

LA NAPPE PHREATIQUE A LA PERIPHERIE DU LAC TCHAD :
RESULTATS PRELIMINAIRES DES TRAVAUX RECENTS DE L'ORSTOM

par A. CHOURET et P. MATHIEU *

INTRODUCTION

La nappe phréatique de la périphérie du lac Tchad a fait l'objet d'une campagne de surveillance qui s'est échelonnée entre novembre 1974 et juin 1975. Le but poursuivi est de faire le point sur la réaction de la nappe à la récente sécheresse qui s'est abattue sur le Sahel.

La partie du bassin étudiée est située sur le Territoire de la République du Tchad. Elle est limitée à l'Ouest par le rivage lacustre, au Sud et au Nord par les 12^e et 15^e parallèles et à l'Est par le 17^e méridien. Cela correspond à une bande de 100 à 150 kms située à la périphérie du lac (fig.1).

Les points d'eau observés (puits cimentés et traditionnels) se répartissent le long d'axes principaux recoupant les structures hydrogéologiques qui constituent une des particularités de l'aquifère dans cette partie du bassin tchadien (fig.2).

Les observations ont été faites en début et en fin de saison sèche. Des prélèvements d'eau pour analyse chimique ont été réalisés ainsi que des prélèvements pour l'étude de l'oxygène - 18 en novembre-décembre 1974. Une étude isotopique plus complète couvrant un cycle hydrologique complet est en cours de réalisation.

LES CONDITIONS DE GISEMENT DE LA NAPPE

La synthèse cartographique des études hydrogéologiques entreprises par le B.R.G.M. a été publiée en 1969 par SCHNEIDER. La nappe phréatique est considérée comme un ensemble continu dans la cuvette tchadienne. Elle est contenue dans 60 à 80 m de sables éoliens dont le modelé est antérieur à 40.000 ans B.P., interstratifiés de lentilles argileuses pouvant diviser localement la nappe en étages indépendants. L'ensemble repose sur un mur d'argiles lacustres imperméable situé entre 70 et 100 m de profondeur attribué au plio-pleistocène ancien, dont l'épaisseur peut dépasser 200 m.

La distinction entre un bassin nord et un bassin sud séparés approximativement au niveau du 14^e parallèle faite par SCHNEIDER se justifie principalement par des différences dans les conditions de réalimentation, le bassin nord se caractérisant par l'absence d'eau de surface pérenne et par une morphologie dunaire, le bassin Sud, par la présence d'un réseau de drainage en surface et par l'influence marquée de l'alluvionnement fluviale et deltaïque.

* : ORSTOM BP 65 - N'Djaména TCHAD

PIEZOMETRIE DE L'AQUIFERE

Le lac Tchad apparait comme un point haut par rapport au système hydrogéologique général. Il est entouré de dépressions piézométriques centrées, côté tchadien, sur le Chari-Baguirmi et l'axe du Bahr-El-Ghazal. En outre, une dépression en forme de gouttière longe la rive nord-est du lac sur une largeur de 20 km environ.

Entre le Bahr-El-Ghazal et le Chari-Baguirmi, la surface piézométrique remonte pour former un dôme dans la région du Harr. Au nord du lac au delà de la gouttière, la surface remonte en direction de Mao pour culminer à 313 m dans la région de Kimi-Kimi.

Les gradients piézométriques sont toujours orientés du lac vers l'intérieur des terres. Cependant, la gouttière piézométrique qui s'intercale entre le lac et le dôme de Kimi-Kimi détermine un double écoulement orienté du lac vers la gouttière, d'une part et du dôme vers cette même gouttière d'autre part.

Pour expliquer l'existence du dôme de Kimi-Kimi, l'hypothèse la plus récente formulée à la suite des travaux de l'ORSTOM (SERVANT, 1973 - MAGLIONE, 1974) tient compte du fait que les structures hydrogéologiques actuelles sont le résultat d'une lente évolution, les nappes ayant enregistré les fluctuations climatiques des derniers millénaires. Il y a 6.000 ans BP, la nappe phréatique était en relation directe avec un paléo-Tchad de 350.000 km² atteignant la côte 320 m. La structure actuelle serait en voie de réajustement lent avec le niveau lacustre, mouvement probablement freiné par les apports météoriques et les conditions de protection efficace contre l'évaporation d'un aquifère en milieu dunaire.

