

M.A. ROCHE*

Évolution dans l'espace et le temps de la conductivité électrique des eaux du lac Tchad d'après les résultats de 1908, 1957, 1962 à mars 1968

(Rapport provisoire)

* Chargé de Recherches de l'O.R.S.T.O.M.

SOMMAIRE

	Page
INTRODUCTION	37
I. - RAPPEL SOMMAIRE DU BILAN HYDROLOGIQUE	38
II. - MÉTHODES, PRÉCISIONS, REPRÉSENTATIVITÉ DES MESURES DE CONDUCTIVITÉ	
2.1. - Méthodes de mesure de la conductivité	39
2.2. - Précisions des mesures de conductivité	39
2.3. - Représentativité de l'échantillonnage	39
- Variations verticales	39
- Variations locales	39
- Variations à l'échelle du Lac	41
III. - VALEURS DE LA CONDUCTIVITÉ DES EAUX DU LAC TCHAD	
3.1. - Documents antérieurs (1908-1966)	42
3.2. - Documents établis d'octobre 1966 à mars 1968	50
IV. - MÉCANISMES RÉGISSANT LA RÉPARTITION ET LES VARIATIONS DES TENEURS EN SELS DANS LE LAC	
4.1. - Influence directe et variations des concentrations originelles	63
4.1.1. - Variations dues à celles du CHARI	63
4.1.2. - Variations dues aux apports de l'EL BEID	64
4.1.3. - Variations dues aux apports de La Komadougou	65
4.1.4. - Influence des pluies	65
4.2. - Variations des conductivités par évaporation et cristallisation	65
4.2.1. - Évaporation et cristallisation	65
4.2.2. - Facteurs influant sur les variations des teneurs en sels par évaporation	66
4.3. - Variations dues aux déplacements des masses liquides	67
4.3.1. - Phénomènes moteurs	67
4.3.2. - Facteurs influants sur les déplacements	69
CONCLUSION	71
BIBLIOGRAPHIE	74
ANNEXES	75

Les premières données sur la physico-chimie des eaux du Lac Tchad furent présentées dans les documents de la Mission Tilho (1906-1909). Elles montraient sommairement que la partie septentrionale était la plus minéralisée.

GUICHARD, G. (1957) et BOUCHARDEAU, A. (1958) apportèrent les premières précisions en dressant une carte de conductivité électrique des eaux (présentée ci-après). Le gradient de concentration en sels, ayant pour origine le delta du Chari, était ainsi mis en évidence. BOUCHARDEAU, A. (1958) précisa alors l'hypothèse, déjà émise par TILHO, de l'écoulement des eaux et par suite des sels dans « une nappe marginale », phénomène qui expliquerait les concentrations relativement faibles des eaux.

DIELEMAN, P. J. et RIDDER, N. A. (1963) puis SCHNEIDER, J. L. (1966) précisèrent certaines relations entre le lac et les nappes de bordure.

GRAS, R. (1962-1964) contribua largement à la connaissance physico-chimique des eaux du Lac, en particulier par de nombreuses mesures de conductivité. DUPONT, B. (1967) effectua également des mesures sur l'itinéraire delta du Chari-Bol.

Rappelons que notre étude est adjacente à celle de CHEVERRY, C. sur les polders, MAGLIONE, G. sur les natronières, CARMOUZE, J. P. C. et LEMOALLE, J. sur le Lac.

Dans deux notes précédentes — ILTIS, A. et ROCHE, M. A. (1967) et ROCHE, M. A. (1968) — nous présentons un aperçu de nos méthodes de travail et d'analyses, une reconnaissance sommaire des principales zones du Lac et une première estimation des apports en sels par le Chari.

Cette note présente les cartes de conductivité de certaines régions ou de l'ensemble du Lac en diverses saisons de 1957 à 1968, et explique les principaux mécanismes des variations observées.

Ultérieurement, nous tracerons les corrélations entre la conductivité et différents paramètres physico-chimiques (1), puis l'évolution physico-chimique sera étudiée en fonction de la teneur totale en ions majeurs.

Les résultats suivants ont été souvent obtenus avec la collaboration technique de LE GUILLOU, J. L., RENAUDIN, J. P., RANDON, R. et GATHELIER, R.

(1) Lors de l'étude des apports en sels au lac Tchad (ROCHE, M. A. 1968), nous avons déjà établi certaines de ces corrélations pour les eaux du Chari et du Lac. Mentionnons notamment pour :

$$30 < C < 110$$

$$110 < C < 300$$

$$300 < C < 1500$$

$$p = 0,700 C + 13$$

$$p = 0,845 C - 3$$

$$p = 0,870 C - 13$$

p étant le poids (en mg/l) de $Ca + Mg + Na + K + Cl + SO_4 + CO_3 + CO_3 H$ et C la conductivité (en $\mu S cm^{-1}$ à 25 °C).

I. - RAPPEL SOMMAIRE DU BILAN HYDROLOGIQUE

On trouvera dans divers ouvrages et en particulier dans la Monographie du lac Tchad (1957 et en cours) des descriptions détaillées, tant géographiques que géologiques.

Les apports en sels ont déjà été étudiés, aussi rappelons-nous seulement brièvement les notions d'hydrologie indispensables à la compréhension de ce qui suit.

Le bilan hydrologique annuel du Lac se traduit par la relation suivante :

$$\frac{V}{S} + P = DH + E + f$$

en désignant par :

V = le volume des apports par les tributaires, soit en moyenne 41.10^9 m^3 (94 % sont fournis par le Chari ($38,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$), 5 % par l'El Beïd (2.10^9 m^3) et 1 % par les affluents secondaires (environ $0,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ par la Komadougou, $0,1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ par le Yedeseram).

Compte tenu de l'importance des apports du Chari, nous mentionnons la répartition des débits mensuels en année moyenne (en m^3/s), à Fort-Lamy :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
790	440	265	190	190	280	525	1 250	2 365	3 260	3 255	1 875	1 225

S = la superficie du Lac.

P = les précipitations moyennes tombant sur la surface du Lac. Les volumes estimés varient de 4 à $12 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, avec une moyenne de 7 à $8 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, soit 12 % des apports liquides.

DH = la variation de niveau du Lac. Nous présentons ici les niveaux du Lac au cours de ces dernières années, ce qui permettra de connaître l'évolution antérieure aux diverses campagnes de mesures (figure 1).

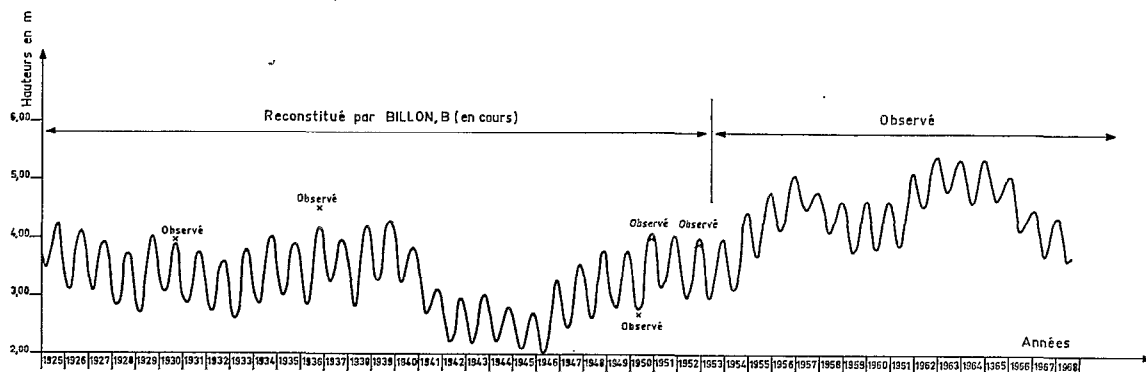


FIG. 1. — Niveaux du lac Tchad à Bol.

Les variations journalières, d'amplitude variable, définissent une courbe moyenne qui se rapproche d'un sinusoïde. Elles ont déjà été figurées pour les années 1957 à 1967 (РОСНЕ, М. А. 1968).

Le minimum de la crue annuelle se situe en juillet, le maximum en décembre ou janvier. De juillet à décembre ou janvier, le niveau du lac monte car les apports sont supérieurs aux pertes. De décembre ou janvier à juillet il baisse, les pertes l'emportent sur les apports.

E = les pertes par évaporation.

f = les fuites par infiltration.

Le terme $p = E + f$, représentant les pertes totales du Lac, est l'inconnue que l'étude du bilan annuel permet de déterminer avec une précision de 25 cm. Ces pertes sont en année moyenne de $p = 225 \pm 10 \text{ cm/an}$. Il va sans dire que cet écart n'est pas significatif puisque inférieur à l'erreur de 25 cm.

II. - MÉTHODES, PRÉCISIONS, REPRÉSENTATIVITÉ DES MESURES DE CONDUCTIVITÉ

2.1. — Méthode de mesure de la conductivité.

La conductivité (C), ramenée à 25 °C, a toujours été mesurée sur place avec un conductivimètre Philips PR 9500, alimenté par une batterie 12 V (celle du bateau) par l'intermédiaire d'un convertisseur à transistor. Soulignons tout de suite que les conductivités seront toujours exprimées en micromhos/cm, soit Scm^{-1} et que nous ne rappellerons pas l'unité après chaque valeur.

En octobre et novembre 1966, l'eau était prélevée du bateau en marche dans un bécber et la mesure effectuée immédiatement à l'aide d'une microcellule PR 9512/01. A partir de janvier 1967, nous avons installé un dispositif permettant la mesure directe à n'importe quel moment, l'eau étant amenée par un tuyau à une cellule à circulation continue PR 9511, située dans la cabine. Jusqu'en avril 1967, l'arrivée d'eau s'effectuait lorsque le bateau se déplaçait, même à faible vitesse, suivant le principe du tube de Pitot. L'embarcation ayant ensuite changé, la circulation se faisait grâce à la pompe à eau du moteur : une partie de l'eau passait par la cellule, avant de gagner la pompe. Le débit était de l'ordre de quelques litres par minute.

2.2. — Précisions des mesures de conductivité.

Le coefficient de cellule a été contrôlé à chaque départ et à chaque retour de campagne par la mesure de conductivité de solutions étalons.

D'après Philips, l'erreur sur R varie de 1,5 % au milieu de l'échelle de lecture à 3 % aux extrémités. Nous pensons donc, en tenant compte des autres erreurs possibles (РосНЕ, М. А.-1968) que le seuil de signification de la différence entre deux mesures, effectuées avec deux appareils différents, est de 2 à 5 %. En fait en se plaçant dans des conditions toujours analogues, c'est-à-dire avec le même montage, le même appareil, la même cellule et le même observateur, un écart supérieur à 1 % commence à être significatif. Nous avons eu l'occasion de le vérifier en diverses occasions; nous citerons un exemple effectué sur un prélèvement unique d'eau du Chari, réparti immédiatement en 20 flacons. Les mesures de conductivité faites au laboratoire une heure plus tard, ont donné les résultats suivants :

— Valeur moyenne de la lecture brute $R = 0,132 \cdot 10^5 \Omega \text{ cm}$, c'est-à-dire qu'elle était située vers l'extrémité de l'échelle.

— Conductivité moyenne	: 51,1
— Médiane	: 51,1
— Valeurs extrêmes	: 50,6 et 51,5
— Intervalle de variation	: 0,9 ou 1,8 %
— écart type	: 0,267
— Erreur relative maximale	: + 0,8 % et — 1,0 % soit $\pm 1,0 \%$
— Écart probable	: 0,19, relatif à la moyenne 0,4 %

2.3. — Représentativité de l'échantillonnage.

La représentativité de l'échantillonnage, effectué entre 5 et 10 cm de la surface pour les mesures en bécber ou entre 50 et 70 cm pour celles avec le système d'alimentation en continu, a été étudiée par différents chercheurs et nous-mêmes.

Variations verticales.

GUICHARD, E. (1957) s'était soucié d'un éventuel gradient vertical de la conductivité, en effectuant en certains points une mesure en surface et une au fond. D'après les valeurs mentionnées sur sa carte (deux par point), on peut conclure que les différences constatées, inférieures à 10 % sur une vingtaine de mesures, sont du même ordre de grandeur que la précision des valeurs présentées.

DUPONT, B. (1957), en octobre 1965 fit les mêmes constatations en cinq stations de l'archipel en trouvant trois écarts nuls, un de — 4 %, un de — 2 % (dans le sens fond - surface). Les mesures ayant été effectuées au conductivimètre Chauvin et Arnoux, ces différences ne sont pas significatives.

En octobre 1966, nous avons mesuré la conductivité des eaux prélevées à 5 cm de la surface et à 0,30 m du fond, en 7 points des eaux libres, de l'archipel et d'un bras côtier. La profondeur variait de 1,7 à 4,3 m. Les écarts étaient compris de 0 à 1,7 %, pour les conductivités s'étalant de 48 à 195.

Station	Profondeur	Valeur brute mesurée en surface ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Valeur brute mesurée au fond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	écart (%)
Eaux-libres	3,50	48,2	47,6	+ 1,3
Eaux-libres	3,05	48,4	47,6	+ 1,7
Ilots-bancs	1,75	80,9	80,9	0
Bol (18 m de la rive)	#2	155,6	153,6	+ 1,4
Bol (bordure végétale)	#3	160,7	158,4	+ 1,3
Iga (Archipel)	4,25	195,4	193,9	+ 0,8
Mafou (Archipel)	#4	150,4	150,9	— 0,7
		150,5	150,4	à 0

Par la suite nous avons eu fréquemment l'occasion de faire des constatations analogues entre des eaux prélevées à 5 cm et 50 à 70 cm de la surface.

L'intervalle de variation par rapport à la moyenne est de 4,4 %.

• Milieu du bras (Somi-Guini).

— rive est	164
— Milieu	164
— rive ouest	178

L'intervalle de variation par rapport à la moyenne est de 8,3 %.

• Extrémité du bras.

— 5 m du bord	178
— 50 m du bord	172
— 50 m du bord, et 50 m plus à l'ouest	174

L'intervalle de variation par rapport à la moyenne est de 3,4 %.

Dans ce cas-là, le gradient longitudinal a pu entrer en ligne de compte.

On peut conclure qu'une mesure en un point situé à quelques mètres de la rive ou au milieu d'un bras est suffisamment représentative de la section lors d'un itinéraire dans le sens longitudinal des bras et permet de définir avec une précision suffisante le gradient longitudinal de la conductivité. Les faibles variations doivent être dues en partie aux erreurs de mesure, en partie à des courants locaux. Pour une étude dans le temps, en un point déterminé, il est probable que ces petites variations finissent par se compenser; ce que nous nous proposons de vérifier dans le programme en cours de réalisation.

Variations à l'échelle du lac.

Sur un itinéraire donné, il suffit de lire les cartes suivantes pour constater que la conductivité est très variable suivant les points du lac, mais qu'elle subit une évolution continue que des mesures espacées tous les un ou deux kilomètres suffisent généralement à caractériser. Il peut cependant parfois exister une discontinuité relativement brusque au débouché d'un bras dans un autre, par une passe étroite.

Les cartes suivantes fournissent le détail du tracé des courbes et des gradients de conductivité dans divers secteurs du lac. L'augmentation importante dans l'archipel et les *bahr* (bras) côtiers est systématiquement mise en évidence. Elles soulignent le rôle actuel de la Grande Barrière que l'on aurait pu penser amoindri, à la suite de la disparition actuelle d'un grand nombre d'îlots-bancs.

Afin de faire le point des études concernant la physico-chimie des eaux du lac Tchad, de mettre en évidence les variations saisonnières et interannuelles et d'en étudier certains mécanismes, nous présentons d'abord l'essentiel des documents antérieurs existants puis les résultats que nous avons obtenus.

III. - VALEURS DE LA CONDUCTIVITÉ DES EAUX DU LAC TCHAD

3.1. — Documents antérieurs (1908-1966)

3.1.1. - Documents de la mission Tilho (1908)

LAHACHE et FRANCIS MARRE donnaient dans les documents de la mission Tilho, les résultats d'analyses qu'ils avaient effectuées sur des échantillons d'eau du lac Tchad. En raison de l'intérêt particulier de ces renseignements mais de leur interprétation délicate, nous avons préféré présenter l'original en annexe 1.

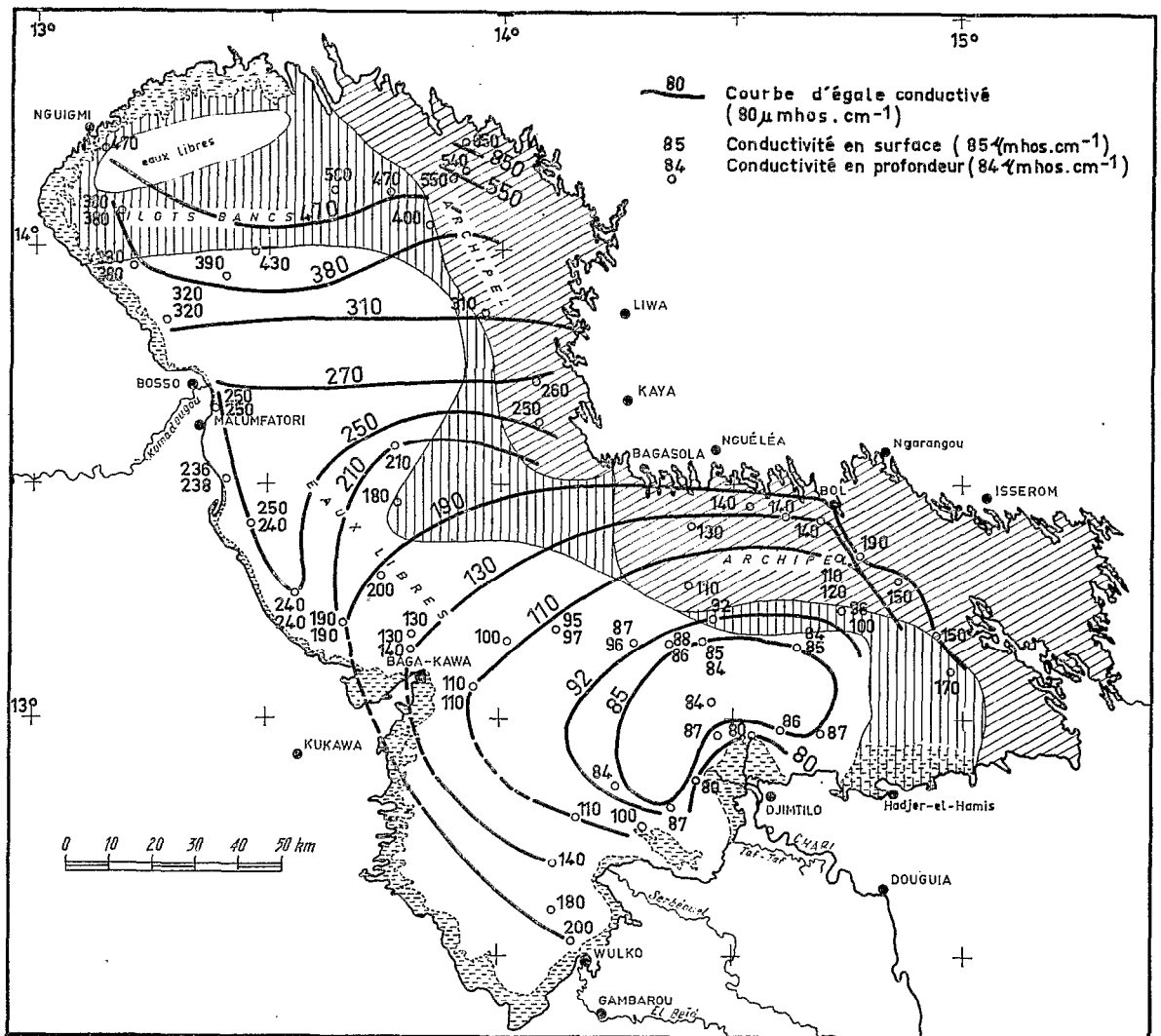


Fig. 2. — Conductivité électrique des eaux du lac Tchad (d'après les travaux de E. GUICHARD) du 19 mai au 5 juin 1957.

