

CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DU BASSIN TCHADIEN

M. A. ROCHE

**ELEMENTS SUR LA TEMPERATURE DES EAUX
DANS L'ENSEMBLE DU LAC TCHAD**

Décembre 1971

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE FORT-LAMY



ELEMENTS SUR LA TEMPERATURE DES EAUX
DANS L'ENSEMBLE DU LAC TCHAD

M. A. ROCHE

S O M M A I R E

1. METHODES ET REPRESENTATIVITE DES MESURES.

- A. Bol
- B. Station C1
- C. Ensemble du lac

2. PRESENTATION DES RESULTATS.

- A. Bol
- B. Station C1
- C. Ensemble du lac

3. HEURES DES MINIMUMS ET DES MAXIMUMS.

4. STRATIFICATION THERMIQUE.

- A. Bol
- B. Station C1
- C. Ensemble du lac

5. TEMPERATURES MOYENNES.

- A. Bol
- B. Station C1
- C. Ensemble du lac

6. TEMPERATURES MINIMALES ET MAXIMALES.

- A. Bol
- B. Station C1
- C. Ensemble du lac

7. ECARTS DIURNES.

- A. Bol
- B. Station C1
- C. Ensemble du lac

8. VARIATIONS SPATIALES DES TEMPERATURES.

- A. Variations entre les régions méridionale, médiane et septentrionale
- B. Variations dans les bras côtiers
- C. Variations spécifiques aux différents types de paysages

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.

Les températures des eaux du lac Tchad, exprimées en degré centigrade, ont été mesurées en 1964-1965, en diverses stations de la zone sud-est par R. GRAS, A. ILTIS et LEVEQUE-DUWAT (1967) et à la station C1, 12 km à l'est de Malamfatori, en 1967-1968 par A. ROBINSON (1968). LEMOALLE (1969) a étudié les variations du gradient vertical de température à Bol au cours de trois journées en 1969.

En fait, en regard des vastes dimensions du lac, peu de données sont jusqu'à présent disponibles sur les températures des eaux. Ce sont uniquement des observations ponctuelles qui ne définissent pas les limites de variation pour l'ensemble du lac. Ceci nous a conduit à présenter, malgré leur imperfection, dont les principaux aspects vont être précisés, les résultats globaux obtenus sur le lac au cours de nos campagnes et à Bol où, depuis l'initiative de A. BOUCHARDEAU en 1957, les Hydrologues de l'ORSTOM continuent les mesures.

1. METHODES ET REPRESENTATIVITE DES MESURES.

A. BOL.

Les mesures de température de l'eau en surface, ont été effectuées à 6h, 12h et 18h entre Bol et Bol-Ile, de 1956 à 1966, puis à l'embarcadère O.R.S.T.O.M., à quelques mètres de la rive, de 1967 à 1970. Les données fausses ou douteuses ont été autant que possible éliminées.

Soulignons que la station a une position médiane en latitude par rapport à l'ensemble du lac et qu'elle est située dans un archipel, en bordure même des côtes.

Les températures de 6h sont très proches des minimums journaliers, tandis que celles de 18h sont légèrement inférieures aux maximums. En mars-avril 1969, l'écart moyen entre les températures maximales et celles de 18h, mesurées en divers points du lac, est de 0,4° sur 13 jours d'observation. La moyenne des températures à 6h et 18h n'est donc que très légèrement inférieure à la moyenne journalière, définie comme la moyenne des températures maximale et minimale.

B. STATION C1.

La station C1 est située dans le Bassin nigérian, 12 km à l'est de Malamfatori. La profondeur moyenne était de 5 mètres au moment des mesures. Les valeurs des températures ont été évaluées d'après un graphique présenté par A. ROBINSON(1968).

C. ENSEMBLE DU LAC.

Les mesures ont été effectuées immédiatement après le prélèvement d'eau, en surface dans un bécher ou à 0,6 - 0,7 m en dessous de la surface. Dans ce dernier cas, l'eau pompée directement dans le lac était amenée par un tuyau soit à un bécher, soit à une cellule de mesure de conductivité, où était lue la température. Le débit dans le tuyau était tel que la variation de température de l'eau au cours de son transit jusqu'à la cabine était négligeable. Les températures ont ainsi été mesurées en surface en mars-avril, juillet et septembre 1969, et entre 0,6 et 0,7 m, en mars-avril, décembre 1969 et février 1970. En mars-avril 1969, des mesures supplémentaires ont aussi été faites sur des eaux prélevées à 0,3 m du fond, dans une bouteille spéciale d'un litre.

Les lectures ont été effectuées lors du cheminement du bateau sur la plus grande partie du lac, à intervalles de temps réguliers, généralement entre 6 et 18 heures. Les minimums et maximums journaliers ont pu ainsi être observés. Les moyennes journalières ont été estimées en calculant la moyenne arithmétique de ces deux valeurs. Cependant le nombre de jours relativement faible, puisqu'il varie de 7 à 24 selon les campagnes, implique que les gammes de valeurs observées ne sont pas limitatives, bien que la moyenne générale calculée pour chaque période tende à être représentative de la température moyenne de l'ensemble du lac.

2. PRESENTATION DES RESULTATS.

Les résultats obtenus à Bol et sur l'ensemble du lac sont présentés dans les tableaux 1, 2 et 4 et sur les figures 1 et 2. Ceux relatifs à la station C1 (A. ROBINSON - 1968 -) sont mentionnés dans le tableau 3.

3. HEURES DES MINIMUMS ET DES MAXIMUMS.

Les minimums ont été généralement observés à partir de 6 ou 7 heures. Ils s'étaient jusqu'à 8 ou 9 heures et les maximums entre 13 et 17 heures. En mars-avril 1969, les "heures moyennes" sont respectivement 7 heures 45 et 16 heures 00.

4. STRATIFICATION THERMIQUE.

A) - Au large du port O.R.S.T.O.M. de Bol, R. GRAS et al. (1967) ont mesuré en janvier, mai et août, des écarts diurnes maximums de - 1,3 à - 2,6° entre

Tableau 1 : Températures moyennes mensuelles des eaux du lac Tchad
(en surface) à Bol, à 6h, 12h et 18h.

