

## **Evolution des ressources en eau dans le département de Diffa (bassin du lac Tchad, sud-est nigérien)**

**CHRISTIAN LEDUC**

*ORSTOM/UMR GBE, BP 5045, F-34032 Montpellier Cedex 1, France*  
e-mail: leduc@mpl.orstom.fr

**OUSSEINI SALIFOU**

*Direction Départementale de l'Hydraulique, Diffa, Niger*

**MARC LEBLANC**

*Université d'Avignon et ORSTOM, BP 5045, F-34032 Montpellier Cedex 1, France*

**Résumé** Dans le sud-est du Niger, les pluies sont faibles (de 0 à 400 mm an<sup>-1</sup>) et le réseau hydrographique est principalement constitué par une rivière non permanente, la Komadougou Yobé, et la cuvette nord du lac Tchad. Les deux grands aquifères quaternaire et pliocène renferment, de très loin, l'essentiel de la ressource en eau de la région. Calculé d'après des mesures isotopiques et par modélisation numérique, le taux de renouvellement de la nappe quaternaire est particulièrement faible (de l'ordre du mm an<sup>-1</sup>); la nappe pliocène est fossile. Depuis trois décennies, la sécheresse a eu un impact visible sur les eaux de surface (disparition durable des eaux dans la cuvette nord, moindre durée d'écoulement de la rivière) et plus discret sur la nappe quaternaire (stabilité ou baisse faible sauf en bordure du lac).

### **LE MILIEU NATUREL**

La zone étudiée correspond principalement au département de Diffa, qui occupe l'essentiel de la partie nigérienne du bassin du lac Tchad (Fig. 1). Bien que d'une vaste superficie (140 000 km<sup>2</sup>), il est très peu peuplé, l'essentiel des 200 000 habitants étant concentré dans le sud (moins de 0.2 habitant km<sup>2</sup> au nord). Le relief est très peu accentué, le point bas étant le lac Tchad à 275 m d'altitude et les points hauts les massifs créacés de Termit et Agadem (altitude supérieure à 500 m), dans le nord. A l'ouest, le bassin est limité par les affleurements cristallins du Mounio et le massif créacé du Koutous. L'essentiel du paysage est constitué de grandes étendues monotones de sédiments alluviaux et éoliens quaternaires.

Malgré un climat aride, sahélien au sud et désertique au nord, et un réseau hydrographique limité à une rivière non permanente, le département dispose d'importantes ressources en eau grâce à l'étendue des nappes aquifères plio-quaternaires (Greigert, 1979; PNUD, 1991). La consommation d'eau (alimentation des populations, irrigation, abreuvement des troupeaux) ne dépasse pas 20 Mm<sup>3</sup> an<sup>-1</sup>, dont une majorité est tirée de la nappe phréatique.

## LES PRECIPITATIONS

Les précipitations, estivales, sont très variables dans le temps et l'espace. Elles décroissent du sud vers le nord, avec une légère baisse supplémentaire de l'ouest vers l'est: la moyenne annuelle de la période 1953–1993 passe ainsi de 354 mm à Mainé-Soroa à 274 mm à Diffa et 210 mm à Nguigmi; les pluies sont inférieures à 50 mm an<sup>-1</sup> au nord du seizième parallèle (Fig. 1). A Nguigmi, station la plus ancienne, les extremums sont 41 mm en 1928 et 473 mm en 1994.

Les seules données pluviométriques disponibles sont les cumuls journaliers. Une analyse globale des pluies peut cependant être faite sur ces chroniques puisque D'Amato (communication personnelle) constate que, dans la région très comparable de Niamey, le nombre de jours de pluie et le nombre d'événements pluvieux peuvent être assimilés: le décalage entre les deux est généralement inférieur à 10%, en plus ou en moins, il atteint exceptionnellement 25%. Les précipitations sont généralement faibles: 60% des jours de pluie voient tomber moins de 10 mm et seulement 20% plus de 20 mm, proportion assez stable quelle que soit la station (Fig. 2). Pour une même année, il n'existe aucun rapport entre le nombre de jours de pluie aux différentes stations ni entre le nombre de jours de pluie et la pluviosité de l'année. Cette irrégularité, et donc l'incertitude, diminue en travaillant sur des durées plus longues.

