

ANNALES DE GÉOGRAPHIE

N° 545 - XCVIII^e année - Janvier-Février 1989

Les variations extrêmes du lac Tchad :

L'assèchement est-il possible ?

B. POUYAUD et J. COLOMBANI
Directeurs de Recherche de l'O.R.S.T.O.M.

I. Introduction

Voici bientôt soixante ans, les *Annales de Géographie* publiaient un article du général Jean Tilho, correspondant de l'Institut, intitulé : « Variations et disparition possible du lac Tchad » (1928). Cet article, d'un grand intérêt, rappelait que : « depuis sa découverte, en 1823, par Oudney, Denham et Clapperton, le Tchad n'avait cessé de présenter des fluctuations de niveau qui modifient considérablement le tracé de ses contours apparents ». Ces variations amenaient l'auteur à s'inquiéter des possibilités de dessèchement et de disparition du lac.

Depuis 1828, de nombreuses données hydrologiques ont été recueillies sur le lac Tchad et son bassin-versant, notamment depuis 1953. Cela permet-il de se faire une opinion différente de celle de Jean Tilho quand au devenir du lac ? Pas vraiment, bien que certaines des idées émises par ce dernier ne puissent être retenues.

Nous exposons ci-après les grandes lignes de nos connaissances actuelles sur la région en hasardant une nouvelle conclusion... provisoire !

II. Rappel du passé hydrologique du lac Tchad

Le lac Tchad a-t-il déjà failli disparaître ?

Seules des études géologiques (Servant, 1973) et palynologiques permettent de se faire une idée de l'histoire récente du lac Tchad et de son environnement. La synthèse de J. Maley (1981) donne un bon résumé de ce qui nous est connu.

Les séries stratigraphiques effectuées dans la partie centrale du lac sont relativement bien datées par l'isotope 14 du carbone jusque vers 30 000 BP. Ces séries ont aussi fait l'objet de recherches sur les diatomées (Servant-Vildary, 1978) et les pollens, et des comparaisons sont possibles avec des séquences observées à proximité, en particulier au Nord Cameroun. Les grandes lignes de ces diverses séquences sont convergentes :

- entre 30 000 et 20 000 BP, une importante phase humide caractérise les régions tchadiennes avec en particulier de hauts niveaux lacustres, surtout entre 24 000 et 20 000 BP,

- après 20 000 BP et jusque vers 15 000 BP, l'aridité se généralise. Les dunes sont réactivées dans le bassin du Tchad, telles celles qui forment les îles de l'archipel septentrional,

- de 15 000 à 10 000 BP, l'aridité régresse progressivement. Des formations lacustres saumâtres s'installent au Tchad dès 13 000 BP,

- de 10 000 à 4 ou 5 000 BP, le niveau du lac Tchad est très élevé, avec cependant quelques phases de régression ; c'est la période du « paléo-Tchad » de Tilho (1910),

- entre 4 000 BP et l'actuel, le niveau du lac Tchad va en diminuant avec cependant quelques transgressions importantes, l'une d'elles située entre 3 500 et 3 000 BP, une autre encore située vers 1 500 BP,

- l'évolution moderne du lac Tchad au cours du dernier millénaire a pu être également reconstituée grâce à des données palynologiques et géologiques, mais aussi historiques et l'établissement d'une chronologie calendaire est rendu possible par référence à ces données historiques.

De très hauts niveaux lacustres se sont produits au XI^e et XII^e siècle durant l'optimum thermique médiéval, puis au XVII^e siècle durant le maximum du petit âge glaciaire. Par contre, il y eut aussi de nombreuses régressions durant ce dernier millénaire : la plus importante et la plus longue serait survenue vers le milieu ou dans la seconde partie du XV^e siècle. Des traditions orales, recoupées par l'histoire, ont été

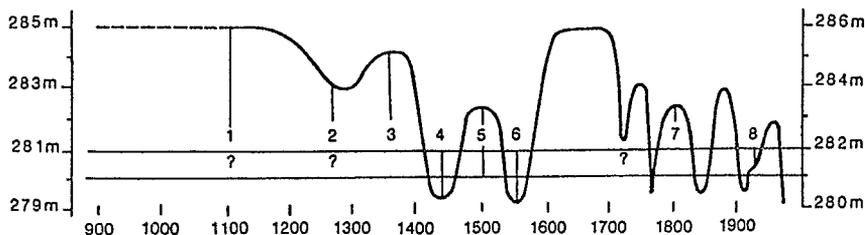


Fig. 1. — SCHEMA DES VARIATIONS DU NIVEAU DU LAC TCHAD
AU COURS DU DERNIER MILLENAIRE

Cette courbe synthétise les données historiques depuis le XIV^e siècle ainsi que les données géologiques et polliniques. La chronologie est calendaire. Le décalage d'un mètre des niveaux entre l'époque actuelle et le début du dernier millénaire correspond à l'épaisseur moyenne des sédiments déposés dans la cuvette méridionale du lac durant ce laps de temps.

recueillies par C. Seignobos chez des peuplades vivant au sud du lac. Elles décrivent, à cette époque, l'installation de villages sédentaires dans la partie méridionale asséchée du lac, durant les 20 à 25 ans d'une génération, qui s'est achevée par une remontée catastrophique des eaux du lac.

Plus récemment, Barth et Nachtigal observaient, au cours de la seconde moitié du XIX^e siècle, les plus hauts niveaux connus historiquement de l'ordre de 284 m. Quelques observations ont été effectuées par des missions militaires notamment la mission Tilho, en période de basses eaux de 1905 à 1908 après un épisode d'assèchement qui avait dû débiter vers 1896. Le général Tilho écrivait en 1928 : « En 1908, sa superficie submergée était réduite de moitié, et je pouvais faire circuler à pied mes convois de chameaux dans toute la partie de la cuvette où, quelques années auparavant, j'avais navigué en toute aisance, avec mon compagnon Audouin, à bord d'un grand chaland d'acier ».

De nouvelles observations correspondent à la phase de remplissage de 1913 à 1919. Les observations récentes ont été reprises en 1953 et leur continuité permet de suivre un pseudo-cycle presque complet de remplissage et d'assèchement entre des cotes extrêmes de 283,3 en 1963 et le quasi-assèchement de 1973.

La figure 1, tirée de Maley (1981), illustre ce que nous savons des variations du lac Tchad au cours du dernier millénaire ; on peut voir que le lac Tchad a connu des assèchements ou de quasi-assèchements plusieurs fois dans une histoire récente (sans qu'il soit donc nécessaire de remonter au proche Holocène) et que ces assèchements (au moins ceux du XV^e et XVI^e siècle) auraient été aussi longs que l'épisode actuel.

Ce retour historique est donc encourageant en quelque sorte et laisse entendre que la situation actuelle n'est pas définitive.

III. *Le régime hydrologique du lac Tchad*

De nombreux ouvrages, en particulier de chercheurs de l'O.R.S.T.O.M., ont été consacrés au lac Tchad depuis la première monographie due à Bouchardeau et Lefèvre, datée de 1957. Cette monographie a été réactualisée en 1969 par Touchebœuf de Lussigny et une nouvelle version enrichie des observations de la récente sécheresse est en cours de réalisation à l'O.R.S.T.O.M. par G. Vuillaume et Chouret, sous la responsabilité de J.C. Olivry ; Rodier (1971) a apporté aussi une contribution. Des études plus spécifiques ont aussi concerné le lac Tchad, comme par exemple les travaux d'hydrologistes tels que MM. Lemoalle, Carmouze et Durand, ou encore l'étude de Riou (1972) de l'évaporation en Afrique Centrale qui s'appuie particulièrement sur les résultats du lac Tchad. M.-A. Roche (1971) s'est intéressé au traçage naturel salin et isotopique des eaux du système hydrologique du lac Tchad et donc à une évolution des pertes du lac par abandon superficiel et infiltration marginale. Des études plus générales ont concerné l'évaluation des potentialités du lac Tchad : J. Colombani, G. Vuillaume, A. Lafforgue et P. Franquin — O.R.S.T.O.M. ; ministère de la Coopération (1969) et P.N.U.D. (1980). La télédétection a aussi été utilisée pour préciser la bathymétrie du lac et de ses environs (Lemoalle, 1979).