	h	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1956	6				25,9	26,7	28,8	27,8	27,4	28,4			
	12				28,2	29,9	32,4	29,9	29,4	30,8			
	18				28,4	29,3	31,4	29,5	28,9	30,1			
1957	6		18,8	23,1	27,2	30,0	30,5	30,2	29,9	29,8	29,5	26,3	22,8
	12		20,8	25,2	30,6	33,5	33,6	32,6	31,5	31,1	31,5	27,7	23,7
	18		20,9	25,2	29,5	32,5	32,3	31,9	31,1	30,9	31,2	28,6	24,2
1959	6	19,4	18,9	22,4	27,0	29,6	29,8	29,1	28,0	29,5	27,2	23,0	20,0
	12	20,9	21,3	24,9	28,7	33,7	32,4	31,6	31,0	32,9	29,1	25,4	21,8
	18	22,5	23,6	26,2	30,1	34,0	33,1	32,1	30,8	32,3	30,6	26,8	23,2
1960	6	18,9	20,1	22,9	27,7	29,8	30,1	28,6	28,9	29,3	29,3	23,9	22,1
	12	21,3	22,4	25,0	29,3	32,9	32,2	30,6	30,6	31,5	31,6	26,4	23,2
	18	23,4	24,0	25,7	29,5	33,1	32,1	30,7	31,1	31,8	31,1	27,3	23,5
1964	6				27,7	29,1	29,7	28,9	28,2	28,5		25,2	21,5
	18	22,4	22,4	25,3			30,4	29,9	29,0	29,5		26,8	24,5
1965	6	19,3	21,1	24,0	25,9	27,3	29,6	29,0	28,6	29,8	28,3		
	18	23,4	23,8	26,8	29,9	28,6	30,4	30,2	29,9	31,2	28,6		
1966	6	18,8	18,8	22,9	27,3								
	18	19,9	21,1	24,8	29,3								
1967	6											21,5	19,9
	12											22,6	21,0
1968	6	17,9	18,6	21,6	23,7	26,8	27,8	28,3	28,7	29,0	25,8	21,7	19,5
	18	19,2	20,6	23,2	25,7	28,4	29,7	29,8	30,3	31,0	27,2	23,2	21,4
1969	6	17,7	19,3	24,6	27,2	28,8	29,5	28,7	28,6	29,1	29,4	22,4	20,1
	18	20,1	23,7	27,0	28,9	31,1	31,3	30,9	29,9	30,4	30,5	23,4	21,4
1970	6	18,5	18,4	21,6	25,1	27,8							
	18	21,7	21,0	23,9	27,5	30,4							

Tableau 2 : Températures moyennes mensuelles des eaux de surface du lac Tchad à Bol à 6h, 12h et 18h. Ecart diurne moyens mensuels.

	h	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
\bar{T} (1956-1966)	6	19,1	19,5	23,1	26,7	28,8	29,8	28,9	28,5	29,2	28,6	24,6	21,6
	12	21,1	21,5	25,0	29,2	32,5	32,7	31,2	30,6	31,6	30,7	26,5	22,9
	18	22,3	22,6	25,7	29,5	31,5	31,6	30,7	30,1	31,0	30,4	27,4	23,8
\bar{T} (1967-1970)	6	18,0	18,8	22,6	25,3	27,8	28,7	28,5	28,7	29,1	27,6	21,9	19,8
	18	20,3	21,8	24,7	27,4	30,0	30,5	30,4	30,1	30,7	28,9	23,1	21,3
\bar{T} (1956-1970)	6	18,7	19,3	22,9	26,5	28,4	29,5	28,8	28,5	29,2	28,3	23,4	20,8
	18	21,6	22,4	25,3	28,8	30,9	31,3	30,6	30,1	30,9	29,9	25,5	22,7
$\frac{T_6 + T_{18}}{2}$ (1956-1966)		20,7	21,1	24,4	28,1	30,2	30,7	29,8	29,3	30,1	29,5	26,0	22,7
$\frac{T_6 + T_{18}}{2}$ (1967-1970)		19,2	20,3	23,7	26,4	28,9	29,6	29,5	29,4	29,9	28,3	22,5	20,6
$\frac{T_6 + T_{18}}{2}$ (1956-1970)		20,2	20,9	24,1	27,7	29,7	30,4	29,7	29,3	30,1	29,1	24,5	21,8
Ecart (1956-1970) $T_6 - T_{18}$		2,9	3,1	2,4	2,3	2,5	1,8	1,8	1,6	1,7	1,6	2,1	1,9

Tableau 3 : Moyennes mensuelles des températures mesurées en surface et au fond des eaux du lac Tchad, entre 13h et 16h, à la station C1 (tiré de A. ROBINSON - 1968 -).

1967								1968			
M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
(29,0)	30,0	29,5	29,0	29,0	29,0	24,5	23,0	19,5	21,5	26,0	28,5

Températures moyennes mensuelles des eaux du lac Tchad en 1963. - D'après Hopson (1963) - . La situation n'est pas précisée.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
(23,0)	23,9	26,4	27,8	(28,5)	29,0	28,5	28,1	29,0	28,2	25,1	21,2

Tableau 4 : Valeurs extrêmes et moyennes des températures minimales, maximales et moyennes journalières de l'eau et de l'écart diurnes mesurées sur l'ensemble du lac Tchad au cours des campagnes de 1969-1970 et à Bol pendant les périodes correspondantes.

	Ensemble du lac				Bol			
	Tn	Tx	\bar{T}	Tx-Tn	T6	T18	\bar{T}	T6-T18
21 mars au 14 avril 1969 +	25,9	27,5	26,7	1,0	24,4	26,0	25,5	1,0
	27,1	30,2	<u>28,7</u>	3,1	26,3	28,5	<u>27,4</u>	2,3
	29,5	33,8	31,7	5,5	29,0	31,3	30,2	4,6
16 et 17 juillet 1969 +	27,0	-	-	-	28,8	30,7	29,8	1,1
	28,2	-	(30,5)	-	29,4	30,9	<u>30,2</u>	1,5
	29,4	> 31,0	-	-	29,9	31,0	30,5	1,9
24 septembre au 23 Octobre 1969 +	27,2	29,8	28,5	0,7	28,5	28,5	28,6	0,2
	28,8	31,5	<u>30,2</u>	2,7	29,6	30,7	<u>30,2</u>	1,2
	30,0	35,3	31,6	6,5	30,1	31,9	31,2	2,3
3 au 12 décembre 1969 *	20,8	21,7	21,6	0,3	20,0	20,7	20,4	0,5
	22,0	25,0	<u>23,5</u>	3,0	20,5	21,3	<u>20,9</u>	0,9
	23,1	27,4	24,8	5,7	21,0	22,0	21,5	1,2
8 au 18 février 1970 *	19,4	21,9	20,9	1,9	16,8	20,0	18,8	0,2
	20,5	24,0	<u>22,3</u>	3,5	18,2	21,0	<u>19,6</u>	2,9
	22,3	27,3	24,8	5,0	19,8	22,0	20,8	4,6

+ Mesures en surface.

* Mesure à 0,6 en dessus de la surface.

