

CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DU BASSIN TCHADIEN

A. CHOURET
J. LEMOALLE

EVOLUTION HYDROLOGIQUE
DU LAC TCHAD
DURANT LA SECHERESSE
1972 - 74

SEPTEMBRE 1974

RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

D8
CHO

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE NDJAMÉNA



56 FEB 1975

S.C.D.-2

12858

EVOLUTION HYDROLOGIQUE DU LAC TCHAD DURANT LA SECHERESSE
(1972 à 1974)

CHOURET A. *

LEMOALLE J. **

D8
C/HO

Septembre 1974

* Hydrologue à l'ORSTOM, N'Djaména

** Hydrobiologiste à l'ORSTOM, N'Djaména

26 FEB 1975
S.C.D.-2

12858

RESUME

Depuis le début du siècle, le lac Tchad, tributaire des crues du Chari, a connu des périodes de hautes eaux et des périodes de basses eaux, notamment vers 1906, 1914, 1944. Il a baissé à nouveau depuis 1964 pour atteindre un état particulièrement bas en 1973 et 1974 à la suite de crues exceptionnellement faibles du Chari. C'est cette dernière baisse de niveau qui est décrite, avec ses conséquences sur l'aspect du lac qui, du fait de sa faible profondeur, est très sensible à ces variations. La surface en eau du lac qui était de 18 000 km² de 1967 à 1969, est passée à 9 000 km² en juillet 1973 et 1974. Une nouvelle carte du lac a été esquissée, mettant en évidence l'isolement de la cuvette nord dont le niveau a décru de 1,9 m en une année, et l'apparition de 5 000 km² de marécages dans la cuvette sud. Les prévisions sont faites pour début 1975.

ABSTRACT

Hydrological features of Lake Chad during the drought (1972-1974).

Since the beginning of the century, Lake Chad, which is fed by the Chari River, has had periods of high water level and periods of low water level such as during 1906, 1914 and 1944. The level has been decreasing once more since 1964, and reached a fairly low level during 1973 and 1974 as a result of extremely low floods of the Chari. This last period of level lowering is described, together with its consequences on the shape of the lake which, due to its shallowness, is highly sensitive to water level changes. The lake water area, which was 18 000 km² during 1967-69, decreased to 9 000 km² during July 1973 and 1974. A new map of the lake has been drawn, which shows the splitting of the lake into two parts : the northern basin in which the level has been decreasing by 1,9 m during one year, and the apparition of a 5 000 km² marsh in the southern basin. Level forecasts have been made for early 1975.

Le déficit des apports du Chari au cours des deux dernières années, reflétant la sécheresse exceptionnelle qui sévit dans la région sahé-lienne de l'Afrique, a provoqué de 1972 à 1974 une baisse brutale du niveau et des modifications importantes de l'aspect du lac Tchad.

Nous tenons à remercier le Général AUFFRAY et les pilotes des Forces Françaises de l'Escadre d'Afrique Centrale pour les nombreux survols du lac ainsi que la Commission du Bassin du Lac Tchad et la National Aeronautics and Space Administration pour les documents photographiques aimablement communiqués. Une partie des crédits nécessaires à cette étude a été accordée par la direction des Affaires culturelles du Ministère des Affaires étrangères.

1 - DESCRIPTION DU MILIEU

Le lac Tchad est situé entre les parallèles 12° 20' et 14° 20' de latitude Nord, entre les méridiens 13° et 15° 20' de longitude Est, et subit un climat de type sahélien (fig. 1). C'est le reste du Paléotchad (TILHO, 1910) qui, à une époque où le climat de l'Afrique tropicale était beaucoup plus humide, s'étendait largement vers le Nord et était alimenté, entre autres, par des cours d'eau issus des massifs de l'Afr, du Tibesti et de l'Ennedi maintenant désertiques.

Le lac Tchad s'étend dans une cuvette endoréique faiblement déprimée. Ses rives sont le plus souvent plates et parfois indécises, ce qui rend son aspect et sa superficie très sensibles aux variations du niveau de l'eau. Son alimentation est principalement assurée par le Chari (83 %) ; l'apport des autres tributaires : El Béd, Yedseram et Komadougou-Yobé est de peu d'importance (7 %), le complément étant fourni par les pluies tombant sur le lac lui-même (10 %). La pluviométrie décroît du sud vers le nord-ouest, le lac étant situé entre les isohyètes 550 et 240 mm. Les pertes sont dues principalement à l'évaporation, de l'ordre de 2,2 m par an, les fuites marginales n'interviennent que pour 10 % au maximum.

Loin d'être uniforme, le lac présente des caractères morphologiques variés sur toute son étendue. On peut d'abord distinguer une cuvette nord et une cuvette sud, séparées par un léger étranglement des rives et une zone de hauts fonds, souvent marécageux : la "Grande Barrière".

Les deux cuvettes sont bordées au nord et à l'est par un erg fixé dont les sommets de dunes, orientés sud-est - nord-ouest, forment un vaste archipel. Celui-ci est prolongé vers l'intérieur du lac par des files de végétation ou "flots-bancs" correspondant à des hauts fonds dunaires colonisés par des phanérogames aquatiques. A la cote 281,8 m, altitude moyenne du plan d'eau de 1967 à 1969, la surface en eau du lac était de 18 000 km² (ROCHE, 1971) ce qui correspond au stade "Tchad normal". A l'étiage du lac en juillet 1973, les deux cuvettes nord et sud étaient séparées par l'exondation de la Grande Barrière, les surfaces en eau étant estimées à 9 000 km² au total.