RELATIONS ENTRE LE LAC TCHAD ET LA NAPPE PHREATIQUE

Les méthodes de traçage naturel salin et isotopique des eaux ont permis à l'ORSTOM (FONFES et al., 1969 et 1970 ; ROCHE, 1973) de faire la part de l'alimentation lacustre et météorique de l'aquifère. Alors qu'il avait été envisagé préalablement une infiltration massive des eaux du lac sur ses bordures, il apparait que seule la partie tout à fait littorale de la nappe témoigne d'une participation du lac à son alimentation. En s'éloignant des rivages du lac, les proportions d'eau lacustre diminuent au profit des eaux météoriques. En fait, les relations entre le lac et la nappe semblent plus complexes puisqu'une étude faite sur l'épaisseur de la nappe indique que les eaux météoriques se mélangent de façon décroissante en profondeur à des eaux d'origine lacustre.

Dans le nord du lac, la réalimentation météorique directe de la nappe faiblement minéralisée et peu évaporée indique un renouvellement récent dans la partie supérieure de l'aquifère, l'essentiel de la réserve étant vraisemblablement fossile.

Dans le sud, la réalimentation météorique directe de la nappe du Chari-Baguirmi est freinée par la nature du remplissage sédimentaire. Les résultats publiés par l'AIEA (1972) suggèrent que les eaux de la dépression cherchent une zone de décharge naturelle vers les points les plus bas au lieu d'être perdues par un mouvement ascendant dû à l'évapotranspiration.

PLUVIOMETRIE AU TCHAD PENDANT LA PERIODE DE SECHERESSE

D'après les études récentes (RODIER et ROCHE, 1973) la sécheresse qui, depuis 1972, a affecté l'Afrique tropicale au sud du Sahara est suffisamment sévère pour présenter un caractère tout à fait exceptionnel.

L'année 1971, bien que légèrement déficitaire, est encore proche de la normale. Ce n'est qu'à partir de 1972 que la sécheresse intervient. Cette année là, les déficits sont très importants tout particulièrement sur la bande comprise entre les isohyètes 100 et 300 mm où bon nombre de hauteurs annuelles sont comprises entre 45 et 80 mm. La période de retour des précipitations est comprise entre 50 et 100 ans.

Plus au sud, entre les isohyètes 300 et 750 mm, le déficit en valeur relative paraît moins élevé et se situe entre 50 et 60 %. La période de retour varie entre 10 et 50 ans.

En 1973, sur la zone que nous étudions, la situation est comparable à celle de 1972 avec cependant une accentuation du déficit pluviométrique au sud de l'isohyète 300 mm.

La saison des pluies 1974 marque un retour à des conditions voisines de la normale.

Les résultats obtenus aux stations climatologiques ORSTOM montrent que l'évaporation, mesurée sur bac Colorado, présente des écarts plus importants entre la période précédant la sécheresse et la période qui couvre les années 1972 à 1974 à la station de Bol-Matafo, au nord du lac qu'à la station de N'Djaména. A la première, les moyennes interannuelles passent de 3117 à 3429 mm (avec des moyennes journalières de 8,5 et 9,4 mm). A la seconde, elles passent de 2541 à 2690 mm (avec des moyennes journalières de 7,0 et 7,4 mm).

CONSEQUENCES SUR LE REGIME DU FLEUVE ET LE LAC TCHAD

Le bassin du Chari a été très affecté par la sécheresse de 1972 et 1973. Les apports fluviaux au lac Tchad au cours de ces deux années sont de 17 à 18 milliards de m³ au lieu de 40 milliards en année normale. La période de retour de ces valeurs peut être estimée à 50/100 ans. L'année 1974 a vu un retour à des conditions d'hydraulicité se rapprochant des années normales bien que le déficit sur le débit moyen annuel soit encore d'environ 25 %.

Le lac Tchad dont l'alimentation est assurée à 90 % par les apports fluviaux (dont 83 % viennent du Chari) donne une bonne idée de la sécheresse qui a frappé cette zone. Il a fait l'objet d'observations détaillées et suivies de la part de l'ORSTOM (CHOURET et LEMOALLE, 1974).