Tous les résultats semblent donnés en g/l. La première analyse doit pouvoir être interprétée ainsi :

Résidu soluble : 0,093 mg/l
Cl : 0,020 mg/l soit 0,6 me/l
Ca : indosé, traces.
Mg : indosé, traces.
indéterminé : 0,073

On aurait ainsi résidu soluble = Cl + indéterminé.

On peut maintenant se demander quelle est la signification des analyses de chlore effectuées sur 20 ml d'eau, bien qu'il soit mentionné en annexe que les dosages ont été faits par JOHN SCHMIDT (Danemark) « d'après la méthode titrimétrique chromo-argentique... Le procédé consiste à déterminer la teneur en chlore d'un échantillon par comparaison avec celle connue d'avance d'un échantillon d'eau de mer (*standard water*), ce qui donne une détermination des plus précises ». La concentration actuelle à Bol est inférieure à 0,05 me/l.

Les données concernant Ca et Mg sont fausses, car ces ions existent en quantité relativement importante dans les eaux du lac.

Il est précisé en annexe que les eaux de la partie nord du lac avaient été prélevées dans les puits de *bahr* récemment asséchés.

On conclura, vu la signification que l'on peut attribuer à ces données, qu'en 1908 les eaux du lac ne devaient pas avoir une concentration globale très différente de celles observées de 1962 à mars 1968.

3.1.2. - Conductivité de l'ensemble du lac, du 19 mai au 5 juin 1957.

Une première carte de la conductivité a été tracée par GUICHARD, E. (1957) à la suite d'une mission sur l'ensemble du lac (fig. 2), BOUCHARDEAU, A. (1958) a publié à partir de ces valeurs, une carte de concentration des eaux en « natron ».

Elle montrait pour la première fois que la concentration en sels s'accroît vers le nord en dessinant des courbes d'égales teneurs concentriques au delta du Chari.

Le tracé de la courbe 250 semble assez discutable.

Il ressort des comparaisons avec les cartes établies par nous-mêmes de 1966 à 1968, que la partie méridionale était plus minéralisée qu'actuellement tandis que l'inverse s'observe pour la partie septentrionale. Toutefois, au stade actuel de nos connaissances, il n'est pas impossible que cette différence soit simplement rattachable aux variations saisonnières des conductivités.

3.1.3. - Conductivité de la région sud-est, du 19 au 29 mai 1962.

Cette carte (fig. 3), ainsi que les deux suivantes, ont été dressées à partir de mesures mentionnées dans les rapports d'activité de GRAS, R. (inédits). Les points étaient repérés par leurs coordonnées géographiques.

Aucune différence notable n'apparaît avec les mesures effectuées 5 et 6 ans plus tard (§ 3.2).

3.1.4. - Conductivité de la région sud-est, du 29 juin au 9 juillet 1962.

Cette carte (fig. 4) correspond au début de la remontée des eaux du Chari et au minimum de niveau du lac.

En s'éloignant du delta, on constate un gradient rapide des valeurs qui atteignent un maximum de 95 au milieu des eaux-libres, puis décroissent à nouveau jusqu'à l'entrée de l'archipel.

Cette répartition s'explique à la fois par la quantité et la qualité des eaux débouchant dans le lac au delta du Chari (§ 4.1.).

Dans la passe de Bol et celle immédiatement à l'est, la minéralisation apparaît sensiblement la même ou légèrement plus faible que de 1965 à 1968. Par contre plus à l'est on peut constater qu'elle est nettement plus élevée que celles mesurées par la suite, dépassant brusquement 160.

Donc au début de juillet 1962, les conductivités apparaissent nettement plus élevées que toutes celles observées par la suite, mais la cause est probablement à rattacher à l'époque de

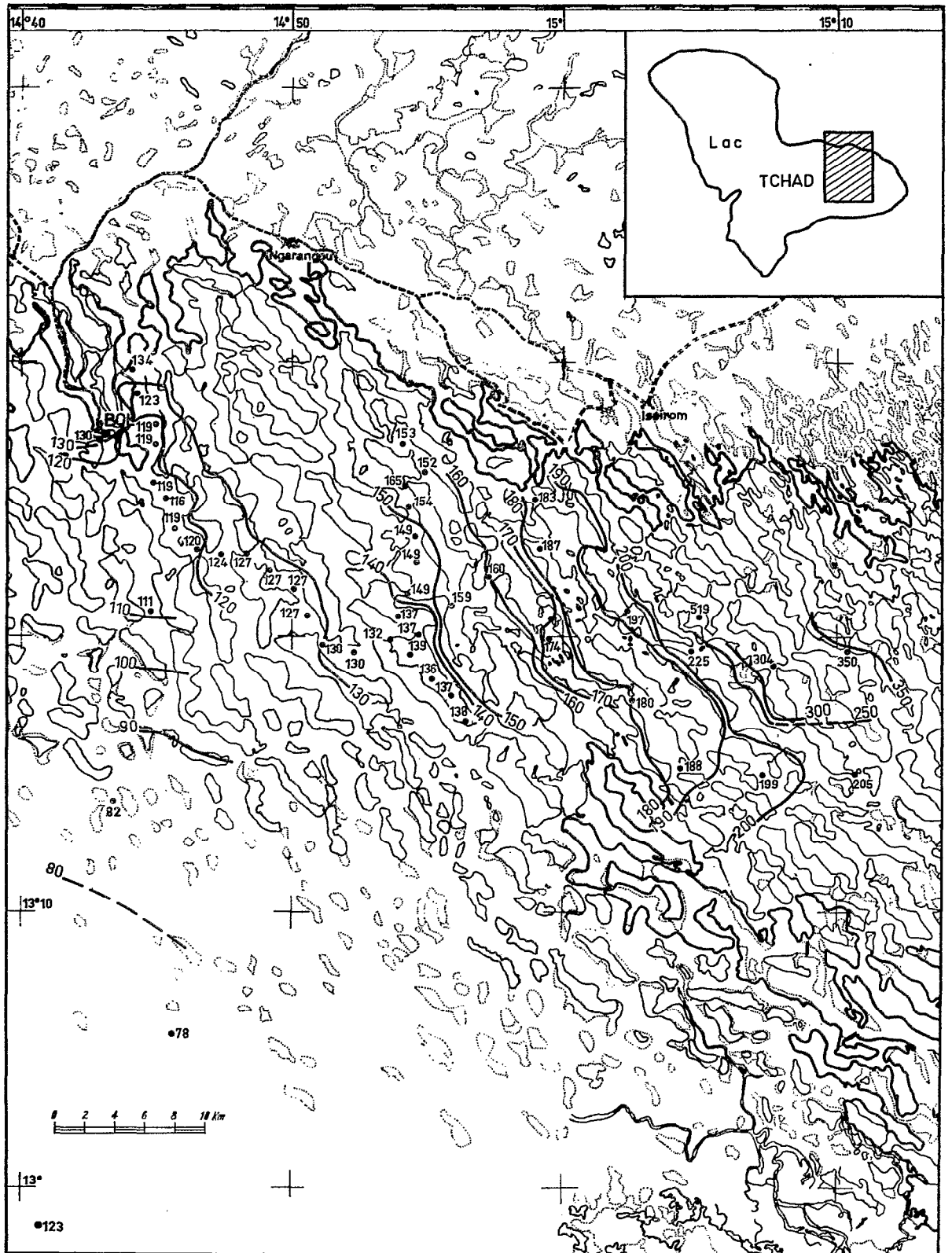


Fig. 3. — Conductivité des eaux de la région est du lac Tchad du 19 au 29 mai 1962
(d'après les mesures effectuées par R. GRAS).

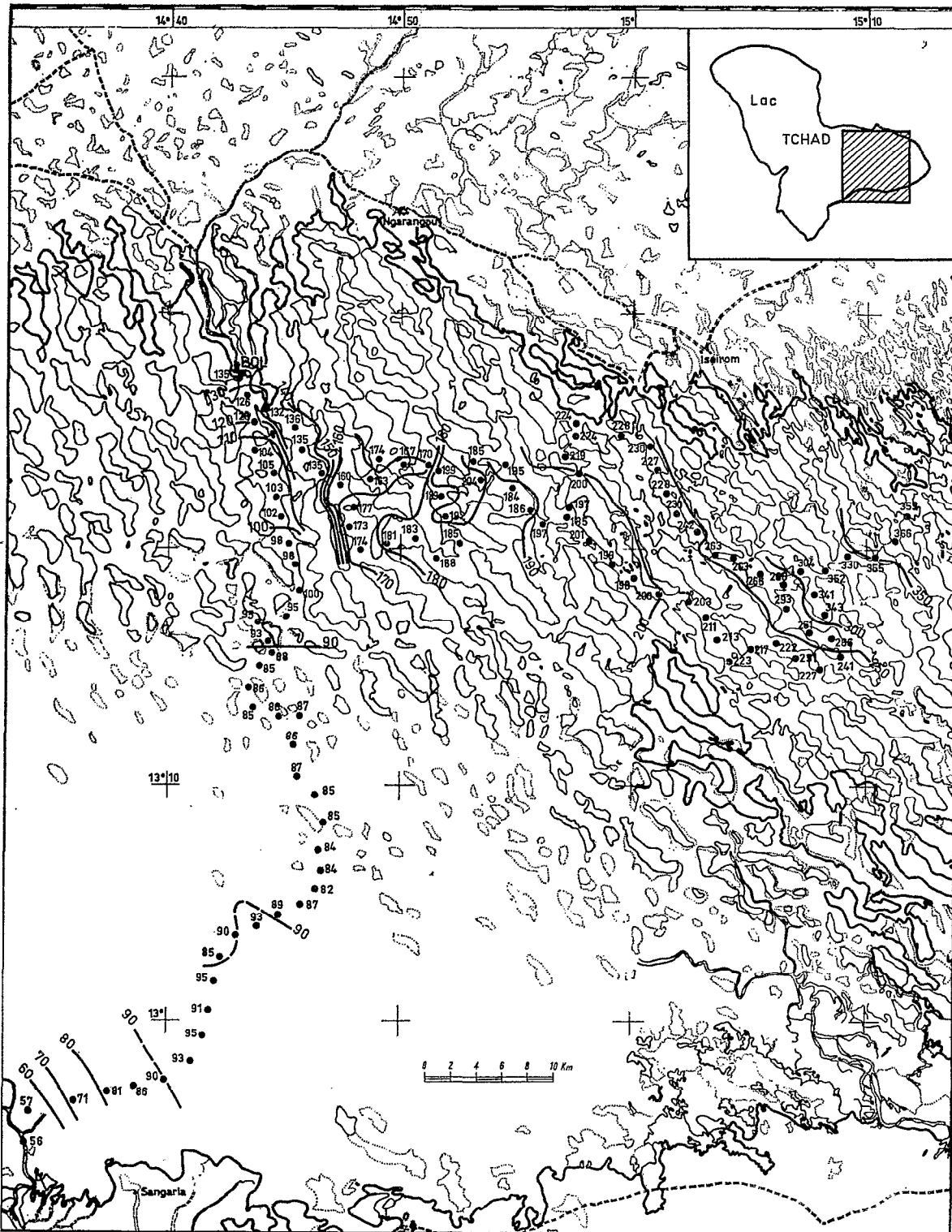


FIG. 4. — Conductivité des eaux de la région sud-est du lac Tchad du 29 juin au 9 juillet 1962 (d'après les mesures de R. GRAS).

l'année qui fait suite aux apports mensuels les plus faibles et à toute la saison sèche, pendant laquelle l'évaporation est particulièrement intense (§ 4.2.1.a, 4.2.2.a et 4.3.1.a).

3.1.5. - *Conductivité de l'archipel entre Bol et Baga Sola, du 29 août au 7 septembre 1962.*

Cette carte (fig. 5) peut être comparée à celles dressées en 1957 (fig. 2), avril et décembre 1967 (fig. 13 et 15) puis janvier et mars 1968 (fig. 16 et 19), la même zone ayant été parcourue. En mai 1957, les valeurs étaient nettement plus élevées; elles paraissent comparables en 1967 et 1968.

3.1.6. - *Conductivité de la région sud-est, d'août 1964 à septembre 1965.*

Les résultats utilisés sont tirés des ouvrages de GRAS, R. (1964) et GRAS, R., ILLIS, A. et LEVEQUE-DUWAT, S. (1967). Nous avons reporté sur un graphique (fig. 6) les conductivités mesurées tous les mois, d'août 1964 à septembre 1965, en 12 stations situées entre le delta et Bol et dans le «golfe» d'Iseïrom — Doum Doum. La courbe de variation de la conductivité et des débits du Chari à Fort-Lamy (Chari + Logone) ainsi que celle des niveaux du lac à Bol a également été tracée.

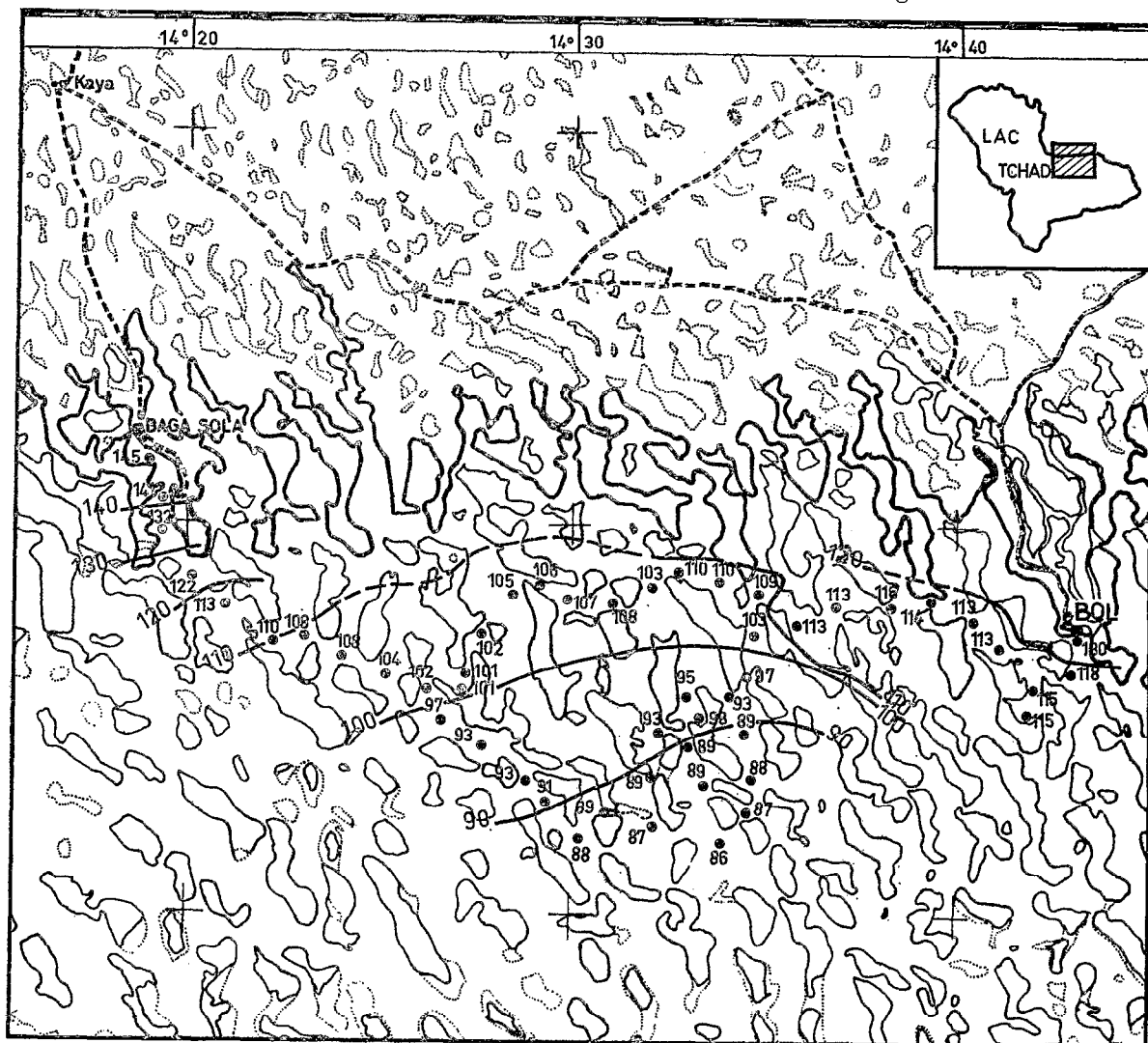


FIG. 5. — Lac Tchad.
Conductivité des eaux de l'archipel entre Bol et Baga Sola du 29 août au 7 septembre 1962
(d'après les mesures de R. GRAS).