Le lac était alors au stade "Petit Tchad" dans la classification proposée par TILHO (1928) qui distinguait en outre un état "Grand Tchad", correspondant à une cote du plan d'eau de l'ordre de 284 m, qui a été décrit par les voyageurs du 19^e siècle mais n'a plus été observé depuis. Le haut niveau du "Grand Tchad" entraîne la disparition des flots-bancs, l'inondation de nombreuses dépressions dont le Bahr El Gazhal tchadien (fig. 1), ancien émissaire ordinairement desséché du lac vers les anciens lacs du Borkou, sur une longueur de 200 kilomètres d'après l'explorateur NACHTIGAL en 1870. La surface en eau estimée est alors de 20 à 25 000 km², et la navigation est possible partout mais les tempêtes y sont dangereuses.

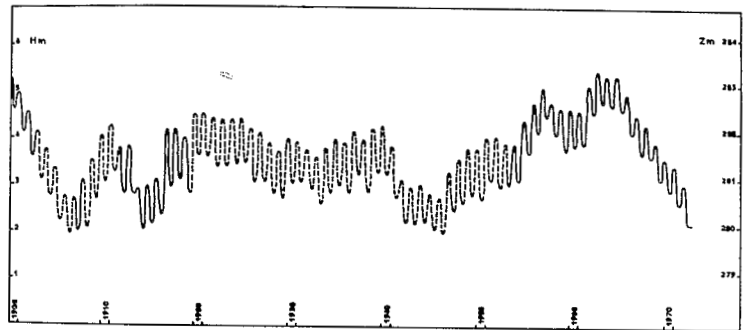
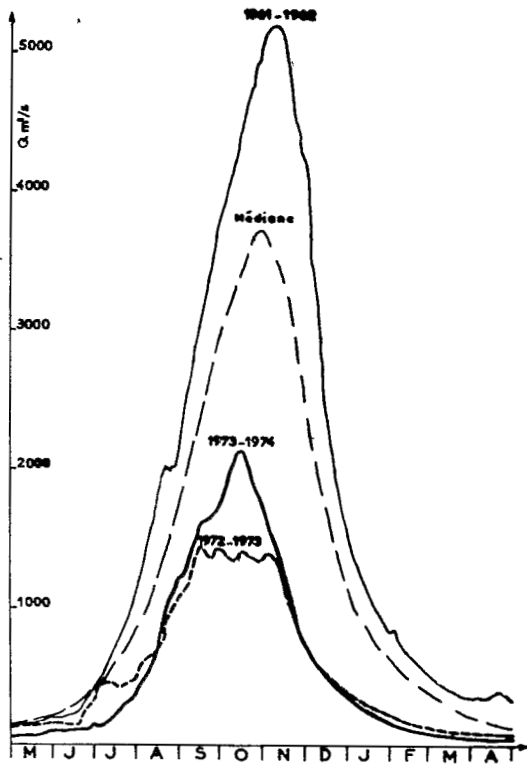
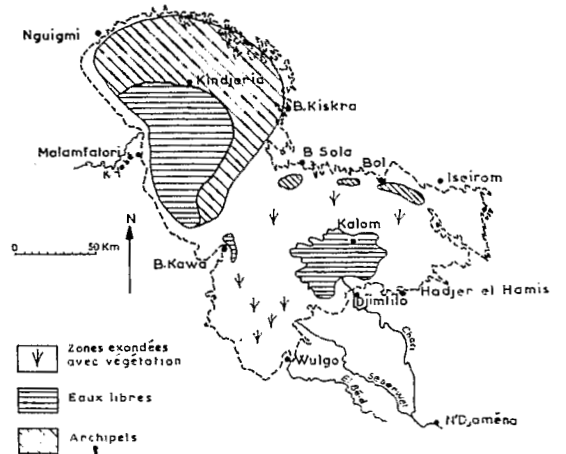
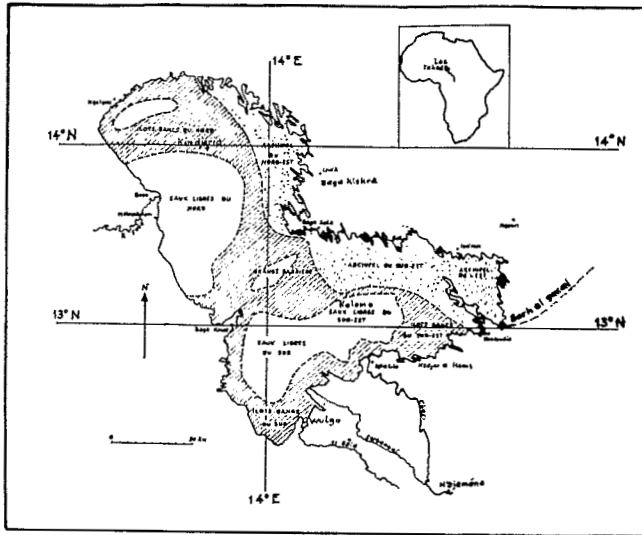
Le "Tchad normal" est celui que TILHO a observé de 1917 à 1919, et que nous avons connu de 1967 à 1969 ; la superficie en eau à ce stade est de l'ordre de 15 000 à 20 000 km², la cote du plan d'eau de 282 m environ. Des flots-bancs berdent les zones d'archipel, la navigation est possible sinon facile, notamment au niveau de la "Grande Barrière" pour passer de la cuvette sud dans la cuvette nord.

Enfin, le stade "Petit Tchad" est atteint lorsque le plan d'eau s'abaisse à la cote 280. La navigation devient pratiquement impossible dans la cuvette sud qui est séparée du nord par l'exondation de la Grande Barrière. Ce sont ces conditions de l'état du lac, observées par TILHO en 1905 qui sont apparues en 1972. Il faut noter que si ce bas niveau persiste plusieurs années, la cuvette nord, qui n'est alors pratiquement plus alimentée, peut s'assécher complètement.