Le lac est constitué de deux cuvettes : la cuvette nord et la cuvette sud dans laquelle débouche le Chari, séparées par la Grande Barrière (zone de hauts fonds et d'îlots-bancs) normalement largement submergée. La côte maximale du lac fin 1972 était inférieure de 3 m à la côte maximale 1974-1975. Depuis lors, la baisse n'a fait que s'accroître, les apports fluviaux devenant insuffisants pour compenser les pertes par évaporation. La Grande Barrière, émergée, isole les deux cuvettes. Dans la cuvette nord, en voie d'assèchement, il ne restait plus en juillet 1975 qu'une mare de 1000 km² environ. La cuvette sud par contre a été relativement bien remise en eau par la crue de 1974 mais pas suffisamment pour réalimenter durablement la cuvette nord (fig. 3).

Ces données permettent de se rendre compte de l'importance des années de sécheresse. Des phénomènes semblables se sont produits au début du siècle et en 1940 mais ont été mal observés. En général, on peut avancer que les valeurs mesurées ou les observations effectuées sont de fréquence cinquantennale ou même souvent centennale.

LES EFFETS DE LA SECHERESSE SUR LES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES DE LA NAPPE PHREATIQUE

En l'absence, au Tchad, d'un réseau de surveillance piézométrique permanent, il est difficile d'établir des comparaisons entre les niveaux mesurés pendant et en fin de période sèche et ceux qui correspondent aux années normales.

Nous nous référons aux mesures faites pendant la saison sèche 1975 et à celles qui figurent sur le fichier du Bureau de l'Eau Tchadien pour les périodes antérieures et pour les points d'eau facilement identifiables.

Entre le début et la fin de la saison sèche 1975 nous avons observé des baisses sensibles dans l'ensemble du secteur étudié. Par contre, le sommet des dômes montrent une remarquable stabilité voire même des variations en hausse.

Les variations en baisse ne présentent cependant pas partout la même amplitude. C'est ainsi que dans la dépression du Chari-Baguirmi la baisse du niveau piézométrique affecte l'ensemble de la dépression. Elle est généralement supérieure à 1 m mais dépasse souvent 2 m vers son centre tandis que sur son flanc nord-ouest, côté lac, l'intensité des variations de niveau est plus faible. Il s'ensuit une sensible modification du gradient hydraulique.

Les baisses sont également constatées dans l'axe du Bahr-el-Ghazal avec des amplitudes de quelques dizaines de cm à plus de 1 m et sur les flancs du dôme de Kimi-Kimi. A l'est de ce dôme, au nord de Mao, l'amplitude des variations est comprise entre plusieurs dizaines de cm et plus de 2 m. Sur son flanc ouest l'abaissement des niveaux est général suivant une ligne parallèle au rivage lacustre, en-dessous de l'isopièze 290 m.

Au nord du dôme de Kimi-Kimi les variations sont plus irrégulières avec cependant d'importantes baisses ponctuelles.

Les stations bordières du lac montrent aussi une tendance générale à la baisse mais l'amplitude en est faible (10 à 20 cm) aussi bien en bordure de la cuvette sud que de la cuvette nord.

Si nous nous reportons aux mesures qui ont été réalisées antérieurement, la nappe du Chari-Baguirmi a accusé une forte baisse entre les saisons sèches 1972 et 1973 qui peut atteindre 5 m. Puis une remontée brutale est constatée après la saison des pluies de 1974. Par contre, les stations qui bordent le sud de la dépression montrent depuis 1969 une bonne stabilité des niveaux. La succession de deux années très déficitaires s'est donc répercutée sur le niveau de la nappe du Chari-Baguirmi tout particulièrement suivant l'axe de la dépression.

Par contre, dans le Bahr-el-Ghazal, la référence faite aux mesures antérieures n'indique pas de baisse généralisée.

Au nord d'une ligne Mao-Nokou où les déficits pluviométriques étaient encore importants en 1974, on observe depuis 1972 un abaissement progressif de la surface piézométrique qui se poursuit pendant la saison sèche 1975 et dont l'amplitude est de 1 à 3 m.