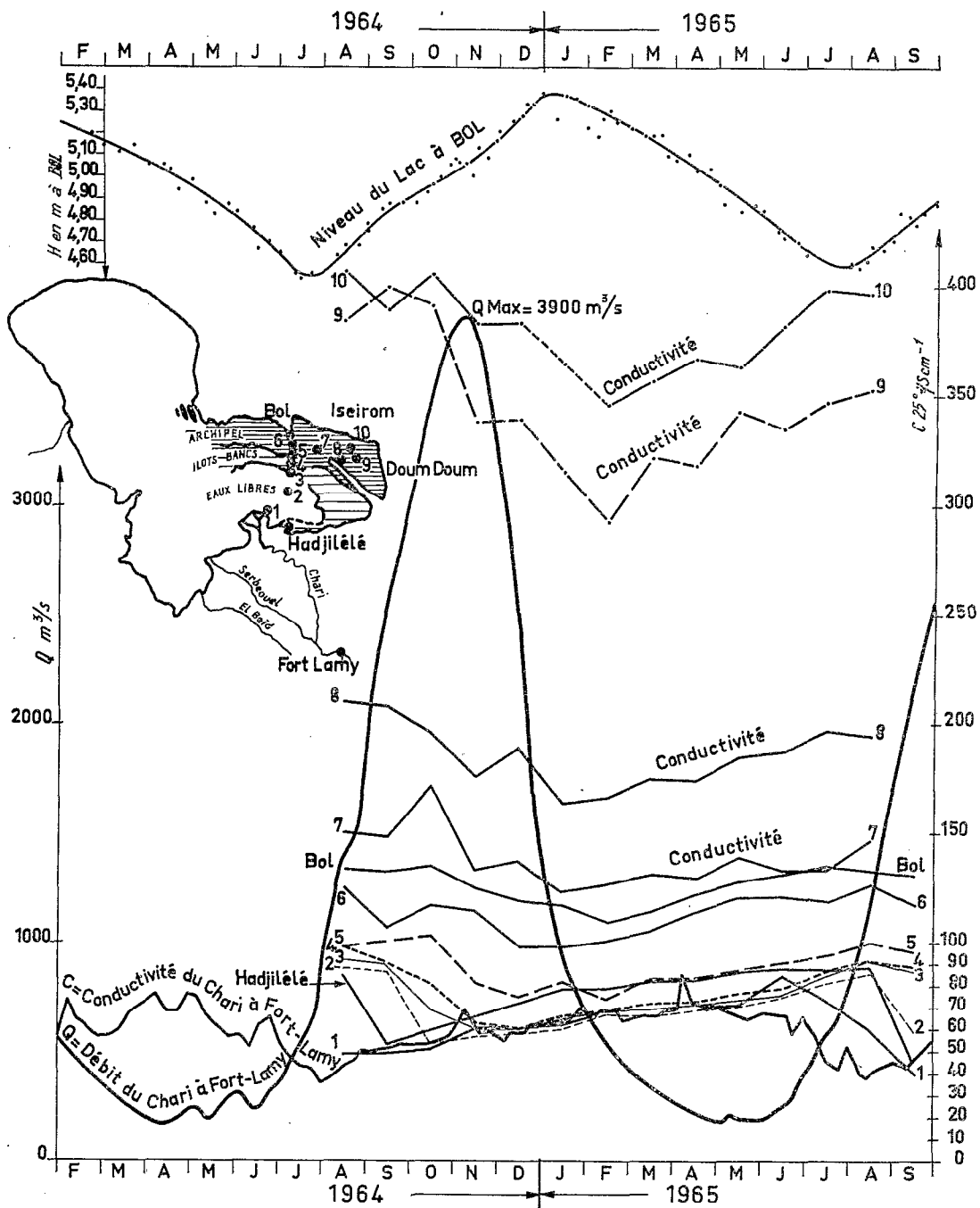


Fig. 6. — Année 1964-1965. Conductivité électrique des eaux en différentes stations de la région sud-est du lac Tchad (d'après GRAS, R., ILTIS, A. et LEVEQUE-DUMAT, S. — 1967).
 Hydrogramme et conductivité électrique du Chari à Fort-Lamy, variation du niveau du lac à Bol.

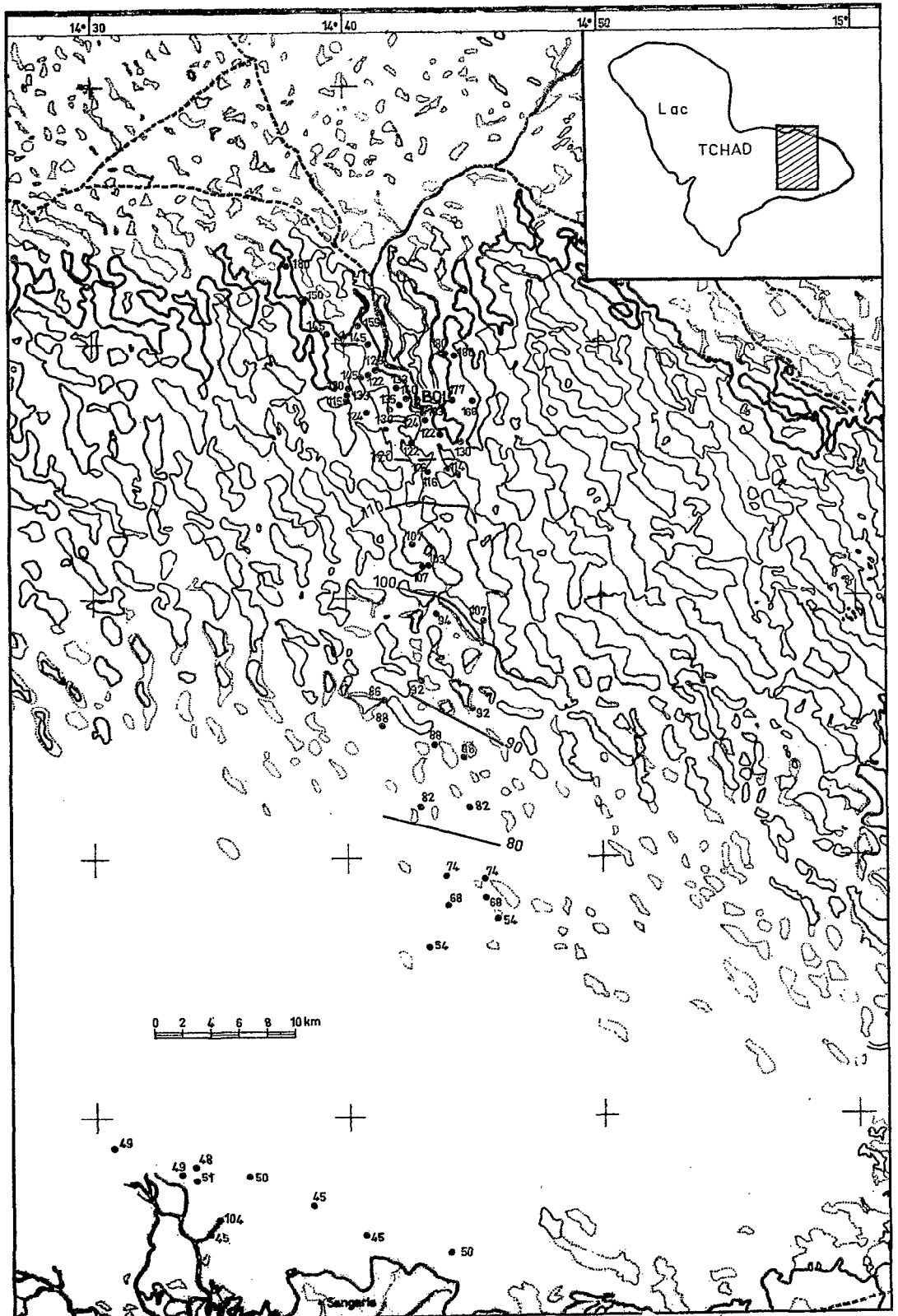


FIG. 7. — Conductivité des eaux de la région sud-est du lac Tchad du 27 septembre au 7 octobre 1965 (d'après les travaux de B. DUPONT (1968).

Le tableau du paragraphe 4.3.1.a. présente les valeurs maximale, minimale et moyenne, l'écart maximal et l'intervalle de variation relatif à la moyenne en chaque station.

On peut seulement dire sans trop de précision, que le minimum de la conductivité apparaît entre août (en 1964) et septembre (en 1965) à la station 1, en septembre à Hadjilé, en octobre à la station 2, en novembre à la 3, en décembre à la 4 (fig. 6). Le maximum de la conductivité est atteint lentement à ces stations mais il est plus net que celui des eaux du Chari. Il se produit en août, sauf à la 1 où l'on observe déjà une décroissance. Cette évolution est liée principalement à la progression de la crue du Chari dans le lac (§ 4.1.1.).

Dans l'archipel, le minimum est étalé de décembre à février aux stations 5 et 6; il se situe en janvier ou février aux 7, 8, 9, 10 et à Bol. Le maximum, généralement moins net se situe entre juillet et octobre suivant les stations. Ces variations s'expliquent en grande partie par le jeu de la concentration par évaporation (§ 4.2.1.a, 4.2.2.a.) et du décalage des masses liquides sous la poussée de la crue annuelle du Chari (§ 4.3.1.a.).

3.1.7. - Conductivité entre le delta et la région de Bol, du 27 septembre au 7 octobre 1965.

Cette carte (fig. 7) a été dressée par DUPONT, B. (1967), d'après des mesures effectuées au conductivimètre Chauvin et Arnoux.

Par rapport aux autres documents existant, nous pouvons seulement remarquer des valeurs relativement faibles dans les bras de Bol-Matafo et de Choua.

3.1.8. - Conductivité de la région du delta, du 3 au 5 juin 1966.

Cette autre carte (fig. 8) a été effectuée par DUPONT, B. (1967) dans la région du delta du Chari, du 3 au 5 juin 1966. Nous observons, à cette époque de l'année, un gradient marqué des conductivités dès que l'on s'éloigne du delta. Ce phénomène (§ 4.1.1.) est le même que celui qui apparaît dans les documents de juillet 1962 et de 1964-1965.

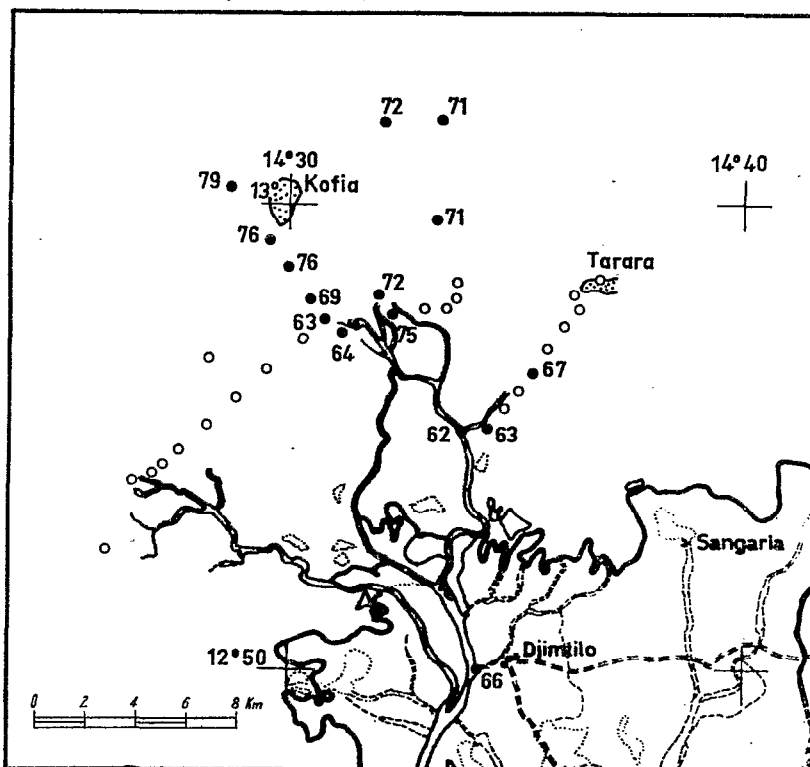


FIG. 8. — Conductivité des eaux dans le delta du Chari et les eaux-libres du lac Tchad du 3 au 5 juin 1966 (d'après DUPONT B. (1968).

3.2. — Documents établis d'octobre 1966 à mars 1968.

3.2.1. - Conductivité de la région sud-est, du 20 au 27 octobre 1966.

Ce document (fig. 9) inaugure la série de mesures que nous avons effectuées par la suite à partir de 1966. Cette campagne avait été précédée, en mars 1966, par un échantillonnage en vue des premières analyses isotopiques de l'oxygène des eaux du lac.

Un an et 15 jours après les mesures effectuées en octobre 1965 sur l'itinéraire commun, on retrouve les courbes 60 à 80 légèrement décalées vers le nord (§ 4.3.1.a.). Dans le *bahr* de Bol-Matafo par comparaison avec les autres cartes, il semble se produire, au moment des mesures, un courant en sens inverse, c'est-à-dire dirigé vers le sud. La courbe 150, qui ne descend pas généralement au-delà de la passe étroite qui commence le bras, se situe alors à la pointe septentrionale de l'île de Yakoua. Ce courant est très probablement en relation avec les petites oscillations du niveau du lac (§ 4.3.1.d.).

3.2.2. - Conductivité de la région sud-est, du 15 au 22 novembre 1966.

Un mois après la campagne précédente, les courbes 70 à 90 sont nettement décalées vers le nord (fig. 10), (§ 4.3.1.a.).

Les eaux du bras de Bol-Matafo semblent avoir des conductivités plus normales que lors des mesures du mois précédent. Le bras de Choua, prospecté jusqu'à son extrémité, recèle des eaux dont la conductivité atteint 250 à son extrémité. Dans l'archipel situé au sud de la presqu'île de Kouloudia, les conductivités, mesurées pour la première fois, paraissent relativement faibles (< 150).

3.2.3. - Conductivité des eaux de la région sud-est, du 17 au 23 janvier 1967.

Rappelons que cette période de l'année correspond au maximum du niveau du lac, lequel cette année-là continuait à descendre après les faibles crues du Chari de 1965 et 1966.

On observe (fig. 11) une diminution de la conductivité dans les eaux libres en s'éloignant du delta (§ 4.1.1.).

Les *bahr* à l'est et à l'ouest de Ngarangou ont été prospectés systématiquement. La valeur maximale atteint 350. Le fond du *bahr* de Kouta révèle les conductivités les plus fortes de la côte située entre Baga Sola et Iseïrom, soit 367 pour cette époque de l'année.* Par rapport à novembre 1966, on constate dans le bras de Choua une diminution générale de la conductivité, inférieure à 10 % probablement consécutive au décalage des eaux vers le nord sous la poussée de la crue du Chari (4.3.1.a.)

3.2.4. - Conductivité des eaux de l'ensemble du lac, du 26 février 1967 au 10 avril 1967.

Cette carte (fig. 12, 13, 14) a été dressée à partir des résultats obtenus au cours de deux missions consécutives. La première, dans la région sud-est du lac, eut lieu du 26 février au 3 mars. La seconde commença trois semaines plus tard (ILTIS, A. et ROCHÉ, M.A. 1967). Elle avait été précédée de deux survols de reconnaissance du lac. Afin de tracer une carte la plus complète possible, nous avons tenu compte de l'allure générale des courbes des cartes précédentes de la partie sud pour les extrapoler (en tiretés) dans les zones non prospectées lors de cette campagne.

Dans le « compte rendu de mission sur le lac Tchad, du 23 mars au 11 avril 1967 » sont présentés l'itinéraire daté, les travaux exécutés, les principaux caractères des zones prospectées et des remarques concernant la navigation.

Au nord du delta (fig. 12), on note à nouveau la décroissance des conductivités dans les eaux libres (§ 4.1.1.).

* Le fond du bras semblait avoir été barré par une digue de sable, détruite lors de notre passage.

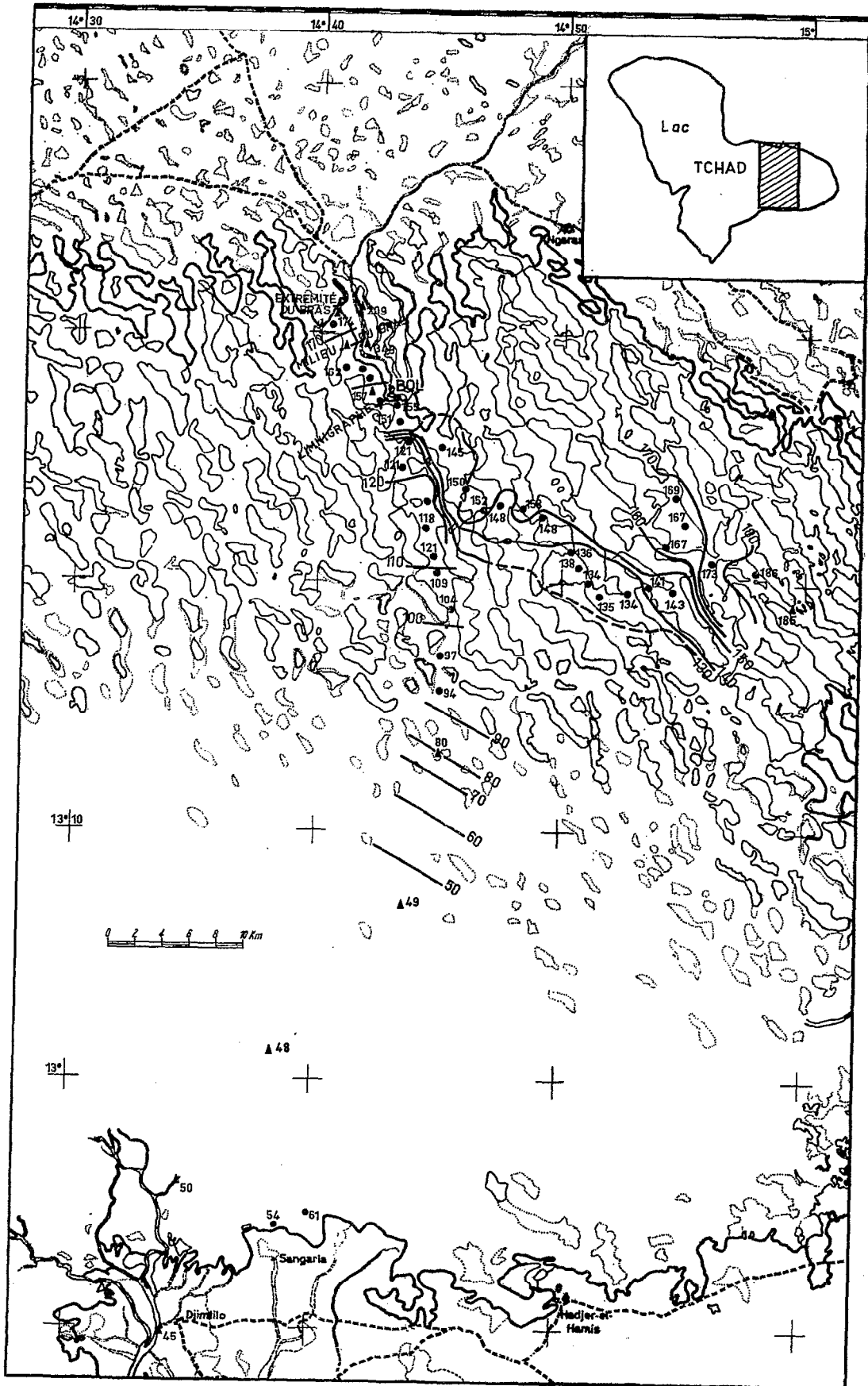


FIG. 9. — Conductivité des eaux de la région sud-est du lac Tchad du 20 au 27 octobre 1966.
(par M. A. ROCHE).