Un article de G. Vuillaume (1981) présente le bilan hydrologique du lac à l'échelle mensuelle et propose une modélisation sommaire du régime hydrologique.

Enfin, J.C. Olivry a publié aussi, en 1984, un bilan hydrologique moyen du lac.

III.1. *Le cadre physique du lac*

Le lac Tchad moderne n'est que le vestige d'un vaste paléo-Tchad (Tilho, 1910) qui a dû couvrir environ 350 000 km² (Pias, 1970) lors des paroxysmes humides dont le dernier date de 5 à 6 millénaires (Schneider, 1967).

L'extension du paléo-Tchad était beaucoup plus septentrionale, centrée sur les bas-pays du Nord-Est, et son alimentation était principalement assurée par la complexe Chari-Logone mais aussi par des apports non négligeables venant de l'Ouaddaï et du Tibesti.

A l'époque actuelle, le lac Tchad n'est, dans le meilleur des cas, qu'une pellicule d'eau épaisse de 5 à 8 m maximum dont la superficie a atteint 23 000 km² à la cote 284 lors des épisodes les plus humides de la fin du XIX^e siècle.

L'altitude moyenne du plan d'eau influe considérablement sur l'aspect physique du lac et on peut distinguer trois stades différents :

— le stade « petit Tchad », à l'altitude 280 m qui correspond aux niveaux observés vers 1908 et depuis 1972,

— le stade « Tchad normal ou moyen Tchad », vers l'altitude 282 m, état le plus fréquent au cours des cinq décennies d'avant 1970,

— le stade « grand Tchad », à l'altitude 284 m qui correspond aux premières observations historiques de la deuxième moitié du XIX^e siècle, mais qui ne paraît pas avoir existé au XX^e siècle.

Chacun sait que le lac n'est pas une surface d'eau libre, mais un ensemble d'entités morphologiques dont l'importance varie bien sûr avec l'altitude instantanée du plan d'eau, mais aussi en fonction de l'histoire des oscillations antérieures récentes. L'état du plan d'eau correspond en première analyse à celui de la crue du Chari, principal tributaire actuel ; les épisodes, plus ou moins persistants d'étal relatif (en hautes ou basses eaux), d'assèchement progressif ou de reconstitution continue des volumes stockés, conditionnent la présence et l'importance de certaines entités morphologiques.

Il faut d'abord rappeler que le lac comporte deux cuvettes (nord et sud), généralement en communication par une zone plus ou moins marécageuse, la Grande Barrière, hauts fonds parfois colonisés par une intense végétation aquatique, éventuellement ligneuse pour l'*ambatch* au bois très léger. En dessous de l'altitude 279 m, les deux cuvettes se séparent et la cuvette nord a tendance à s'assécher rapidement, ce qui fut constaté au cours des dernières années. La végétation poussée sur la Grande Barrière constitue alors un obstacle difficilement franchissable aux eaux de la crue suivante.

On distingue classiquement plusieurs types de paysages :

— les eaux libres, vastes étendues donnant l'impression de la « haute mer », mais pouvant se raréfier, voire disparaître,

— l'archipel d'îles sableuses constituées par les sommets aplanis des dunes d'un erg fossile fixé bordant le lac au nord et à l'est,

— les îlots-bancs, transition entre l'archipel et les eaux libres, constitués de hauts fonds sableux colonisés par la végétation aquatique,

— les marécages ou herbiers qui peuvent avoir en basses eaux une extension très importante.

La figure 2 illustre (Vuillaume, 1981) divers stades de remplissage du lac Tchad.

Les relations cote-surface-volume du lac Tchad sont très difficiles à établir, car notamment la surface du lac est rarement horizontale, avec l'arrivée différentielle de la crue du Chari à travers les obstacles végétaux, situation aggravée par l'existence d'un gradient pluviométrique et d'un gradient d'évaporation, ainsi que par les sèches importantes dues aux variations barométriques mais surtout aux variations brusques de la force et de la direction du vent ; en période d'harmattan, on peut observer au limnigraphe de l'île Kalom une « marée » journalière très nette en relation avec les variations journalières de la force de ce vent. Evans (1987) montre sur un graphique la relation apparente entre vitesse et direction du vent et la différence moyenne mensuelle des

PETIT TCHAD (cote 280m)



D'APRÈS LES DOCUMENTS DE LA MISSION IILHO
(Début 1908)

MOYEN TCHAD (cote 281,8m)



GRAND TCHAD (cote 284m)

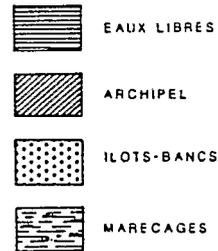
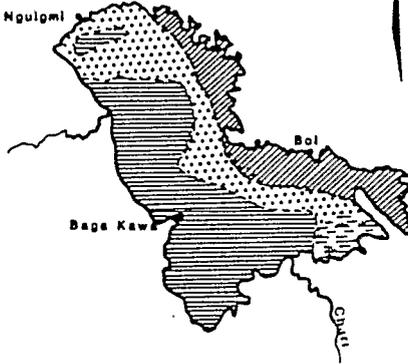


Fig. 2. — DIVERS STADES DE REMPLISSAGE DU LAC TCHAD

niveaux du lac entre Wulgo (embouchure de l'El Beïd du sud) et Bol (nord du bassin sud) (fig. 3).

Il est difficile par ailleurs de distinguer les eaux libres des herbiers et des surfaces humides. Jusqu'à une date récente, la bathymétrie était fondée sur un difficile planimétrage manuel des aires délimitées sur photographie aérienne pour diverses cotes du plan d'eau du lac (Touchebœuf, 1969 ; Carmouze, 1970 ; Roche, 1973). Depuis, Lemoalle (1979) a utilisé la télédétection à partir de données L.A.N.D.S.A.T. La

Vitesse et direction du vent à Gaborou en relation avec la différence moyenne mensuelle niveaux du lac à Wolgo et à Bol