La baisse de la pluviosité observée durant la période 1965–1990 a été plus marquée dans les zones les moins sèches de la région c'est-à-dire le sud-ouest (Goure et Mainé-Soroa). Elle est due à une réduction du nombre de jours de pluie mais aussi

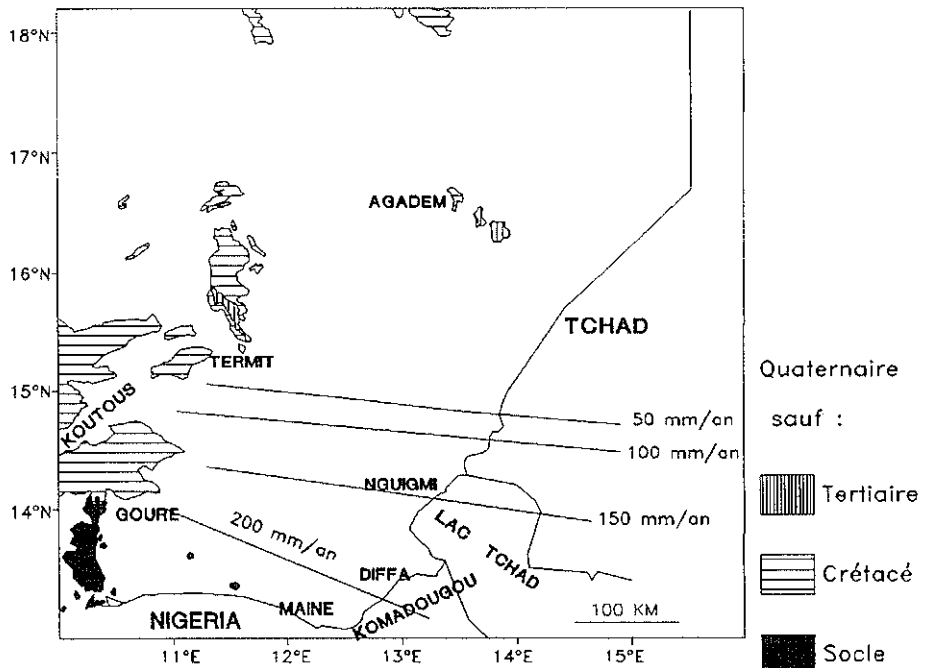


Fig. 1 Géologie de la partie nigérienne du bassin du lac Tchad et isohyètes de la période 1981–1996.

à une diminution des pluies les plus fortes, ce qui se traduit par une diminution de la lame d'eau moyenne par jour de pluie.

## LES EAUX DE SURFACE

La seule rivière, non permanente, la Komadougou Yobé, aboutit dans la cuvette nord du lac Tchad, actuellement à sec. Le reste du réseau hydrographique est constitué, au sud, par une multitude de petites mares qui perdurent plus ou moins longtemps après la saison des pluies.

La cuvette nord du lac Tchad, alimentée seulement par la Komadougou Yobé et le débordement de la cuvette sud, a connu des variations significatives au cours des cent dernières années (278–284 m). La disparition totale de ses eaux, déjà observée en 1907/1908, est très fréquente depuis 1974 (Olivry *et al.*, 1996). Dans les deux dernières décennies, les débordements provenant de la cuvette sud, lorsqu'ils se produisent, n'inondent que de très faibles surfaces et pour peu de temps. L'assèchement actuel, exceptionnel par sa durée, est dû à une diminution des apports de la Komadougou Yobé mais surtout de ceux du Logone et du Chari.

