



PB 604

*Journal of Hydrology* 10 (1970) 141-150; © North-Holland Publishing Co., Amsterdam

Not to be reproduced by photoprint or microfilm without written permission from the publisher

## UN EXEMPLE D'ETUDE D'HYDROGEOLOGIE ISOTOPIQUE EN PAYS SEMI-ARIDE, LE BASSIN DU LAC TCHAD

H. FAURE\*, J-Ch. FONTES\*\*, C. E. GISCHLER†, W. G. MOOK†† et J. C. VOGEL††

**Abstract:** The study of water resources in the Lake Chad Basin, undertaken by UNESCO since 1966, consisted of the preparation of a map of the entire basin, an analog model and an examination of all previous studies carried out. To verify and control existing data, a complementary isotopes study was introduced in collaboration with the Physics Laboratory of the University of Groningen (Netherlands), including determinations of  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{14}\text{C}$  and  $^3\text{H}$  abundances and of tritium on behalf of FAO, carried out by IAEA (Vienna).

Since 1965 the French research organisation ORSTOM developed a series of long-term multidisciplinary studies in order to obtain an insight into the different aspects of the hydrological balance of Lake Chad. The laboratory of Dynamic Geology of the University of Paris contributed to the ORSTOM programme by carrying out an extensive investigation of the stable oxygen isotopes.

It was decided to harmonize the tasks of the two organizations involved, and although the final interpretation of the data is still in preparation, some preliminary results are given.

The average rainfall at present feeding the aquifers in the Chad Basin has an  $^{18}\text{O}$  content of  $(-6 \pm 1)\text{‰}$  (relative to the SMOW standard). Because of evaporation the water of the Chari River, representing about 90% of the total input in the Lake Chad, becomes enriched in  $^{18}\text{O}$  from about  $-4\text{‰}$  to even  $+17\text{‰}$  in the North Eastern border areas of the lake.

The groundwaters in the surroundings of Lake Chad generally reveal figures from  $-4$  to  $-7\text{‰}$ . In the pressure aquifers ages of over 40000 years are found by  $^{14}\text{C}$  analyses.

Some phreatic groundwaters, with ages within several thousands of years, can be interpreted as mixtures of recent and old waters as indicated by their tritium content.

Certain groundwaters in the North of the Chad Basin with  $^{18}\text{O}$  contents of  $-8$  to  $-11\text{‰}$  bear evidence of climatic conditions perceptibly different from the present climate, with lower temperatures and a higher relative humidity.

Depuis le début du siècle, le bassin du Lac Tchad a fait l'objet de multiples travaux dans le domaine de l'hydrogéologie. La quantité de résultats disponibles, et le fait qu'ils étaient parfois répartis sur les 4 pays riverains du lac Tchad (Tchad, Cameroun, Nigeria et Niger) a incité les services intéressés de l'Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la

\* Comité technique de Géologie, ORSTOM 24, rue Bayard Paris VIIIe.

\*\* Laboratoire de Géologie dynamique, Faculté des Sciences, Paris Ve.

† Office hydrologie, UNESCO, Place Fontenoy Paris 7e. Adresse actuelle: Geologisch en Mineralogisch Instituut, Garenmarkt, Leiden, Pays-Bas.

†† Natuurkundig Laboratorium Universiteit, Groningen, Westersingel 34, Pays-Bas.

O.R.S.T.O.M.

Fonds Documentaire

N° : 02693

Cote 9

Date

Culture" (UNESCO) à mettre en oeuvre en collaboration avec la "Commission du Bassin Tchadien", regroupant les 4 pays riverains, une "synthèse hydrologique du bassin géographique du lac Tchad". Ce travail devait se composer de "la préparation d'une carte de l'ensemble des ressources en eau du bassin sur la base des études antérieures et de la documentation existante, et de la construction d'un modèle analogique électrique". Les diverses implications de cette synthèse ont fait l'objet d'un inventaire à l'occasion d'un exposé des motifs en cours de réalisation<sup>1</sup>).