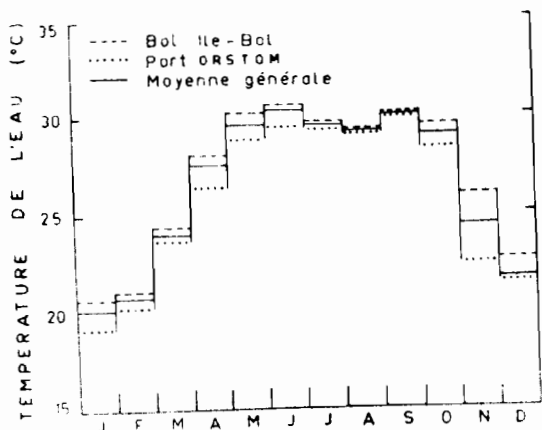


Fig. 1a : Températures moyennes mensuelles des eaux entre Bol et Bol-Ile (1956-1966) et au port ORSTOM de Bol (1967-1970). Températures moyennes générales aux deux stations (1956-1970).

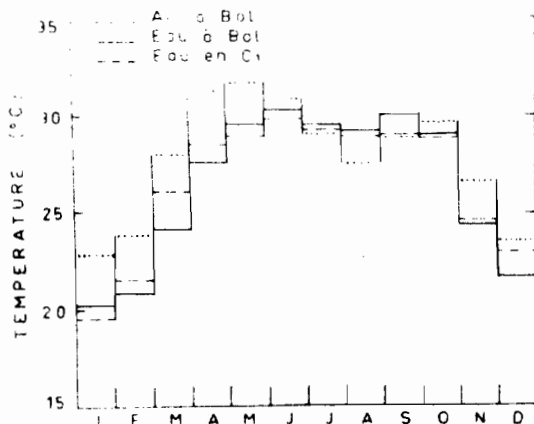


Fig. 1b : Températures moyennes mensuelles de l'air sous abri à Bol-Dune (1957-1966) et de l'eau à Bol (1956-1970) et à la station C1 (1967-1968).

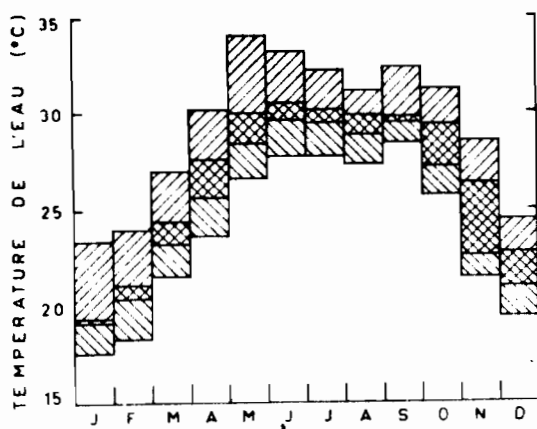


Fig. 1c : Intervalle de variation pluriannuel des températures moyennes mensuelles de l'eau à 6h et 18h à Bol (1956-1970).

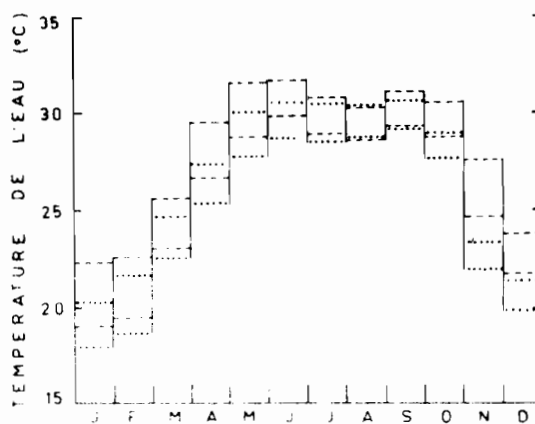


Fig. 1d : Températures moyennes mensuelles des eaux à 6h et 18h entre Bol-Ile (1956-1966) et au port ORSTOM de Bol (1967-1970).

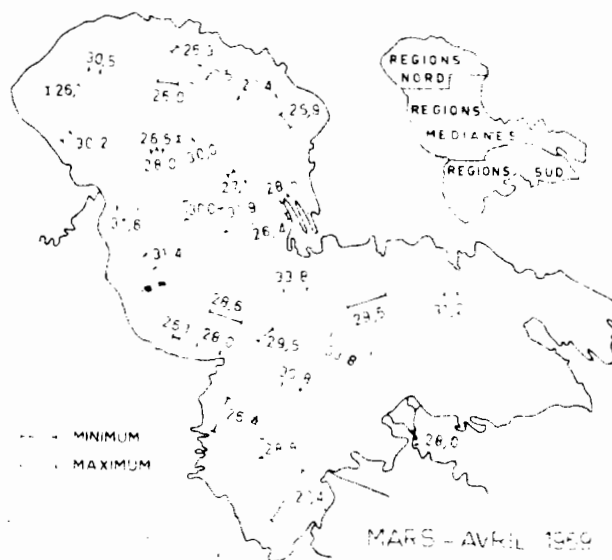


Fig. 2a : Températures minimales et maximales des eaux de surface du lac Tchad, en mars-avril 1969.