2 - LES CRUES DU CHARI EN 1972-1973 ET 1973-1974

Le régime des branches mères du Chari, en amont, est du type tropical de transition. Celui-ci est rapidement modifié par la nature dégradée du réseau et la sécheresse relative rencontrées dans la partie inférieure du bassin. Il en résulte que le régime du Chari à N'Djaména, et donc à son arrivée au lac, est du type tropical pur avec une distribution statistique des débits maximums de crue s'ajustant de façon à peu près satisfaisante à une loi de GAUSS, comme c'est le cas assez général en Afrique occidentale. Il en est de même des modules annuels pour la période considérée, de 1932 à 1966 (BILLON B. et OBERLIN G., 1969), à partir de laquelle la crue médiane a été définie.

Dans le tableau 1 sont résumées les principales caractéristiques des crues de 1972-1973 et 1973-1974, comparées à la crue médiane et à la crue de 1961-1962, la plus forte de la série observée et dont la probabilité d'occurrence est de une fois en cinquante ans. Bien que la crue de 1973-1974 ait un débit maximum supérieur à celui de 1972-1973, les deux modules sont voisins et peuvent être considérés comme de fréquence centennale sèche. La figure 2 situe bien la place de ces deux crues dans la série d'observations. Il est à noter que depuis 1965, les modules du Chari à N'Djaména ont tous été inférieurs à la médiane, entraînant dès avant 1972 une baisse progressive du niveau du lac Tchad (fig. 3).



- Figure 1 :** (en haut, à gauche) : Régions naturelles du lac Tchad à la cote du plan d'eau 281, 5 m.
- Figure 2 :** (en bas, à gauche) : Hydrogrammes caractéristiques du Chari à N'Djaména.
- Figure 3 :** (en bas, à droite) : Variations interannuelles du niveau du lac Tchad de 1900 à 1972. En tireté, niveaux reconstitués, en trait plein, niveaux observés.
- Figure 4 :** (en haut, à droite) : Carte schématique du lac Tchad en juillet 1973. Le tireté indique les limites du lac à la cote 281, 8 m (Tchad normal).

Tableau 1 - Caractéristiques des crues du Chari à N'Djaména.

Année	H. max. m	Q. max. m ³ /s	Module m ³ /s	Volume annuel 10 ⁹ m ³
1972-1973	4,35	1 435	543	17,5
1973-1974	5,55	2 130	570	18,0
Médiane	7,86	3 690	1 280	40
1961-1962	9,10	5 160	1 700	53,7

3 - EVOLUTION HYDROLOGIQUE DU LAC TCHAD

La masse des eaux du lac relativement peu importante amortit mal l'apport des crues et son niveau subit des variations saisonnières de niveau. L'année hydrologique lacustre commence le 1er juillet par l'étiage de juillet-août, suivi de la remontée du niveau de septembre à janvier dues à l'arrivée des eaux de la crue fluviale dont la progression dans le lac a été étudiée par CARMOUZE (1971) et ROCHE (1973). Les eaux redescendent ensuite sous l'effet de l'évaporation que les apports ne compensent plus.

3.1. - Variation interannuelle du niveau du lac de 1900 à juillet 1972

Les variations du niveau sont connues à Bol depuis le début du siècle (TILHO, 1910) et suivies régulièrement par l'ORSTOM depuis 1953 (fig. 3). La station de Bol a cessé d'être représentative du niveau moyen du lac au cours de l'assèchement partiel de 1973. Les valeurs utilisées dans le graphique sont soit observées soit reconstituées par une corrélation entre les apports du Nil à Assouan, connus depuis 1870, et les débits maximums du Chari à N'Djaména, à partir desquels on peut prévoir les variations annuelles du niveau du lac. Cette corrélation primitivement établie par BOUCHARDEAU (1957), sans être très étroite, ($r = 0,72$) est cependant nettement significative (TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY, 1969). Le tracé des variations observées a été fait à partir de cotes lissées pour éliminer les influences journalières et saisonnières des vents (BILLON, 1965) qui peuvent provoquer des différences brusques de l'ordre d'une dizaine de centimètres. On constate que le lac Tchad a connu des périodes de basses eaux de 1906 à 1908, en 1914, 1945 et 1946, la première de ces périodes ayant été décrite en détail par TILHO (1910). Au cours des années 1963 et 1964, le niveau du lac a atteint la cote la plus élevée depuis le début du siècle, pour connaître ensuite une baisse constante et régulière, de l'ordre de 0,3 m par an, semblable à celle qui a précédé le minimum de 1906-1908. De 1964 à 1971, la différence entre un maximum et l'étiage suivant a été de 0,8 m environ.

3.2. - Evolution géomorphologique du lac de 1972 à 1974

En juillet 1972, le lac est donc en régression mais reste encore au stade "Tchad normal" en ce qui concerne les surfaces en eau. Il est important de souligner que, à niveau égal, la géomorphologie du lac peut être très différente suivant que ce dernier se trouve en phase de régression ou en période de remontée des eaux. A l'étiage de 1972, le niveau moyen du lac baisse depuis plusieurs années, les surfaces en eau, souvent peu profondes, ne sont pas colonisées par la végétation : c'est le cas d'une grande partie de la cuvette sud où la circulation des bateaux est pratiquement interrompue bien que son aspect ait peu changé depuis l'année précédente. On observe cependant une modification générale de la côte méridionale, la plus sensible aux variations de niveau : une bande côtière de 5 à 20 km de largeur, allant du delta du Chari à Baga Kawa est exondée. Il en est de même à l'est du delta : les eaux qui étaient encore très proches des rochers d'Hadjer-el-Hamis en 1971 se sont maintenant retirées à plusieurs kilomètres de ces derniers. Dans la cuvette nord, de profondeur moyenne plus grande, les effets de la baisse se manifestent à un degré moindre avec toutefois une légère avancée de la côte ouest.

De juillet à décembre 1972, la crue du Chari n'a pas fait remonter le niveau du lac dont l'aspect général n'a pas varié. C'est à partir du début de l'année 1973 que sont apparues des modifications importantes dont nous présentons la chronologie.