Dans le prolongement de ses travaux antérieurs sur la cuvette tchadienne, "l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer" (ORSTOM) a de son côté développé en 1965 une série d'études multidisciplinaire dans un programme à long terme dont l'un des buts est l'établissement d'un bilan relatif aux phénomènes d'altération, d'érosion et de sédimentation. L'ensemble de ces facteurs géodynamiques externes étant sous la dépendance du cycle hydrologique du bassin, une attention particulière était accordée à ce problème dans l'établissement du programme ORSTOM.

On sait les progrès réalisés au cours de la dernière décennie dans l'application des mesures physico-chimiques aux études de cycles hydrologiques. Parmi ces techniques récentes l'une des plus fécondes est sans conteste la détermination des compositions isotopiques. Un symposium de "l'Agence Internationale de l'Energie Atomique" consacré à l'emploi des mesures isotopiques a montré<sup>2</sup>), entre autres, l'intérêt que peuvent en effet présenter ces méthodes dans la diversité des problèmes soulevés en hydrologie et en hydrogéologie.

Ainsi l'ORSTOM sollicitait la collaboration du département spécialisé du "Laboratoire de Géologie Dynamique" de l'Université de Paris pour la réalisation d'une étude des teneurs en oxygène-18. L'échantillonnage commençait au début de 1966.

Ce programme se trouvait bientôt complété par celui établi sur l'initiative du Chef du projet UNESCO et portant également sur des mesures d'oxygène-18 mais aussi sur des déterminations de teneur en carbone-14. L'exécution en fut confiée pour la partie analytique, au département des isotopes du "Laboratoire de Physique de l'Université de Groningen". Les prélèvements correspondants prenaient effet dès les derniers jours de 1966.

Une harmonisation des tâches respectives fut alors rapidement décidée.

Les problèmes à envisager concernent tout d'abord le bilan hydrologique d'un bassin versant de près de 2200000 km<sup>2</sup>. Ce bilan peut avec une bonne approximation se résumer à celui du lac Tchad, nappe d'eau de près de 20000 km<sup>2</sup> qui draine le réseau de surface. La zone actuellement inondée repose sur des terrains quaternaires qui contiennent, en particulier au Nord et à l'Est du lac, plusieurs nappes aquifères souvent superposées jusqu'à une

profondeur de plus de 600 m. On considère<sup>3,4)</sup> que le lac Tchad, qui n'a pas d'émissaire, alimente ces nappes. D'autres auteurs retiennent que le lac ne peut guère présenter de pertes par infiltration<sup>5)</sup>. Il a été cependant commode de considérer que cette alimentation des nappes pourrait se faire aux dépens des eaux du lac les plus chargées en sels. Certains ont voulu trouver là un