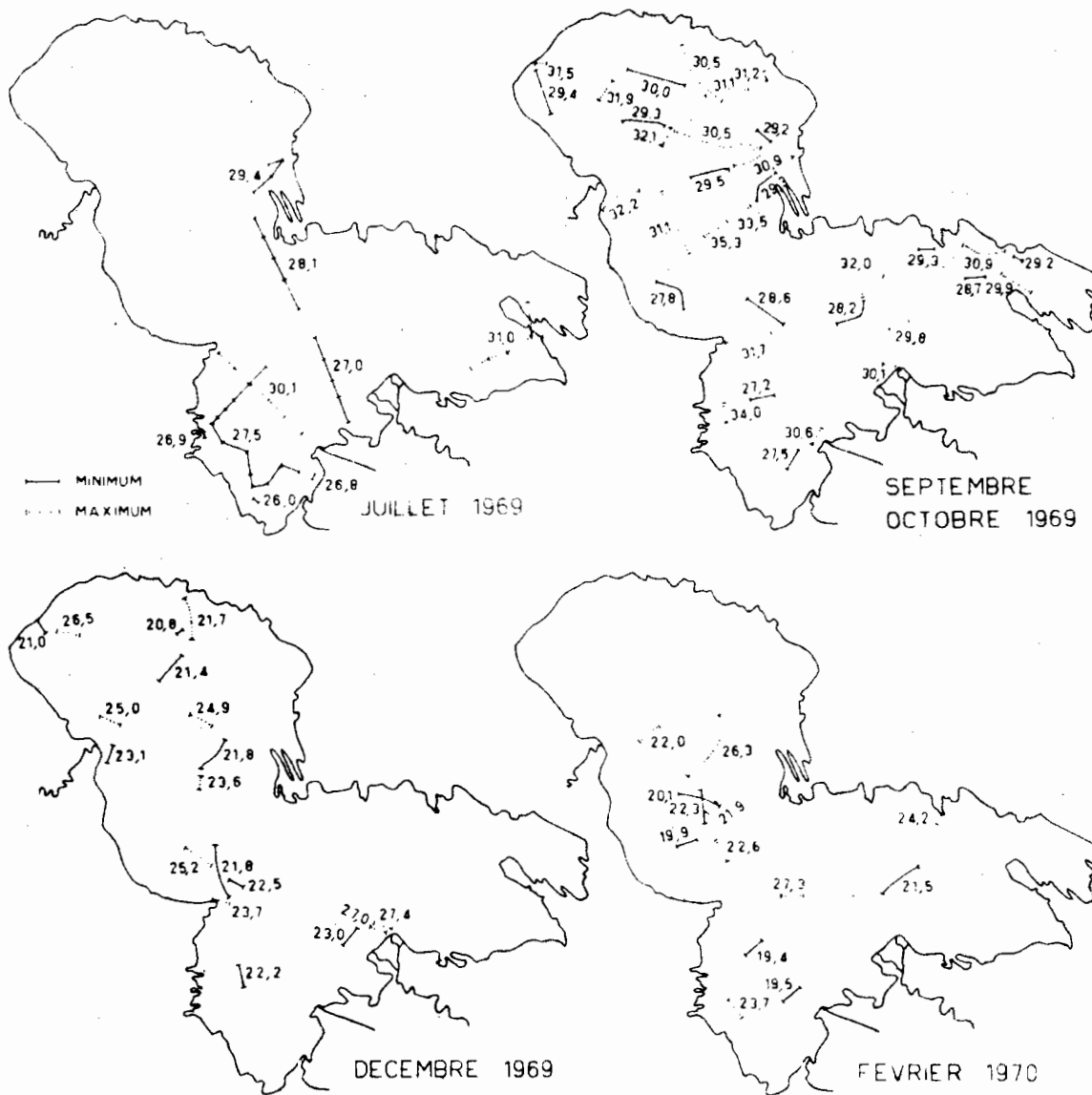


Fig. 2b : Températures minimales et maximales des eaux de surface du lac Tchad, de juillet 1969 à février 1970.

le fond (5 m) et la surface. A cette même station, en avril, mai et juin 1968, LEMOALLE (1969) a observé, au cours de trois journées, des écarts maximums de zéro à $-2,0^{\circ}$ entre la surface et 0,7 m de profondeur et de $-1,0$ à $-3,0^{\circ}$ entre la surface et le fond, situé à 3,0 m en dessous de celle-ci (fig. 3).

B) - A la station C1, au cours de l'année 1967 à 1968, entre 13 heures et 16 heures, les écarts de température entre 2 m de profondeur et la surface ne dépassent pas $-3,2^{\circ}$, 64 % étant compris entre $-0,6^{\circ}$ et $-2,0^{\circ}$. Compte tenu des heures d'observation, ces valeurs sont proches de l'écart maximum. La stratification est en général plus importante en saison chaude (A. ROBINSON - 1968).

C) - Le tableau 5 regroupe, pour les différentes profondeurs d'observation, les valeurs extrêmes et la moyenne des minimums, et des maximums journaliers ainsi que les valeurs extrêmes des moyennes journalières et la moyenne générale, pour l'ensemble du lac, en mars-avril 1969. La figure 4 montre un exemple de stratification thermique en différents points du lac au cours d'une journée.

Les températures décroissent en profondeur, les écarts moyens par rapport à la surface sont ainsi de $0,2^{\circ}$ à $0,6-0,7$ m en dessous de la surface, et de $-0,8^{\circ}$ à 0,3 m du fond. L'écart moyen entre la surface et le fond, au moment du maximum journalier est de $1,7^{\circ}$.

D'après 85 mesures simultanées, l'écart de température entre la surface et le fond varie entre $+ 0,2^{\circ}$ et $- 5,9^{\circ}$. La différence de $- 5,9^{\circ}$ a été observée le 3 avril à 16h 30, heure du maximum journalier dans les Eaux libres du sud-est, en l'absence totale de vent, pour une profondeur de 3,5 m et une température maximale en surface de $34,0^{\circ}$. Les plus grands écarts ont toujours été observés au cours de l'après-midi, par temps absolument calme.

La stratification thermique des eaux du lac Tchad est conforme au schéma attendu pour une masse d'eau de très faible profondeur sous climat chaud. La température des eaux décroît en profondeur mais cette stratification est seulement de période journalière et en général, vers l'heure du minimum la température redevient homogène sur toute l'épaisseur. On observe ainsi, au cours de la journée, une accumulation de chaleur à partir de la surface et, la nuit, une perte accompagnée d'une homogénéisation pratiquement complète en particulier à la suite de circulation verticales et très souvent par le brassage dû aux vagues. Le lac Tchad est

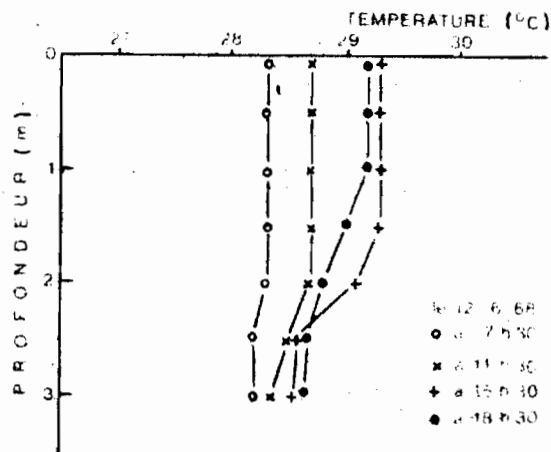
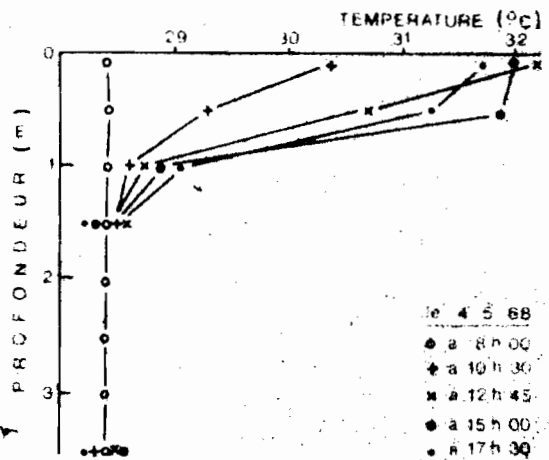
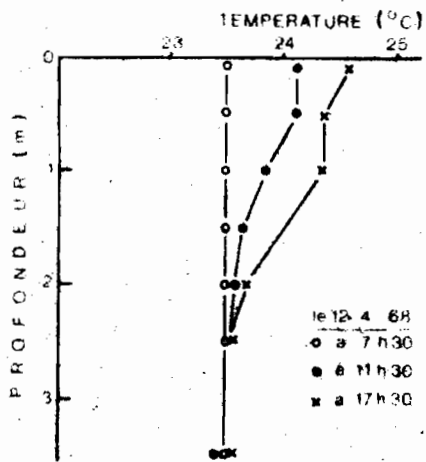


Fig. 3 : Profil de température des eaux du lac Tohad à Bol (- d'après J. LEMOALLE -1969-).