Mai 1973

En avril et mai 1973, les zones les moins profondes que sont la Grande Barrière, la région des flots-bancs de l'archipel du sud-est et la pointe sud du lac ont été exondées. Des reconnaissances aériennes nous ont permis de suivre le retrait des eaux sur ces vastes régions, s'accompagnant de la formation de vasières et de mares en voie d'assèchement. Les eaux se sont retirées également des fonds de bras de l'archipel.

Par sa rapidité et son importance, la baisse du lac, dès 1971, a provoqué de profondes modifications sur la végétation lacustre, entraînant une raréfaction des macrophytes de bordure des anciens rivages. Au cours de cette période du début 1973 cette végétation a pratiquement disparu, sans être remplacée par une autre ceinture plus proche de l'eau.

Des développements d'"ambadjs" (Aeschynomene ssp., Sesbania ssp.) sont apparus épars et dispersés entre Baga Kawa et le delta, ainsi que des cypéracées (notamment Cyperus articulatus) sur des surfaces récemment exondées. Ce n'est qu'à partir de juillet qu'un développement considérable de la végétation s'est manifesté sur toutes les surfaces exondées de la cuvette sud, avec, en plus des espèces déjà citées, Cyperus papyrus, typha, ipomea et ludwigia.

Dans la cuvette nord, les effets de la décrue du lac sont moins spectaculaires : il y a exondation d'une bande côtière de Baga Kawa à Nguigmi, qui ne dépasse pas 5 km de large, excepté dans la région de Baga Kawa où elle atteint 10 km. Cette cuvette est isolée des apports du Chari et seul un bras très étroit la relie à une poche résiduelle au sud de Baga Kawa. Par ailleurs, les extrémités de quelques fonds de bras de l'archipel sont coupées, comme dans le sud. Par contre, la végétation est restée très limitée dans cette zone nord du lac, sans le développement spectaculaire constaté dans la cuvette sud.

Juillet 1973

La figure 4 représente l'état du lac à son étiage en juillet 1973. Le tireté du cadre "Tchad normal" met bien en évidence la situation particulière à cette époque. Dans la cuvette sud, les eaux libres sont réduites à une poche de faible profondeur en avant du delta du Chari et à quelques mares dans l'archipel du sud-est à la latitude de Bol. Ces mares sont isolées et se concentrent par évaporation. Tous les fonds exondés de cette cuvette, aussi bien dans la région des eaux libres que dans l'archipel, sont recouverts d'une végétation très dense. Il n'y a pas à cette époque de végétation semi-immersée : les macrophytes ont poussé sur le sédiment exondé.

La cuvette nord, coupée de son alimentation, voit sa surface diminuer : de nombreuses îles sableuses sont apparues et le nouveau rivage se trouve environ à cinq kilomètres de son ancien tracé sur la côte ouest. La Grande Barrière est totalement exondée à cette époque et ne se distingue pas des autres parties asséchées de la cuvette sud.

Octobre 1973

De mai à fin septembre, le Chari s'est déversé dans la seule poche des eaux libres du sud. Une carte représentant l'état du lac début octobre 1973, au début de la remise en eau de la cuvette sud, a été établie après une reconnaissance aérienne effectuée le 3 octobre et grâce aux documents photographiques du satellite ERTS (photos du 22 septembre et du 10 octobre). La poche des eaux libres du sud s'agrandit, une partie de l'archipel du sud-est et des zones précédemment exondées, alors couvertes d'une végétation très abondante, sont remises en eau. Toutefois, les macrophytes ne sont pas entièrement recouverts sauf dans quelques bras d'eaux libres bien marqués dirigés vers l'est, vers l'ouest et dans l'archipel.

Lors d'une reconnaissance sur le terrain, début octobre, nous avons mesuré la vitesse des infiltrations à travers les marécages de la cuvette sud. Le 9 octobre, l'eau était à environ 5 km de Baga Kawa, et se déplaçait vers la Grande Barrière avec une vitesse comprise entre 5 et 10 cm/s.

Durant cette période, la Grande Barrière, isole toujours la cuvette nord ; celle-ci n'est plus alimentée que par les pluies et les faibles apports de la Komadougou-Yobé qui a eu une crue très déficitaire, et n'a coulé que d'août à novembre.

Décembre 1973

Au cours de nouvelles reconnaissances aériennes, nous avons suivi l'évolution du lac jusqu'au maximum de la remise en eau de la cuvette sud qui a eu lieu en décembre. Les eaux libres de cette cuvette ont gardé sensiblement la même surface. Dans l'archipel du sud-est, des eaux libres sont apparues, correspondant à une immersion totale de macrophytes ; tandis que les zones de marécages (végétation semi-immersée) ont progressé vers le sud et vers l'est.

Début décembre, des zones d'eaux de couleur foncée (humiques) sont apparues le long de la Grande Barrière dans la cuvette nord. Par des survols à basse altitude, ainsi que des missions sur le terrain, nous avons pu constater que le passage de l'eau vers le nord a été diffus et lent, la vitesse du

(1) Ce document est archivé au Centre ORSTOM de N'Djaména.

courant n'étant pas mesurable. Dans l'ensemble, le volume d'eau qui a franchi la Grande Barrière paraît n'avoir été que peu important.

Dans la cuvette nord, le fait le plus marquant de cette période est l'exondation dans la région des eaux libres de nombreuses îles sableuses dépourvues de végétation.

Mars 1974

La baisse des eaux dans la cuvette sud n'a apporté que quelques modifications à l'aspect qu'avait le lac en décembre ; en particulier, quelques îles réapparaissent mais, à la différence de l'année passée, elles sont déjà recouvertes de végétation avant même leur exondation. Dans l'archipel, en voie d'isolement, les surfaces en eau libre régressent lentement.