L'écoulement de la Komadougou Yobé commence avec la saison des pluies, atteint son maximum en novembre ou décembre et devient nul quelques mois plus tard; il dure actuellement environ 6 mois. Le débit diminue d'amont en aval: seul un quart du débit mesuré à Gashua au Nigéria atteint le lac, ce qui représente moins de 1% du total des apports au lac. Ces pertes sont dues à la fois à l'infiltration vers la nappe phréatique et à l'évaporation dans la rivière et ses nombreux bras morts temporairement submergés. Aux variations naturelles de l'écoulement se rajoutent les effets des actions anthropiques (déforestation, barrages et irrigation), surtout sensibles sur le bassin amont. A la station de Bagara, près de Diffa, le volume total écoulé de la Komadougou Yobé a varié entre 150 et 700 millions de  $m^3 \text{ an}^{-1}$  pour la période 1965–1985, la médiane étant de 450. Les durées d'écoulement ont aussi

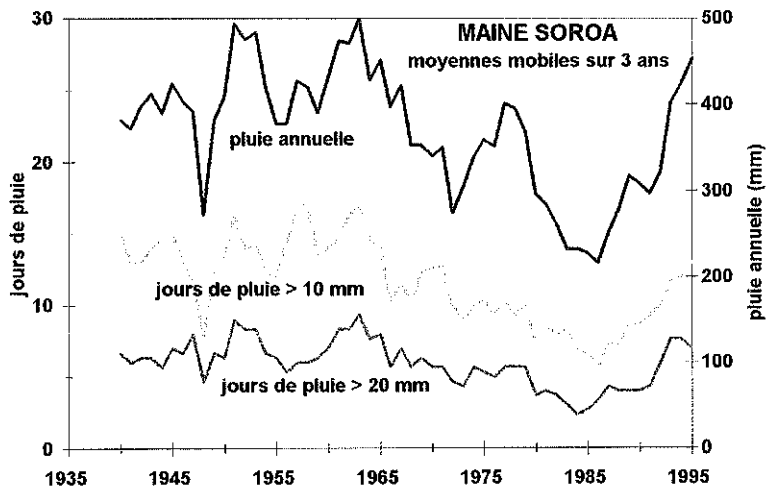


Fig. 2 Précipitations à Mainé-Soroa: moyennes mobiles sur 3 ans de la pluie annuelle, du nombre de jours à pluie supérieure à 10 et 20 mm jour<sup>-1</sup>.

considérablement diminué: plus de 300 jours au début des années 1960 (aucun assèchement en 1958), moins de 150 jours en 1983 ou 1984, presque 200 jours actuellement. La date d'arrivée des eaux n'a pas évolué (première quinzaine de juillet) mais la décrue se produit plus tôt.

Dans la zone de Gouré-Goudoumaria de nombreuses dépressions endoréiques concentrent les précipitations dans des mares temporaires en communication avec la nappe phréatique. Elles constituent autant de systèmes spécifiques, très sensibles à la reprise évaporatoire, aussi bien pour la qualité des eaux que pour l'évolution de leur niveau.

## LES EAUX SOUTERRAINES

Le remplissage terminal du bassin du lac Tchad est une accumulation de sédiments alluviaux, lacustres et éoliens plio-quaternaires. Les deux grands systèmes aquifères exploités dans la région sont d'une part les séries sableuses et sablo-argileuses du Quaternaire, entre 0 et 100 m de profondeur, renfermant la nappe phréatique; d'autre part, les sables et silts pliocènes, entre 250 et 400 m de profondeur, renfermant une nappe captive artésienne. Ces deux aquifères se prolongent vers le Tchad et le Nigéria (PNUD-UNESCO-CBLT, 1972).

La nappe pliocène n'est identifiée que vers le centre du bassin du lac Tchad. Son niveau piézométrique, apparemment très peu variant, est compris entre 310 et 320 m. Elle est partout captive et les forages sont souvent artésiens. Ces eaux fossiles sont moyennement minéralisées ( $700$  à  $3600$   $\text{mS cm}^{-1}$ ). Le toit de l'aquifère pliocène est constitué par des argiles épaisses et uniformes. Des considérations géologiques (l'épaisseur et l'homogénéité de ces argiles), hydrodynamiques (la persistance d'une très forte différence de charge, pouvant dépasser 40 m) et hydrochimiques (le contraste des faciès chimiques et isotopiques) indiquent l'absence de communication significative entre aquifères pliocène et quaternaire au sud du parallèle  $15^{\circ}\text{N}$ .