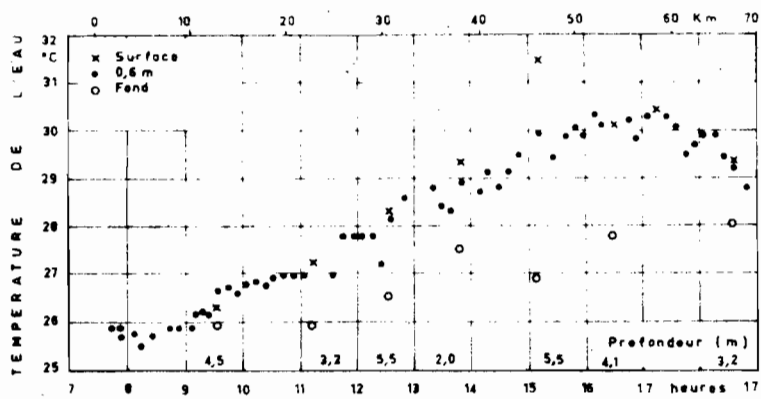


Fig. 4 : Variations de la température des eaux du lac Tchad, le 26 mars 1969, sur un axe nord-est-sud-ouest traversant les Îlots-Bancs du Niger.

Tableau 5 : Températures observées sur l'ensemble du lac à différentes profondeurs en mars-avril 1969 : valeurs extrêmes et moyenne des minimums et des maximums journaliers (colonne 1 et 2); valeurs extrêmes des moyennes journalières et moyenne générale (colonne 3).

	(1) Minimum journalier	(2) Maximum journalier	(3) moyenne journalière
Surface	25,9	27,5	26,7
	27,1	30,2	28,7
	29,5	33,8	31,7
0,60 m	25,6	27,2	26,5
	27,1	29,9	28,5
	29,6	32,4	31,0
Fond	25,9	26,4	26,2
	27,3	28,5	27,9
	29,8	31,5	30,5

ainsi de type polymictique, d'après la classification de Hutchinson et Löffler (1956). On pourrait dire aussi qu'il est dans un laps de temps de 24 heures, monomictique chaud.

Ces résultats montrent en outre que le fait d'avoir effectué les mesures en surface jusqu'en octobre puis à 0,7 m de profondeur en décembre et février, n'a qu'une importance relativement réduite et n'entraîne pas d'erreurs grossières dans les comparaisons qui seront faites ultérieurement avec les températures des eaux à Bol (§ 5 et 6).

5. TEMPERATURES MOYENNES.

A. BOL.

La température moyenne interannuelle est de 26,9° entre Bol et Bol-île (1956-1966) et de 25,7° au port O.R.S.T.O.M. (1967-1970), la moyenne générale (1956-1970) étant de 26,5°. Les moyennes mensuelles (fig. 1) apparaissent aussi systématiquement plus élevées à la première station, au milieu du bras, qu'à la seconde, en bordure du rivage. Toutefois cette différence de 1,2° peut aussi être due en partie, à des températures plus élevées au cours de la première période d'observation. Exception faite de novembre, l'écart entre les deux groupes de valeurs est pour chaque mois inférieur à 2°.

Les eaux sont les plus fraîches en janvier, au coeur de l'hiver, avec une température moyenne de 20°, puis en février et décembre. Un minimum secondaire, à peine marqué correspond en août au coeur de la saison des pluies au cours de laquelle a lieu une légère diminution de l'insolation et des températures de l'air. En fait les valeurs moyennes de mai à octobre, pendant toute la saison humide, varient seulement de 29,1° à 30,4° avec deux maximums très peu marqués en juin et en septembre.

La figure 5, d'après J.F. TALLING - 1969 -, permet de situer la variation annuelle de la température des eaux de surface du lac Tchad par rapport à celle de différents lacs africains répartis entre 26° de latitude sud et 33° de latitude nord.

La température moyenne annuelle des eaux est de 1,5° inférieure à celle de l'air, mesurée sous abri à Bol-dune de 1957 à 1966. Les températures moyennes

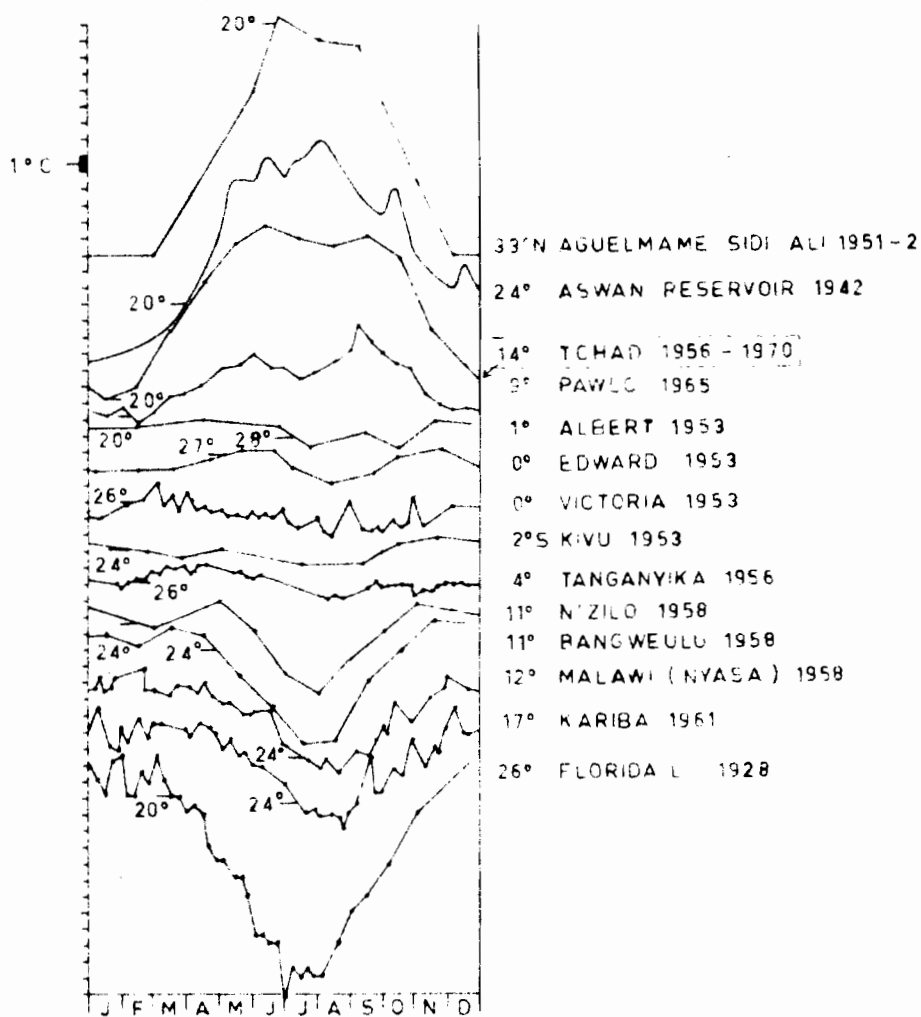


Fig. 5 : Variations annuelles de la température des eaux de surface dans différents lacs africains, en fonction de la latitude. Les dates correspondent à la période d'observation. Les courbes successives sont décalées les unes par rapport aux autres et l'échelle commune de température (à gauche) indique seulement des différences. Les valeurs absolues peuvent être déduites des valeurs reportées sur chaque courbe (d'après J.F. TALLING -1969- et ce travail pour le lac Tchad).