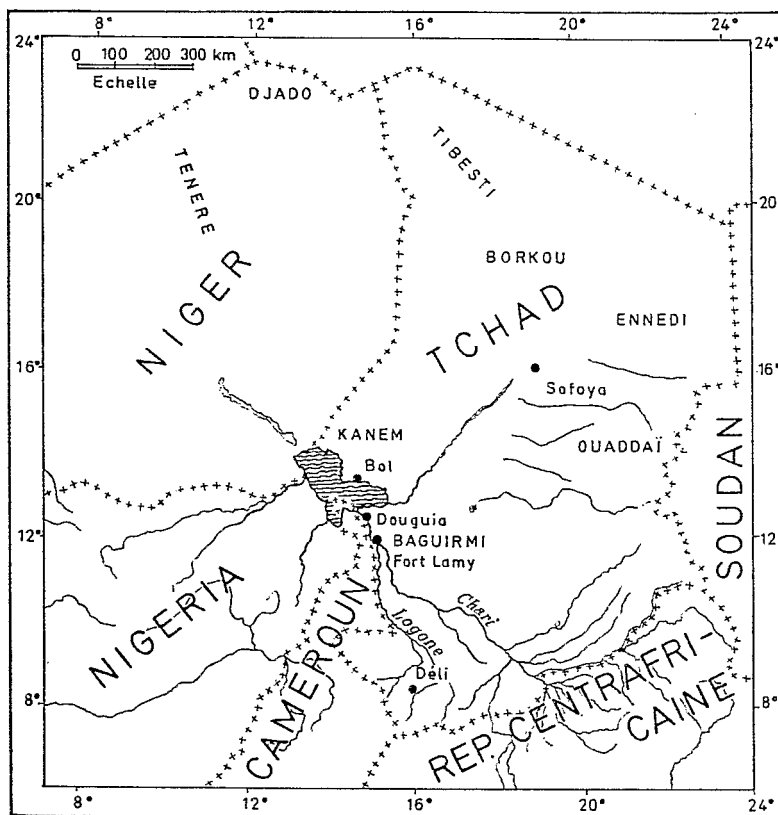


Fig. 1

début d'explication au fait que le lac Tchad, qui reçoit annuellement plus de  $2 \times 10^6$  tonnes de sels dissous<sup>6,7)</sup>, pour un volume total d'eau de l'ordre de grandeur de  $50 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , garde une eau relativement peu chargée en sels. La conductivité, en effet, ne dépasse pas 600 à 700  $\mu\text{mhos}^{-1}$  sur la rive nord la plus évaporitique pour une conductivité moyenne de l'ordre de 60  $\mu\text{mhos}^{-1}$  à l'embouchure du fleuve Chari qui apporte au lac 95% de son alimentation<sup>5,7)</sup>. En revanche la région du Kanem au nord du lac montre une grande variété de bassins évaporitiques ("ouadis" et natronières) situés dans des creux de dunes et dont les saumures essentiellement carbonatées sodiques

montrent des résidus sec de l'ordre de 350 g/l<sup>4</sup>). Ces cuvettes où se déposent trona et gaylussite<sup>4</sup>) sont alimentées par les nappes dont on a vu que se posait le problème de leur recharge éventuelle par le lac.

## 1. Techniques expérimentales

### 1.1. OXYGÈNE-18—<sup>18</sup>O

Une partie aliquote de l'échantillon est équilibrée en thermostat (25 °C) avec une quantité définie de gaz carbonique. Les mesures sont faites au spectromètre de masse à double collection de type Nier. Les appareils sont respectivement de marque Thomson-Houston (THN 204 modifié) pour le laboratoire de Géologie Dynamique et Atlas-Werke (M 86) pour le laboratoire de Physique de Groningen. Les quantités d'eau et de CO<sub>2</sub> sont de 3 et 20 ml dans le premier cas, et de 10 et 90 ml dans le second.

Les résultats sont exprimés en termes de parts pour mille ou  $\delta$  par rapport au standard classique (SMOW) défini par Craig.

$$\delta^{18}\text{O vs SMOW} = \left( \frac{R_{\text{éch.}}}{R_{\text{SMOW}}} - 1 \right) 1000$$

avec  $R = {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}$ . La déviation standard est de 0,1 pour mille pour chacun des deux laboratoires. Les calibrations inter-laboratoire montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les mesures effectuées par les deux organismes.

### 1.2. CARBONE-14—<sup>14</sup>C

Le gaz carbonique contenu dans l'eau sous forme CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub> H<sup>-</sup> ou CO<sub>2</sub> dissous est déplacé sur le terrain par attaque acide en circuit fermé et piégé dans un flacon contenant 200 ml d'une solution 4 N de soude, selon la méthode de Vogel<sup>8</sup>) perfectionnée en collaboration avec l'équipe UNESCO. Au laboratoire le gaz carbonique est à nouveau libéré par acidification de la solution carbonatée sodique. Après séchage et purification l'activité du <sup>14</sup>C contenu dans le gaz est déterminée avec un compteur proportionnel.

Dans tous les cas la teneur en <sup>13</sup>C de ce gaz carbonique a été mesurée au spectromètre de masse et référée, en termes de  $\delta$  au standard PDB avec une déviation standard de 0,1 pour mille.

## 2. Résultats

Plus de 1000 échantillons ont été analysés dans le cadre du programme oxygène-18 ORSTOM. Les différentes rubriques concernées sont: précipi-

tations, fleuves, lac Tchad, nappes superficielles et bassins évaporitiques associés dans la région nord du lac.