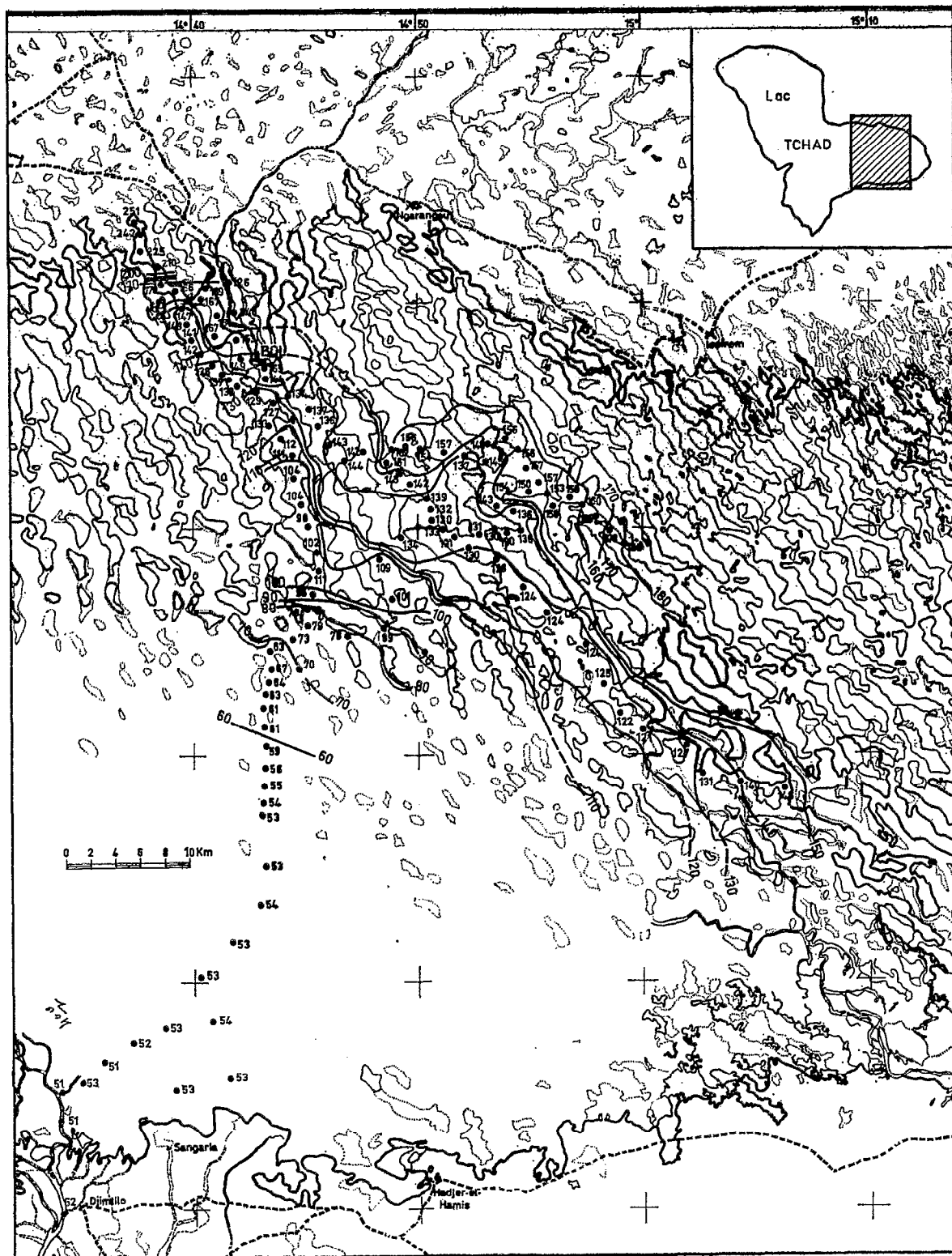


FIG. 10. — Conductivité des eaux de la région sud-est du lac Tchad du 15 au 22 novembre 1966.
 (par M. A. ROCHE et J. L. LE GUILLOU),

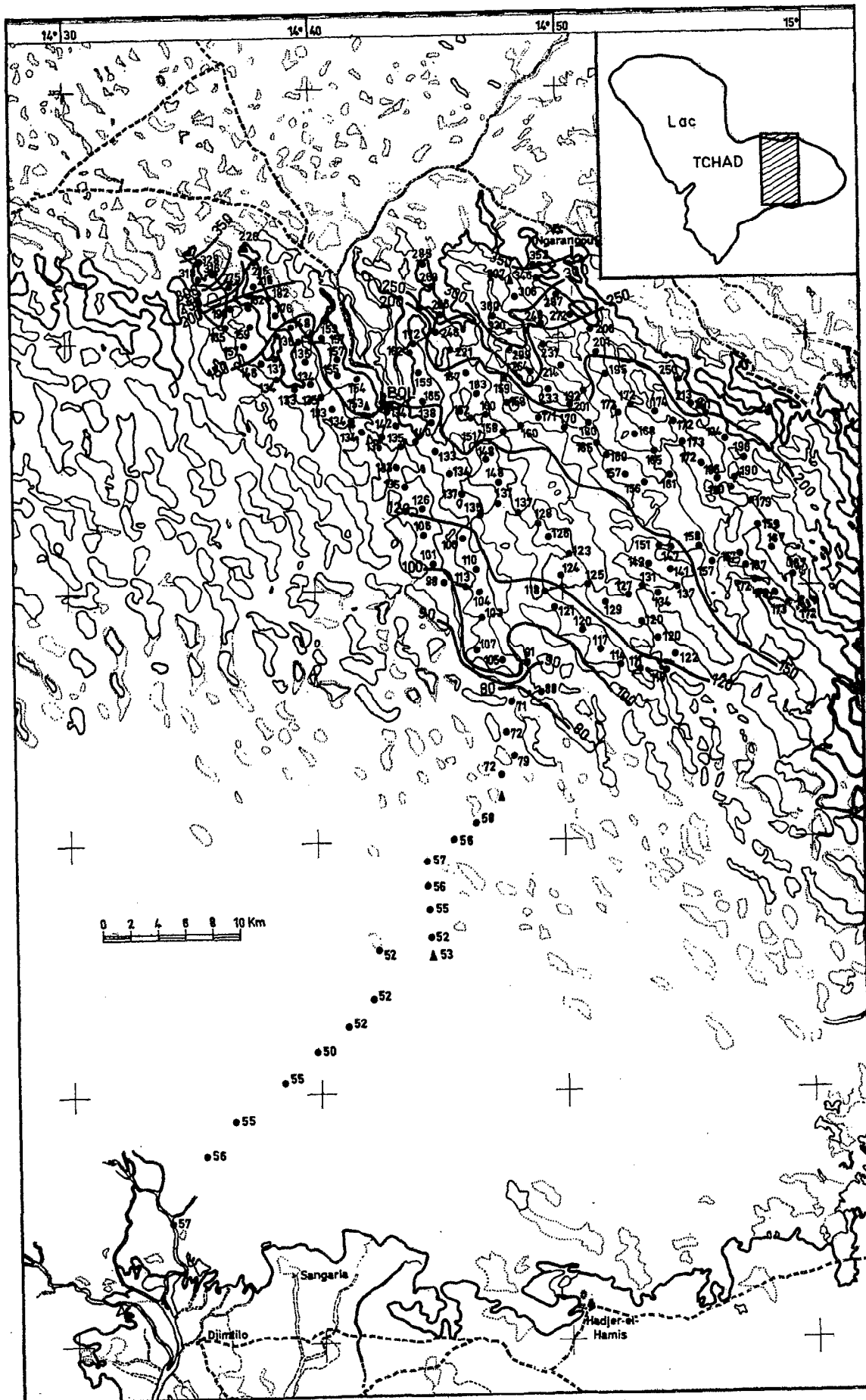


FIG. 11. — Conductivité des eaux de la région sud-est du lac Tchad du 17 au 23 janvier 1967.
(Par M. A. ROCHE).

Le « golfe » d'Iseïrom - Doum Doum (fig. 13) a été prospecté du 26 au 28 février, partout où il était possible de passer avec la pinasse. Lors d'un survol en avion, le 25 février, nous avons observé que la partie orientale du golfe est encombrée de végétation (essentiellement de Phragmites) qui, diminuant peu à peu la largeur des bras de l'archipel, les rend rapidement inaccessibles, même en pirogue. L'itinéraire suivi par le bateau trace la limite d'accessibilité vers l'est. Les conductivités extrêmes que nous y avons mesurées varient de 300 à 600.

Par rapport à la carte de juillet 1962, on note des conductivités plus faibles sur tout l'itinéraire commun, cependant elles tendent à devenir sensiblement égales ou légèrement supérieures dans la partie extrême est.

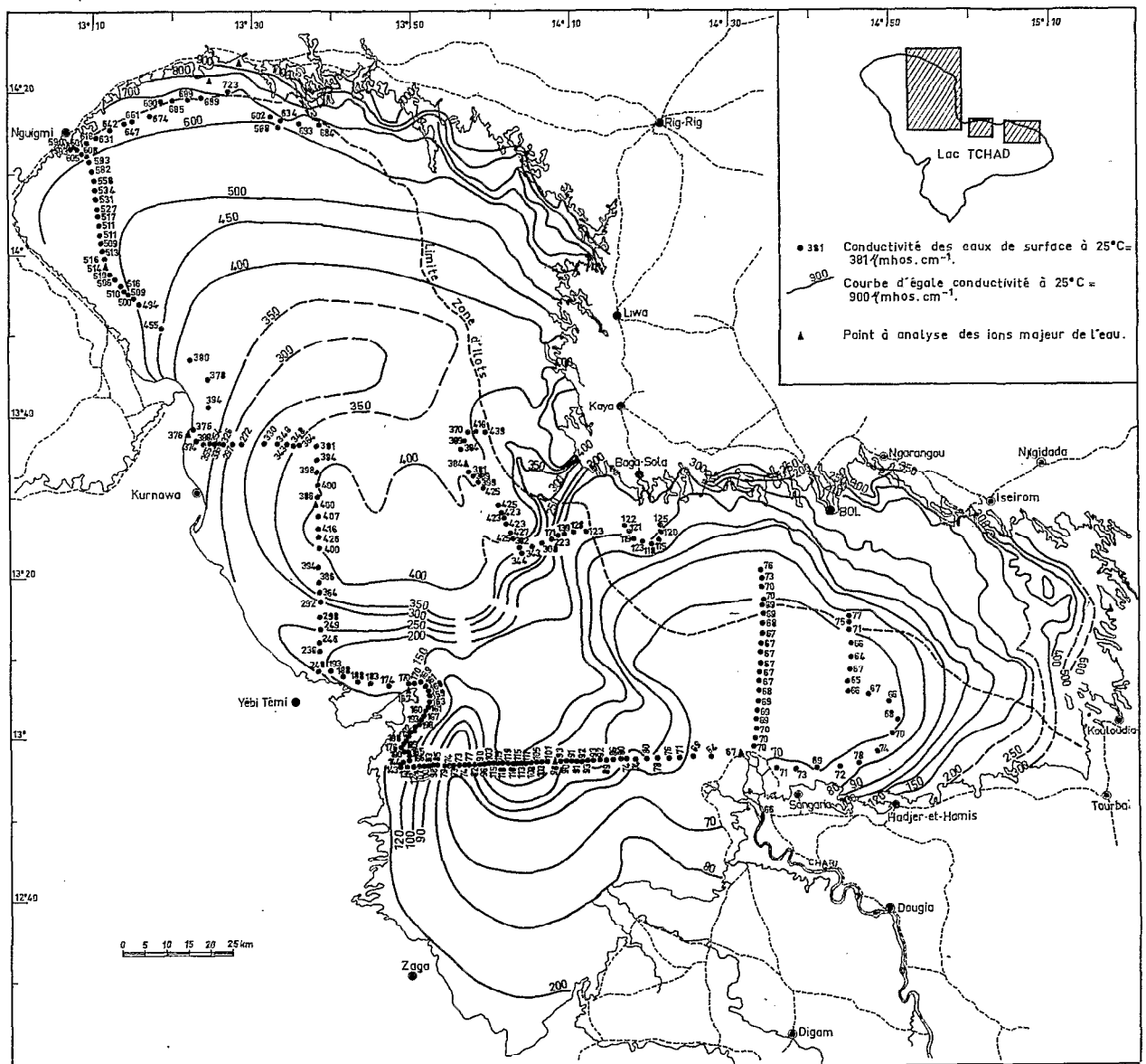


FIG. 12. — Conductivité électrique des eaux du lac Tchad du 26 février au 10 avril 1967. par M. A. ROCHE.

Les *bahr* entre Baga Sola et Ndjowa (fig. 13) ont été prospectés pour la première fois du 8 au 10 avril. Les conductivités maximales, dans le fond des *bahr* côtiers s'échelonnent de 157 à 314.

Donc pendant cette période, les conductivités maximales observées sur la côte septentrionale de la partie sud (fig. 13) varient suivant les bras, de 157 à 600.

A l'ouest du delta, la transversale effectuée en direction des rives nigérianes (fig. 12), met en évidence, à cette époque de l'année, un accroissement de la conductivité au milieu des eaux-libres, où nous avons observé un maximum de 119 (§ 4.1.2.). Dans cette zone, la profondeur est relativement faible. (Les profondeurs, mesurées aux deux points de prélèvement pour analyses physico-chimiques, étaient de 2,80 m). L'ensemble de cette zone se dessine sur les anciennes cartes (telles celle de BOUCHARDEAU, A. et LEFEVRE, R. - 1957), où elle figure en îlots-bancs. C'est-à-dire qu'il s'agit d'une région où les hauts fonds sont fréquents et où la moyenne des profondeurs est relativement plus faible que celle des eaux-libres situées aux alentours. Soulignons cependant que sa partie méridionale, lors de notre traversée, était dégagée de toute végétation; il est vrai que ce jour-là, la visibilité ne devait pas dépasser 5 km (§ 4.2.2., 4.3.2.).

On remarque qu'à cette époque de l'année, la Grande Barrière mérite son nom, du moins dans le tracé des courbes d'égales conductivités qui dessinent une « zone » de valeurs supérieures à 400 (maximum observé : 433) partant de la côte de la région de Kaya, en direction des eaux-libres du nord (§ 4.2.2., 4.3.2.).

Contrastant avec celles-ci, on observe à cette date des zones à conductivités plus faibles qui semblent correspondre à des courants de circulation préférentielle des eaux, dirigés du delta du Chari vers la partie septentrionale du lac.

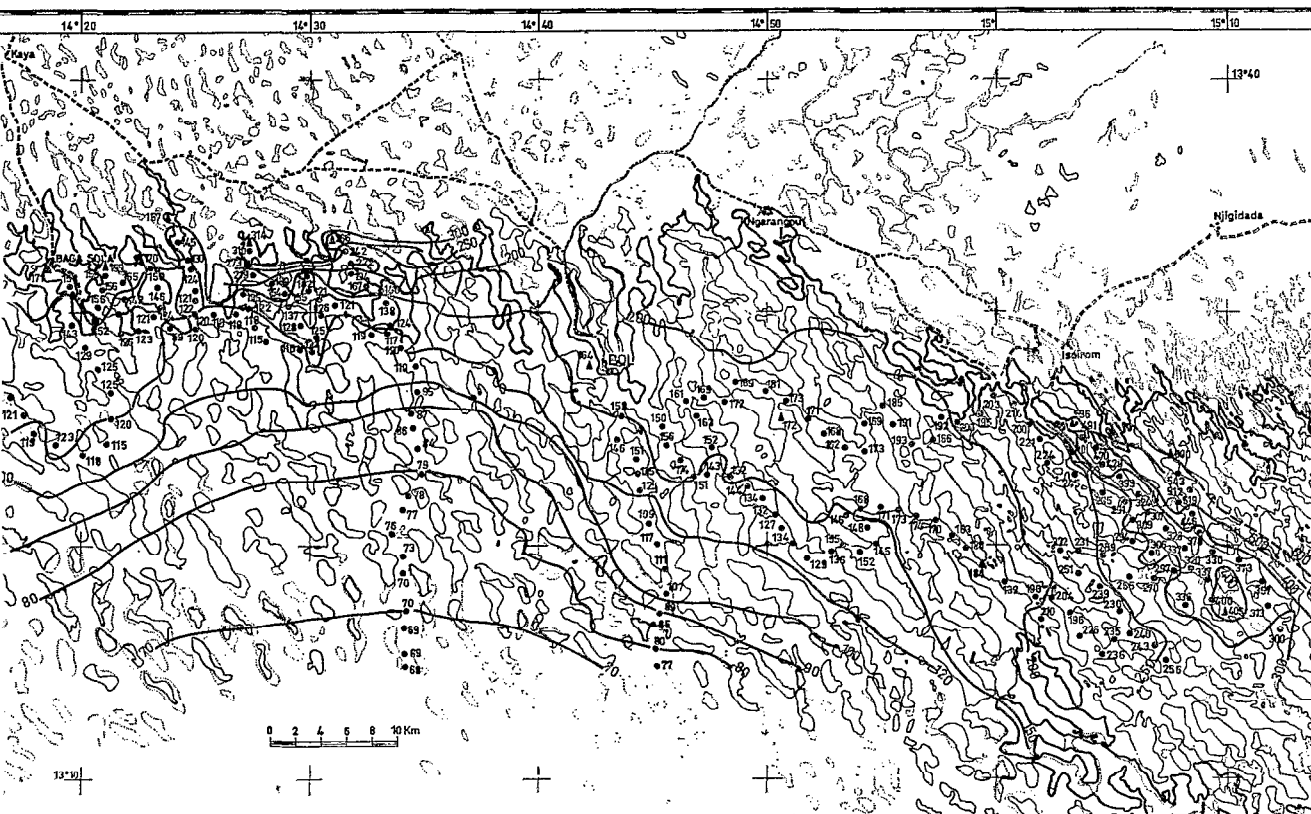


FIG. 13. — Conductivité électrique des eaux du lac Tchad. Archipel à l'est de Bol, du 26 février au 3 mars 1967. Archipel de Baga Sola, du 8 au 19 avril 1967. par M. A. ROCHE.