mensuelles des eaux ne sont que très légèrement supérieures à celles de l'air uniquement en saison des pluies. Le cas contraire est observé pendant le reste de l'année. Les écarts sont maximums en saison sèche et chaude. Ils peuvent alors s'expliquer par l'importance de la masse d'eau à réchauffer après la saison froide et par le refroidissement des eaux consécutif à la forte évaporation qui règne alors.

B. STATION C1.

Les minimums journaliers n'ont pas été observés à la station C1 mais les températures mesurées à une profondeur de 5 mètres en sont peu différentes, bien que légèrement supérieures. Les températures mesurées en surface, entre 13 et 16 heures correspondent sensiblement aux maximums. La moyenne de ces deux types de valeurs est donc légèrement supérieure à la température moyenne en surface. On détermine ainsi une moyenne de 26,5°, par excès, qui n'en demeure pas moins très proche de celle qui a été estimée à Bol (26,5°).

Les variations saisonnières sont aussi sensiblement analogues, avec un minimum de 19,5° en janvier et un maximum de 30° en juin. Le minimum secondaire d'août et le maximum secondaire d'octobre sont totalement effacés. De mai à octobre, les températures varient seulement entre 29° et 30°. Elles apparaissent plus élevées qu'à Bol en mars et avril, au moment du réchauffement du lac.

La température moyenne annuelle au fond est inférieure de 1 à 2° à celle de surface.

C. ENSEMBLE DU LAC.

Les moyennes générales sur l'ensemble du lac, estimées en calculant la moyenne des minimums et des maximums moyens, varient de 22,3° en février, 23,5° en décembre à 30,5° (estimée) en juillet, 30,2° en septembre-octobre. La moyenne journalière la plus basse observée est de 20,9° en février, 21,6° en décembre et la plus élevée de 31,7° en avril et 31,6° en octobre. Les moyennes minimales mesurées doivent être cependant légèrement supérieures aux moyennes minimales annuelles qui se situent en janvier, comme c'est le cas à Bol, à la station C1 et pour les températures de l'air, à toutes les stations climatologiques du bassin tchadien. Les moyennes maximales des températures de l'air se situent en avril à Fort-Lamy, mai à Bol et juin à Nguigmi, avec une seconde pointe en octobre. Toutefois celles de l'eau à Bol

et à la station C1 s'étalant de mai à octobre, les moyennes maximales mesurées en juillet et septembre-octobre sur l'ensemble du lac sont probablement assez proches des moyennes maximales annuelles.

Les moyennes générales, obtenues à Bol au cours des mêmes périodes, sont égales ou inférieures au plus de $2,7^{\circ}$, à celles de l'ensemble du lac. L'écart moyen est de $1,1^{\circ}$. Il serait normal que les moyennes journalières extrêmes, observées à Bol au cours d'une période déterminée soient comprises dans l'intervalle de celles qui ont été mesurées sur l'ensemble du lac. S'il ressort effectivement que les moyennes les plus élevées ont toujours été mesurées sur le reste du lac, il est curieux de constater que les plus faibles l'ont toujours été à Bol. Ceci tient probablement à la situation de Bol en bordure même des côtes mais aussi à la faible profondeur du point de mesure. On peut ainsi conclure que les eaux de la station sont en moyenne légèrement plus froides que celles de l'ensemble du lac.

L'écart entre la température moyenne mensuelle la plus fortes et la plus faible est de $10,2^{\circ}$ à Bol (1957-1970) et $10,5^{\circ}$ à la station C1 (1967-1968).

6. TEMPERATURES MINIMALES ET MAXIMALES.

A. BOL (températures à 6 heures et 18 heures).

L'intervalle de variation interannuel des températures moyennes mensuelles à 6 heures et à 18 heures et la moyenne mensuelle interannuelle de ces températures aux deux stations sont représentées sur la figure 2. L'intervalle de variation interannuel varie, selon les mois, de $1,7^{\circ}$ à $4,8^{\circ}$ pour les minimums et de $2,2^{\circ}$ à $0,0^{\circ}$ pour les maximums. Le minimum moyen mensuel est de $18,7^{\circ}$ en janvier; le maximum moyen mensuel est compris entre $29,9^{\circ}$ et $31,3^{\circ}$ de mai à octobre.

B. STATION C1 (températures minimales au fond et maximales en surface).

Les températures minimales moyennes mensuelles mesurées au fond sont estimées à 19° en janvier et les températures maximales moyennes en surface à 31° en juin.

C. ENSEMBLE DU LAC (minimums et maximums moyens et absolus).

En raison de la répartition tant spatiale que temporelle des mesures ces valeurs ne représentent évidemment pas les maximums et les minimums réels de

l'année. Les remarques faites sur les moyennes à ce sujet leurs sont applicables.

Les températures minimales moyennes observées sur l'ensemble du lac varient de 20,5° en février, 22,0° en décembre à 27,1° en mars-avril, 28,8° en septembre-octobre et plus de 28,2° en juillet. Les températures maximales moyennes s'échelonnent de 24,0° en février, 25,0° en décembre à 30,2° en mars-avril et 31,5 en septembre-octobre.

La température minimale journalière la plus basse observée est de 19,4° en février et 20,8° en décembre tandis que la température maximale la plus élevée est de 35,3° en octobre et 33,8° en avril.

Au cours des mêmes périodes, les minimums moyens sont plus faibles en décembre, février et mars-avril à Bol que sur l'ensemble du lac. Les écarts sont compris entre 0,8° et 2,3°. Le contraire est observé en septembre-octobre avec un écart de 0,8° et probablement en juillet. Si l'on considère la température minimale la plus basse mesurée au cours de chaque période, on constate qu'elle l'a été à Bol en décembre, février et mars-avril. Ceci rejoint ce qui a été dit précédemment au sujet des températures moyennes les plus faibles et confirme que les eaux de la station de Bol sont relativement fraîches par rapport à celles de l'ensemble du lac.