A ces données s'ajoutent celles de 227 échantillons du programme UNESCO dont l'originalité consiste essentiellement dans l'inventaire des nappes bordières et profondes sur tout le pourtour du lac. Quelques échantillons de référence ont été également prélevés dans le réseau de surface, le lac et les précipitations. Les nappes ont fait l'objet de 90 mesures de radiocarbone.

Il est clair que nous ne donnerons pas ici l'ensemble de ces résultats et leur discussion. Ce travail est actuellement en cours<sup>9-12</sup>). Nous nous proposons simplement d'exposer les grandes lignes de nos résultats d'ordre hydrogéologique qui se dégagent d'une interprétation préliminaire.

### 2.1. PLUIES

La saison des pluies s'étend de la fin mai au début octobre avec plus de la moitié des précipitations annuelles concentrées sur un mois (août). La composition isotopique des précipitations oscille de façon discontinue entre +1 pour mille *vs* SMOW pour des pluies de fin ou début de saison, et -7,8 pour mille *vs* SMOW au coeur du mois d'août, à Déli au sud-ouest du Tchad. Au sud du lac, à Fort-Lamy, l'écart maximal est encore plus grand avec des valeurs de l'ordre de +2 pour mille *vs* SMOW à la fin avril et -11 pour mille *vs* SMOW à la fin août. A Bol l'écart maximal est de 14 pour mille (+4 pour mille *vs* SMOW au début juin à -10 pour mille à la fin août). A Sofoya les valeurs sont du même ordre. Compte-tenu de la pluviométrie nous estimons que la valeur moyenne de la composition isotopique des précipitations est comprise entre -5 et -6 pour mille *vs* SMOW pour la région sud du lac et -6 à -7 pour mille pour celle qui concerne la région nord du lac.

Si l'on considère les quelques 320 mm<sup>5</sup>) de précipitations reçus annuellement par le lac Tchad, il faut s'attendre à une importante modification de la composition isotopique du lac par cet apport d'eau sensiblement appauvrie en isotopes lourds. Par ailleurs, les valeurs trouvées pour les pluies peuvent être comparées avec les compositions de l'eau des nappes superficielles et permettent ainsi de discuter de leur éventuelle recharge par les pluies, comme nous le verrons plus loin.

### 2.2. RESEAU DE SURFACE

On a vu qu'en première approximation l'on pouvait réduire l'alimentation fluviale du lac Tchad au Chari, quelque peu grossi en amont de Fort-Lamy de la venue du Logone. Ces deux cours d'eau ont fait l'objet de prélèvements

périodiques immédiatement en amont de la confluence (Chagoua pour le Chari, Fort-Foureau pour le Logone). Dans les deux cas la composition isotopique accuse une variation de période annuelle. L'eau du Chari reste comprise entre +2,0 et -4,5 ( $^{18}\text{O}$  pour mille vs SMOW) tandis que celle du Logone varie annuellement entre +1,5 et -5,5 pour mille vs SMOW. Les valeurs minimales sont liées à la saison des pluies tandis que les valeurs hautes interviennent à la fin de la saison sèche et sont évidemment dues à l'évaporation.

Ces résultats impliquent que toute recharge actuelle des nappes superficielles par les rivières se fait avec une eau de composition isotopique comprise dans cet intervalle. La période de recharge devant coïncider avec celle des crues, ce sont les valeurs minimales correspondantes qui doivent être rapportées à l'alimentation des nappes liées aux inféro-flux et aux crues du Chari et du Logone. On peut donc chiffrer à environ -4,5 pour mille vs SMOW la composition isotopique moyenne d'une telle alimentation.

### 2.3. LAC TCHAD

On a vu que le lac présente une surface assez grande par rapport à la masse des eaux. Etant donné par ailleurs le climat de la région et en particulier les données concernant l'humidité relative moyenne (45% mesurée à Douguia pour une température moyenne de l'eau en surface de  $26,4^\circ\text{C}$ )<sup>5</sup>) on peut prévoir que le lac accusera une forte augmentation de la composition isotopique de ses eaux par rapport à celles du tributaire. On estime au vu de plusieurs méthodes (bilan hydrologique, loi de Dalton, formule de Penman) que l'évaporation annuelle moyenne sur la surface libre du liquide évaluée à sensiblement  $14000\text{ km}^2$  (îles et végétation déduites) est de l'ordre de  $3300\text{ mm/an}$ <sup>5</sup>). Les mesures montrent en effet une forte augmentation de la teneur en isotopes lourds. Ainsi le lac oscille entre +2 et +6,5 pour mille vs SMOW à Bol et entre +9 et +16 pour mille vs SMOW à Karé-Katia que l'on peut considérer comme point représentatif du maximum d'effet des conditions évaporitiques.