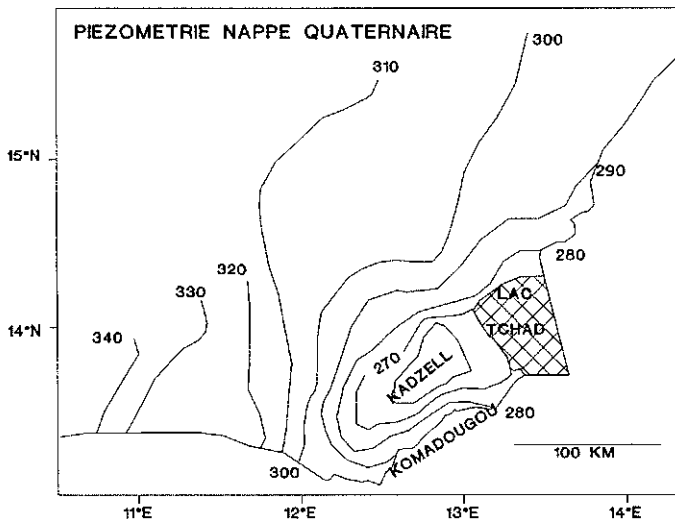


Fig. 3 Carte piézométrique de la nappe quaternaire en 1991.

La nappe quaternaire est présente sur l'ensemble de la région. Elle est généralement atteinte à des profondeurs de 0 à 60 m et semble s'écouler depuis le nord et la bordure du massif cristallin du Mounio vers le centre du bassin du lac Tchad (Fig. 3). Le gradient hydraulique varie de 0.1 à 2.5‰. La zone du Kadzell constitue une dépression piézométrique fermée, dont le creusement atteint une quarantaine de mètres; la seule explication de cette forme est la conjonction d'une évaporation, nécessairement réduite du fait de la forte profondeur, et d'une très faible perméabilité qui limite fortement les transferts latéraux. La minéralisation de cette nappe est généralement faible (100 à 400 mS cm<sup>-1</sup>) mais peut dépasser 5000 mS cm<sup>-1</sup> dans les zones soumises à évaporation (bordure du lac, cuvettes), où elle montre une très forte variabilité spatio-temporelle. La recharge de la nappe par la Komadougou se marque par une baisse de minéralisation.

L'exploitation actuelle est faible (environ 12 Mm<sup>3</sup> an<sup>-1</sup> prélevés dans la nappe quaternaire) et dérisoire en comparaison des réserves de la nappe phréatique, évaluées à plusieurs centaines de milliards de m<sup>3</sup>. Elle apparaît moins négligeable en regard du renouvellement annuel.

## **EVOLUTION DE LA NAPPE PLIOCENE**

La nappe pliocène ne connaît aucun renouvellement actuel sensible. Les mesures de <sup>14</sup>C (PNUD-UNESCO-CBLT, 1972; PNUD-FAO-CBLT, 1973) sont toutes inférieures à 1% de l'activité du <sup>14</sup>C moderne, ce qui correspond à des âges apparents supérieurs à 30 000 ans. Une part non négligeable des écoulements est mal ou pas utilisée (pertes au travers de tubages très détériorés, création de mares artificielles sans usage, etc.). Cependant le nombre de forages atteignant la nappe pliocène au Niger est faible et la déperdition limitée.

Un certain nombre de forages, mal construits dès l'origine, montraient des niveaux piézométriques anormalement bas. Avec le temps, la détérioration de la plupart des forages rend les mesures de piézométrie actuelle encore plus délicates; les diminutions de certains débits artésiens ne peuvent être considérées comme significatives. Si une baisse de niveau de la nappe pliocène survient au Niger, elle sera plus la conséquence de la très forte exploitation de cet aquifère au Nigéria que de prélèvements locaux.