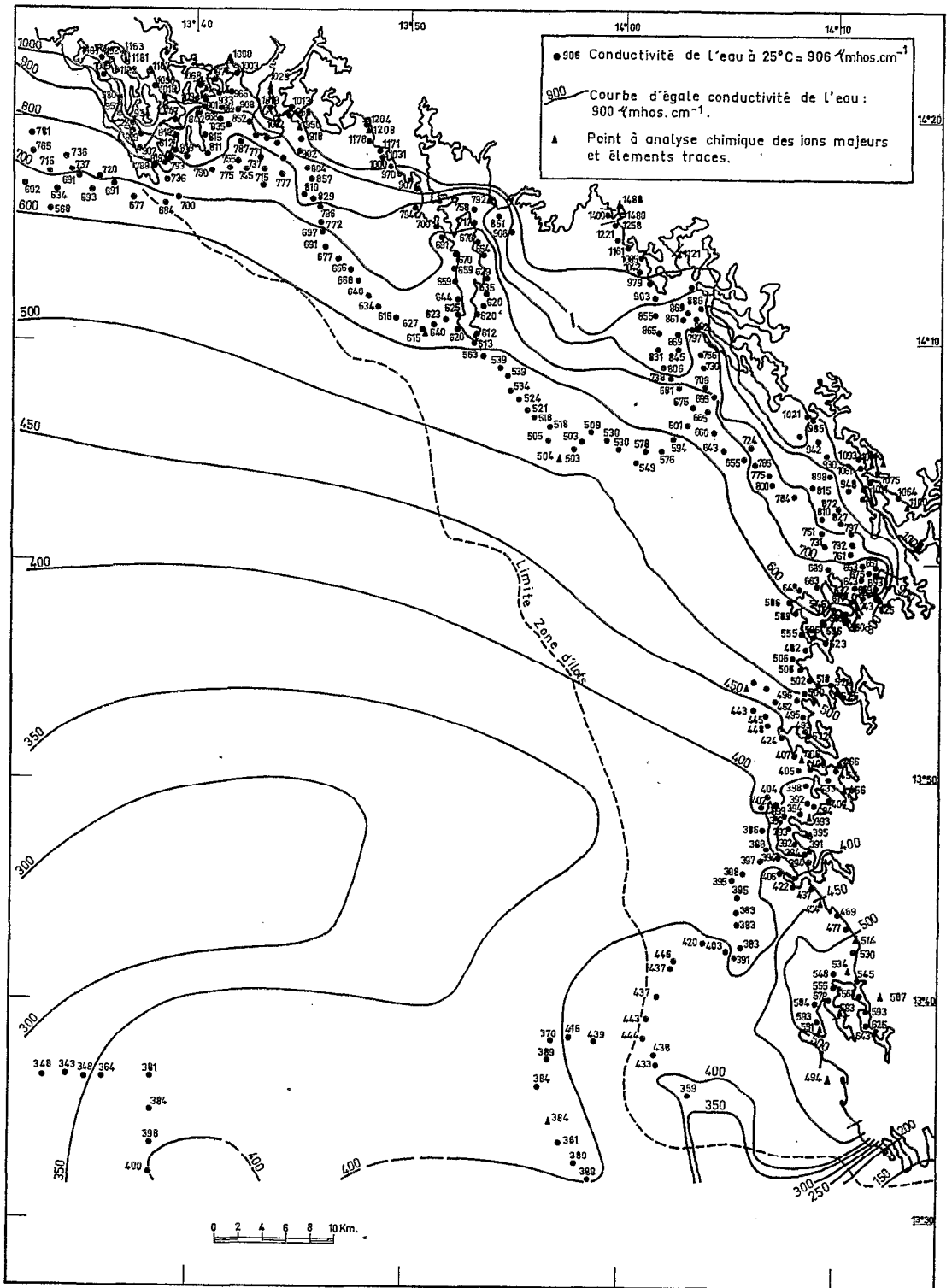


Fig. 14. — Conductivité des eaux de la région nord-est du lac Tchad du 31 mars au 7 avril 1967 par M. A. ROCHE.

L'une, que nous avons recoupée trois fois, semble contourner par le sud les masses liquides plus minéralisées situées à l'ENE du delta puis passer au large de Baga Kawa, pour gagner la partie nord en longeant la côte nigériane. Elle correspond généralement à des fonds plus importants, d'après les quelques mesures que nous avons faites.

L'autre, alors probablement en régression, se situe dans la zone de Dalari et monte vers l'archipel de Baga Kiskra à travers la Grande Barrière (fig. 14). Il n'est pas impossible qu'il existe à cette époque d'autres « ponts » de plus faibles conductivités à travers cette partie médiane du lac.

Soulignons dès maintenant qu'une autre carte dressée en janvier 1968 (fig. 16 et 17), vient confirmer l'hétérogénéité des concentrations dans cette partie médiane, tout en montrant la mobilité et l'importance variable de ces zones au cours de l'année.

Au-delà de la Grande Barrière et des eaux-libres du nord, les courbes montrent ensuite un tracé plus classique, parallèle à la côte septentrionale (fig. 12 et 14). Les bras côtiers ont été prospectés de Nguigmi à Dalari (et de Baga Sola à Ndjowa). La courbe de conductivité 600 va de la pointe extrême ouest du lac à la région de Liwa. Au nord de cette courbe, les conductivités atteignent au fond des *bahr* 1000 à 1200 de Kasakia à Fidendom, la valeur maximale mesurée étant 1488 (fig. 14).

3.2.5. - Conductivité de la région sud-est, du 29 novembre au 9 décembre 1967*

Cette carte (fig. 15) montre encore la décroissance des conductivités dans le milieu des eaux-libres. Les valeurs, mesurées dans les bras côtiers entre Baga Sola et Iseïrom, peuvent être comparées à celles du début de l'année (janvier et avril 1967 - fig. 11 et 13) : on constate que les conductivités tendent à diminuer dans certains bras et à augmenter dans d'autres. Toutefois les décroissances sont en général plus nettes.

3.2.6. - Conductivité des régions nord et sud-est, du 4 au 24 janvier 1968.

La hauteur d'eau à l'échelle de Bol a varié de 4,37 à 4,08 m pendant la durée de la campagne. Elle était donc très légèrement supérieure à celle de mars et avril 1967 (4,19 à 4,03 m). Ces cotes incluent les oscillations journalières.

Au nord du delta, on observe la diminution de la conductivité dans les eaux-libres (fig. 16 et 17). Par rapport à mars-avril 1967, on y remarque aussi une diminution générale des valeurs (§ 4.1.1.).

Au sud-ouest de Baga Sola, on assiste à un décalage des courbes d'égales conductivités vers le nord-ouest, en direction de la région de Dalari où la zone de faible minéralisation est beaucoup plus développée à cette époque de l'année qu'en avril (1967). La courbe 400 est interrompue et des eaux, de conductivité inférieure à 350, pénètrent dans la région de Baga Kiskra. À cette époque de l'année, correspondant au maximum du niveau du lac, ces zones de faibles valeurs doivent traduire sans équivoque des courants de circulation préférentielle vers la partie nord (§ 4.1.1., 4.3.1.a, 4.3.2.).

Les fortes concentrations axées sur la Grande Barrière (maximum de conductivité observé : 495) sembleraient s'allonger plus vers le nord-est, comme repoussées, sans grand mélange, par la crue annuelle du Chari (§ 4.3.1.a, 4.3.2.).

Le courant de la côte nigériane semble apporter plus au nord des eaux moins minéralisées qu'en mars (1967), des conductivités de l'ordre de 200, dépassant la latitude de Boso.

Au-delà de la courbe 500, la diminution relative à mars-avril (1967) est quasi générale, mais reste inférieure à 10 % (§ 4.2. et 4.3.).

* La pinasse de l'O.R.S.T.O.M. ayant coulé à Moundou, les campagnes sur le lac ont dû être interrompues d'avril à novembre 1967.

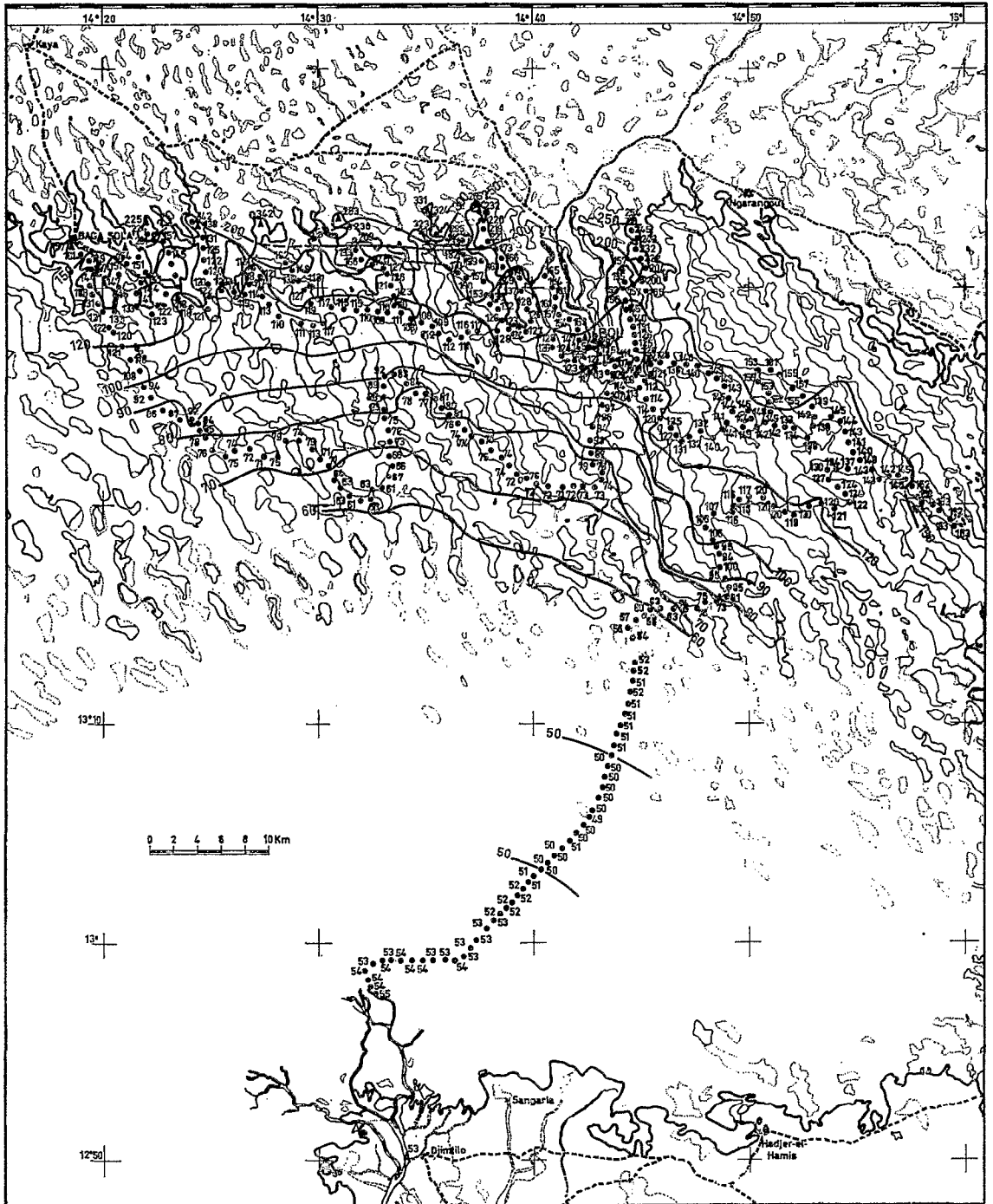


FIG. 15. — Conductivité des eaux de la région sud-est du lac Tchad du 29 novembre au 9 décembre 1967. par M. A. ROCHE.

3.2.7. - Conductivité de la région sud-est, du 11 au 19 mars 1968.

La décroissance habituelle de la conductivité dans les eaux-libres est constatée (fig. 19). Tous les *bahr* côtiers compris entre Baga Sola et Iseïrom ont été parcourus. Les conductivités maximales varient de 121 à 407. A cette date, elles sont parmi les valeurs les plus faibles observées sur cet itinéraire.

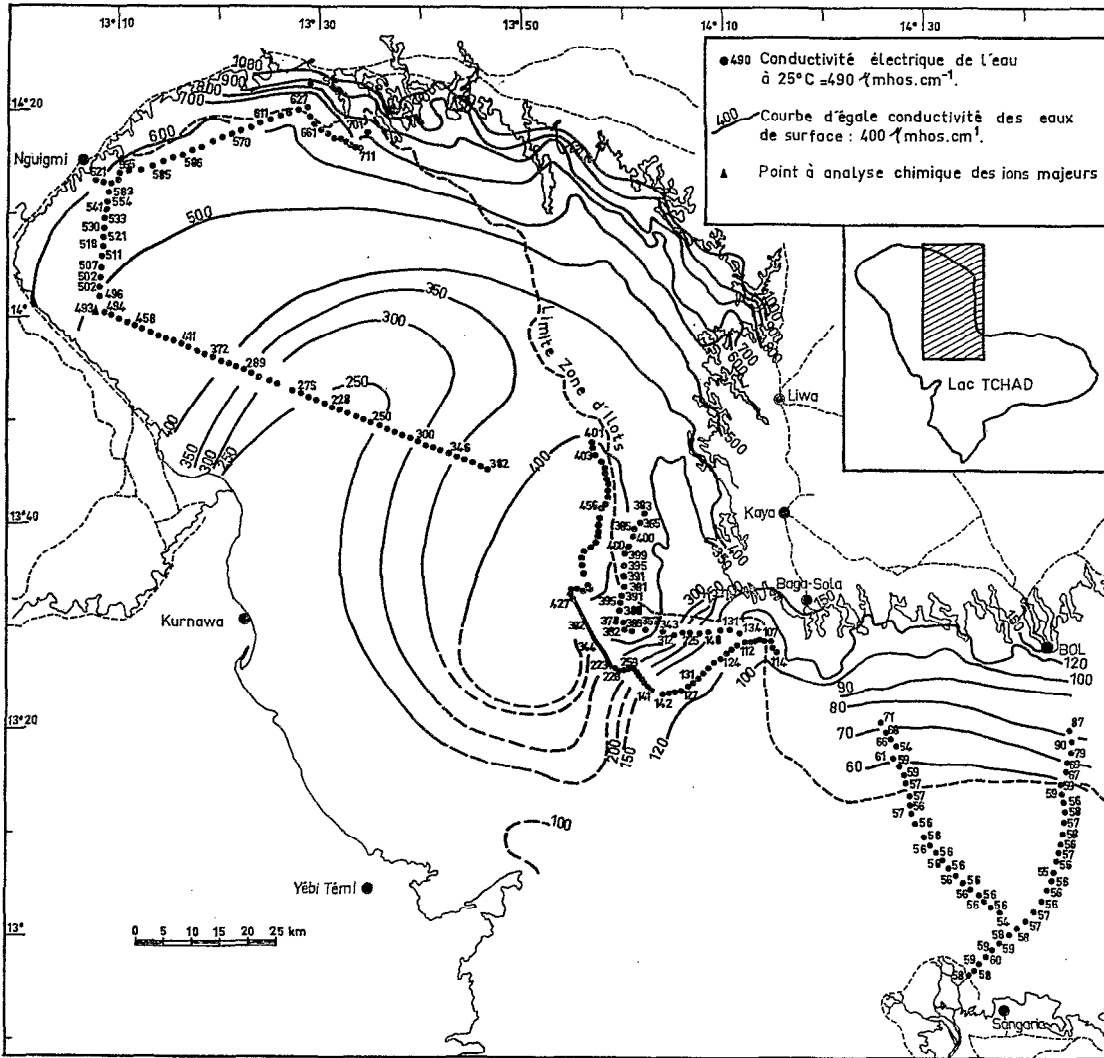


FIG. 16. — Conductivité des eaux du lac Tchad du 4 au 24 janvier 1968.
par M. A. ROCHE.

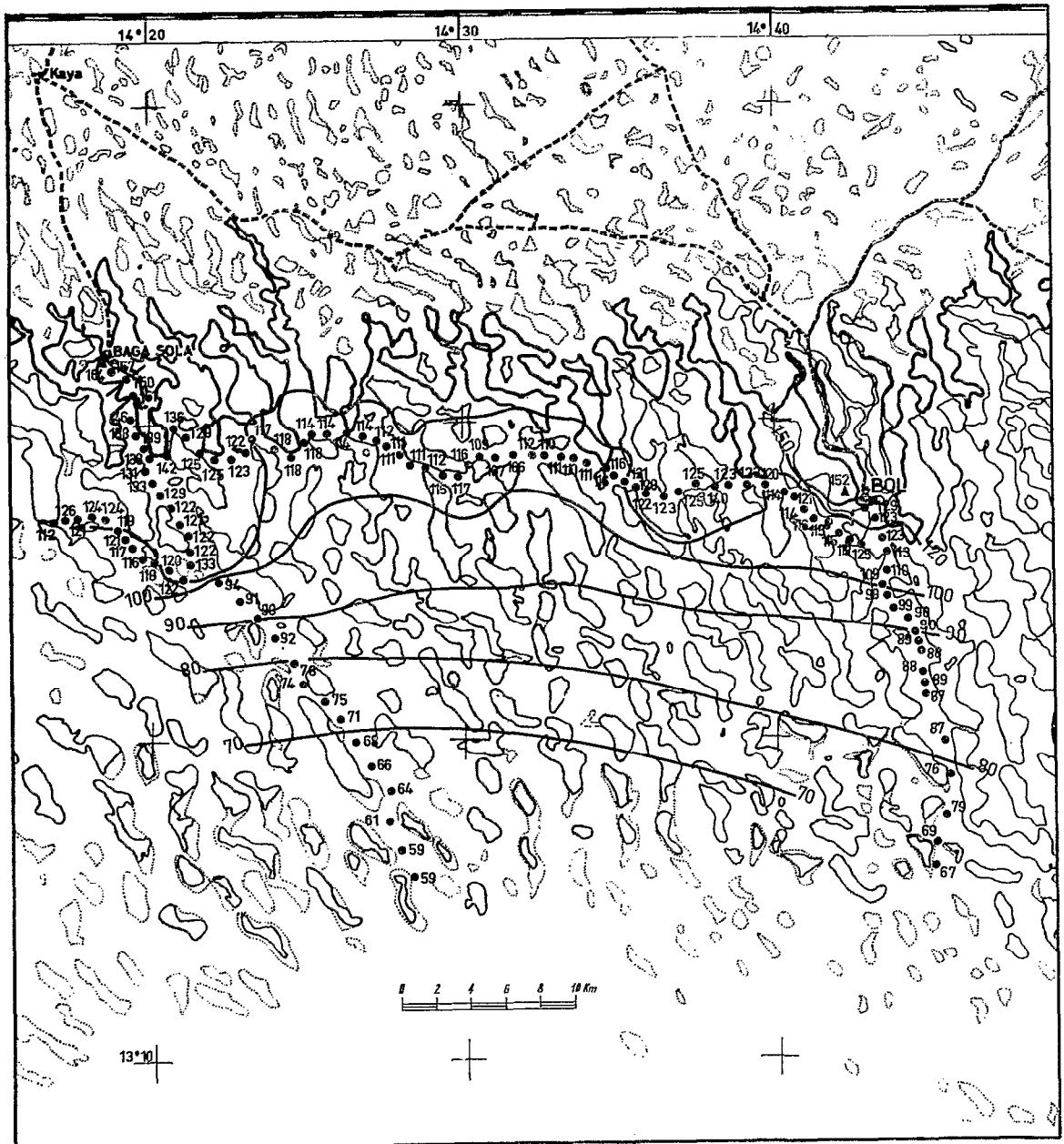


FIG. 17. — Conductivité électrique des eaux du lac Tchad dans l'Archipel de Bol et Baga Sola (A 25 °C, en $\mu\text{mhos. cm}^{-1}$), les 4, 5, 6 et 24 janvier 1968.

