

CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DU BASSIN TCHADIEN.

ANALYSE

A. CHOURET

LA PERSISTANCE DES EFFETS DE LA SÉCHERESSE
SUR LE LAC TCHAD

Octobre 1977

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE N'DJAMÉNA

~~71766~~ Jour Rebbia



O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 22321

Cpte : B

LA PERSISTANCE DES EFFETS DE LA SECHERESSE
SUR LE LAC TCHAD

A. CHOURET
Octobre 1977

SOMMAIRE

RESUME

- 1 - INTRODUCTION
- 2 - HYDROLOGIE DU LAC TCHAD ET EFFETS DE LA SECHERESSE PASSEE (1968-1973)
 - 2.1 - Grands traits de l'Hydrologie du lac
 - 2.2 - Rappel des effets de la sécheresse passée (1968-1973)
- 3 - LA SITUATION PRESENTE
 - 3.1 - Les années 1974 et 1975
 - 3.2 - Le retour à des conditions climatiques sévères (1976 et 1977)
- 4 - COMPARAISON AVEC LES DONNEES ANTERIEURES OU LES ARCHIVES ANCIENNES
- 5 - EVOLUTION HYDROLOGIQUE ACTUELLE - COTE DES PLANS D'EAU
 - 5.1 - Installations limnimétriques nouvelles et calage des zéros des échelles
 - 5.2 - Evolution hydrologique du lac depuis 1971
- 6 - SUPERFICIE ET VOLUME DES EAUX DU LAC

RESUME

Les conséquences de la sécheresse exceptionnellement sévère qui a affecté de 1968 à 1973 l'Afrique sahélienne et tropicale sont brièvement rappelées ainsi que l'Hydrologie générale du lac Tchad.

Les hauteurs pluviométriques observées en 1974 et 1975, proches ou égales aux valeurs moyennes, pouvaient laisser espérer le retour à un "cycle" d'hydraulicité normale. En fait, c'est au phénomène inverse que nous assistons actuellement à la suite de la crue du Chari en 1976.

L'assèchement de la cuvette nord est à nouveau observé. Les faibles apports de la crue fluviale, conjugués avec l'intense développement de la végétation qui freine leur passage dans la partie nord, n'ont pas permis une remise en eau durable.

L'observation de la crue 1977 du Chari, qui sera voisine de celle de l'année passée, la persistance de l'important barrage végétal sur la Grande Barrière ne peuvent laisser entrevoir que des perspectives pessimistes quant au retour à un "Tchad Normal" à brève échéance.



Fig. 1 - Régions naturelles du Lac Tchad à la cote du plan d'eau 281,8 m.
 "Tchad normal"

1 - INTRODUCTION

Le lac Tchad, vestige de la mer paléotchadienne qui s'étendait à l'Holocène sur près de 350.000 km², est une cuvette fermée sans émissaires. Formé d'une nappe d'eau peu profonde, ce qui le rend particulièrement vulnérable aux atteintes de la sécheresse, il est constitué d'une cuvette nord et d'une cuvette sud séparées par un léger étranglement des rives et une zone de hauts fonds, la Grande-Barrière. Ses rives sont le plus souvent plates et parfois indécises. Son aspect et sa superficie sont donc très sensibles aux variations du niveau de l'eau.

Au stade du "Tchad Normal", selon la classification proposée par TILHO (1928), les deux cuvettes sont bordées au nord et à l'est par un erg fixé dont les sommets des dunes, orientées 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. La figure 1, qui représente le lac Tchad à la cote 281,8 m, altitude moyenne du plan d'eau sur la période 1967 à 1969, schématise à peu près le "Tchad Normal". A cette époque, la surface en eau était de 18.100 km² (ROCHE, 1971).

2 - HYDROLOGIE DU LAC TCHAD ET EFFETS DE LA SECHERESSE PASSEE (1968-1973)

2.1 - Grands traits de l'Hydrologie du lac

La variation du niveau du lac, situé dans une cuvette endoreique, est le résultat d'un équilibre entre les apports d'une part et les pertes par évaporation d'autre part, les pertes par infiltration et fuites marginales n'intervenant que pour une faible part dans le bilan.

La totalité des apports est en année moyenne d'environ 50 milliards de m³. Le fleuve Chari en fournit à lui seul 80 % qui peuvent être chiffrés à la station de mesure de N'Djamena. Le restant est donné par les tributaires secondaires (El Beïd, Yedseram et Komadougou-Yobé), dont les débits sont très faibles comparés à ceux du Chari, et par les précipitations tombant directement à la surface du lac qui ne représentent en général que 10 % de l'ensemble des apports.