## **LA RECHARGE DE LA NAPPE QUATERNAIRE**

Dans la région de Diffa, le seul indice net d'une recharge est la hausse de la nappe durant la saison des pluies dans la zone des cuvettes de Goudoumaria (amplitude de 0.5 à 1 m) ou bien la fluctuation synchrone de la Komadougou Yobé et de la nappe dans sa plaine alluviale (jusqu'à 2 m). Ailleurs, les variations piézométriques annuelles non significatives n'impliquent pas nécessairement une absence de recharge actuelle. Comme dans d'autres zones semi-arides, la recharge n'est pas directe et ne se produit qu'après concentration des ruissellements vers des dépressions topographiques. Elle est très irrégulière dans le temps et l'espace, liée à la répartition et à l'intensité des précipitations au cours de la saison bien plus qu'au total de pluie annuelle.

Les analyses isotopiques relatives à la nappe quaternaire sont assez peu nombreuses. Les teneurs en  $^3\text{H}$  de 1967/1968 (PNUD-UNESCO-CBLT, 1972) variaient entre 0 et 8 UT avec seulement deux valeurs exceptionnellement fortes de 76 et 158 UT. En utilisant un modèle simple comme celui de Leduc *et al.* (1996), ces valeurs traduisent un taux de renouvellement annuel de la nappe inférieur à 0.2%, la médiane étant en dessous de 0.05% (2 et 5% pour les deux valeurs les plus fortes). En prenant une épaisseur mouillée de 35 m et une porosité de 10%, la recharge médiane serait inférieure à 2 mm an<sup>-1</sup>; ce ne sont bien sûr que des ordres de grandeur. Les  $^{14}\text{C}$  de la même étude, moins nombreux, présentent une activité variant entre 88 et 146% du  $^{14}\text{C}$  moderne. Même si certains de ces résultats sont difficilement compatibles avec les mesures de tritium, ils confirment une recharge actuelle. De nouvelles analyses de  $^{14}\text{C}$  sont en cours.

Une autre approche de quantification de la recharge est la modélisation numérique des écoulements dans la nappe quaternaire. Malgré la faiblesse et l'hétérogénéité des données disponibles, il est possible de reconstituer un schéma cohérent des circulations qui aboutit à la répartition suivante de l'alimentation de la nappe: 2.5 Mm<sup>3</sup> an<sup>-1</sup> en déversement d'autres nappes (au nord et à l'ouest), 6.5 Mm<sup>3</sup> an<sup>-1</sup> en infiltration depuis la Komadougou Yobé et environ 40 Mm<sup>3</sup> an<sup>-1</sup> en infiltration de la pluie (soit 0.3 mm an<sup>-1</sup>). Des tests de sensibilité sur ce dernier chiffre ont couvert la gamme 4.0/0.2 mm an<sup>-1</sup>. Une valeur de 0.5 mm an<sup>-1</sup> impose une augmentation très forte des transmissivités, presque un doublement par rapport au calage avec 0.3 mm an<sup>-1</sup>; de telles transmissivités restent plausibles mais sont plus importantes que les rares mesures de terrain.

## L'EVOLUTION DE LA NAPPE QUATERNAIRE

La dégradation des ressources en eau superficielles est nette. La durée d'écoulement et le débit annuel de la Komadougou Yobé ont chuté sur les 30 dernières années. Pour le lac Tchad, les chroniques historiques n'indiquent pas de période aussi longue sans eau dans la cuvette nord. Cette dégradation des eaux de surface doit donc se répercuter sur les eaux souterraines, d'abord dans la plaine alluviale de la Komadougou Yobé et en bordure du lac, ensuite dans l'ensemble de la nappe. Selon toute vraisemblance, la baisse de l'infiltration n'est pas régulière sur toute l'étendue de l'aquifère quaternaire et son impact sur les niveaux piézométriques doit être encore plus hétérogène. Pour l'instant, le modèle numérique de la nappe quaternaire n'a pas encore été utilisé pour simuler l'évolution de la nappe suite à la sécheresse des dernières décennies.