Les maximums moyens sont toujours plus faibles à Bol que sur l'ensemble du lac. Les écarts varient de 0,8° à 3,7° avec une moyenne de 2,3°. Il en est de même des maximums absolus, avec des écarts compris entre 2,5° et 5,4° et une moyenne de 4,1°. Au moins au cours des mois chauds, les faibles profondeurs à Bol devraient normalement entraîner des températures plus élevées. Il faut donc y voir l'effet prédominant de la situation de la station dans l'archipel et en bordure des côtes où le phénomène est peut être général. On peut aussi penser que, notamment en saison sèche, le déficit de saturation de l'air, plus élevé en bordure des côtes que sur le lac, y engendre une évaporation plus importante et par suite un rafraichissement plus marqué des eaux. - Les différences d'humidité relative de l'air, mises en évidence au cours de la campagne de mars-avril 1967, confirment que l'Harmattan très sec, qui souffle du nord-est, se charge d'humidité en passant sur le lac (voir § "climatologie") -.

Le fait que les températures de l'eau soient mesurées à 18 heures, alors que le maximum diurne est déjà passé, peut toutefois contribuer à expliquer les écarts. Dans ce sens, on peut constater que les écarts maximums sont en hiver au

cours duquel l'insolation est plus brève et la chute des températures de l'air plus brutale. Rappelons qu'en mars-avril, sur l'ensemble du lac, l'écart entre les températures maximales et celles de 18h n'est que de 0,4°.

7. ECART DIURNE.

A. BOL.

L'écart diurne moyen mensuel, entre 6h et 18h, est compris entre 1,6° et 1,8° de juin à octobre et de 1,9° à 3,1° de novembre à mai. Rappelons que l'écart diurne entre le minimum et le maximum lui est légèrement supérieur.

B. A la station C1, les minimums diurnes n'ayant pas été mesurés, une approximation de l'écart diurne peut être tentée en considérant l'écart vertical qui lui est légèrement inférieur. Rappelons que celui-ci ne dépasse pas 3,2°. Avec comme valeur la plus fréquente 1,1 à 2,0°.

C). Sur l'ensemble du lac les écarts diurnes moyens mesurés au cours des campagnes sont compris entre 2,7 et 3,5°, avec un minimum absolu de 0,3° et un maximum absolu de 6,5°. En mars-avril, l'écart diurne moyen au fond a été évalué à 1,3°.

8. VARIATIONS SPATIALES DES TEMPERATURES.

A. A l'échelle du lac, il est difficile de mettre en évidence des écarts régionaux de température des eaux en l'absence de mesures simultanées en diverses stations, de caractéristiques physiques bien définies, ou de mesures effectuées sur des distances importantes en un temps relativement court par rapport à l'évolution journalière. L'exploitation des résultats obtenus lors des campagnes en bateau est délicate car, à l'influence des profondeurs, s'ajoutent en effet la variabilité des températures d'un jour à l'autre et, de novembre à avril, une évolution saisonnière qui peut être très sensible au cours des campagnes qui durent 10 à 20 jours. Il existe bien des gradients saisonniers de la température de l'air mais celle-ci n'est pas le seul paramètre qui détermine la température de l'eau. Le régime des vents et l'évaporation, liée elle-même à l'insolation, à l'humidité relative et au vent, jouent aussi un rôle important. Il apparaît ainsi complexe, sinon impossible, de quantifier des écarts régionaux à partir des données climatiques qui ne sont d'ailleurs elles-mêmes pas toujours très représentatives du climat

du lac. Les moyennes des minimums et des maximums mesurés au cours des campagnes ont été calculées par grandes régions, méridionale, médiane et septentrionale (tableau 6). Cette méthode globale, sans analyse statistique plus poussée est critiquable car aux remarques faites ci-dessus d'ajoute une forte hétérogénéité numérique des résultats suivant les régions et les campagnes : pour une même région, le nombre de minimums et de maximums n'est pas en général identique.

On peut cependant constater que les écarts régionaux entre le sud et le nord sont compris entre $0,7^{\circ}$ et $2,0^{\circ}$ pour les minimums et entre $0,7^{\circ}$ et $3,1^{\circ}$ pour les maximums. Sauf pour les minimums en mars-avril (écart maximum de $0,7^{\circ}$), une évolution régionale continue est observée. On note un accroissement du sud au nord pour les maximums en mars-avril ($0,7^{\circ}$) et pour les minimums en juillet ($> 1,9^{\circ}$), et une décroissance du sud au nord pour les minimums en septembre-octobre ($2,0^{\circ}$) et pour les minimums ($1,5^{\circ}$) et les maximums ($3,1^{\circ}$) en décembre.

Mentionnons que les gradients spatiaux des températures de l'eau et de l'air ont été comparés en utilisant pour ces dernières les minimums et maximums moyens mensuels aux stations climatologiques de Fort-Lamy, Bol et Nguigmi. Les gradients sont de sens contraire pour les minimums en mars-avril et en septembre-octobre et de même sens pour les minimums en juillet et les maximums en décembre.

La forte augmentation saisonnière des températures de l'eau en mars et avril, telle qu'elle est observée à Bol, peut expliquer l'accroissement sud-nord des températures mesurées sur le lac à cette période car les régions méridionales puis septentrionales ont d'abord été parcourues. La région médiane l'ayant été au milieu et en fin de campagne.

En juillet 1969, les mesures effectuées en hydravion, pendant des intervalles de temps suffisamment courts, permettent une :

- mise en évidence d'un gradient spatial de température. Le tableau 7 indique que le 17 juillet, entre les Eaux-libres à l'ouest du delta (A) et l'Archipel du nord-est (D - région de Baga Kiskra), l'accroissement sud-nord des températures minimales est de $2,5^{\circ}$ sur une centaine de kilomètres.

- comparaison de la variation spatiale des températures dans une grande région. Dans la zone sud-ouest, la température moyenne minimale du lac, le 16 juillet, est de $27,5^{\circ}$ tandis qu'elle est de $26,6^{\circ}$ à quelques centaines de mètres des

Tableau 6 : Températures des eaux de surface dans les grandes régions du lac Tchad.

	Mars-avril 1969			Juillet 1969			Sept-Oct. 1969			Décembre 1969			Février 1970		
	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.
Nord	26,9	29,0	31,1	-	-	-	27,6	29,4	31,1	21,1	22,6	24,1	-	-	-
Med.	27,2	29,0	30,8	29,4	28,1	-	29,0	30,4	31,8	22,3	23,4	24,5	20,8	22,5	24,1
Sud	26,5	27,8	29,1	27,5	29,0	30,5	29,6	30,5	31,3	22,6	24,9	27,2	20,2	22,9	25,5
Ecart	0,7		2,0	1,9			2,0		0,7	1,5		3,1	0,6		1,4

Tableau 7 : Températures extrêmes et moyennes des eaux mesurées les 16 et 17 juillet dans diverses régions du lac Tchad.

