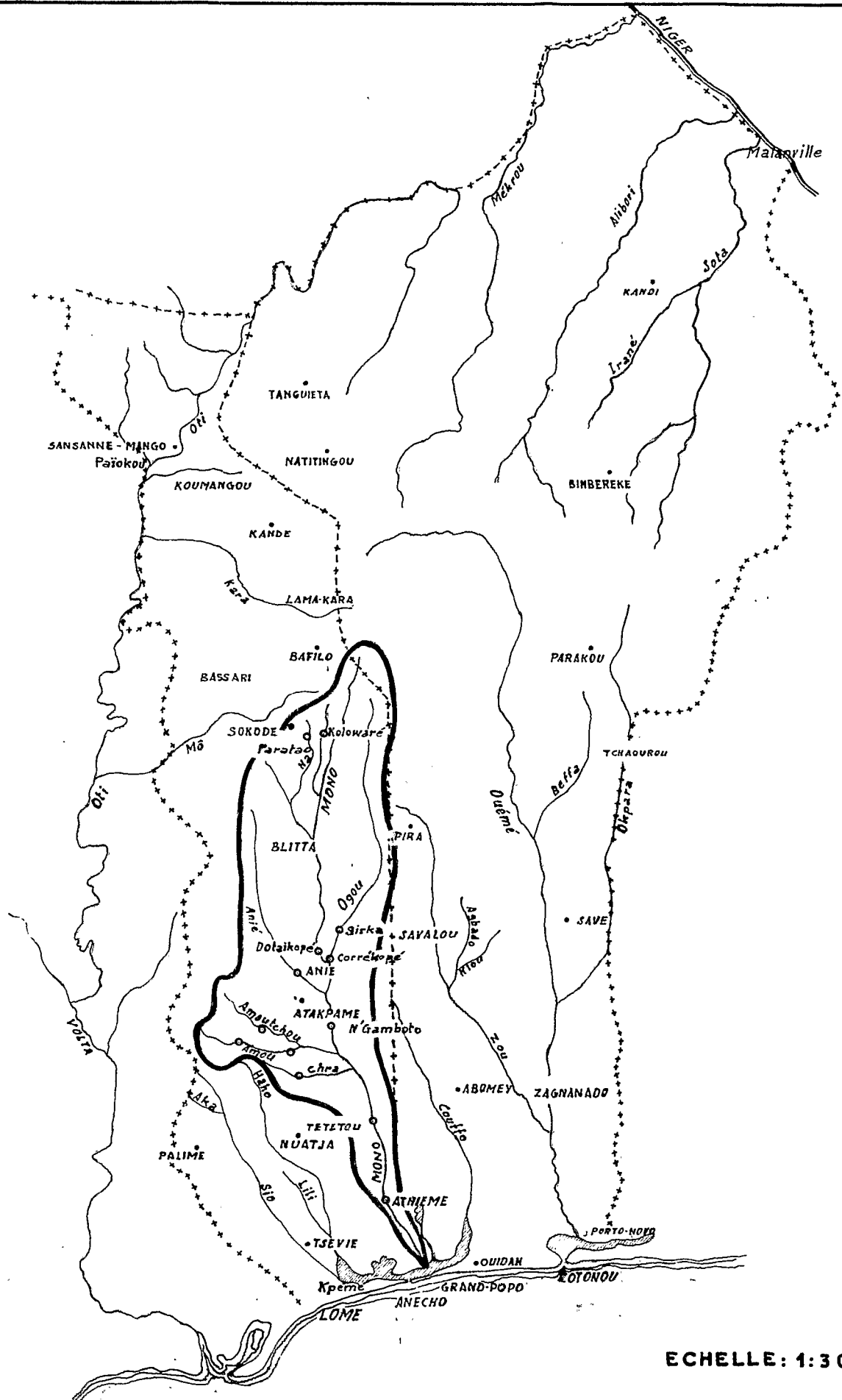
L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau (Dunod) ;

H. SCHOELLER

Les eaux souterraines (Masson & Cie) ;

VEN TE CHOW

Handbook of applied Hydrology (McGRAW-HILL BOOK COMPANY)