Le long de la Komadougou Yobé, la variabilité de son apport à la nappe alluviale peut être apprécié, au moins qualitativement, par un suivi piézométrique fréquent. Sur les points actuellement mesurés, l'amplitude annuelle est de l'ordre du mètre et permet donc de distinguer des années à recharges bien différenciées.

En bordure du lac Tchad, une succession de dômes et de creux piézométriques indiquent des échanges possibles dans les deux sens entre le lac et la nappe phréatique. La disparition du lac dans la cuvette nord perturbe les écoulements souterrains tant par un tarissement de l'alimentation du lac vers le Kadzell que par une baisse de potentiel aval pour les écoulements venant du nord et se dirigeant vers

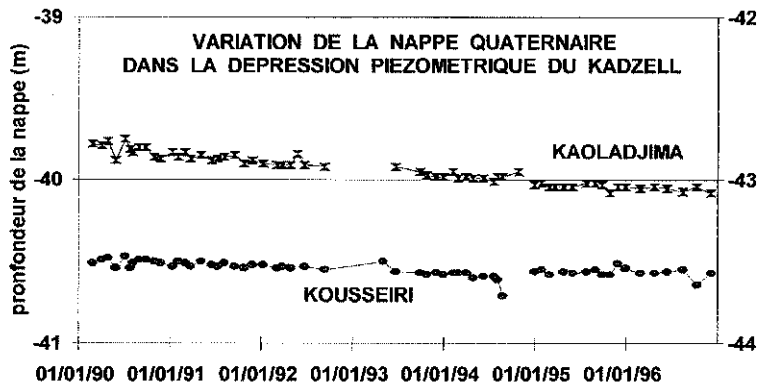


Fig. 4 Evolution entre 1990 et 1996 de la nappe quaternaire dans la dépression piézométrique du Kadzell: baisse de  $4 \text{ cm an}^{-1}$  à Kaoladjima et de  $1 \text{ cm an}^{-1}$  à Kousseiri.

le lac. La comparaison des mesures piézométriques ponctuelles de 1975/1976 et 1989 montrent que les baisses les plus importantes se situent toutes en bordure du lac: de 3 à 8 m pour les plus fortes, même en tenant compte d'éventuelles perturbations par les pompages. En bordure du lac, notamment sa partie occidentale, la nappe est donc particulièrement sensible à la dégradation des conditions climatiques et hydrologiques.

Dans la dépression piézométrique du Kadzell, quatre puits dédiés à l'observation hydrogéologique sont installés selon un transect. D'après les mesures effectuées depuis 1990, la baisse constante de la nappe varie entre 1 et 4  $\text{cm an}^{-1}$  selon les points (Fig. 4). La reprise évaporatoire est estimée par le modèle à  $0.08 \text{ mm an}^{-1}$ , ce qui semble cohérent avec la forte profondeur de la nappe. Le calage du modèle numérique a montré que le Kadzell est une zone très sensible à la fois aux flux latéraux et aux valeurs locales de perméabilité. Il est donc logique que le Kadzell réagisse nettement à la diminution des apports le long de sa bordure sud, la Komadougou Yobé, et de sa bordure est, la cuvette nord du lac Tchad.

En dehors de ces zones particulières, la diminution des pluies les plus fortes a probablement induit une baisse de l'infiltration vers la nappe. Cependant, en reprenant les chiffres moyens évoqués plus haut (de l'ordre de  $\text{mm an}^{-1}$ ), cet affaiblissement de la recharge durant les trois dernières décennies ne devrait se traduire que par une baisse piézométrique très limitée, difficilement perceptible au regard des multiples perturbations possibles (pompage; modification des margelles ou têtes de forage; etc.). En dehors de la bordure du lac, la comparaison des niveaux en 1975/1976 et 1989 ne montre une baisse supérieure à 1.5 m que dans un huitième des ouvrages, la médiane étant de 0.4 m. Il ne semble donc pas y avoir eu de fluctuation très marquée du niveau de la nappe en 15 ans dans la plus grande partie de la nappe. Cette approche de l'évolution de la nappe durant la sécheresse des années 1970 et 1980 est malheureusement limitée par le faible nombre de mesures disponibles. Pour quelques trop rares sites, on dispose d'un suivi plus satisfaisant sur les années les plus récentes; il faudra encore attendre quelques années avant d'en tirer des tendances significatives.