Les variations de la composition isotopique en chacun de ces points nous paraissent dues à l'influence des pluies d'été ainsi qu'aux fluctuations de l'humidité relative. En effet la masse d'eau du lac lui-même est en état stationnaire du point de vue isotopique ainsi que le montrent l'étude conjuguée de la composition isotopique et de la teneur en sels<sup>9</sup>).

Ainsi toute alimentation lacustre des nappes bordières doit se refléter dans la composition isotopique de ces dernières par une augmentation très nette des teneurs en isotopes lourds par rapport aux valeurs démontrées par les pluies ou le réseau de surface.

#### 2.4. LES "NAPPES SUPERFICIELLES" ET LES BASSINS ÉVAPORITIQUES ASSOCIÉS

Nous désignons sous la rubrique "nappe superficielle" l'ensemble des aquifères pour lesquelles la hauteur d'eau accessible dans un puits ou en sondage, n'excède pas 10 m.

##### 2.4.1. $^{18}\text{O}$

Les nappes bordières de la région du Kanem au nord du lac ont donné lieu à un échantillonnage serré. Les valeurs relevées sont généralement comprises dans l'intervalle  $-3,5$  à  $-6,5$  pour mille  $\text{vs}$  SMOW. Ces teneurs sont, on l'a vu, incompatibles avec une alimentation notable par le lac de ces nappes. Les cuvettes évaporitiques à trona alimentées par ces nappes présentent des enrichissements importants jusqu'à des teneurs de  $+16$  à  $+17$  pour mille  $\text{vs}$  SMOW dans les saumures des salines exploitées. Ces enrichissements sont légèrement plus importants que dans le cas du lac lui-même. Il faut voir là l'influence d'une humidité relative plus basse dans ces zones et de l'ordre de  $32\%$ <sup>4</sup>).

A proximité immédiate de la rive nord, les nappes dunaires présentent des compositions très voisines de celle du lac témoignant ainsi d'une imprégnation littorale réduite. Dans le reste de la cuvette les nappes superficielles montrent toute une gamme de teneurs en  $^{18}\text{O}$  entre  $-7$  pour mille et  $+2$  pour mille  $\text{vs}$  SMOW correspondant à divers degrés d'évaporation, avant ou après la recharge.

##### 2.4.2. $^{14}\text{C}$

Les mesures de teneur en carbone-14 des eaux de ces nappes superficielles ont donné des âges apparents étagés entre l'actuel et quelques milliers d'années repérés par rapport à l'année 1950 de notre ère. Ces âges apparents ne semblent pas correspondre à la période de l'alimentation des nappes superficielles. On peut les interpréter comme le résultat d'un mélange en proportions variables selon les localités, de l'eau de la nappe avec de l'eau récente provenant des précipitations. Ceci d'autant plus que les puits ne permettent guère d'accéder qu'à la partie supérieure de la nappe. Une confirmation directe de l'existence d'un tel mélange est la présence de quantités variables (1 à 40 T.U./l) de tritium dans l'eau de ces nappes.\*

\* Mesures de tritium effectuées par comptage sous forme d'éthane et après enrichissement par diffusion en phase gazeuse, de l'hydrogène provenant de la réduction de l'eau. Les résultats sont comptés en "unités tritium" (I.T.U. =  $10^{-18}$   $^3\text{H}$ ). Les mesures ont été réalisées par "l'Agence Internationale de l'Energie Atomique" (IAEA) pour le compte de la "Food and Agriculture Organization" (FAO). Nous remercions ici ces deux organismes pour la communication de leurs résultats.