De ces quelques observations, on peut donc conclure que la sécheresse n'a pas provoqué de mouvement d'ensemble des niveaux piézométriques. Cependant d'importantes baisses sectorielles ont été observées : dépression du Chari-Baguirmi, flancs est et nord du dôme de Kimi-Kimi dont l'amplitude peut dépasser 2 m. Les deux secteurs où les baisses sont principalement constatées sont soumis à des régimes de réalimentation différents. Dans la dépression du Chari-Baguirmi, les conditions d'infiltration ne sont pas favorables à une alimentation météorique directe. Il s'agit plutôt de l'infiltration lente de l'eau des mares superficielles et d'un appel à une réserve fossile. Ceci ajouté à un écoulement vers les points bas de la dépression et aux pertes probables par mouvement vertical des eaux, crée un déficit d'alimentation qui se traduit par une tendance générale à la baisse à l'échelle pluriannuelle et justifie donc des mesures de surveillance appropriées.

Dans le second secteur, au nord, le modelé dunaire permet une alimentation météorique directe et les niveaux sont sensibles aux variations de la pluviométrie. On peut penser que des apports météoriques normaux permettront une réalimentation satisfaisante des réserves et la situation ne semble pas critique dans cette zone tant qu'il n'y aura pas accroissement de la demande en eau.

CHIMIE DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

La répartition de la salure globale des eaux de la nappe phréatique à la périphérie du lac Tchad a été étudiée.

Les valeurs de la conductivité sont comprises entre moins de 100 et 6000 μ mhos.cm⁻¹, ce qui correspond à des teneurs globales de 2 à 160 mg/l.

Les zones les plus minéralisées se rencontrent au centre de la dépression du Chari-Baguirmi, sur la bordure sud du lac, dans le Bahr-el-Ghazal ainsi qu'en bordure de la cuvette nord du lac.

Les zones les moins minéralisées se superposent aux dômes piézométriques du Harr et de Kimi-Kimi au sommet desquels les conductivités sont inférieures à celles des eaux de la cuvette sud du lac où nous avons relevé les valeurs de 50 μ mhos.cm⁻¹ au débouché du delta du Chari et de 150 μ mhos.cm⁻¹ dans le nord, à Bol-Bérin au mois de juin.

On observe généralement la concordance inverse des gradients hydrauliques et des gradients chimiques. Les gradients chimiques sont plus accusés en bordure de la cuvette nord où les conductivités atteignent 2000 μ mhos.cm⁻¹ que de la cuvette sud où elles ne dépassent pas 500 μ mhos.cm⁻¹.

Il semble que l'individualisation des deux cuvettes lacustres, du fait de la baisse du niveau des eaux, se répercute sur la salure globale de la nappe bordières, les courbes d'isoconductivité montrant une tendance à se fermer sous la grande barrière émergée.

Le cation dominant est soit le calcium, soit le sodium. Le calcium prédomine sur les domes piézométriques et le sodium, dans les creux piézométriques. Aucun changement n'affecte cette répartition entre le début et la fin de la saison sèche.

Parmi les anions, ce sont soit les carbonates, soit les sulfates qui dominent. Leur répartition est indépendante des caractéristiques piézométriques de la nappe. On remarque entre le début et la fin de la saison sèche que les faciès sulfatés tendent à se substituer aux faciès bicarbonatés dans le nord du lac, mise à part la bordure de la cuvette nord du lac.

Les faciès chimiques se répartissent de la façon suivante (en juin 1975)

Les eaux bicarbonatées calciques, dont la minéralisation globale est comprise entre 1 et 23 me/l se rencontrent en bordure du fleuve ainsi qu'à la périphérie de la dépression du Chari-Baguirmi. Elles apparaissent sous forme d'îlots de part et d'autre du dôme de Kimi-Kimi.

Les eaux bicarbonatées sodiques ont des salures comprises entre 2 et 160 me/l. Ce faciès est plus largement représenté, notamment dans le sud, en direction du Bahr-el-Ghazal. Il occupe également le flanc est de la dépression du Chari-Baguirmi et la rive nord du Bahr-el-Ghazal.