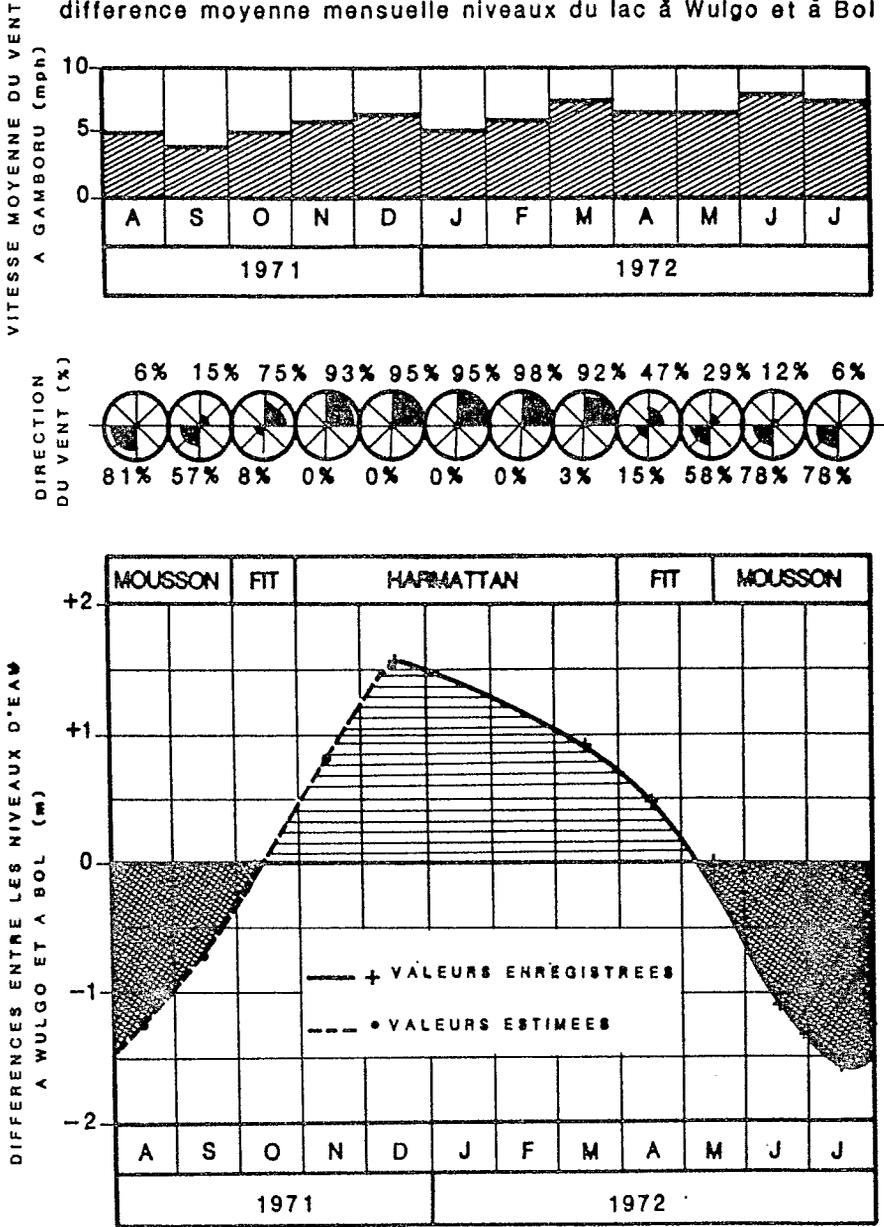


Fig. 3. — RELATIONS ENTRE VENT ET PENTE DU PLAN D'EAU DU LAC TCHAD (d'après Evans, 1987)

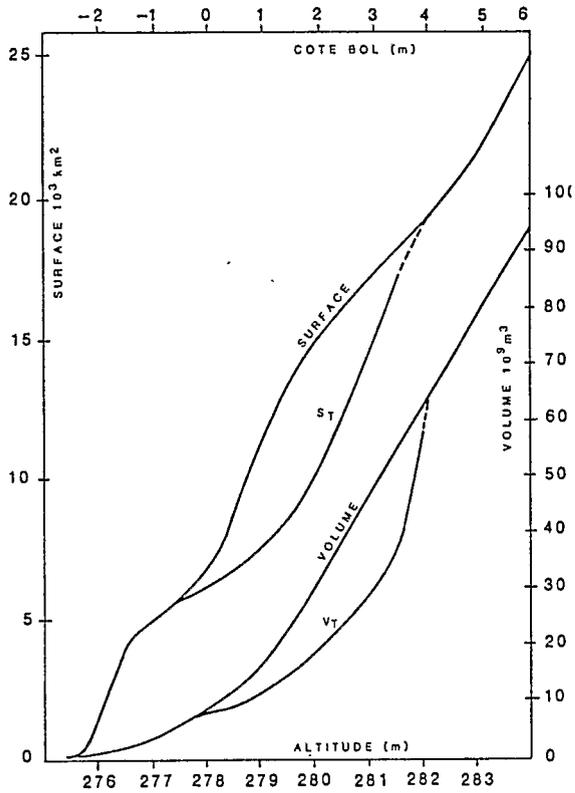


Fig. 4. — LAC TCHAD. SUPERFICIE ET VOLUME EN FONCTION DE L'ALTITUDE DU PLAN D'EAU (Lemoalle, 1979) (Les courbes ST et VT correspondent au seul remplissage de la cuvette sud en cas d'assèchement de la cuvette nord).

courbe surface-cote obtenue représente cette fois la variation de superficie des eaux libres seulement alors que tous les travaux antérieurs y incluaient les îlots-bancs (fig. 4).

III.2. Les termes du bilan hydrologique

III.2.1. Climatologie

D'après l'étude de potentialités du bassin du lac Tchad (J. Colombani, G. Vuillaume, A. Lafforgue, P. Franquin, 1979), les précipitations moyennes interannuelles homogénéisées sur 31 ans (1946-1976) varient sur le lac du nord au sud de 200 à 550 mm par an (fig. 5).

En année décennale sèche, la pluie annuelle varie de 100 à 400 mm du nord au sud et de 90 à 300 mm en année centennale sèche.

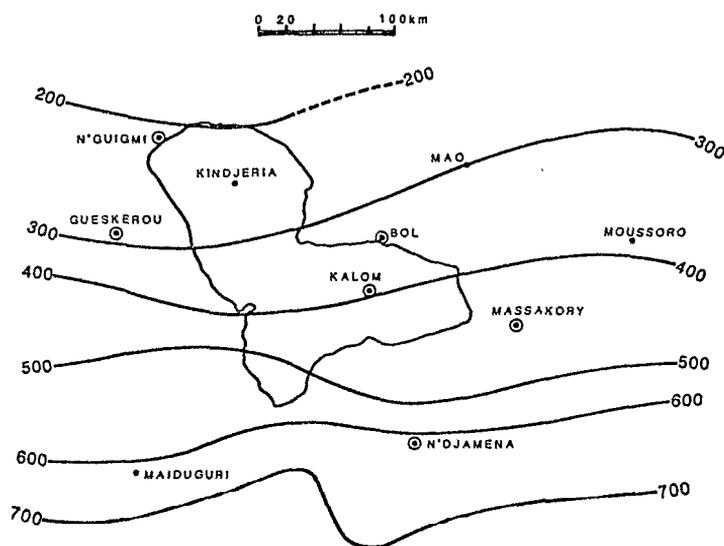


Fig. 5. — LAC TCHAD. ISOHYÈTES INTERANNUELLES (1946-1976)

En année décennale humide, elle varie de 300 à 700 mm et de 400 à 800 mm en année centennale humide. Pendant 6 mois par an en moyenne, il tombe moins de 5 mm par mois et 85 à 90 % de la hauteur de pluie annuelle tombe en juillet-août-septembre.

Pour les années postérieures à 1976, nous manquons de données sûres pour évaluer la pluie à cause des événements survenus au Tchad. Toutefois, on sait que l'année 1984 a été particulièrement déficitaire.

Mais les précipitations directes sur le lac constituent un terme relativement mineur du bilan. Il faut cependant retenir le fort gradient pluviométrique existant du nord au sud du lac (de l'ordre de 1 à 3).

Le régime des vents est relativement simple et oppose les vents secs et forts de l'harmattan qui soufflent durant toute la saison sèche d'octobre à avril-mai, au vent de mousson, humide et plus frais, qui souffle de façon plus irrégulière tout le reste de l'année. Ces vents ont une importance décisive sur l'évaporation, mais provoquent aussi des basculements du plan d'eau comme indiqué plus haut, sur plusieurs décimètres de hauteur.

Évaluée par la formule de Penman avec un albedo de 0,05, l'évapotranspiration potentielle (E.T.P.) estimée atteint des valeurs de 2 500 à 2 700 mm/an du sud au nord du lac. Mais l'évaporation d'une nappe aussi considérable comporte évidemment un certain amortissement induit par le micro-climat du lac. La valeur de l'E.T.P. Penman doit donc être considérée comme une limite maximale ponctuelle, hors effet lac. C. Riou (1972) et B. Pouyaud (1985) ont bien estimé l'évaporation sur le lac à

partir des résultats sur bac et lysimètre aux stations de Bol Dune et Bol Matafo, ainsi que par des formules dérivées de la formule de Dalton. On peut l'estimer de 2 150 à 2 250 mm/an du sud au nord.

Tous ces résultats sont suffisamment concordants pour montrer que le déficit pluie-évaporation croît du sud au nord du lac de 1 650 mm à 2 050 mm, croissance atteignant donc 400 mm. Le déficit supérieur du nord du lac et l'alimentation en eau du réseau hydrologique par le sud presque exclusivement ont pour conséquence l'existence d'une pente hydraulique sud-nord et d'un écoulement préférentiel dans le même sens, parfois dévié par l'action des vents ou par l'obstacle de la végétation aquatique.