## 2.5. LES NAPPES PROFONDES (HAUTEUR D'EAU SUPÉRIEURE À 200 M)

Ces nappes ont donné lieu à des échantillonnages sur tout le pourtour du lac grâce à une investigation systématique des puits profonds ou des sondages jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 500 m.

### 2.5.1. $^{18}\text{O}$

Les valeurs sont dans l'ensemble groupées entre  $-6$  et  $-7$  pour mille vs SMOW et ne s'écartent guère des teneurs, montrées par certaines nappes plus superficielles. Ces dernières ont cependant, d'une manière générale, des teneurs plus hautes en  $^{18}\text{O}$  que celles des nappes profondes. On peut invoquer deux explications à ce fait. L'alimentation des nappes profondes se serait produite aux dépens d'une eau précipitée à température légèrement plus basse. Il est également possible, que cette eau ait été moins affectée par le phénomène d'évaporation.

### 2.5.2. $^{14}\text{C}$

Les nappes profondes contiennent des eaux anciennes dont l'âge est généralement hors de portée ou à la limite des estimations quantifiables. Si l'on admet qu'aucun échange notable n'est intervenu avec des carbonates plus anciens pour "vieillir" artificiellement ces eaux, il faut alors leur accorder un âge minimal de l'ordre de 40 à 50000 ans BP.

## 3. Conclusions

L'étude des précipitations et du réseau de surface a montré que l'on pouvait attendre, pour les eaux de nappes actuellement alimentées par les pluies, des teneurs de l'ordre de  $-6$  pour mille vs SMOW dans le cas d'une évaporation faible ou nulle. Lorsque l'eau a été soumise à un processus d'évaporation, la composition isotopique se trouve modifiée et peut devenir voisine de 0 pour mille vs SMOW, voire même positive.

Le lac Tchad, qui, sauf pendant la saison des pluies se trouve en état stationnaire présente un enrichissement en isotopes lourds, consécutif au phénomène d'évaporation. Les valeurs relevées sont toujours supérieures au SMOW et atteignent  $+16$  à  $+17$  pour mille vs SMOW dans les diverticules de la rive nord.

Les nappes superficielles et profondes ont des compositions isotopiques dans la plupart des cas comprises entre  $-4$  et  $-7$  pour mille vs SMOW, rarement plus hautes. Seules les nappes de la frange littorale nord ont des compositions isotopiques comparables à celles du lac et sont alimentées par ce dernier.



Les nappes superficielles sont affectées d'une recharge actuelle partielle ou totale par les pluies. Le climat de nos jours dans la région explique alors que cette recharge puisse avoir subi une évaporation intense. Ceci peut intervenir au moment de la précipitation elle-même, si les nappes sont rechargées par les premières précipitations de la saison des pluies dont nous avons évoqué les hautes teneurs en  $^{18}\text{O}$ . Une autre possibilité pouvant expliquer cet enrichissement local étant évidemment l'évaporation au cours de l'infiltration ou à partir de la surface piezométrique et s'exerçant sur une eau moins chargée c'est à dire provenant des pluies les plus intenses au coeur de la saison humide. Toutefois certaines valeurs témoignent d'une eau actuelle n'ayant été que fort peu soumise à évaporation au cours de sa précipitation et de son cycle souterrain. Ce fait est à rapprocher des conditions locales d'alimentation des nappes que l'on peut résumer ainsi: pluies intenses, perméabilité superficielle élevée dans l'aire d'alimentation et faible porosité dans le toit de la zone de stockage.

Si l'on retient leur âge apparent on doit admettre que les nappes profondes sont fossiles et ont été alimentées voici au moins 40000 ans. Cette conclusion implique qu'il n'y ait pas eu d'échange entre le carbone contenu sous forme soluble dans l'eau de la nappe et le carbone d'un éventuel carbonate plus ancien. Certaines nappes qui ont un âge apparent de plusieurs milliers d'années BP contiennent également du tritium. Ceci peut s'interpréter par un mélange d'eaux météoriques actuelles avec des eaux anciennes. Aucune eau, d'âge intermédiaire entre 40000 et l'actuel ne s'est révélée exempte de tritium. Les âges intermédiaires n'ont pas de valeur chronométrique mais reflètent simplement un mélange.