La cuvette nord est isolée depuis janvier et de nouvelles îles continuent d'apparaître en grand nombre. On note un développement très marqué des ambadjs (Aeschynomene elaphroxylon) au niveau de la Grande Barrière.

Juillet 1974

Le niveau du plan d'eau de la cuvette sud est sensiblement le même qu'à la même époque un an plus tôt, les surfaces en eau sont du même ordre, seule la persistance d'une végétation très abondante, qui s'étend largement sur la Grande Barrière, crée une différence. Il semble cependant que les sédiments se soient tassés au cours de l'exondation de l'année précédente, et que, à niveau de l'eau égal, la profondeur soit légèrement supérieure.

Dans la cuvette nord, dont le niveau a beaucoup baissé (1,90 m environ) par rapport à l'année passée, la zone des eaux libres de 1973 dans laquelle sont apparues de très nombreuses îles, est presque devenue un nouvel archipel. Plus près de la côte, dans l'archipel traditionnel, de multiples seuils exondés relient les îles entre elles.

3.3. - Variations du niveau de 1972 à 1974

Afin de suivre avec plus de précision les variations du niveau dans les principales régions du lac, le réseau limnimétrique a été complété à partir de 1973 par des stations nouvelles.

En particulier, les deux grandes zones d'eaux libres nord et sud sont étudiées à l'île de Kindjéria et à l'île de Kalom au moyen de limnigraphes, de même que la région de Baga Kawa. Les cotes données dans le texte ne sont indicatives que des variations de niveau, les zéros des différentes échelles n'étant pas encore rattachés au nivellement général, sauf dans le cas de Bol, Malamfatori et Nguigmi qui sont des stations plus anciennes.

3.3.1. - Les eaux libres du sud à Kalom

La station de l'île de Kalom a été mise en service en juillet 1973. Le maximum de la crue du Chari à N'Djaména a eu lieu les 14-15 octobre 1973, et est apparu à Kalom le 25 octobre (fig. 5). La propagation de la crue a donc été tout particulièrement rapide. De juillet à octobre 1973, le niveau est remonté de 1,26 m avant de baisser ensuite régulièrement pour retrouver très sensiblement la même cote d'étiage fin juin 1974.

3.3.2. - La région de Baga Kawa

La station a été ouverte en octobre 1973 à 7 km au sud-est de l'agglomération de Baga Kawa. Cette échelle est donc située dans la cuvette sud du lac. D'après les renseignements recueillis sur place, l'eau est arrivée à la station au début octobre. Le niveau a ensuite monté régulièrement jusqu'au 30 novembre à une vitesse sensiblement égale à celle observée à Kalom. Durant tout le mois de décembre, on note un étale du plan d'eau à $H = 0,96$ m. La décrue amorcée début janvier 1974, est moins régulière, et un peu moins rapide qu'à Kalom.

Le maximum du niveau est donc plus prolongé qu'à Kalom et il n'est apparu qu'un mois plus tard comme à Bol alors que la décrue des eaux libres du sud était déjà en cours (fig. 5).

A partir du début juin 1974, la station est à nouveau à sec.

3.3.3. - L'archipel du sud-est à Bol

La station de Bol Dune est la plus ancienne du lac, le zéro de l'échelle est à 277,87 m selon le nivellement IGN 1956.

De juillet à décembre 1972, la courbe (fig. 6) marque un décrochage en octobre (de 2,20 à 1,90 m), puis un palier de novembre à décembre (1,90 m à Bol). Le décrochage est expliqué par l'inversion du régime des vents début octobre : l'harmattan se substituant à la mousson repousse les eaux du nord-est vers le sud-ouest. De novembre à décembre 1972, les apports compensent à peine les pertes par évaporation et infiltration. Cet équilibre est représenté par le palier de la courbe. Dès la fin décembre 1972, les pertes l'emportent sur les apports.

A partir de la fin février 1973 ($H = 1,60$ m), ces relevés ne sont plus représentatifs du niveau général, la région de Bol étant, comme on l'a vu plus haut, isolée du reste du lac par l'exondation de la zone des flots-bancs. Cet isolement est resté effectif jusqu'à la fin septembre 1973. Au cours du mois de juillet, le niveau est passé de $H = 0,62$ m à $H = 0,44$ m sous l'effet de l'évaporation. Pendant la première moitié du mois d'août, la remontée de la cote jusqu'à $H = 0,54$ m est à mettre en relation avec les précipitations. En effet, bien que la saison des pluies soit déficitaire à Bol en 1973, il faut noter que, de juin à fin août, 133,5 mm ont été enregistrés, dont 93,0 mm au cours de la première quinzaine d'août. Les résultats des analyses chimiques de l'eau à Bol, effectuées chaque semaine, sont d'autre part en accord avec cette hypothèse. Cette brève remontée est immédiatement suivie d'un abaissement du niveau à une vitesse identique à celle observée en juillet. Au cours du mois de septembre, les eaux libres du sud sont en charge par rapport à l'archipel, et lorsqu'elles franchissent le seuil des flots-bancs, la remise en eau se fait brutalement. Le début de cette remise en eau est apparu le 23 septembre à Bol, le niveau s'est élevé en un jour de 0,15 m et la montée rapide s'est poursuivie jusqu'au 1er novembre. La remise en eau de la région de Bol s'est donc produite sensiblement à la même date qu'à Baga Kawa mais elle a été beaucoup plus rapide. Les maximums sont ensuite apparus à peu près à la même date avec un étale dans les deux cas.