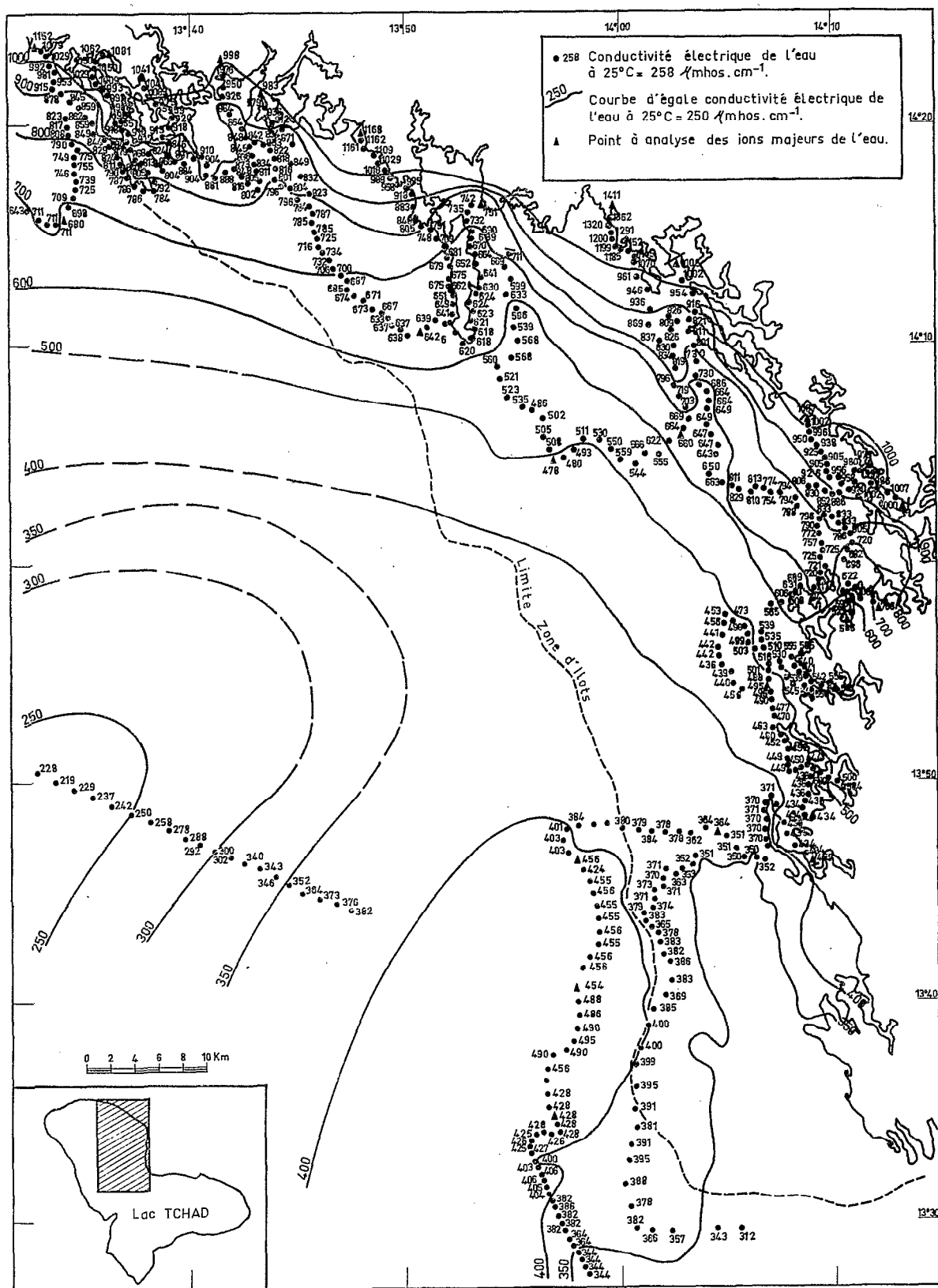


FIG. 18. — Conductivité électrique des eaux de la région nord-est du lac Tchad du 8 au 23 janvier 1968.
 par M. A. ROCHE.

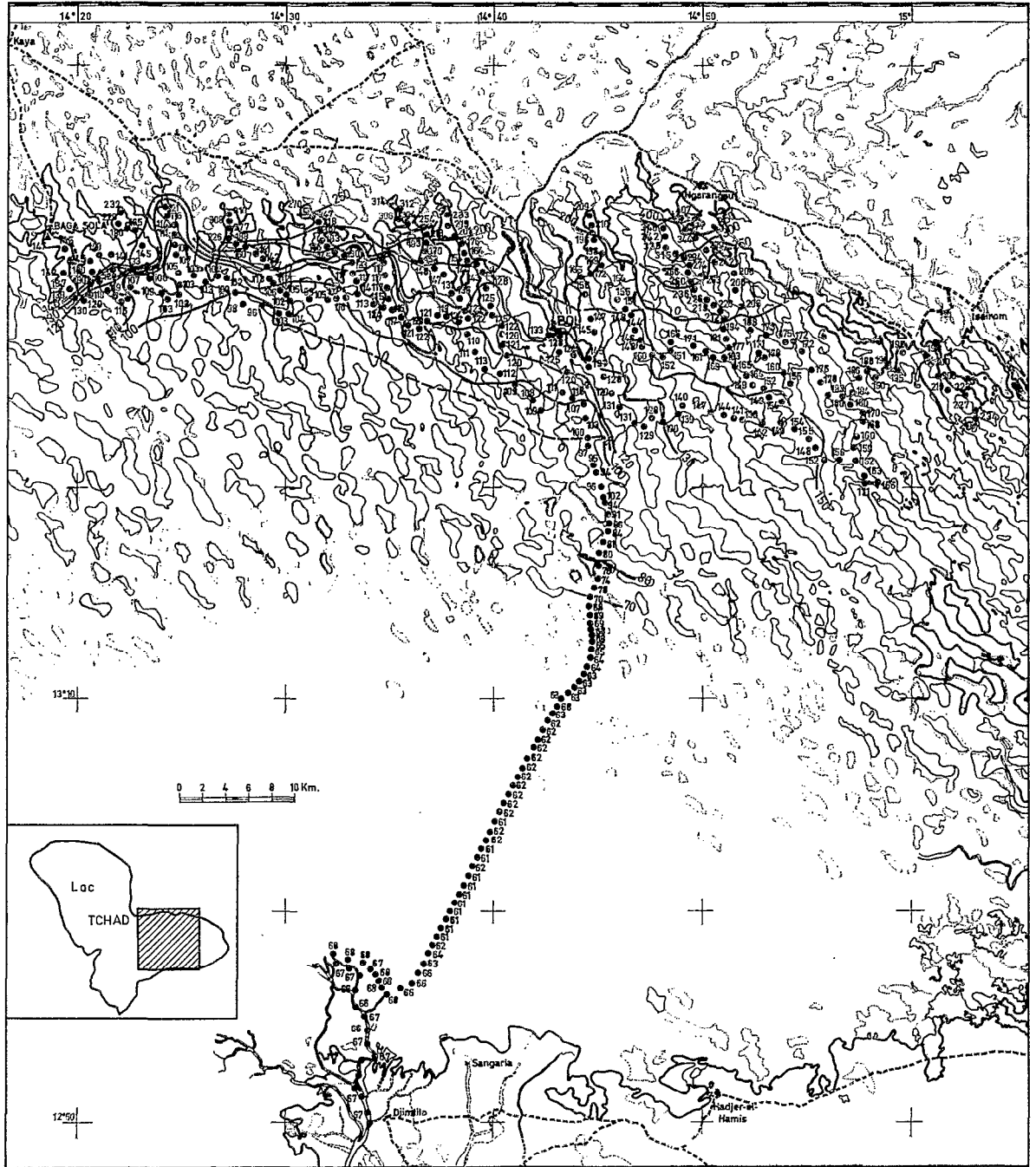


FIG. 19. — Conductivité des eaux de la région sud-est du lac Tchad du 11 au 19 mars 1968.
par M. A. ROCHE.

IV. - MÉCANISMES RÉGISSANT LA RÉPARTITION ET LES VARIATIONS DES CONDUCTIVITÉS DANS LE LAC

D'après les premières observations, les mécanismes régissant la répartition et les variations des conductivités dans le lac Tchad peuvent être classés en trois catégories :

- Influence directe et variations des concentrations originelles, c'est-à-dire celles des eaux alimentant le lac.
- Variations par évaporation et par cristallisation de sels.
- Variations dues aux déplacements des masses liquides.

4.1. — Influence directe et variations des concentrations originelles.

A ce premier stade de l'étude, nous n'étudierons que les variations en relation directe avec les concentrations des eaux du Chari, de l'El Beïd, de la Komadogou et des pluies. On peut dire que l'influence des apports éoliens (homogènes ou non sur la surface du lac) doit être d'autant plus nette que la minéralisation des eaux est faible.

4.1.1. - Variations dues à celles du Chari.

En s'éloignant du delta du Chari, il a été constaté plusieurs fois la décroissance des conductivités dans les eaux-libres : à la station 2 (fig. 6), de novembre 1964 à avril 1965, les conductivités sont légèrement inférieures à celles du Chari. Il y a également inversion du gradient de conductivité de novembre 1964 à juin 1965 entre les stations 1 et 2. De novembre 1966 à avril 1965, les valeurs aux stations 2 et 3 sont sensiblement égales. Entre les stations 3 et 4 il n'y a pas inversion du gradient mais seulement des valeurs voisines.

Le phénomène est aussi observé sur les cartes tracées en octobre 1966 (fig. 9), janvier 1967 (fig. 11), février, mars, avril 1967 (fig. 12), décembre 1967 (fig. 15), janvier 1968 (fig. 15), mars 1968 (fig. 18)

Au contraire, les valeurs de 1964-1965 (fig. 6) indiquent le rétablissement des gradients croissant vers le nord à partir de mai entre les stations 2 et 4, de juillet entre le delta et la station 3. Les cartes du 29 juin au 9 juillet 1962 (fig. 4) et du 3 au 5 juin (fig. 8) montrent l'augmentation progressive des conductivités dans les eaux-libres mais on note sur la première une nouvelle décroissance qui débute plus au nord jusqu'à un minimum situé aux environs de la station 2.

GRAS, R. (1964), d'après les résultats obtenus d'août à décembre 1964, expliquait ainsi le mécanisme des variations dans les eaux-libres : durant la montée des eaux, l'action adoucissante des eaux du Chari se fait sentir d'abord au voisinage du delta puis peu à peu dans toutes les eaux-libres. Il peut arriver, qu'à une certaine distance du delta, la conductivité soit plus basse que celle du Chari, car la conductivité de celui-ci a augmenté entre temps. Au maximum de la crue, elle est assez uniforme et de l'ordre de 60. Elle doit à nouveau augmenter en même temps que celle du Chari, puis le débit de ce dernier devenant peu à peu insignifiant, l'évaporation provoque un enrichissement progressif des eaux en sels dissous et la conductivité atteindra probablement à nouveau des valeurs voisines de 85 à 90 au début de la crue. Il semble certain que l'action adoucissante se fait sentir plus ou moins profondément et d'une manière plus ou moins marquée suivant l'importance des crues.

Ce schéma semble très juste et nous pouvons encore préciser l'explication de la répartition des conductivités en juillet 1962 (fig. 4). En 1961-1962 (année de forte crue du Chari : 5150 m³/s) la conductivité du fleuve s'est accrue de 30 à 60 entre juillet et novembre 1961, est restée à peu près constante (60) de novembre 1961 à mars 1962 inclus, puis a décliné relativement tôt, de début avril à mi-juillet avec un minimum de 40 (ROCHE, M.A. - 1968). Au nord et au nord-est du delta, les volumes d'eau débités progressent en auréoles concentriques tout en se concentrant par évaporation. La progression de la crue du Chari se retrouve dans les eaux-libres grâce aux conductivités : en venant de l'archipel vers le delta, on observe d'abord la décroissance des conductivités

qui correspond à celle du Chari jusqu'en novembre, ensuite un maximum des conductivités relativement étalé, en l'occurrence celui du fleuve qui se produit de novembre à mars, puis, à proximité du delta une décroissance rapide des conductivités équivalant à celle du Chari, laquelle se produit encore au moment des mesures. En outre de mars à juin, les débits du tributaire sont les plus faibles de l'année, au total 8 % du volume annuel en 1962; les eaux progressent alors lentement après leur débouché dans le lac et se concentrent plus par unité de distance parcourue. Ceci, conjugué avec la décroissance des conductivités du Chari, explique le fort gradient observé dès le delta.

Si les courbes de variation de la conductivité étaient tracées avec des valeurs plus serrées dans le temps en des stations suffisamment rapprochées, ou dans l'espace sur un itinéraire fréquemment parcouru, il serait probablement possible de déterminer avec précision la vitesse de progression de la crue du Chari dans le lac. On pourrait suivre, pendant plusieurs mois au large du delta, les eaux ayant débouché à une date déterminée, tout en notant l'augmentation de leur conductivité au cours de leur propagation. Cette augmentation sur une gamme peu étendue de faibles conductivités, dans cette zone relativement homogène, doit être une fonction assez simple de l'évaporation qui pourrait ainsi être évaluée. Le minimum très marqué des conductivités serait par exemple un « traceur » de choix pour la première année de séjour des eaux dans le lac. Cependant un autre ou plusieurs paramètres physico-chimiques mieux appropriés pourraient être choisis (par exemple parmi les ions majeurs, les rapports caractéristiques...).

Les gros volumes, déversés par le Chari d'août à janvier, ne doivent pas dépasser, avant la crue suivante, une certaine distance à compter du delta. La zone ainsi remplie est fonction de l'importance de la crue.

Cette limite, qui évidemment doit être plus ou moins franche, se déplace cependant en fonction des apports et de l'évaporation. Pour donner un ordre de grandeur on peut calculer que 38.10^9 m³ représentent sur une profondeur de 4 m une superficie de 10.000 km², mais c'est là une valeur par excès puisque ce volume commence à être réduit par évaporation dès l'arrivée des eaux dans le lac. (Les zones inondées couvrent une superficie d'environ 21 000 km² pour une cote de 4,0 m à l'échelle de Bol). Sur l'itinéraire delta-Bol, on peut penser que cette limite se situe aux premières îles de l'archipel.

À l'ouest et au nord-ouest (Grande Barrière) ce front semble être plus complexe en raison de zones de circulation préférentielle des eaux (fig. 12 et 16). Les eaux de la crue du Chari sembleraient se frayer des chemins à travers les masses d'eau à conductivités plus élevées. Il est probable que les mélanges soient alors assez importants car les conductivités relativement plus fortes indiquent qu'il ne s'agit pas franchement des eaux du Chari déversées la même année.

4.1.2. - Variations dues aux apports de l'El Beïd.

En année moyenne, l'El Beïd déverse 2.10^9 m³ d'eau dans le lac, essentiellement d'août à février ou mars. Les extrêmes varient de 0,8 à $3,0.10^9$ m³ sur 7 années d'observations. Ces volumes extrêmes représenteraient sur une profondeur de 3 à 4 m des surfaces maximales de l'ordre de 200 à 1000 km² dans le lac.

Les mesures de conductivité, effectuées jusqu'à maintenant sont les suivantes :

— Tildé, le 22 octobre 1967	: 116
— 19 novembre 1967	: 95
— 20 janvier 1968	: 94
— 27 octobre 1968	: 135
— 6 novembre 1968	: 158
— Sueram-Meinari, le 19 novembre 1967	: 135
— 13 octobre 1968	: 117

Ces eaux sont plus minéralisées que celles du Chari et contribuent à alimenter certainement la zone située à l'ouest-nord-ouest du delta, pouvant y expliquer en grande partie les valeurs supérieures à 100 (§ 3.2.4., fig. 12).

4.1.3. - Variations dues aux apports de la Komadougou.

Sur la Komadougou, les stations hydrométriques les plus proches du lac Tchad sont Bagara et Geskerou. A Bagara, en 1957-1958 et de 1962 à 1965, le volume annuel a varié de 470 à 950.10⁶ m³. Les débits maximaux sont en décembre ou janvier, suivant les années; pour la même période, ils varient de 45 à 74 m³/s.

Le débit est nul à partir de la fin de mai ou du début de juin. La montée des eaux commence à se faire sentir à la fin de juin ou au début de juillet. Le flot se propage lentement dans la Komadougou, à une vitesse de l'ordre de 10 km par jour, en remplissant les unes après les autres les mares qui constituent le lit mineur en période d'étiage*.