III.2.2. Les eaux de surface

Les apports variés de l'époque du paléo-Tchad ont cédé la place à l'époque moderne à des apports fluviaux d'origine méridionale qui aboutissent presque exclusivement en cuvette sud. En année moyenne, les apports en eaux de surface sont assurés essentiellement par le Chari, dont B. Billon (1974) évaluait le module moyen interannuel à 1 280 m³/s sur la période 1932-1967. Pour la période de 1954-1955 à 1968-1969, intéressante du fait qu'elle constitue une partie du pseudo-cycle du lac où il y a presque égalité des cotes initiale et finale, on admet (G. Vuillaume, 1981) que les apports au lac sont représentés par la somme des débits du Chari à N'Djamena, de l'El Beid à Fotokol de la Komadoukou à Gueskerou et du Yedseram. Dans ces conditions, 95 % de ces apports totaux transitent pour cette période par le Chari à N'Djamena (module égal à 1 330 m³/s pour 41,9.10⁹ m³ d'apports annuels) (fig. 6 et 7).

Il n'est d'ailleurs pas certain que la totalité de ces volumes transitant à N'Djamena aboutisse au lac en raison de la dégradation du réseau hydrographique à l'aval de la station. Olivry (1984) donne une bonne évaluation de ce qui se passe dans cette zone complexe et aboutit à un bilan hydrologique pour la cote 281,5 m où les 46 milliards de m³ évaporés ou infiltrés sont équilibrés en année moyenne par 40 milliards de m³ d'apports superficiels et 6 milliards de m³ dus aux pluies (fig. 8).

Rappelons les caractéristiques hydrologiques du Chari à N'Djamena, calculées sur la période 1932-1966 :

<i>Débits moyens annuels</i>		<i>Apports annuels totaux</i>
centennale sèche	690 m ³ /s	21,7.10 ⁹ m ³
décennale sèche	950 m ³ /s	30,0.10 ⁹ m ³
moyenne	1 260 m ³ /s	39,7.10 ⁹ m ³
décennale humide	1 570 m ³ /s	49,5.10 ⁹ m ³
centennale humide	1 830 m ³ /s	57,7.10 ⁹ m ³

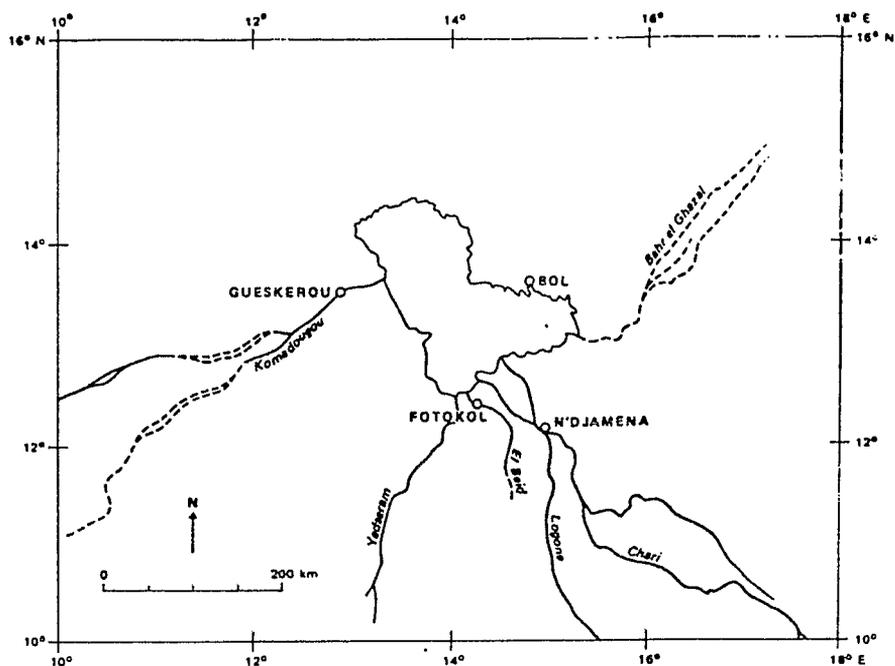


Fig. 6. — RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE PRINCIPAL

Crue annuelle (médiane) 3 690 m³/s

Etiage : médiane 126 m³/s

décennal sec 88 m³/s

Ces paramètres sont actuellement en cours de réactualisation, pour tenir compte de la récente période de sécheresse, dans la mise à jour de la monographie hydrologique du lac Tchad dont l'édition est en préparation à l'O.R.S.T.O.M.

Dans ce contexte, les modules, crues maximales annuelles et étiages, observés depuis 1970, sont particulièrement significatifs :

Débits moyens annuels

1972-1973 537 m³/s

1973-1974 572 m³/s

1983-1984 522 m³/s

1984-1985 213 m³/s

1985-1986 533 m³/s

Ces débits sont tous inférieurs à la valeur centennale sèche indiquée plus haut sur la période 1932-1966 ; notamment pour l'année 1984-1985 on n'atteint même pas le tiers de cette valeur : 213 m³/s à comparer à 690 m³/s.

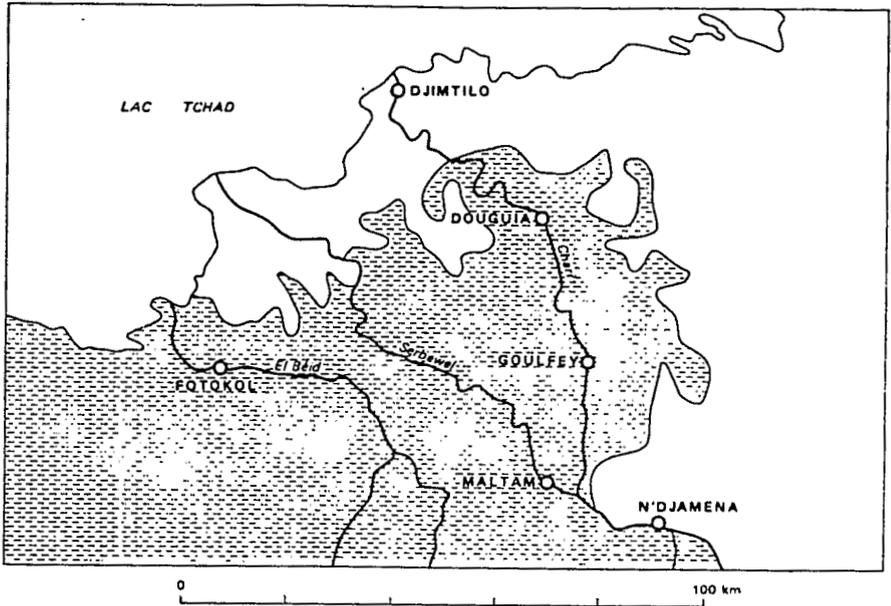


Fig. 7. — PLAINES D'INONDATION
(d'après G. Vuillaume, 1981)

Crues annuelles :

1972 : 1 435 m³/s

1973 : 2 130 m³/s

1983 : 1 912 m³/s

1984 : 785 m³/s

1985 : 2 160 m³/s

1984 atteint à peine plus de 1/5 de la valeur médiane indiquée plus haut pour la période 1932-1986.

Etiages :

1972 : 90 m³/s

1973 : 47,7 m³/s

1974 : 38,6 m³/s

1983 : 36,3 m³/s

1984 : 42,5 m³/s

1985 : 6,3 m³/s

1985 atteint moins de 1/14 de la valeur décennale sèche indiquée plus haut pour la période 1932-1966.