En janvier et février 1974, la décrue se poursuit à des niveaux et avec une vitesse sensiblement semblable à ceux de janvier et février 1973. Les conditions sont cependant différentes : en 1974, le Chari a un débit légèrement

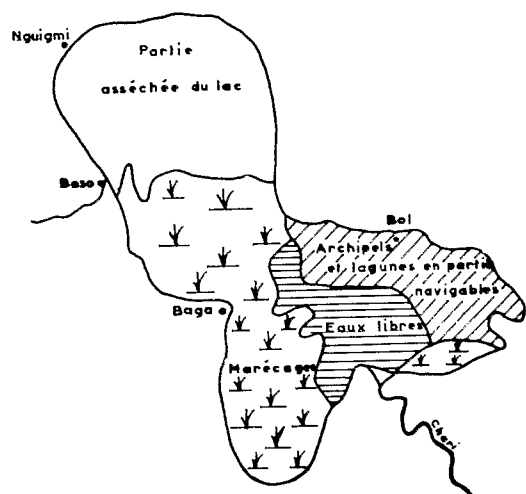
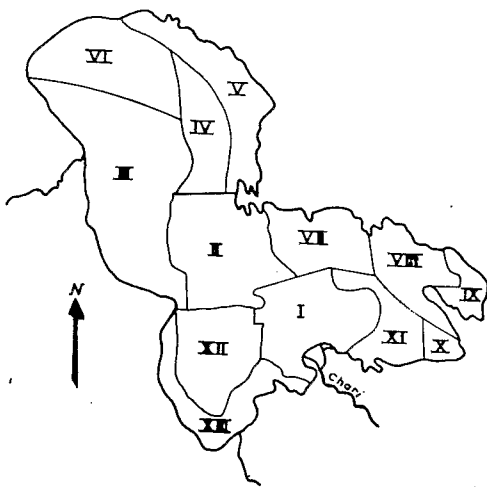
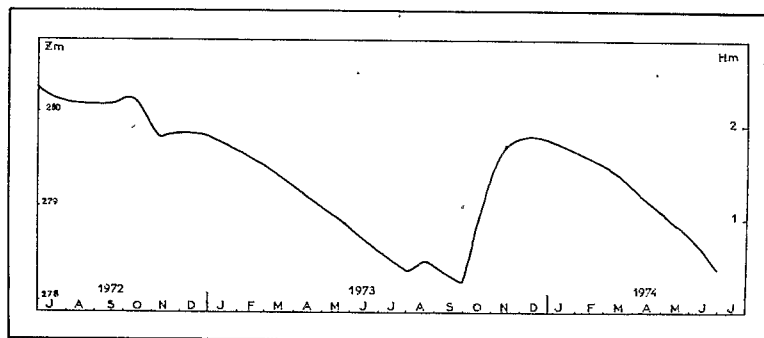
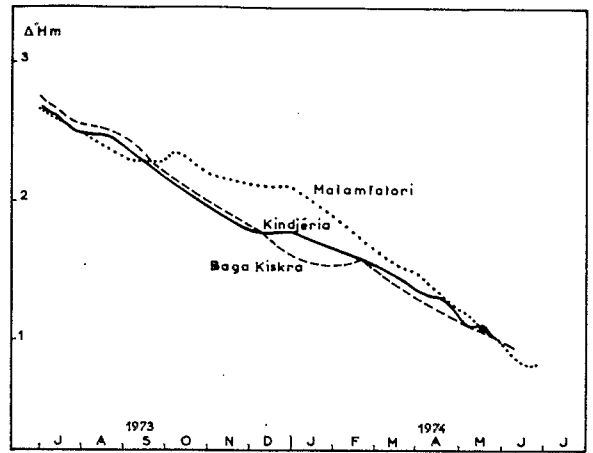
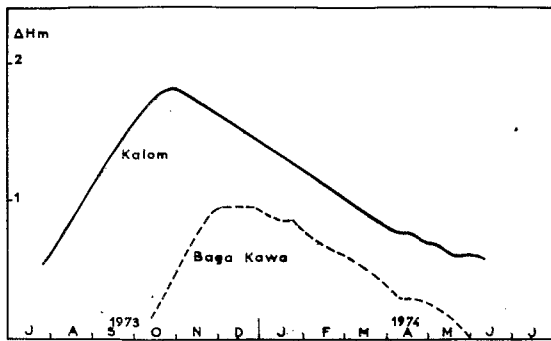


Figure 5 : (en haut, à gauche) : Variations de niveau dans la cuvette sud à Kalom et Baga Kawa.

Figure 6 : (au milieu) : Variations du niveau à Boi.

Figure 7 : (en haut, à droite) : Variations de niveau dans la cuvette nord à Malamfatori, Kindjéria et Baga Kiskra.

Figure 8 : (en bas, à gauche) : Découpage du lac en treize zones pour l'évaluation des surfaces (d'après M.A. ROCHE, 1971).

Figure 9 : (en bas, à droite) : Le lac Tchad au début de 1908, d'après les documents de la mission TILHO (1910).

plus faible et il ne se déverse que dans la cuvette sud qui est maintenant encombrée de végétation. En mars 1974, la baisse du niveau s'accélère comme en mars 1973 après la séparation entre l'archipel et les eaux libres du sud. Du 1^{er} janvier au 1^{er} juillet, la baisse a été plus importante (1,40 m) en 1974 que durant la même période l'année précédente (1,16 m).