Si en 1965 (seule année d'observations simultanées), on compare les mesures en cette station à celle de Geskerou, située à mi-chemin entre Bagara et le lac, on constate que les pertes ont été de 37 %. En admettant la même réduction entre Geskerou et le débouché de la Komadougou, les volumes écoulés en 1965 auraient été inférieurs à 350.10⁶ m³. Ce volume, réparti dans le lac sur une épaisseur de 3 à 4 m représente une superficie maximale de 120 à 90 km². En janvier 1965, le volume mesuré à Geskerou était de 107.10⁶ m³, ce qui correspondrait à une zone inférieure à 36 ou 27 km² dans le lac.

Nous ne connaissons pas encore la minéralisation de ces eaux, mais d'après la latitude, le régime et l'hydrographie de l'affluent, on peut raisonnablement supposer que leur conductivité dépasse 100.

L'axe de la zone de faible conductivité, orienté vers la Komadougou, tel que nous l'avons observé en janvier 1968, (§ 3.2.6., fig. 16) amènerait à penser que ces eaux pourraient correspondre aux apports du fleuve. D'après les ordres de grandeur des débits écoulés, il est probable que la Komadougou crée une influence locale qui doit se traduire par une diminution de la conductivité. Cependant ces apports ne pourraient expliquer l'ampleur du phénomène observé dans cette partie nord. Rappelons aussi, qu'en mars 1967, notre itinéraire avait recoupé trois fois cette zone, nettement au sud du débouché de Boso (fig. 12).

Le rôle des apports de la Komadougou dans la minéralisation des eaux de cette partie du lac sera cependant à préciser.

4.1.4. - Influence des pluies.

Les pluies, dont les hauteurs maximales tombent en août puis juillet, ne semblent pas provoquer de dilution, ni même annuler nettement l'effet de l'évaporation (§ 3.1.6, fig. 4 et 6).

4.2. — Variations des conductivités par évaporation et cristallisation de sels.

4.2.1. - Évaporation et cristallisation de sels.

4.2.1. a - ÉVAPORATION

L'évaporation est la cause de la concentration des eaux du lac Tchad et par là le facteur principal de la variation des conductivités.

BOUCHARDEAU, A. (1958) précisait que la concentration en sels d'un courant augmente progressivement à mesure que l'on s'éloigne de la source (le delta du Chari) en perdant de l'eau douce par évaporation. La perte par évaporation entre deux points A et B d'un « tube de courant » s'exprime par :

$$Q = Q_0 - KS$$

K étant la constante d'évaporation en cm/s,
Q₀ et Q les débits aux points A et B,
S la surface d'évaporation du tube de courant.

* D'après « Bilan sommaire des études d'hydrologie de surface effectuées sur le territoire de la République du Niger » — 1964.

On assiste ainsi progressivement, en s'éloignant du delta, à une diminution des volumes d'eau et à une augmentation de la concentration. Ceci se traduit par un rapprochement des courbes d'égales conductivités. La concentration est donc fonction du temps de séjour des eaux dans le lac et par suite de leur vitesse de circulation. On voit ainsi que les zones de plus faibles conductivités qui se dessinent dans la région médiane du lac (fig. 12 et 16) doivent en grande partie correspondre à des zones où les vitesses et les débits sont plus élevés, c'est-à-dire à des circulations préférentielles des eaux vers la partie nord. Des mélanges doivent intervenir mais ne semblent pas modifier ce schéma général.

4.2.2. b. - CRISTALLISATION DE SELS

Nous avons observé des encroûtements carbonatés (probablement calciques) en avril 1967, à l'extrémité des bras de l'archipel nord. Les sédiments prélevés au fond de l'eau à la benne d'Eckmann, à une profondeur variant de 5 à 5,5 m, étaient constitués de sable jaune ocre, d'argile bleu-vert en plaquette et de tiges de végétaux encroûtés. Sans préjuger du rôle de ces phénomènes dans la régulation de la concentration en sels des eaux du lac Tchad, il apparaît là un deuxième facteur, autre que les pertes par infiltration, qu'il conviendra d'étudier de près.

Ces phénomènes de cristallisation conduisent à la variation de la composition relative en ions et par suite à une variation de la conductivité*.

4.2.2. - Facteurs influant sur les variations des teneurs en sels par évaporation.

4.2.2. a. - VARIATION DANS LE TEMPS DE L'ÉVAPORATION

Si le bilan hydrologique du lac semble mettre en évidence une évaporation annuelle relativement constante il n'en est plus de même des valeurs journalières ou mensuelles. Les moyennes mensuelles des hauteurs journalières (en mm) mesurées à Fort-Lamy (1964-1967) et à Bol-dune (1957-1966), sur bac colorado enterré, sol nu, permettent de juger de l'allure de la variation annuelle.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Fort-Lamy	6,3	7,7	8,9	8,9	8,9	7,1	6,1	4,7	5,3	6,7	7,1	6,0	7,0
Bol-dune	8,6	10,1	11,5	10,9	9,8	8,5	7,5	6,1	6,9	9,1	9,3	8,1	8,9

Le minimum correspond donc à la saison des pluies, de juillet à septembre. Le maximum se situe de février à mai.

Cette variation de l'évaporation contribue aussi à déterminer les variations saisonnières de la conductivité.

4.2.2. b. - LA CONCENTRATION INITIALE DES VOLUMES D'EAU

La concentration initiale des eaux joue elle-même un rôle évident. Plus elle est élevée, plus l'amplitude de la variation absolue sera grande sous l'effet de l'évaporation, ce qui contribue à expliquer les observations de 1964 et 1965.

* Ces sels cristallisés doivent être l'objet de dissolution plus ou moins poussée, lors du changement des caractères physico-chimiques des eaux (variations climatologiques, biologiques, déplacements des masses liquides modifiant l'équilibre des sels de l'acide carbonique). Il doit probablement se réaliser aussi en certaines zones des phénomènes d'échanges de bases entre l'eau, les sédiments et les matières en suspension, d'oxydo-réduction pouvant être à l'origine de précipitations ou de mises en solution, d'absorption et de restitution de sels par la faune et la flore suivant des cycles plus ou moins fermés. Tous ces phénomènes modificateurs des teneurs ioniques de l'eau peuvent contribuer à expliquer les variations de conductivité, mais en fait, cette dernière valeur, traduisant seulement la teneur globale en ions, ne permet pas évidemment l'étude de tels phénomènes.

4.2.2. c. - LA PROFONDEUR

Les conductivités relativement plus élevées dans la région de la Grande Barrière (§ 3.2.4. et 3.2.7., fig. 12 et 16), la croissance relativement rapide et générale des valeurs dans les zones d'îlots-bancs ou de faible profondeur conduisent à mettre partiellement en cause l'influence directe de l'épaisseur de la lame d'eau sur les concentrations.

Si dans une zone où séjourne un volume d'eau V_0 ; la profondeur est H_0 et la concentration C_0 à l'instant t_0 , on aura $V_0 C_0 = VC$ à l'instant t (à la suite de l'évaporation), que l'on peut écrire $H_0 C_0 = HC$ en considérant qu'il n'y a pas variation de surface, ce que l'on peut admettre en première approximation. On a $H = H_0 - E$. Si la hauteur évaporée E est égale dans chaque zone, la fonction $C = f\left(\frac{H_0}{H_0 - E}\right)$ croît lorsque H_0 décroît.

En d'autres termes, pour une même conductivité initiale, l'augmentation sous l'influence de l'évaporation sera d'autant plus forte que l'épaisseur d'eau sera faible.

On voit donc que, si pendant une certaine période, tout mouvement s'arrêtait dans le lac, les concentrations évolueraient différemment en fonction de la hauteur d'eau moyenne des diverses zones.

Il est probable qu'il y ait toujours passage d'eau du sud vers le nord dans certaines zones mais il doit exister une période de l'année, sans doute en fin de saison sèche, pendant laquelle ce facteur joue pleinement dans la partie médiane du lac, les mouvements devant alors être relativement réduits.

Les gradients de concentration ne sont donc pas uniquement fonction de la vitesse de circulation des eaux et de leur temps de séjour dans le lac. Les courbes de plus faibles conductivités ne définissent pas directement des zones où les vitesses sont obligatoirement plus grandes, c'est-à-dire où les courants sont plus forts, bien que ceux-ci doivent en être en grande partie la cause.

4.3. — Variations dues aux déplacements des masses liquides.

4.3.1. - Phénomènes moteurs

4.3.1. a. - POUSSÉE DE LA CRUE DU CHARI

Nous avons vu qu'en 1964-1965, dans l'archipel au nord du delta, le minimum de la conductivité se situait entre décembre et février suivant les stations et le maximum entre juillet et octobre (§ 3.1.6., fig. 6).

A partir d'août, au déversement des forts débits dans le lac, les eaux arrivées à la crue précédente et qui s'étaient déplacées très peu de mars à juillet, sont refoulées pour laisser leur place à celles de la nouvelle crue. Donc, au-delà de la zone soumise à l'influence directe de l'arrivée des eaux des tributaires, du Chari en particulier, on assiste à un décalage des masses liquides tendant à les éloigner du débouché des fleuves. Le déplacement est proportionnel au débit alors déversé dans le lac. Sur un volume d'eau, limité par exemple par deux courbes d'égales concentrations, la poussée se traduit par une diminution de la distance, séparant les deux courbes et une augmentation de la hauteur d'eau. Le décalage général des eaux vers le nord est d'autant plus important que l'on est proche du delta. (Pour une section uniforme et des courbes équidistantes, le décalage suivrait une progression arithmétique).

En une station de cette deuxième zone (non soumise à l'influence directe des eaux des tributaires), la variation de la minéralisation des eaux apparaît donc essentiellement comme la résultante de ce décalage et de l'évaporation. Tant que l'effet du décalage l'emporte sur celui de l'évaporation, on observe la décroissance des conductivités, et vice-versa. Toutefois les autres causes du déplacement des masses liquides peuvent également interférer.

En 1965-1966 il semblait que le minimum se soit produit d'autant plus tard que la station était éloignée du delta. En fait, plus les concentrations sont élevées et plus l'effet du décalage, même faible, est efficace, l'emportant sur celui de l'évaporation et plus le minimum se produit tard.

L'amplitude de la variation annuelle croît avec la conductivité bien que le décalage des courbes dans l'espace, sous la poussée de la crue, soit d'autant plus faible que les valeurs de la conductivité sont fortes. Cependant, les courbes de forte conductivité étant d'autant plus serrées que leur valeur est élevée, un petit décalage donne lieu à une grande variation de la conductivité.

Ce décalage dans l'espace est mieux traduit en considérant la variation relative de la conductivité, calculée par exemple par rapport à la moyenne annuelle, qui est plus en relation avec la distance séparant les courbes du delta et qui tient compte de la minéralisation initiale. Le tableau suivant mentionne les valeurs maximales, minimales et moyennes aux diverses stations, ainsi que l'intervalle de variation relatif à la moyenne en 1964-1965.

Station	Maximum	Minimum	Moyenne	Intervalle de variation	Intervalle de Variation relatif (%)
1	85	40	64	45	70
Hadjilé	103	45	78	58	74
2	88	59	69	35	51
3	92	59	73	33	45
4	98	60	76	38	50
5	103	74	88	29	33
6	127	98	112	29	26
Bol	135	109	125	26	21
7	171	123	139	48	35
8	210	163	181	47	26
9	400	293	344	107	31
10	407	346	380	61	16

La figure 20 indique les zones balayées par les courbes de conductivité 80, 120 et 150 dans la région sud-est du lac, d'après les documents existant de 1962 à 1968, on voit que la largeur de chaque zone décroît quand la valeur de la courbe croît. Ceci est plus net entre Bol et Baga Sola qu'à l'est.

4.3.1. b - APPEL D'EAU VERS LES ZONES DE PLUS FORTE ÉVAPORATION

L'évaporation différente en deux zones voisines pourrait créer un courant tendant à rétablir l'équilibre de la zone déficitaire. Ce phénomène doit être relativement peu important. Par contre l'évaporation étant normalement plus élevée dans le nord du lac, il est probable qu'il y ait constamment passage des eaux à travers certaines zones de la Grande Barrière en direction de la partie septentrionale. Les hauteurs de pluie, décroissantes vers le nord, peuvent également être mises en cause pendant la saison des pluies.

4.3.1. c. - VENTS

A ces notions, se rapportant aux déplacements des masses liquides à l'échelle du lac, doit se rattacher l'action des vents. L'Harmattan, de secteur NE, pourrait créer une descente des eaux de la Grande Barrière vers le sud et contribuer à expliquer les concentrations relativement élevées à l'est-nord-est du delta.

Rappelons que le bilan hydrologique mensuel semble mettre en évidence un mouvement de bascule de la surface des eaux aux changements de direction générale du vent en avril ou mai et en octobre (BOUCHARDEAU, A. et LEFÈVRE, R.-1957). Ce phénomène crée probablement des courants dans le lac.

Dans la région de Malumfatori (Nigéria), la côte présente l'aspect de plage dégagée de toute végétation. Les vagues particulièrement fortes qui y déferlent pourraient créer, pendant la saison où souffle l'Harmattan, un courant de dérive littorale tendant à rabattre les eaux vers le sud (fig. 12).

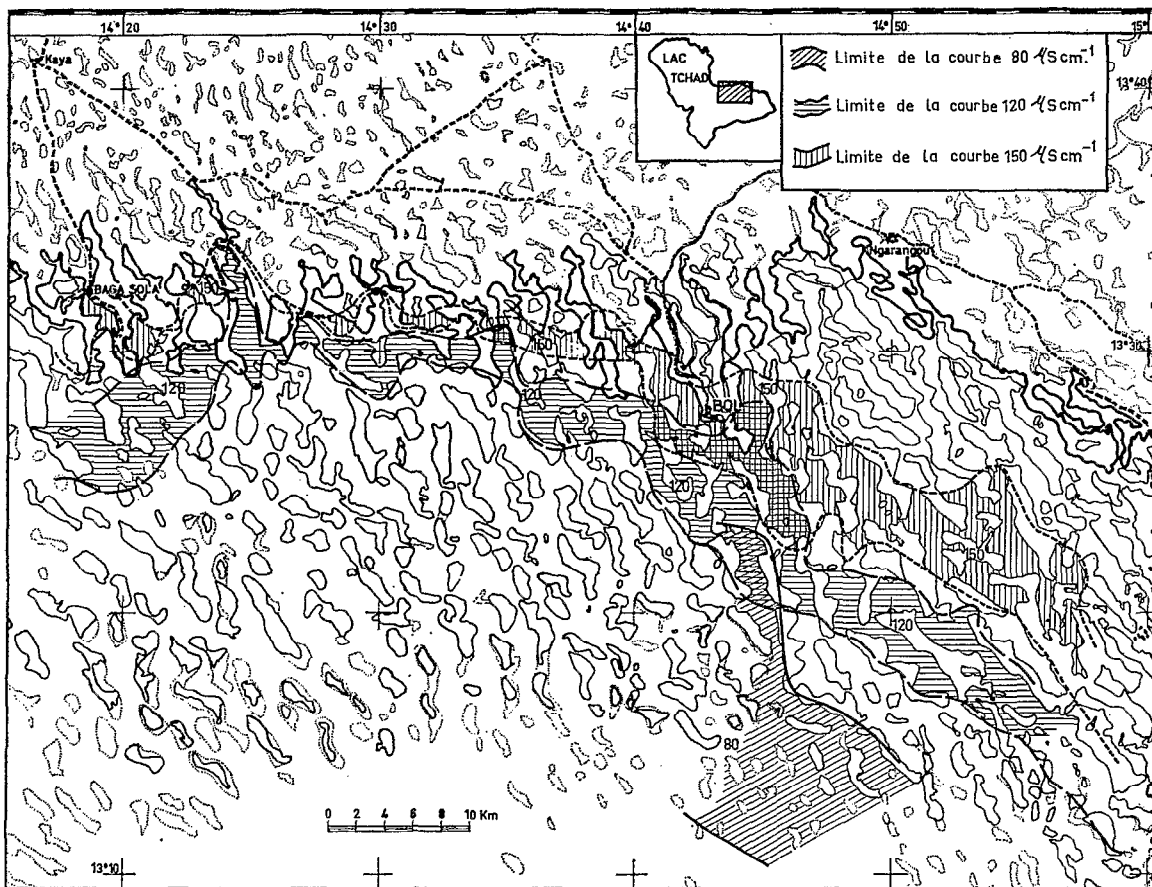


FIG. 20. — Limites de situation des courbes d'égaies conductivités à différentes dates comprises entre mai 1964 et mars 1968.

4.3.1. e. - OSCILLATIONS JOURNALIÈRES

Les oscillations journalières du lac créent des courants locaux souvent importants dans les bras de l'archipel. (Ces oscillations semblent d'ailleurs en partie provoquées par les variations du vent). Ces courants, très fréquents dans la région des stations 5 à 9 et de Bol, jouent un rôle encore mal connu dans les variations de la conductivité des eaux en un point, mais sont susceptibles d'y expliquer les variations irrégulières que l'on constate d'un mois à l'autre ou une valeur extrême mal située.

A titre d'exemple, nous présentons (en annexe 2) quelques mesures de vitesse effectuées au moulinet pendant les missions.

4.3.2. - Facteurs influants sur les déplacements.

Les facteurs susceptibles d'influer sur le déplacement des masses liquides et par suite de contribuer à la répartition des conductivités sont essentiellement d'ordre morphologique. Ce sont :

- les sections mouillées (profondeur et largeur),
- la disposition des îles, des îlots-bancs, des hauts fonds
- la morphologie et l'orientation des côtes.

Dans les zones d'archipel ou d'îlots-bancs, en particulier dans la partie médiane du lac, la largeur « utile » diminuant ainsi que la profondeur, la section se trouve réduite. D'autre part les îles et les îlots-bancs, bien qu'orientés NNW, SSE, contribuent certainement à freiner aussi le déplacement des eaux vers le nord. Celles-ci auront alors tendance à passer dans les sections les plus favorables, où les vitesses et les débits seront plus élevés (fig. 12 et 16). C'est ce qu'on observe dans des rivières où certaines parties de la section sont moins profondes et envahies par la végétation.

La disposition, l'orientation, la morphologie des îles, des îlots-bancs, et des passes sont également des facteurs essentiels de la circulation, des mélanges ou de l'isolement des eaux. Le rôle des barrages de végétation plus ou moins permanents est également à mentionner.

Le décalage des masses liquides sous la poussée de la crue des affluents est fonction de la section (profondeur et largeur). Ainsi par exemple dans les îlots-bancs et l'archipel, une diminution de la section « utile » tendra à augmenter la distance séparant deux courbes d'égales conductivités et vice-versa.