Ces quelques chiffres montrent à l'évidence l'extrême sévérité de la sécheresse 1972-1974, encore dépassée par celle de 1983-1985, avec une hydraulité exceptionnellement faible en 1984-1985. L'étiage 1985 éton-

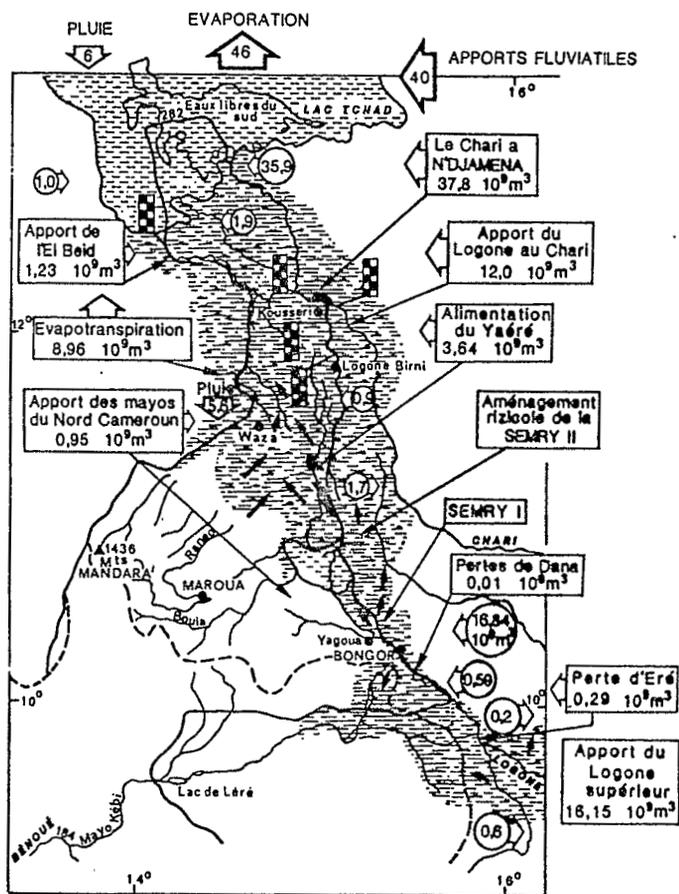


Fig. 8. — LES EAUX DU LOGONE, LE NORD CAMEROUN ET BILAN HYDROLOGIQUE (valeurs en milliards de m³ d'après Olivry, 1986)

namment bas est dû à un tarissement complet du Chari à Chagoua (de fin avril à fin juin) et à un débit de Logone limité à moins de 7 m³/s à cause d'une dérivation sur la rive camerounaise au niveau de Koumi et Katoa pour les besoins des opérations agricoles S.E.M.R.Y.

III.2.3. La nappe phréatique

Le lac, à l'exception du dôme de Kimi-Kimi, constitue un point du système hydrogéologique régional (Schneider, 1966). Les gradients piézométriques sont orientés du lac vers les terres sans inversion saisonnière du gradient (Roche, 1973). L'évaluation des pertes par infiltration peut être faite par des bilans de salinité plus ou moins précis. La plus complète

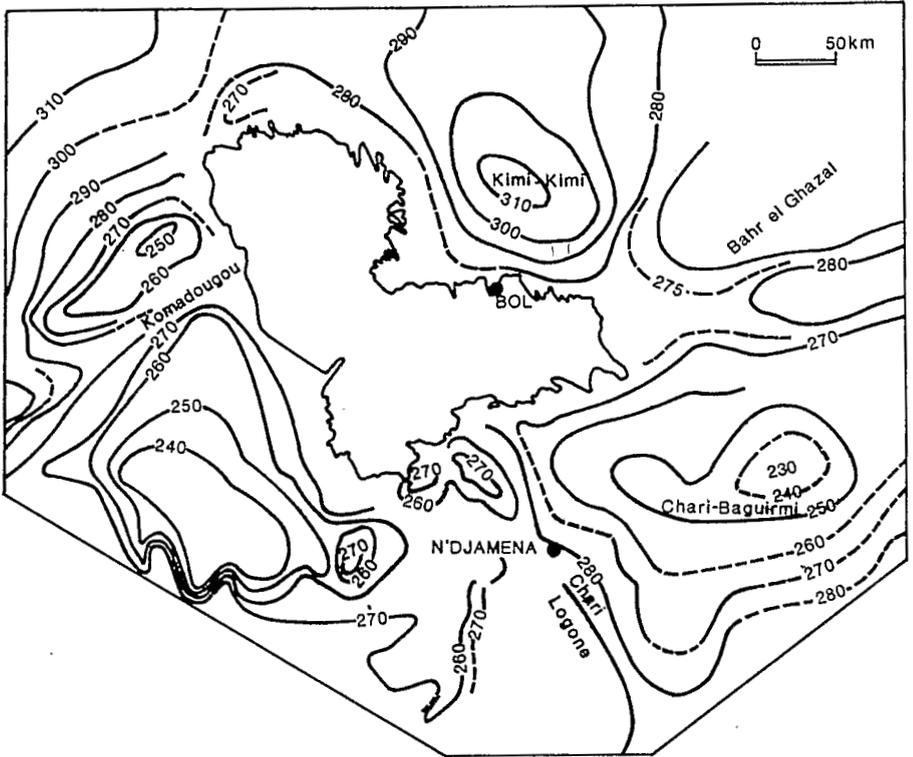


Fig. 9. — LAC TCHAD. PIEZOMÉTRIE DE LA NAPPE PHRÉATIQUE

des études successives (Bouchardeau, 1958 ; Touchebeuf, 1966) est due à M.A. Roche (1973) et permet d'estimer les volumes infiltrés entre 2,1 et 3,6 milliards de m^3 en année moyenne, soit 4 à 7 % des apports totaux (fig. 9).

III.3. Bilans hydrologiques du lac

G. Vuillaume (1981) a construit la meilleure modélisation du bilan hydrologique du lac à l'échelle mensuelle ; la période de validation va de 1954 à 1977. Dans ce modèle, les niveaux sont les cotes lissées observées à l'échelle de Bol. Lorsque la station de Bol se trouve exondée, la modélisation utilise des cotes reconstituées à partir de celles observées à l'échelle de l'île de Kalom. Pour tenir compte des remplissages différentiels des cuvettes nord et sud, les courbes cote-surface et cote-volume ont été complétées par des courbes de transition obtenues par approximations successives. La pluviométrie est obtenue comme la

moyenne des pluies observées à plusieurs postes périphériques ; l'évaporation du lac est réputée être l'évaporation potentielle estimée à Bol-Matafo.

La mise en œuvre du modèle, au pas du temps mensuel, se résume à l'équation suivante :

$$\text{Pertes} = \text{VR} + \text{Vp} - \text{V}$$

où le terme « Pertes » cumule les pertes par évaporation et par infiltration

VR représente les apports d'eaux de surface

Vp la pluie sur le lac

V la variation de stock correspondant à la variation de niveau.

Afin de réaliser le calage de ce modèle, l'auteur a dû, d'une part, prendre en compte des algorithmes mensuels liant les pertes spécifiques du mois au niveau observé du lac et, d'autre part, introduire une fonction d'écrêtement, ce qui revient à admettre qu'au-dessus d'une certaine valeur du débit moyen mensuel du Chari à N'Djamena, des inondations se produisent entre N'Djamena et Djimtilo sur le delta, ce qui conduit à une disparition par infiltration et évaporation de 80 % des débits excédant 2 750 m³/s et à un report sur le mois suivant des 20 % restants.

Dans ces conditions, les cotes simulées se révèlent très proches de celles observées pour la période 1954-1977.

La simulation aboutit pourtant à un paradoxe : vers la cote 6 du lac, les pertes résiduelles (par infiltration) deviennent négligeables, alors que vers la cote 2 au contraire, les pertes par infiltration atteignent 400 mm !

Il nous semble que l'explication réside dans la convergence de deux approximations faites :

— l'évaporation pour un mois donné est supposée représentée par l'évaporation potentielle estimée à Bol-Matafo, avec un même coefficient quelle que soit la cote, c'est-à-dire l'extension superficielle du lac. Or, nous savons que l'évaporation est d'autant plus importante que le lac est moins étendu et moins profond. Rappelons que le coefficient de la formule de Penman améliorée passe de 0,59 dans le cas du lac Tchad bien rempli, à 0,76 dans le cas d'un lac de 20 km² de superficie (lac de Bam).