3.3.4. - La cuvette nord à Kindjéria

La station de l'île de Kindjéria, mise en service en juillet 1973, est représentative de la cuvette nord dans son ensemble. Jusqu'au début de décembre, celle-ci est restée isolée du reste du lac sans autre alimentation que les faibles apports de la Komadougou-Yobé et les précipitations. En 1973, la Komadougou-Yobé n'a commencé à couler qu'au mois d'août, c'est donc plutôt par la pluviométrie que l'on peut ici encore expliquer le palier enregistré pendant la première partie de ce mois, à l'époque où l'on notait la remontée du niveau à Bol (fig. 7). Ensuite, le niveau dans la cuvette décroît régulièrement à une vitesse semblable à celle mesurée à Bol jusqu'au 1^{er} décembre, date à laquelle les infiltrations venant du sud à travers la Grande Barrière ont été suffisantes pour interrompre la baisse pendant un mois (palier à H = 3,80m). Dès le début janvier 1974, la baisse du niveau de la cuvette nord recommence. Elle est comparable à celle enregistrée dans l'archipel de l'est au cours de la même période, avec une accélération à partir du début mars. Au 1^{er} juillet 1974, la variation de niveau enregistrée depuis un an est de 1,9 m. Compte tenu de la pente moyenne de la courbe représentative du niveau, on peut estimer que les précipitations du mois d'août 1973 et les apports en provenance de la cuvette sud en décembre correspondent à 0,3 m. Il en ressort que l'évaporation dans la cuvette nord au cours d'une année a été de 2,2 m, valeur qui confirme les estimations précédentes de l'évaporation sur le lac (BOUCHARDEAU, LEFEVRE, 1957 ; RIOU, 1964).

3.3.5. - La cuvette nord à Baga Kiskra

La station a été ouverte en mai 1973 et jusqu'à décembre 1973 (fig. 7) on observe une décroissance du niveau à peu près identique à celle de Kindjéria, avec, également, un léger palier en août correspondant aux pluies de ce mois. Par contre, le palier enregistré en décembre à Kindjéria semble ici se traduire par un net ralentissement de la baisse en janvier et même par une légère remontée en février. Ensuite, la baisse reprend de façon continue jusqu'en juillet.

3.3.6. - La cuvette nord à Malamfatori

Les observations ont repris en juillet 1973 sur la nouvelle échelle ORSTOM qui complète les éléments de la station nigérienne du Federal Fisheries Service de Malamfatori. La configuration de la cote, les variations saisonnières des vents et les apports de la Komadougou-Yobé peuvent expliquer le fait que la courbe est moins régulière qu'à Kindjéria (fig. 7).

En effet, la côte face aux eaux libres est plate, rectiligne et perpendiculaire à la direction générale des vents dont l'influence est ainsi nettement plus marquée. La station est, de plus, située tout près de l'embouchure de la Komadougou-Yobé dont la crue a débuté en août et s'est poursuivie jusqu'en novembre, ce qui peut expliquer le palier de la courbe en septembre et la brève

remontée du début octobre. D'autre part, les vents de saison sèche, soufflant du nord-est s'établissent en octobre, et créent une différence de niveau entre les côtes est et ouest de la cuvette ce qui se traduit sur la courbe par un écart plus faible à Malamfatori qu'à Kindjéria entre octobre 1973 et début janvier 1974. Par la suite, la fréquence des lectures d'échelle n'a pas permis de tracer une courbe avec suffisamment de précision pour la comparer à celle de Kindjéria.

Plus au nord, l'échelle de Nguigmi, représentative du lac jusqu'en 1968, est isolée de façon intermittente depuis cette date. Les niveaux enregistrés en 1973 et 1974 représentent donc vraisemblablement les variations d'un bassin fermé et n'offrent plus d'intérêt pour l'étude de la cuvette nord.

3.4. - Variation de la superficie du lac

Nous avons déjà vu que, du fait de sa faible profondeur et de la configuration de ses rives, le lac a une superficie très sensible aux variations du niveau. Les premières données, rassemblées dans la Monographie hydrologique du lac Tchad (TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY, 1969) ont permis d'établir la corrélation entre la surface S (km²) en eau et la cote absolue Z (m) du plan d'eau, valable pour Z compris entre 280 et 283 : $S = 4\ 800 (Z - 278)$. Plus récemment, M.A. ROCHE (1971, 1973) a fait une nouvelle estimation pour $Z = 281,8$, niveau moyen du lac de 1967 à 1969, en utilisant les cartes IGN (France) au 1/200 000, les fonds topographiques au 1/50 000 du Federal Survey Department (Nigeria) et ses observations personnelles. Pour ce faire, il a divisé le lac en treize zones (fig. 8) dont les surfaces en eau sont données dans le tableau II. La superficie totale de ces treize zones (22 700 km²) constitue notre surface de référence.

Grâce à la couverture photographique aérienne du lac de juin-juillet 1973, réalisée par la Commission du Bassin du Lac Tchad, nous avons pu évaluer les nouvelles superficies en juillet 1973. Pour pouvoir établir des comparaisons avec les résultats antérieurs, le lac a été divisé en ces mêmes treize zones dans lesquelles les surfaces en eau et les îles ont été planimétrées. Les résultats sont reportés dans le tableau II. Les surfaces en eau qui occupaient en 1967-1969 une superficie de 18 140 km² soit 80 % de la surface totale de référence du lac, n'occupaient plus que 8 940 km² soit 40 % de cette même surface. Cette diminution est principalement due à l'exondation de la Grande Barrière (zone II), de la pointe sud (zones XII et XIII) et de l'archipel de l'est (zones VIII, IX, X et XI). La cuvette sud était donc presque totalement exondée sauf la région pérideltaïque (eaux libres du sud) qui n'occupait que 1 650 km².

Après la remise en eau, nous avons tenté, en décembre 1973, une évaluation grossière des surfaces en marécages. Au cours d'observations aériennes, nous nous sommes efforcés de déterminer, dans la mesure du possible, les surfaces en eau sous la végétation. A ce degré de précision, les eaux libres couvraient la même étendue qu'en juillet et les zones marécageuses ont été estimées à environ 5 000 km², soit 22 % de la surface de référence. Ces marécages occupaient principalement les zones II, VII, VIII, XI et XII. La surface totale en eau était donc d'environ 60 % de la surface de référence, soit les trois quarts de ce qu'elle était en 1967-1969.

Tableau II - Estimation des surfaces en eau du lac Tchad en 1967-1969
(d'après ROCHE, 1971) et en 1973.