## CONCLUSION

Dans un avenir proche, la nappe quaternaire n'est pas menacée par une augmentation des prélèvements, limitée du fait de la petitesse de la population et des activités agricoles, mais par une diminution des apports, notamment depuis la Komadougou Yobé. Le renouvellement annuel particulièrement faible (probablement moins de 1‰) et les vastes réserves de la nappe amortissent considérablement l'impact d'une détérioration climatique. La Komadougou Yobé est essentielle à l'équilibre piézométrique du sud de la région.

Au contraire de la région de Niamey, où la nappe phréatique monte en période de sécheresse (Favreau & Leduc, 1998), la piézométrie de la région de Diffa paraît stable ou en légère baisse. Dans cette partie du bassin du lac Tchad, l'emprise de l'homme sur son milieu reste faible et il est possible d'observer l'impact des évolutions climatiques longues sur les ressources en eaux souterraines. Avant 1955, il n'existe pas d'informations hydrogéologiques et seulement quelques données concernant les écoulements de surface (niveaux du lac Tchad, crue de la Komadougou Yobé). Une reconstitution des régimes anciens serait donc particulièrement hasardeuse puisque l'environnement naturel tel que décrit au début du siècle était très différent de l'actuel: les espèces animales et végétales d'alors étaient typiques d'un milieu beaucoup plus humide.

**Remerciements** Les auteurs remercient tous les membres, passés et présents, de la Direction Départementale de l'Hydraulique de Diffa qui ont contribué à la réalisation des mesures de terrain, la Coopération suisse qui en a assuré une grande part du financement, et tout spécialement Pierre Schroeter dont l'intérêt pour l'hydrogéologie de cette zone n'a pas faibli au cours des décennies.

## REFERENCES

- Favreau, G. & Leduc, C. (1998) Fluctuations à long terme du niveau d'une nappe sabélienne: la nappe phréatique du Continental Terminal aux environs de Niamey (Niger) entre 1957 et 1997. In: *Variabilité des Ressources en Eau en Afrique au XX<sup>e</sup> Siècle* (ed. par E. Servat, D. Hughes, J.-M. Fritsch & M. Hulme) (Proc. Abidjan'98 Conf., novembre 1998). IAHS Publ. no. 252, ce volume.
- Greigert, J. (1979) Atlas des eaux souterraines du Niger: état des connaissances en mai 1978, tome 1, fascicule 7: la nappe pliocène et le système phréatique du Manga. *Rapport BRGM 79AGE001*, Orléans, France, 130-149.
- Leduc, C., Taupin, J. D. & Le Gal La Salle, C. (1996) Estimation de la recharge de la nappe phréatique du Continental Terminal (Niamey, Niger) à partir des teneurs en tritium. *C.R. Acad. Sci., Paris* 323 (série IIa), 599-605.
- Olivry, J. C., Chouret, A., Vuillaume, G., Lemoalle, J. & Bricquet, J. P. (1996) Hydrologie du lac Tchad. *Monographie hydrologique no. 12*. ORSTOM, Paris, France.
- PNUD (1991) Département de Diffa: synthèse des ressources en eaux souterraines. *Rapport du Projet DCTD-NER86001*, Niamey, Niger.
- PNUD-UNESCO-CBLT (1972) Synthèse hydrologique du bassin du lac Tchad, 1966-1970. *Rapport Technique*, Paris, France.
- PNUD-FAO-CBLT (1973) Etude des ressources en eau du bassin du lac Tchad en vue d'un programme de développement. Tome I: Hydrogéologie. *Rapport FAO*, Rome, Italy.