La morphologie (pente, état de la végétation...) et l'orientation des côtes est, avec le vent, le facteur déterminant des courants de dérive littorale.

Conclusion

Outre les détails fournis sur les variations de la conductivité électrique des eaux du lac dans l'espace et le temps, nous nous sommes attachés à expliquer certains phénomènes responsables de ces évolutions. Une interprétation plus poussée doit s'appuyer par la suite sur les teneurs ioniques des eaux.

Répartition spatiale des conductivités.

Ces premiers résultats permettent de définir, pour les dernières années, les gammes de conductivité mesurées dans les différentes zones, en précisant toutefois qu'elles ne sont pas limitatives puisque les mesures ont été effectuées sur des itinéraires plus ou moins denses, à des périodes de l'année ne correspondant pas forcément aux valeurs extrêmes des variations saisonnières.

Partie méridionale.

- **Partie sud-est :** les courbes d'égales conductivités y sont concentriques au delta du Chari et d'autant plus serrées que leur valeur est élevée. Dans les eaux-libres, les conductivités ont varié de 45 à 95 suivant les points et l'époque de l'année. Les valeurs des mesures effectuées sur la côte sud étaient de 250 à 300 à Hadjer el Hamis et 440 à Tourba. Dans l'archipel elles atteignaient 55 à 100 à la limite sud des îles et variaient de 120 à plus de 600 à l'extrémité des bras côtiers où on observe les valeurs maximales.

- **Partie sud-ouest :** à l'ouest du delta du Chari, en mars 1967, a été mise en évidence une répartition assez compliquée des conductivités. A cette époque, une zone de plus fortes valeurs (maximum observé : 120) était bordée vers le sud de valeurs plus faibles (70 à 80).

Partie médiane.

Lors des campagnes de mesures effectuées en mars-avril 1967 et janvier 1968, les eaux avaient des conductivités plus fortes dans la Grande Barrière et les régions environnantes que dans les eaux-libres du nord. Toutefois deux zones de plus faibles valeurs se dessinaient à travers ces premières régions pour s'étaler dans la seconde et celle de Baga Kiskra. Il n'est pas impossible qu'il existe d'autres « ponts » de plus faibles conductivités entre le sud et le nord. Les valeurs y fluctuent au cours de l'année, modifiant l'extension — toute relative d'ailleurs — de ces zones. Les conductivités, observées dans cette partie médiane, variaient de 150 à 500. La répartition des conductivités y apparaissant très variable dans l'espace et le temps, on est amené à considérer cette partie médiane du lac, qui correspond à la Grande Barrière, à l'archipel de Baga Kiskra et aux eaux-libres du nord.

• Partie septentrionale.

On peut la définir comme la région des flots-bancs du nord, la zone de Nguigmi, l'archipel de Taverom et de Kiskawa.

Les courbes d'égales conductivités reprennent un tracé plus classique, parallèle dans l'ensemble à la côte septentrionale. Les valeurs minimales, mesurées au niveau des premiers flots-bancs, étaient de l'ordre de 300. A l'extrémité des bras côtiers les valeurs maximales étaient voisines de 600 à 700 dans la zone de Nguigmi, 1000 à 1200 dans celles de Taverom et Kiskawa. La valeur maximale observée a été de 1488.

Variations pluriannuelles.

D'après les documents antérieurs de 1908-1957-1962 à 1966 et ceux établis par nous-mêmes d'octobre 1966 à mars 1968, il n'est pas possible de déceler une évolution pluriannuelle orientée de la minéralisation des eaux du lac Tchad. Ou les résultats ne sont pas assez sûrs, comme c'est le cas de ceux de 1908, ou les variations constatées ne sont pas assez marquées, pouvant être alors, au stade actuel de nos connaissances, rattachables aux variations saisonnières.

De toutes façons, au moins pendant la période 1957-1968, on peut conclure que les mécanismes de régulation des concentrations en sels des eaux du lac Tchad ont effectivement joué.

Variations saisonnières.

Les conductivités varient au cours de l'année mais cette variation est différente en amplitude et décalée dans le temps suivant les zones du lac et les points considérés, en raison des différents mécanismes qui en sont responsables.

Dans la partie sud-est, en 1964-1965, le minimum se situait en août au delta du Chari, entre août et décembre en s'éloignant du delta dans les eaux-libres et les flots-bancs situés plus au nord, entre décembre et février dans les parties de l'archipel les plus éloignées. La date du maximum était moins nette; il se situait entre juillet et octobre suivant les stations.

Dans les parties médiane et nord on observe une diminution générale des conductivités en janvier (1968) par rapport à mars et avril 1967.

Dans la partie sud-est, l'amplitude absolue des variations augmentent avec la conductivité moyenne, tandis que l'intervalle de variation relatif à la moyenne décroît. En 1964-1965, cette valeur relative variait de 74 à 16 % suivant la position des stations. Dans la partie septentrionale l'écart entre janvier (1968) et mars-avril (1967) demeurait inférieur à 10 %.

Mécanismes responsables des variations.

Les variations dans l'espace et le temps des conductivités des eaux du lac sont sous l'influence directe de l'arrivée de la crue annuelle des tributaires, de l'évaporation, du déplacement des masses liquides.

- La quantité et la qualité des eaux qui se déversent dans le lac expliquent en grande partie les variations des conductivités dans les zones proches des débouchés.

- Les gros volumes déversés pendant la crue annuelle du Chari, d'août à janvier, remplissent une zone dont l'extension dépend justement de cette crue. La limite, plus ou moins franche en raison des mélanges, se déplace en fonction des apports et de l'évaporation, donc très peu de février à juillet. Il apparaît dans la partie médiane du lac des courants de circulation préférentielle (zone de plus faibles conductivités) alimentant la partie septentrionale.

La conductivité des eaux du Chari subit une variation annuelle que l'on retrouve dans les eaux-libres où les volumes déversés se propagent en refoulant les précédents. On a ainsi, pendant plusieurs mois, inversion du gradient des conductivités dans les eaux-libres. Cette variation semble par la suite s'estomper, probablement par un certain mélange des eaux.

- L'El Beïd contribue à alimenter la zone sud-ouest du lac en eaux plus minéralisées que celles du Chari, pouvant y expliquer en grande partie les valeurs relativement élevées. Il est probable que dans cette zone se côtoient et se mélangent plus ou moins des masses liquides d'origines différentes (Chari, Serbéouel, El Beïd et Yedseram).

- La Komadougou ne peut exercer qu'une influence locale de faible ampleur.

Comme cela s'observe pour le Chari, la variation annuelle des conductivités et des débits des tributaires secondaires doit influencer sur la répartition des conductivités dans les zones proches des débouchés.

- L'influence des pluies n'apparaît pas nettement.
 - L'évaporation est le facteur de l'augmentation des conductivités : en s'éloignant du delta, les volumes d'eau diminuent, leur teneur en sels augmente et les courbes d'égales conductivités se resserrent. La concentration en sels d'une eau, mesurée en une station, est donc fonction du temps écoulé depuis son arrivée dans le lac et par suite de sa vitesse de circulation.
 - Les encroûtements observés dans la partie nord du lac mettent en évidence des phénomènes de cristallisation qui, en plus des pertes par infiltration, peuvent jouer un rôle dans la régulation de la teneur en sels dissous des eaux du lac. D'autres phénomènes modificateurs des teneurs relatives en ions peuvent contribuer à expliquer les variations de conductivité, mais en fait, la conductivité n'étant seulement qu'une fonction de la teneur globale en ions, ne permet pas évidemment l'étude de tels phénomènes.
 - Les facteurs influant sur les variations des teneurs en sels par évaporation sont les variations annuelles du phénomène, la concentration initiale des eaux et la profondeur.
 - Le déplacement des masses liquides est également à l'origine de la variation des conductivités. Le principal phénomène moteur est la poussée de la crue du Chari, d'intensité variable au cours de l'année et d'une année à l'autre. En dehors de la zone où prédomine l'influence directe des eaux des tributaires, la variation de la conductivité en un point apparaît essentiellement comme la résultante entre le décalage consécutif à la poussée et l'augmentation des concentrations par évaporation. Il faut alors tenir compte que l'intensité de l'évaporation varie également au cours de l'année, mais semble-t-il très peu d'une année à l'autre.
- Les autres phénomènes moteurs pouvant jouer sont l'évaporation différente d'une région à l'autre, les vents, les oscillations journalières du niveau du lac.
- Les facteurs influant sur les déplacements sont d'ordre morphologique. La bathymétrie du lac apparaît notamment un caractère essentiel.

BIBLIOGRAPHIE

- Bilan sommaire des études d'hydrologie de surface effectuées sur le territoire de la République du Niger. Serv. hydrol. O.R.S.T.O.M., 1964, 57 p., annexes.
- BILLON (B.), BOUCHARDEAU (A.) et al. — 1967. — « Monographie hydrologique du Logone ». Serv. hydrol. O.R.S.T.O.M.
- BILLON (B.), BOUCHARDEAU (A.) et al. — 1968. — « Monographie hydrologique du Chari ». Serv. hydrol. O.R.S.T.O.M.
- BOUCHARDEAU (A.) et LEFEVRE (R.). — 1957. — « Monographie du lac Tchad ». Serv. hydrol. O.R.S.T.O.M., 112 p., 24 fig., 1 carte.
- BOUCHARDEAU (A.). — 1958. — « Salinité des eaux du lac Tchad. Interprétation des résultats ». Serv. hydrol. O.R.S.T.O.M., 5 p., dactyl.
- BOUCHARDEAU (A.). — 1958. — « Le lac Tchad ». Serv. hydrol. O.R.S.T.O.M., Paris, Annuaire hydrologique de la France d'Outre-Mer, année 1956, p. 9-26, imp.
- CARMOUZE (J. P. C.). — 1968. — « Ions majeurs, phosphates et silicates dans les eaux du lac Tchad en avril 1968 ». Rapport provisoire, Sect. hydrobiol. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 18 p., 18 fig.
- CHEVERRY (C.). — 1968. — « Commentaire sur la pédogénèse actuelle des sols jeunes des polders de Bol, du point de vue de l'halomorphie ». Sect. pédo. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 13 p., 2 fig.
- Documents scientifiques de la mission Tilho. — 1906-1909. — Imp. nat., Pafis, t. II, p. 553-600.
- DUPONT (B.). — 1967. — « Étude sédimentologique du lac Tchad ». Premiers résultats. Sect. géol. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 33 fig., biblio.
- DUPONT (B.). — 1968. — « Premières observations sur la physico-chimie du Chari et du Logone » (Période juillet 1965-mars 1967). Sect. géol. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 32 p., 13 fig.
- DUPONT (B.) et LEVEQUE (Ch.). — 1967. — « Biomasse en mollusques et nature des fonds dans les zones est du lac Tchad ». O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, mars 1967, 18 p.
- DURAND (J. R.) et LOUBENS (G.). — 1967. — « Premières observations sur la biologie d'Alestes baremoze dans le Bas Chari et la partie est du lac Tchad ». Sect. hydrobiol. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 74 p., 15 fig.
- GISHLER (C. E.). — 1967. — « Synthèse hydrologique du bassin du lac Tchad ». *Nature et ressources*, UNESCO, vol. III, n° 3, septembre 1967, p. 40-46.
- GRAS (R.). — 1964. — « Rapport sur la détermination sommaire des principaux biotopes du lac Tchad ». Sect. hydrobiol. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 41 p.
- GRAS (R.), ILLIS (A.) et LEVEQUE-DUWAT (S.). — 1967. — « Le plancton du Bas Chari et de la partie est du lac Tchad ». *Cah. O.R.S.T.O.M., Sect. hydrobiol.*, vol. I, n° 1-4, p. 25-96, 15 fig., photos, biblio.
- GUICHARD (E.). — 1957. — « Sédimentation du lac Tchad. Comm. Sc. du Logone et du Tchad. » Sect. pédo. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 8 p.
- GUICHARD (E.). — 1957. — « Eaux du lac Tchad et mares permanentes au Nord d'Ira ». Comm. Sc. du Logone et du Tchad. Sect. pédo. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 26 p., 1 carte.
- ILLIS (A.) et ROCHE (M. A.). — 1967. — « Compte rendu de mission sur le lac Tchad du 23 mars au 11 avril 1967 ». Serv. hydrol. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 8 p., 1 carte.
- LEMOALLE (J.). — 1968. — « Premières données sur la production primaire et le cycle de l'azote, dans la région de Bol ». Rapport provisoire, Sect. hydrobiol. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy.
- Observations et mesures hydrologiques dans les vallées sèches du Niger. Rapport de la campagne 1965. Serv. hydrol. O.R.S.T.O.M., 98 p., 39 fig.
- Monographie Hydrologique du lac Tchad. Serv. hydrol. O.R.S.T.O.M., en cours.
- RIOU (Ch.) et DUBOIS (G. J.). — 1966. — « Relations entre l'évaporation en bac, l'évaporation potentielle et l'évaporation sous abri dans la zone sahélienne de la République du Tchad ». Serv. hydrol. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 9 p.
- ROCHE (M. A.). — 1968. — « Première estimation des apports en sels au lac Tchad par le Chari ». *Cah. O.R.S.T.O.M. Sect. hydrolog.*, Vol. V, n° 1, p. 55-89, 11 fig., 5 tabl., biblio., annexes, imp.
- TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY (P.). — 1966. — « Bilan hydrologique du lac Tchad ». Serv. hydrol. O.R.S.T.O.M., *Communication au Symposium de Garda A.I.H.S.*, Publ. n° 70, vol. 1 p. 7-16, imp.

ANNEXES

L'EAU DU TCHAD

« Il nous a été remis aux fins d'analyse une ampoule scellée qui contenait des infusoires baignant dans 20 centimètres cubes d'eau du Tchad. C'est dire que l'échantillon qui a servi à nos recherches était beaucoup trop restreint pour nous permettre une analyse complète.

Nous avons, dès lors, été contraints de nous borner à peser le résidu total et à effectuer le dosage du chlorure de sodium. Toute autre détermination quantitative eût fourni des résultats numériques à tout le moins très hasardeux et pratiquement inexistantes.

L'eau examinée par nous a été prise à Bol (île du S. E. du Tchad), sur la rive, à 50 centimètres de profondeur, dans une lagune de 300 à 400 mètres de largeur, avec un courant de surface assez sensible dirigé du nord vers le sud. Le fond était sablonneux; l'île elle-même est sablonneuse et domine d'une douzaine de mètres les eaux du lac.

Nous avons obtenu les résultats numériques suivants, pour 1,000 centimètres cubes :

Résidu minéral anhydre total	0,993
(Évalué en Cl)	0,020
Chloruration. (Évaluée en NaCl)	0,032
Sels de chaux.	pas de traces
Sels magnésiens indosés	traces
Sulfates alcalins indosés	traces
Indéterminé	0,073

L'eau du Tchad est donc douce, très pure, peu minéralisée, comme l'eau des grands fleuves, tels que le Chari, l'Ouémé, le Congo, le Niger.

Sa minéralisation est inférieure à celle du Nil blanc qui donne comme résidu, 0 gr. 112 au minimum et 0 gr. 216 au maximum par litre.

Quelque jour, nous connaissons sans doute d'une façon parfaite les oscillations des résidus fixes du Tchad dans les différents points de sa surface et de sa profondeur; il pourra alors être faite une étude très intéressante, qui suscitera des aperçus d'ensemble nouveaux — et jusqu'ici parfaitement ignorés — sur le mécanisme orographique comme sur l'allure hydrologique des lacs et des fleuves africains.

L'échantillon d'eau que nous avons à notre disposition, ayant été conservé en ampoule scellée, ne peut avoir subi aucune concentration; nous sommes donc en droit de faire état des résultats que nous a fournis son analyse.

Si par ailleurs, nous examinons les données numériques établies par les diverses analyses de l'eau prise en différents points du lac, analyses qui ont précédé la nôtre, nous sommes amenés à constater combien la chloruration est faible dans la partie la plus méridionale du Tchad, et combien la proportion de chlorure de sodium se maintient régulière.

Ainsi, à Bol même, entre le 20 février et le 31 juillet 1908, neuf prélèvements ont été opérés, qui ont donné un taux uniforme de 0 gr. 033 de chlorure de sodium pour 1,000 centimètres cubes d'eau, correspondant à : Cl = 0,02.

L'eau du lac à Yacoua le 15 juin, à Marakou du 10 juillet au 5 août, a la même salure : Cl = 0,02 pour 1000. C'est le même nombre que celui qui a été fourni par notre analyse.

Il représente la moyenne de la chloruration des eaux libres du lac dans la partie la plus voisine des affluents et la plus soumise à leur influence. C'est également la salure de l'eau du puits d'Adebour, celle des affluents du lac, de la Komadougu Youbé (Bosso), du Chari (Djintilo). Dans la partie nord du lac, au contraire, la chloruration atteint des chiffres plus élevés, mais qui sont encore relativement bien faibles : 0 gr. 04 à Mattégou; 0 gr. 06 à Kaïoua et à Garoa; 0 gr. 07 à Gortowalla; 0 gr. 08 à N°Gollom (1) (évaluation faite en Cl) ».

VITESSES DES EAUX MESURÉES AU MOULINET EN CERTAINS POINTS DU LAC TCHAD

Le 16 novembre 1966 entre les stations 3 et 4 des flots-bancs (fig. 6) profondeur 3,00 m, vitesse en surface : 0,19 m/s, à 1 m de la surface : 0,14 m/s, à 2 m : 0,05 m/s, au fond : non mesurable (0,05 m/s).

Le 19 novembre 1966, dans l'archipel à l'est de Bol, entre N'Géo et Margou : profondeur 2,90 m, vitesse en surface : 0,20 m/s, à 1 m de la surface : 0,17 m/s, à 2 m : 0,16 m/s, à 2,70 m : 0,12 m/s. A la station 6 (fig. 6) : profondeur 5,0 m, vitesse en surface : 0,15 m/s, à 1 m et 2 m de la surface : 0,13 m/s, à 3 m : 0,05 m/s.

Le 7 décembre 1967 à 18 h, à l'île d'Iga (point de prélèvement) : profondeur : 4,2 m, vitesse en surface : 0,20 m/s, à 1 m, 2 m et 3 m de la surface : 0,17 m/s, à 4 m : 0,10 m/s. Le débit correspondant, orienté vers le nord-ouest, était de l'ordre de 100 m³/s. Le lendemain matin tout courant avait cessé. Ce phénomène semble assez fréquent dans cette zone qui correspond à l'entrée du Golfe d'Iseïrom-Doum Doum.

Soulignons que la plupart du temps, les courants sont non mesurables.