Au nord du lac, la frange côtière bordant la cuvette nord présente également ce faciès sur une largeur d'environ 20 km. Ce faciès géochimique régional est le siège des paragenèses évaporitiques qui se forment actuellement dans les dépressions interdunaires de l'erg du Kanem (Maglione, 1974).

Les eaux sulfatées calciques correspondent à des eaux faiblement minéralisées (1 à 10 me/l). Elles occupent principalement les dômes de Kimi-Kimi et du Harr.

Les eaux sulfatées sodiques, plus chargées (1 à 160 me/l) occupent le centre de la dépression du Chari-Baguirmi et la bordure de la cuvette sud du lac. Elles se retrouvent également dans le Kanem, au nord de Nokou ainsi que sur la bordure est de l'erg du Manga.

CONCLUSION

Les conséquences de la sécheresse 1972-1974 sur la partie du bassin tchadien étudiée peuvent se résumer de la manière suivante :

- Les déficits pluviométriques enregistrés pendant cette période sont de fréquence cinquantennale ou même centennale.

- Ils ont entraîné une chute importante des apports hydriques au lac Tchad ce qui a provoqué l'isolement des cuvettes nord et sud et l'assèchement presque complet de la première, situation qui est très voisine de celle observée en 1908 par TILHO (1910).

- La sécheresse n'a pas provoqué un abaissement généralisé de la surface piézométrique mais d'importantes baisses sectorielles pouvant dépasser 2 m sont constatées. Elles affectent principalement les creux piézométriques et les flancs du dôme de Kimi-Kimi. Les dômes piézométriques ont montré une bonne stabilité pendant la durée des observations mais l'absence de références antérieures ne permet pas d'étendre cette stabilité sur une plus grande échelle de temps.

- L' examen de la composition chimique des eaux de la nappe phréatique met en évidence des zones à fortes salures (plus de $2000 \mu \text{ mhos.cm}^{-1}$) localisées au sud du lac et au centre de la dépression du Chari-Baguirmi ainsi qu'en bordure de la cuvette nord. Les sommets des dômes sont peu minéralisés (moins de $100 \mu \text{ mhos.cm}^{-1}$).

- On remarque la concordance inverse des gradients chimiques et des gradients hydrauliques. Par contre, les faciès chimiques des eaux se répartissent indépendamment des structures hydrogéologiques.

- Une étude isotopique des eaux de l'aquifère est en cours de réalisation. Elle doit couvrir un cycle hydrologique complet. Ses résultats seront publiés ultérieurement.

REFERENCES

- Agence Internationale de l'Energie Atomique, 1972 - Environmental isotope data in the Chad Bassin. Mars 1972, 53 p. + annexe.
- CHOURET (A.) et LEMOALLE (J.), 1974. - Evolution hydrologique du lac Tchad durant la sécheresse 1972-1974. Rapp. multigr., Centre ORSTOM de N'Djaména, 12 p.
- FONTES (J.C.), MAGLIONE (G.) et ROCHE (M.A.), 1969. - Données isotopiques préliminaires sur les rapports du lac Tchad avec les nappes de la bordure nord-est. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., 1, pp. 17-34.
- FONTES (J.C.), MAGLIONE (G.) et ROCHE (M.A.), 1970 - Eléments d'hydrologie isotopique dans le bassin du lac Tchad, C.R. Coll. Kinshasa, 1969, AIEA, Vienne, pp. 209-219.
- MAGLIONE (G.), 1974. - Géochimie des évaporites et silicates néoformés en milieu continental confiné. Les dépressions interdunaires du Tchad, Afrique. Thèse, Sci., Université de Paris, 331 p.
- ROCHE (M.A.), 1973. - Traçage naturel salin et isotopique des eaux du système hydrologique du lac Tchad. Thèse, Sci, Université de Paris, 398 p.
- RODIER (J.A.) et ROCHE (M.), 1973. - La sécheresse actuelle en Afrique tropicale. Quelques données hydrologiques. A.I.H.S., 18, 4, pp. 411-418.
- SCHNEIDER (J.L.), 1969. - Carte hydrogéologique du Tchad au $1/500.000^e$. Rapport de synthèse, BRGM, PARIS.
- SERVANT (M.), 1973. - Séquences continentales et variations climatiques : évolution du bassin du Tchad au cénozoïque supérieur. Thèse, Sci, Université de Paris, 348 p.