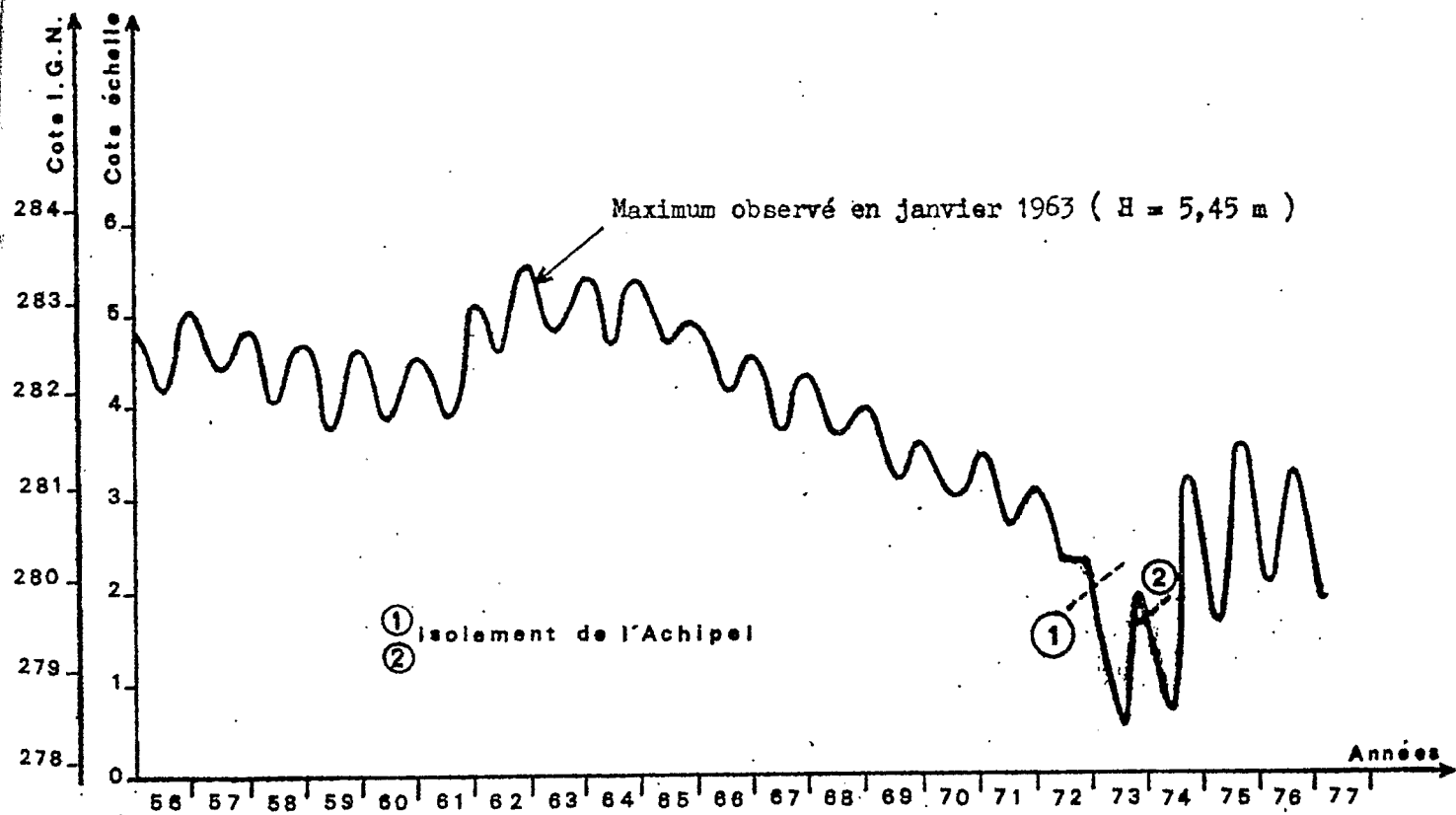


Fig. 2 - Variation interannuelle du niveau du lac à la station de Bol depuis 1956