Cela signifierait bien que les pertes par évaporation sont surestimées en hautes eaux et sous-estimées en basses eaux et qu'à l'inverse les pertes par infiltration sont surestimées en basses eaux et sous-estimées en hautes eaux ;

— par ailleurs, dans ce que l'on appelle « perte par infiltration », il faut voir en fait deux aspects : l'infiltration véritable d'un lac déjà profond vers la nappe d'une part et les quantités d'eau qui humidifient un sol sec nouvellement recouvert par l'eau avant que ce sol ne devienne plus imperméable. Il semblerait que la morphologie du lac puisse ainsi

expliquer qu'en basses eaux les surfaces à recouvrir soient proportionnellement plus importantes et que la perte en début de recouvrement soit plus importante.

En tout état de cause, cette modélisation satisfaisante du bilan hydrologique du lac est un outil très utile qui permet de simuler l'effet des prélèvements supplémentaires éventuels dans le lac ou dans ses affluents. Il suffit pour cela de minorer les apports mois après mois dans le bilan précédent.

Les résultats de ces simulations ont montré que dans ce cas le lac aboutissait toujours à un nouvel équilibre, bien sûr inférieur à l'équilibre précédent, toutes choses égales par ailleurs, mais qu'il n'y avait pas de risque de bouleversement de l'équilibre hydrologique du seul fait de ces prélèvements.

Tel quel, ce modèle a donc parfaitement décrit le premier assèchement de 1973 ; il en serait certainement de même de la période encore plus dramatique de 1984-1985 qui vit l'assèchement quasi total du lac.

IV. *Le lac Tchad peut-il disparaître ?*

Posée de façon aussi simple, cette question peut recevoir une réponse positive si aucune période n'est fixée. En effet, à l'échelle géologique, des variations climatiques telles que celles qui se sont déjà produites peuvent conduire soit à un assèchement total soit *a contrario* à un retour au paléo-Tchad.

En fait, ce qui est plus intéressant c'est de savoir si de tels phénomènes peuvent être observés à une échelle de temps humaine, donc dans un avenir relativement proche. Les conséquences socio-économiques d'un assèchement seraient très importantes étant donné la capacité de production agricole de la région du lac et son potentiel halieutique.

Nous venons de constater que l'hydraulicité du lac Tchad, du fait que son volume de stockage est du même ordre de grandeur que les apports moyens, dépend directement de l'importance des apports de ses affluents. En effet, à la cote moyenne 281,5 m le volume total du lac est voisin de 60 milliards de m³, volume peu éloigné de l'apport moyen du Chari en années « normales » soit 40 milliards de m³. L'apparition des stades « Petit Tchad », « Moyen Tchad » ou « Grand Tchad » dépend directement des chroniques d'apports moyens annuels du Chari et il y a une correspondance directe entre les débits moyens annuels du Chari pris en « moyenne glissante » sur quelques années et le niveau atteint par le lac qui amortit les apports sur quelques années (Maley, 1973) :

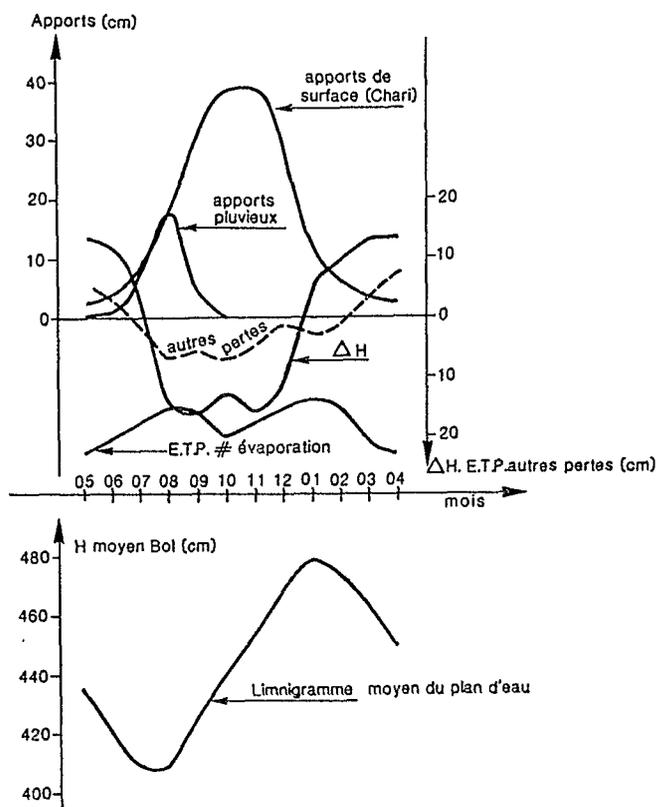


Fig. 10. — BILAN MENSUEL MOYEN. PÉRIODE 1954-1955 et 1968-1969 (d'après G. Vuillaume, 1981)

— il faut plusieurs années déficitaires successives pour arriver à un quasi-assèchement du lac et une seule année très déficitaire ne suffit pas pour conduire à la situation récemment observée.

— Inversement, quelques années moyennes ou une année exceptionnellement humide suffiraient à redonner au lac sa physionomie antérieure à 1970.

Les graphiques (a, b, c et d) dus à G. Vuillaume (1981) confirment ces faits (fig. 11) ;

l'avenir proche du lac Tchad dépend donc essentiellement des apports du Chari, son principal fournisseur d'eau. La prévision des apports de ce fleuve est tout aussi hasardeuse que celle de la pluviométrie de son bassin-versant. La possibilité de prévoir la hauteur de pluie sur le bassin-versant avec plus d'une semaine d'avance reste pour l'instant très hypothétique.

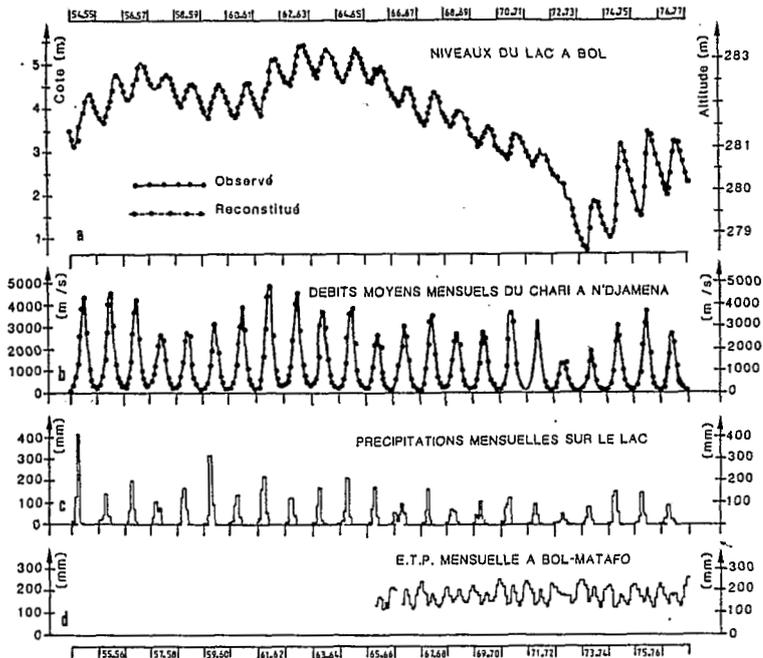


Fig. 11. — LAC TCHAD. PRINCIPALES OBSERVATIONS DE 1954-1955 à 1976-1977 (d'après G. Vuillaume, 1981)

Par contre, les interventions humaines sont, elles, programmables et il ne fait aucun doute qu'elles peuvent avoir un effet déterminant sur le régime du Chari et donc du lac.