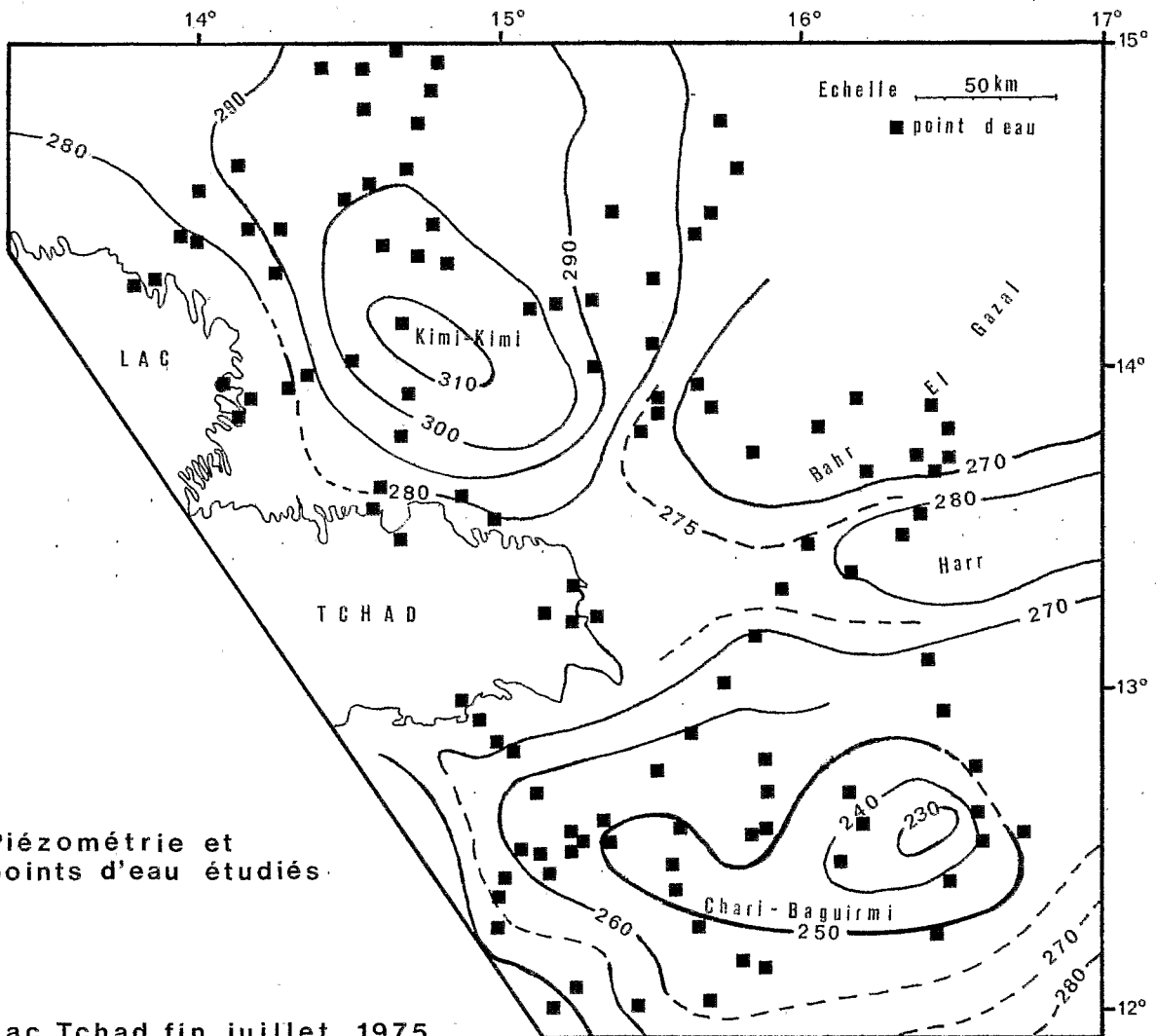


Fig. 2 : Piézométrie et points d'eau étudiés.

Fig. 3 : Lac Tchad fin juillet 1975