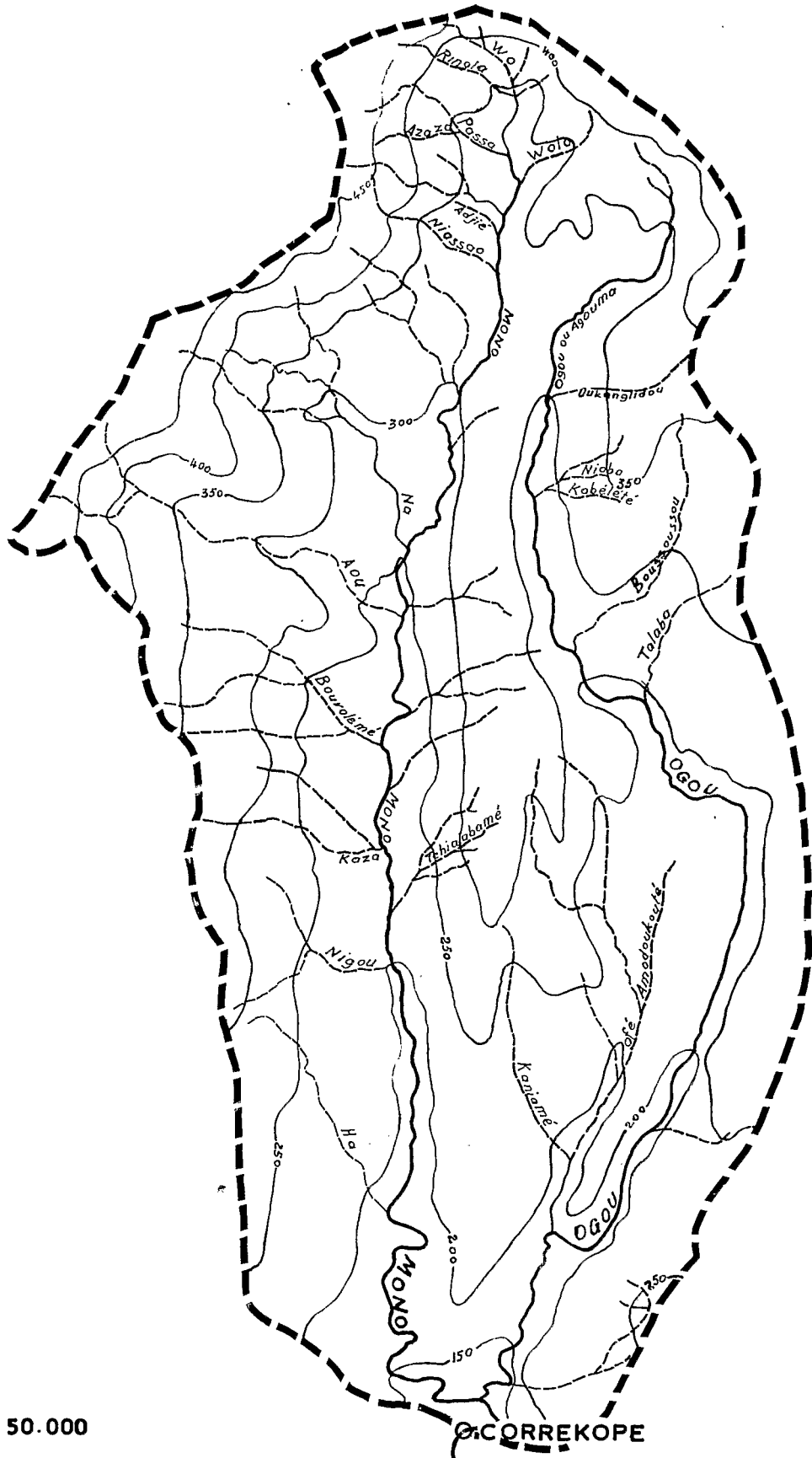


ECHELLE : 1 : 3 000 000

MONO A CORREKOPE

BASSIN VERSANT = 9952 Km²

NORD



Echelle: 1 : 750.000

ORSTOM

DATE:

11 / 5 / 65

DESSINÉ:

M. Sossah

T 263 H

NOTE ANNEXE

Nous avons trouvé dans le "Mémento du Chimiste" (Marcel BOLL, Dunod Editeur) des valeurs de la résistivité pour différents sels purs en solution. Les valeurs de la résistivité sont données pour des concentrations très élevées généralement.

Nous avons reporté sur un graphique bilogarithmique les valeurs de la résistivité pour des solutions de KCl (de 0,74 gr/l à 210 gr/l), de NaCl (de 50 gr/l à 200 gr/l) et de CO_3Na_2 (de 50 gr/l à 150 gr/l). Pour le KCl les points s'alignent très bien sur une droite, ce qui conduit à la relation :

$$R_{\text{KCl}} \text{ à } 25^\circ = 751\,080 R^{-1,05611}$$

Pour NaCl et CO_3Na_2 on note par contre une courbure croissante de la courbe (R, C) vers les fortes concentrations. Cependant l'allure de ces courbes semble indiquer qu'elles tendent pour des résistivités plus faibles à avoir des courbures très faibles. Cela permet certainement d'adopter des formules $C = KR^{-a}$ dans des plages de concentrations assez larges.

Eventuellement on peut supposer que la représentation de la relation $C = f(R)$ peut être donnée par une succession de droites conduisant à plusieurs formules $C = KR^{-a}$. Cela se rapprocherait des formules de C. RICHARD et Van Cu, avec toutefois une différence importante : il n'y aurait pas de discontinuité aux limites des plages de résistivité retenues. Pour les eaux très peu minéralisées que nous avons étudiées ici, il est donc très raisonnable de chercher une relation de la forme $C = KR^{-a}$, étant bien entendu que la composition relative de la charge dissoute n'est pas trop variable. Il serait intéressant de vérifier comment se comportent des mélanges de divers sels à de faibles concentrations.