Zone	Surface : totale : km2	Surface : en eau 1967-69 : km2	Eau % 1967-69	Surface : en eau juillet 1973 : km2	Eau % juillet 1973	Surface : en maré- cage : km2	Maré- cages % : Déc.1973
I	1 890	1 890	100	1 430	76	450	24
II	2 600	2 055	79	150	6	1 020	39
III	4 180	4 160	100	3 460	83	210	5
IV	1 240	970	78	830	67	0	0
V	2 200	1 140	52	1 040	47	0	0
VI	2 320	2 000	86	1 600	69	0	0
VII	1 610	1 020	64	230	14	450	28
VIII	1 360	766	56	70	5	270	20
IX	560	240	42	0	0	0	0
X	1 190	760	64	130	11	530	45
XI	334	120	36	0	0	0	0
XII	1 880	1 880	100	0	0	1 880	100
XIII	1 340	1 140	85	0	0	230	17
Total	22 700	18 140	80	8 940	40	5 040	22

CONCLUSION

Nous avons décrit dans cette note, en utilisant quelques données numériques, l'évolution du lac Tchad au cours d'une phase de baisse exceptionnelle vraisemblablement comparable à celle constatée par TILHO en 1904 et 1905. Au début des années 1904 et 1973, la Grande Barrière était encore ouverte et la cuvette nord navigable. En 1905 et 1974, la Grande Barrière était fermée, avec un assèchement progressif de la partie nord. Celui-ci est devenu total dès 1906, à la suite de quoi une abondante végétation arbustive s'est développée gênant par la suite la remise en eau de 1908 (fig. 9).

Au moment de la rédaction de cet article, la crue du Chari de 1974-1975 est bien amorcée et l'on peut supposer qu'elle sera presque moyenne et voisine de celle de 1971-1972 ($Q = 3\,410\text{ m}^3/\text{s}$ - $V = 31,2 \cdot 10^9\text{ m}^3$). L'eau va donc traverser la Grande Barrière en direction du nord, le niveau dans la cuvette sud étant très en charge par rapport à la cuvette nord. La remontée dans chacune des cuvettes dépendra de la façon dont l'eau va franchir la végétation et les seuils de la Grande Barrière. Tenant compte de cette incertitude, il est néanmoins possible de prévoir une limite maximum de la remontée des eaux à Bol qui ne dépassera pas $H = 2\text{ m}$ à l'échelle.

Dans ce cas limite, la remontée du niveau dans la cuvette nord sera faible, de l'ordre de 0,3 à 0,5 m. Si, pour diverses raisons, le passage à travers la Grande Barrière est relativement facile, le gain de niveau sera plus important dans la cuvette nord et donc plus faible dans la cuvette sud. Le lac ne retrouvera donc pas, début 1975, un état "Tchad normal", qui ne pourra être atteint qu'après plusieurs crues moyennes.

BIBLIOGRAPHIE

- BILLON (B.), 1965 - La prévision des crues du lac Tchad.
ORSTOM, N'Djaména, 41 p.
- BILLON (B.), OBERLIN (G.), 1969 - Monographie hydrologique du Chari ;
4e partie. Interprétation des données.
ORSTOM, Paris, 180 p.
- BILLON (B.), GUISCAFRE (J.), HERBAUD (J.), OBERLIN (G.), 1974 - Le
bassin du fleuve Chari.
ORSTOM, Paris, Monographie hydrologique, 450 p.
- BOUCHARDEAU (A.), LEFEVRE (R.), 1957 - Monographie hydrologique du
lac Tchad.
ORSTOM, Paris, 112 p.
- CARMOUZE (J.P.), CHOURET (A.), DURAND (J.R.), 1973 - Données récentes
sur l'évolution du lac Tchad en 1972-1973.
ORSTOM, N'Djaména, 11 p. multigr.
- CARMOUZE (J.P.), CHOURET (A.), FRANC (J.), 1973 - Etiage du lac Tchad
en 1973 : Assèchement de la cuvette sud.
ORSTOM, N'Djaména, 8 p. multigr.
- CHOURET (A.), DURAND (J.R.), 1972 - Note sur la crue exceptionnellement
faible du Chari à Fort-Lamy en 1972 et ses incidences sur le
niveau du lac Tchad.
ORSTOM, N'Djaména, 7 p. multigr.
- CHOURET (A.), FRANC (J.), LEMOALLE (J.), 1974 - Evolution hydrologique
du lac Tchad de juillet à décembre 1973.
ORSTOM, N'Djaména, 9 p. multigr.
- RIOU (C.), 1964 - Résultats récents des mesures d'évaporation au Tchad.
ORSTOM, N'Djaména, multigr.
- ROCHE (M.A.), 1971 - Géographie et éléments numériques sur la superficie
et la bathymétrie du lac Tchad.
ORSTOM, N'Djaména, 7 p. multigr.
- ROCHE (M.A.), 1973 - Traçage naturel salin et isotopique des eaux du système
hydrologique du lac Tchad.
Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris .
- TILHO (J.), 1910 - Documents scientifiques de la mission TILHO 1906-1909.
Imprimerie Nationale Paris, t. I, 412 p., t. II, 598 p.
- TILHO (J.), 1928 - Variations et disparition possible du Tchad.
Annales de Géographie. 37, 238-260.
- TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY (P.), 1969 - Monographie hydrologique du lac
Tchad.
ORSTOM, Paris, 169 p.
- TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY (P.), 1969 - Complément à la monographie
hydrologique du lac Tchad : note hydrologique sur l'El Béd et la
Komadougou-Yobé.
ORSTOM, Paris, 57 p. + annexes.

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

Direction générale :

24, rue Bayard, 75008 PARIS

Service Central de Documentation :

70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY

Centre O.R.S.T.O.M. de Ndjaména :

B. P. 65 - NDJAMÉNA (Tchad)