IV.1. Évolution possible de la pluviométrie

La controverse sur les causes des périodes de grande sécheresse reste largement ouverte. Le général Tilho, dans l'article écrit en 1928, comparait l'évolution des niveaux du lac Tchad à celle des glaciers alpins. Il avait constaté une assez bonne correspondance entre la montée du niveau du lac Tchad et l'avancée des glaciers : sur neuf observations entre 1781 et 1921, une seule lui paraissait franchement discordante. Postérieurement à 1921, les concordances de ce type paraissent moins évidentes. Il semble que l'on ait assisté à une « décrue » généralisée des glaciers européens de 1870 à nos jours (E. Le Roy Ladurie, 1983), récession interrompue de temps à autre par de petites avancées. En tout cas, il ne paraît plus raisonnable de se fier aux prévisions concernant les glaciers (faites par P. Mougin, 1926) pour prédire l'état du lac. Bien sûr, le général Tilho prédisait une période « Petit Tchad » pour

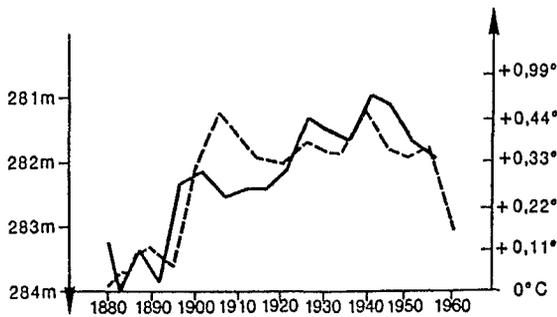


Fig. 12. — VARIATION CONCOMITANTE DES NIVEAUX MAXIMA DU LAC TCHAD ET DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE INTERTROPICALE (d'après Maley, 1973)

Evolution de la température moyenne entre 30° N et 30° S (Trait plein)
Niveaux maxima du lac Tchad (tiretés)

1975-1985, période où le lac a effectivement presque disparu, mais on ne peut pour autant faire confiance à la prévision de « Grand Tchad » pour 1993-1997.

Il est peut-être plus raisonnable de croire à une relation entre les niveaux du lac et les fluctuations de température comme cela a été constaté par Maley (1973) : la figure 12 montre une certaine relation entre l'évolution de la température entre 30° nord et 30° sud et les niveaux du lac. Aux minima de température correspond un certain décalage positif des maxima du lac. Ceci amène à penser qu'à un réchauffement global pourrait correspondre une sécheresse accrue. Mais en fait, d'après Maley, une diminution des températures pourrait aussi provenir d'une plus forte nébulosité. On aurait alors une filiation de la nébulosité vers la variation de température et non l'inverse. D'où pourrait provenir actuellement un tel réchauffement ? Bien entendu de l'augmentation de la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère.

On assiste en effet à une croissance continue de cette teneur depuis le début de l'ère industrielle du fait de la combustion accélérée des combustibles fossiles pour les besoins domestiques et industriels. Ce sujet est aussi l'objet d'une grande controverse. G. Lambert (1987) annonce comme très probable un doublement de la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère, vers le milieu du XXI^e siècle, avec un réchauffement global de l'ordre de 2 à 4 °C. Déjà cette teneur a crû de 275 parties par millions (en volume) en 1800 à 345 ppmv. en 1985 (0,345 litre de CO₂ par 1 000 litres d'air) soit un apport en masse de cinq cent milliards de tonnes de CO₂ en 185 ans, dont la moitié environ est restée dans l'atmosphère (G. Lambert, 1987). La modélisation de l'évolution du CO₂ atmosphérique est très complexe car, en dehors du CO₂ produit par les activités domestiques et industrielles, il y a celui

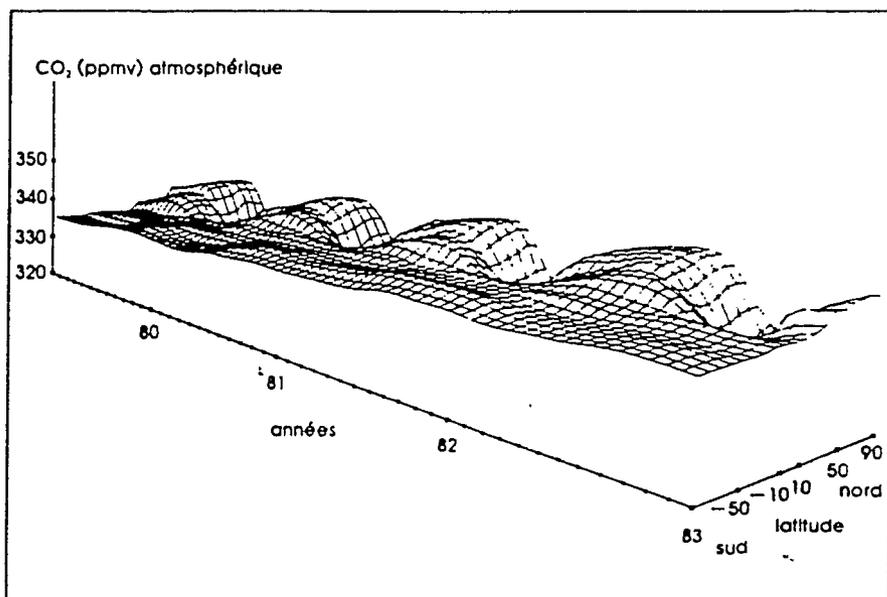


Fig. 13. — VARIATIONS DE 1980 A 1983 DE LA TENEUR EN CO₂ DE L'ATMOSPHÈRE EN FONCTION DE LA LATITUDE ET DE LA SAISON (d'après G. Lambert, 1987)

provenant des pratiques agricoles et l'effet des échanges avec les masses océaniques. Toutefois, l'accroissement de la teneur en CO₂ atmosphérique serait inégalement réparti et peu important dans la région intertropicale comme on peut le voir sur la figure 13 pour la période 1980-1983 (G. Lambert).

En définitive, si l'on peut craindre un effet important sur le climat et sur l'état du lac Tchad, on ne peut rien prévoir de sûr, car l'échauffement ne correspondrait pas forcément, dans ce cas, à une diminution de la nébulosité et donc des pluies, surtout si l'on considère que des événements aléatoires, tels que des explosions volcaniques à aérosols acides, ou peut-être même de faibles variations de la vitesse de rotation de la terre peuvent momentanément entraîner une modification du climat. Il semble bien par exemple que l'explosion du volcan Tambora (Indonésie), en 1815, ou celle de El Chichón (Mexique), en 1982, aient pu avoir un effet significatif sur le climat (H et E. Stommel, 1983).

IV.2. Impact des activités humaines

Si l'on reste dans l'incertitude en ce qui concerne l'évolution possible du climat, par contre on peut évaluer avec plus de certitude l'effet d'aménagements dans le bassin-versant du lac Tchad.

En particulier, on connaît depuis longtemps l'existence d'une amorce de capture du Logone par la Bénoué à travers le Mayo Kebi. Si rien n'est entrepris pour l'empêcher, cette capture doit un jour se produire, privant le lac Tchad de l'apport des eaux du Logone (déjà parfois en très hautes eaux une fraction du débit du Logone est exportée vers le Bénoué). Il est probable que cette capture, bien que quasi certaine, n'interviendra pas avant longtemps en dehors de toute intervention humaine. Mais précisément, il semble bien qu'il existe des projets pour prélever artificiellement une partie de l'eau du Logone pour la déverser aux chutes Gauthiot dans le Mayo Kebi afin de profiter de la dénivelée importante existant à cet endroit pour produire de l'énergie électrique. Ce projet pourrait empêcher la capture naturelle mais priverait le lac Tchad d'une part importante de ses apports.

Un autre projet consiste à régulariser le bassin du Logone par la construction de barrages réservoirs qui auraient pour effet de limiter les crues et donc la submersion des grandes étendues plates dénommées *yaérés* tout en soutenant les débits d'étiages. Peut-être réduirait-on ainsi les pertes par évaporation mais en bouleversant l'économie multiséculaire des populations exploitant les *yaérés*.

Un autre projet envisage le détournement d'une partie des eaux de l'Oubangui dans le Chari pour compléter l'alimentation du lac Tchad et régulariser son niveau. Que de problèmes diplomatiques et surtout socio-économiques à résoudre !

Il est possible de modéliser tous ces projets et d'autres encore et on ne peut que vivement recommander cette modélisation (y compris pour les effets socio-économiques) avant toute décision qui pourrait conduire à des conséquences désastreuses pour le lac Tchad et son bassin-versant.

Nous concluons en affirmant qu'il y a beaucoup plus de chances à court ou moyen terme que l'Homme soit la cause d'un assèchement éventuel durable du lac Tchad, plutôt qu'une variation durable du climat.