L'alimentation des nappes profondes devrait pouvoir être corrélée aux avancées du lac Tchad lors des périodes humides du Quaternaire récent<sup>13,14</sup>). Certaines valeurs de l'ordre de  $-10$  et  $-11$  pour mille vs SMOW témoigneraient si elles correspondaient à des moyennes, de conditions climatiques sensiblement différentes de l'actuel avec une température plus basse et une humidité relative nettement plus élevée interdisant un enrichissement notable par évaporation à partir des surfaces d'eau libre.

Nous remercions notre collègue R. Létolle qui a contrôlé la partie analytique de ce travail réalisée au Laboratoire de Géologie Dynamique avec la collaboration technique de A. Filly.

#### Bibliographie

- 1) C. E. Gischler, Synthèse hydrologique du bassin du lac Tchad. Nature et ressources. III (1967) 10-16
- 2) I.A.E.A., Isotopes in Hydrology. Proceedings of a symposium in isotopes in Hydrology,

- Vienna, 14-18 november 1966, I.A.E.A. - IUGG.. I.A.E.A. Vienna, 1967, STI/PUB 141, 740
- 3) J. L. Schneider, Carte hydrogéologique de reconnaissance au 1/500000. Feuille de Mao et Fort-Lamy; rapport de synthèse B.R.G.M. (1966)
  - 4) G. Maglione, Présence de Gaylussite et de trona dans les natronières du Kanem. Bull. soc. Fr. Minéral. Cristallog. 91 (1968) 388-394. ORSTOM Centre de Fort-Lamy 12 p. multigraph.
  - 5) A. Bouchardeau et R. Lefèvre. Monographie du lac Tchad C.S.L.T. - O.R.S.T.O.M. Tome I, réédité par le comité inter-africain d'études hydrauliques en 1965. Paris (1957) 112 p.
  - 6) B. Dupont, Etude sédimentologique du lac Tchad. Premiers résultats O.R.S.T.O.M. Centre de Fort-Lamy 74 p. (1967) multigraph.
  - 7) M. A. Roche, Première estimation des apports en sels au Tchad par le Chari. Cahier ORSTOM Sér. Hydrol. V (1968) 55-89. ORSTOM Centre de Fort-Lamy, 50 p. multigraph.
  - 8) J. C. Vogel, Investigation of ground water flow with Radio-carbon. In: Isotopes in Hydrology I.A.E.A. Vienna (1967) 355-369
  - 9) J. C. Fontes et M. A. Roche, (en préparation), Essai du bilan isotopique des eaux du lac Tchad
  - 10) J. C. Fontes et G. Maglione, (en préparation), Etudes isotopiques des cuvettes évaporitiques au nord-est du lac Tchad (Kanem)
  - 11) J. C. Fontes, G. Maglione et M. A. Roche, Données isotopiques préliminaires sur les rapports du lac Tchad avec les nappes de la bordure nord-est. Cahiers d'Hydrologie. ORSTOM 6 no. 1 (1969) 17-34
  - 12) C. E. Gischler, W. G. Mook, et J. C. Vogel, (en préparation), Isotopic studies applied to the hydrology of the lake Chad area
  - 13) H. Faure, Evolution des grands lacs sahariens à l'Holocène. Quaternaria tome VIII, Rome (1966) 167-175
  - 14) M. Servant, Nouvelles données stratigraphiques sur le Quaternaire supérieur et récent au nord-est du lac Tchad. Actes du 6<sup>e</sup> Congrès Panafricain de Préhistoire et de l'Etude du Quaternaire (sous presse) Dakar 1967

Volume X no 2

Journal  
of

# Hydrology

*Editors:*

Ven Te Chow, Urbana, Illinois (U.S.A.)

F. Dixey, Bramber, Sussex (U.K.)

George B. Maxey, Reno, Nevada (U.S.A.)

J. E. Nash, Galway (Ireland)

W. H. van der Molen, Wageningen (The Netherlands)



Published February 1970

North-Holland  
Publishing Company  
Amsterdam

PB 504 ex 2

B 02693