Régions (cf.fig.2b)	Nombre de points	Date	Heures	Valeurs extrêmes des températures mini- males (°C)	Température moyenne (°C)
MN	14	16.7.69	6h50-8h25	27,1 - 27,8	27,5
MN	3	16.7.69	6h45-7h50	26,0 - 26,9	26,6
Bol	1	16.7.69	7h	2 29,9	29,9
A	5	17.7.69	6h20-6h40	26,8 - 27,2	27,0
B	5	17.7.69	6h45-7h05	27,2 - 28,5	28,1
Bol	1	17.7.69	18h	28,8	28,8
D	4	17.7.69	7h10-7h30	29,0 - 29,5	29,4

MN : zone sud-ouest. A : Eaux-libres à l'ouest du delta. B : Grande barrière.

D : Archipel entre Haykoulou et Baga Kiskra.

côtes, où la profondeur est inférieure à 0,5 mètres. Les eaux littorales se sont plus refroidies pendant la nuit que les eaux plus profondes du large.

Ces variations, dans une région restreinte, ont pu également être estimées lors des campagnes en bateau. La figure 4 montre un exemple fréquent de la variation observée au cours d'une journée de croisière. En général, dans plus de 95 % des cas, l'écart est inférieure à 0,5° par rapport à la courbe moyenne définie par l'ensemble des valeurs.

B. Dans les bras côtiers, sur quelques kilomètres de distance, des variations spatiales de la température des eaux, pouvant atteindre 1 à 3°, ont pu être parfois observées. Ainsi par exemple, alors que normalement les températures croissent jusque vers 16 ou 17h ou présentent un maximum étalé de 15h à 17h, une diminution régulière de 27,0° à 25,5° a été mesurée le 25 mars 1969 de 14h à 16h 30 de l'entrée à l'extrémité du bras de Tataverom. Par contre aucune évolution spatiale n'a été constatée en juillet dans ce même bras.

C. En mars-avril, les moyennes des températures maximales et minimales mesurées dans les Eaux-libres, les flots-bancs et les archipels sont respectivement de 30,6°, 29,6° et 29,6° et 29,3° et de 26,9° 27,3° et 27,0°. Au moins à cette époque, aucune différence marquée, spécifique aux grands types de paysage, n'apparaît.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.

La comparaison des températures de surface, mesurées sur l'ensemble du lac et à Bol, montre que les eaux de cette station ont tendance à être légèrement plus fraîches. L'écart moyen entre les minimums ou les maximums, suivant les périodes au cours desquelles ont été faites les observations, varie entre zéro et 2,7°.

Les températures moyennes annuelles des eaux, observées en surface à Bol et à la station C1 sont de 26,5°. Cette valeur est obtenue légèrement par défaut à la première station et légèrement par excès à la deuxième.

Les températures moyennes mensuelles les plus faibles aux deux stations sont respectivement de 20° et 19,5° en janvier, au coeur de l'hiver, et les plus élevées, pratiquement identiques, sont comprises entre 29° et 30,5° de mai à octobre

pendant toute la saison moite. Bien que les périodes d'observation soient différentes, on peut constater la similitude des résultats obtenus aux deux stations. Les écarts diurnes moyens mesurés sur l'ensemble du lac sont compris entre 2,7° et 3,5° et entre 1,6° et 3,1° à Bol.

Généralement inexistante au moment du minimum diurne, une stratification thermique des eaux s'établit au cours de la journée. L'écart maximum, le plus fréquemment compris entre 0,5 et 2°, est atteint dans l'après-midi. Elle est inexistante au moment du minimum diurne et dénote une homogénéisation verticale complète des eaux.

Les variations spatiales de température apparaissent relativement faibles. Entre le sud et le nord du lac, des écarts entre les maximums ou les minimums régionaux ont été constatés et varient selon les époques entre 0,7° et 3°.

Ces résultats font apparaître les possibilités offertes par la comparaison des mesures réalisées au cours de campagnes itinérantes avec celles qui sont effectuées à des stations fixes, pour une connaissance des températures à l'échelle du lac. La méthode utilisée ne représente qu'une ébauche qui devrait être développée, en particulier sur le plan statistique, si les résultats étaient plus complets dans l'espace et le temps pour le mériter.

Compte tenu des possibilités prévisibles dans les années futures, on se bornera, pour être suffisamment réaliste, à recommander, non pas l'implantation de plusieurs stations fixes de mesure, mais le déplacement de la station actuelle de Bol à 200 mètres au large du port, où les températures seraient mesurées en surface et au fond, au moins à l'heure du minimum et du maximum. Parallèlement, les températures seraient systématiquement mesurées à différentes profondeurs au moins deux fois par jour entre 6h 30 et 8h 00 pour les minimums, et entre 15h 30 et 16h 30 pour les maximums, par les différents chercheurs au cours de leurs missions sur le lac. L'un d'eux serait chargé de centraliser en permanence les résultats. Cette organisation est d'autant plus concevable que tous les chercheurs travaillant sur le lac sont intéressés, dans des buts différents, par la température des eaux et que le travail nécessaire serait minime en regard des bénéfices escomptés.

On peut ajouter qu'il serait évidemment plus logique que ces mesures soient réalisées dans le cadre d'un programme plus large d'observations climato-

logiques (et morphologique) suivant un principe analogue. Son intérêt apparaît primordial quand on connaît le peu de renseignements disponibles sur le climat régnant sur les eaux du lac.

B I B L I O G R A P H I E

- BILLON (B.), CALLEDE (J.), SABATIER (J.) - 1963 - Etude hydroclimatologique des polders de la région de Bol. Sect. hydrol. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 69 p., 56 fig.
- GRAS (R.), ILTIS (A.), LEVEQUE-DUWAT (S.) - 1967 - Le plancton du Bas-Chari et de la partie est du lac Tchad. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol., vol. 1, n° 1-4, p. 25-96.
- HOPSON (A.J.) - 1965 - Winter scale rings in Lates niloticus (Pisces-Centropomides) from Lake Chad. Nature, vol. 208, n° 5014, p. 1013-1014.
- HUTCHINSON (G.E.) et LOFFLER (H.) - 1956 - The thermal classification of lakes. Proc. nat. Acad. Sci., 42 : 84-86.
- LEMOALLE (J.) - 1969 - Premières données sur la production primaire dans la région de Bol (avril-octobre 1968) (lac Tchad). Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol., vol. III, n° 1, p. 107-119.
- ROBINSON (A.) - 1968 - Annual report 1966-1967. Federal Fisheries Services. Lake Chad Research Station. Malamfatori, p. 26-34.
- TALLING (J.F.) - 1969 - The incidence of vertical mixing, and some biological and chemical consequences, in tropical African Lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol., 17, 998-1012.
- TOUCHEBEUF de LUSSIGNY (P.) - 1969 - Monographie hydrologique du lac Tchad. Sect. Hydrol. O.R.S.T.O.M., Paris, 169 p.