Résumé. — *Le lac Tchad est-il en voie de disparition ?*

Il y a soixante ans, le général Tilho a écrit un article publié dans les Annales de Géographie sur la possibilité de voir le lac Tchad sans une goutte d'eau. A partir des connaissances dont il disposait alors, il fit quelques prévisions.

Utilisant toutes les données nouvelles recueillies au cours des soixante dernières années, les auteurs se sont efforcés d'apprécier les prévisions d'aujourd'hui et d'en proposer quelques autres.

La conclusion est que le climat n'a pas fondamentalement changé ; un assèchement constant du lac Tchad ne semble pas à craindre, en ce sens qu'une seule année de fortes pluies suffit à ramener l'eau du lac au niveau normal. Toutefois, si l'homme ne se préoccupe pas d'un aménagement de l'environnement, on pourrait se trouver en présence d'un risque de disparition du lac.

Mots clés : *climat, série historique, sécheresse, bilan hydrologique, prédiction hydrologique.*

Summary. – *Is Lake Chad going to disappear ?*

Sixty years ago, General Tilho has written a paper, published in Annales de Géographie about the possibility to see Lake Chad without any water. After the knowledge he had about this topic, he made some predictions.

Using all the new data collected during the past sixty years, authors have tried to evaluate these ancient predictions and also to make new ones.

The conclusion is that if the climate does not fundamentally change, a permanent drying of Lake Chad does not seem to be feared since a single year with heavy rains is enough to bring water up to a normal level ; but also that if man does not set an environmental sound management of the Lake Chad catchment there is an actual danger for a disappearance of Lake Chad.

Key words : *Climate, historical series, dryness, hydrological balance, hydrological prospect.*

Bibliographie

- Billon B., Oberlin G., Guiscafre J., Herbaud J. (1968-1969) *Monographie hydrologique du Chari*. O.R.S.T.O.M., Service Hydrologique, Paris, 610 p., 142 fig., 5 cartes, 480 tabl. Ronéo.
- Bouchardeau A., Lefèvre R. (1957) *Monographie du lac Tchad*, O.R.S.T.O.M., Paris, 112 p., 24 planches. 1 carte. Ronéo.
- Carmouze J.P. (1976) La régulation hydrogéochimique du lac Tchad. *Travaux et Documents O.R.S.T.O.M.*, n° 58, 421 p.
- Cheverry C. (1974) *Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad*. Dynamique des sels en milieu continental subaride dans les sédiments argileux et organiques. Thèse Sciences, Strasbourg. Doc. multigr. 275 p. (fig. + tabl.).
- Chouret A., Mathieu P. (1978) *Étude de la nappe phréatique à la périphérie du lac Tchad en territoire tchadien*. O.R.S.T.O.M. N'Djamena, septembre. 57 p., 21 fig., 6 cartes.
- Colombani J., Brunet-Moret J.Y., Vuillaume G., Lafforgue A. (1979) *Étude des potentialités du bassin conventionnel du lac Tchad (Hydrologie)*. O.R.S.T.O.M., Service hydrologique, Paris, 32 p., 18 cartes hors textes. Annexes. 68 tabl.
- Evans T.E. (1987) Water Balance Models of Lake Chad. In : *Actes du Séminaire C.B.L.T.* N'Djamena, 8 p., 5 graph.
- Gac J.Y. (1979) *Géochimie du bassin du Tchad. Bilan de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation*. Thèse Sciences, Strasbourg, 249 p.
- Lambert G. (juin 1987) Le gaz carbonique dans l'atmosphère, in : *La Recherche* n° 189, pp. 778-787.
- Lemoalle J. (1979) Application des données Landsat à la carte bathymétrique du lac Tchad. *Cahiers O.R.S.T.O.M. d'Hydrobiologie*, Paris, vol. 12, n° 1, pp. 83-87.

- Le Roy Ladurie E. (1983) *L'Histoire du climat depuis l'an mil*, Flammarion.
- Maglione G. (1975) Géochimie des évaporites et silicates néoformes en milieu continental confiné. Les dépressions interdunaires du Tchad. *Travaux et Documents O.R.S.T.O.M.*, n° 50, 335 p.
- Maley J. (1981) Études palynologiques dans le bassin du lac Tchad et Paléoclimatologie de l'Afrique Nord Tropicale, de 30 000 ans à l'époque actuelle. *Travaux et Documents O.R.S.T.O.M.*, Thèse Sciences, n° 129, 586 p.
- Olivry J.C. (1986) Fleuves et rivières du Cameroun. *Monographie Hydrologique O.R.S.T.O.M.* Thèse Sciences. Université de Montpellier (U.S.T.L.), 1986. Monographie O.R.S.T.O.M., Paris, 593 p., 244 fig., 354 tabl.
- Pias J. (1970) Les formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et les sols qui en dérivent. Thèse Sciences. *Mémoires O.R.S.T.O.M.*, n° 43, 408 p., 2 cartes dépliantes en couleur, échelle 1/1 000 000.
- Pouyaud B. (1985) Contribution à l'évaluation de l'évaporation de nappes d'eau libres en climat tropical sec. Exemple du lac de Bam et de la Mare d'Oursi (Burkina Faso), du lac Tchad et d'Açudes du Nordeste brésilien. Thèse Sciences. Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, juillet 1985. *Etudes et Thèses O.R.S.T.O.M.*, Paris, 254 p., 85 fig., 112 tableaux, 2 cartes hors-texte.
- Rampino M. et Selfs (1984) Les effets atmosphériques de l'éruption d'El Chichón. In: *Les Volcans*, pp. 96-106. Bibliothèque Pour la Science, Belin, Paris.
- Riou C. (juin 1972) Évaporation en Afrique Centrale (Tchad, République Centrafricaine, Congo) et contribution à la connaissance des climats. *Mémoires O.R.S.T.O.M.*, Thèse Sciences, Université Paris V, juin 1972, Paris, 216 p., 97 fig., 10 photos.
- Roche M., Rodier J.A., Billon B., Bouchardeau A. (1966-1967) *Monographie hydrologique du Logone*, O.R.S.T.O.M., Service Hydrologique, Paris. 787 p., 196 fig., 14 cartes, 329 tabl. Ronéo.
- Roche M.A. (1980) Traçage naturel isotopique et salin des eaux du système hydrologique du lac Tchad. Thèse de Doctorat ès Sciences. *Travaux et Documents O.R.S.T.O.M.* n° 117, Paris, 383 p., 103 fig., 11 photos.
- Rodier J. (1971) *Hydrologie superficielle du Tchad*, O.R.S.T.O.M., Service hydrologique, Paris, 4 p. Ronéo.
- Schneider J.L. (1967) Relation entre le lac Tchad et la nappe phréatique. *Ass. Int. Hydrolog.* SC. Symposium de Garda, Publ. n° 70, pp. 122-131.
- Servant M. (1973) *Séquences continentales et variations climatiques. Évolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur*, Thèse Sciences, Paris, 348 p.
- Servant-Vildary's (1978) Études des diatomées et paléolimnologie du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. *Travaux et Documents O.R.S.T.O.M.*, n° 841, 346 p., 11 illustrations.
- Stommel H., Stommel E. (1983) *Volcano Weather (the Story of the Year without a Summer 1816)*. Sevenses Press New-Port, Rhode Island, 172 p.
- Tilho J. (1910) *Documents scientifiques de la mission Tilho (1906-1909)*. Imprimerie nationale, Paris, 2 vol., 2 038 p., photos, graph.
- Tilho J. (1928) Variations et disparition possible du Tchad. *Annales de Géographie*, pp. 238-260, tome 37, Paris.
- Touchebeuf de Lussigny, *Monographie hydrologique du lac Tchad*, O.R.S.T.O.M., Service hydrologique, Paris. 226 p., 99 fig., 1 carte, 123 tabl.
- Vuillaume G. (1981) Bilan hydrologique mensuel et modélisation sommaire du régime hydrologique du lac Tchad. *Cahiers O.R.S.T.O.M. Hydrologie*, vol. XVIII, n° 1, Paris, pp. 23-72.