1961-1962

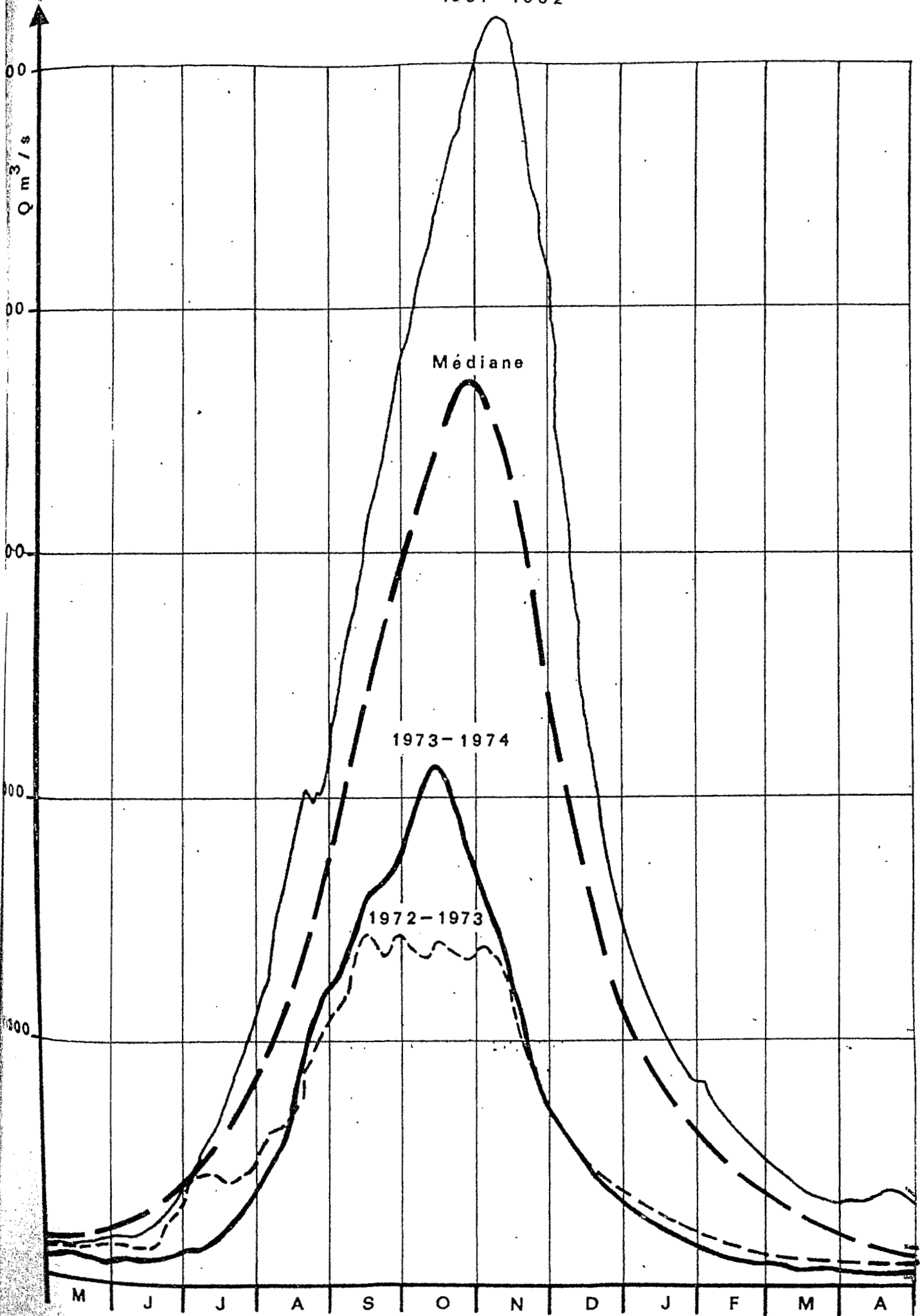


Fig.3 - Hydrogrammes caractéristiques du Chari à N'DJAMENA.

Les fluctuations annuelles du niveau du lac suivent donc, avec un certain décalage, les variations de l'hydrogramme du Chari ; le niveau du lac connaît ainsi chaque année un minimum en juillet et un maximum en décembre-janvier.

En période d'hydraulicité normale, tant que le volume stocké est suffisant, le lac Tchad, à l'échelle interannuelle, se comporte comme un vaste réservoir régularisateur et on observe un phénomène de persistance qui amortit sensiblement la variabilité des apports annuels. Mais, réagissant fidèlement aux variations du climat, il constitue un indicateur climatique de choix pour la région, ce qui apparaît sur la figure 2, à partir de 1964 et tout particulièrement depuis 1968 où la situation s'est aggravée jusqu'au paroxysme de 1973-74, avec coupure du lac en deux bassins après exondation de la Grande-Barrière.

2.2 - Rappel des effets de la sécheresse passée (1968-1973)

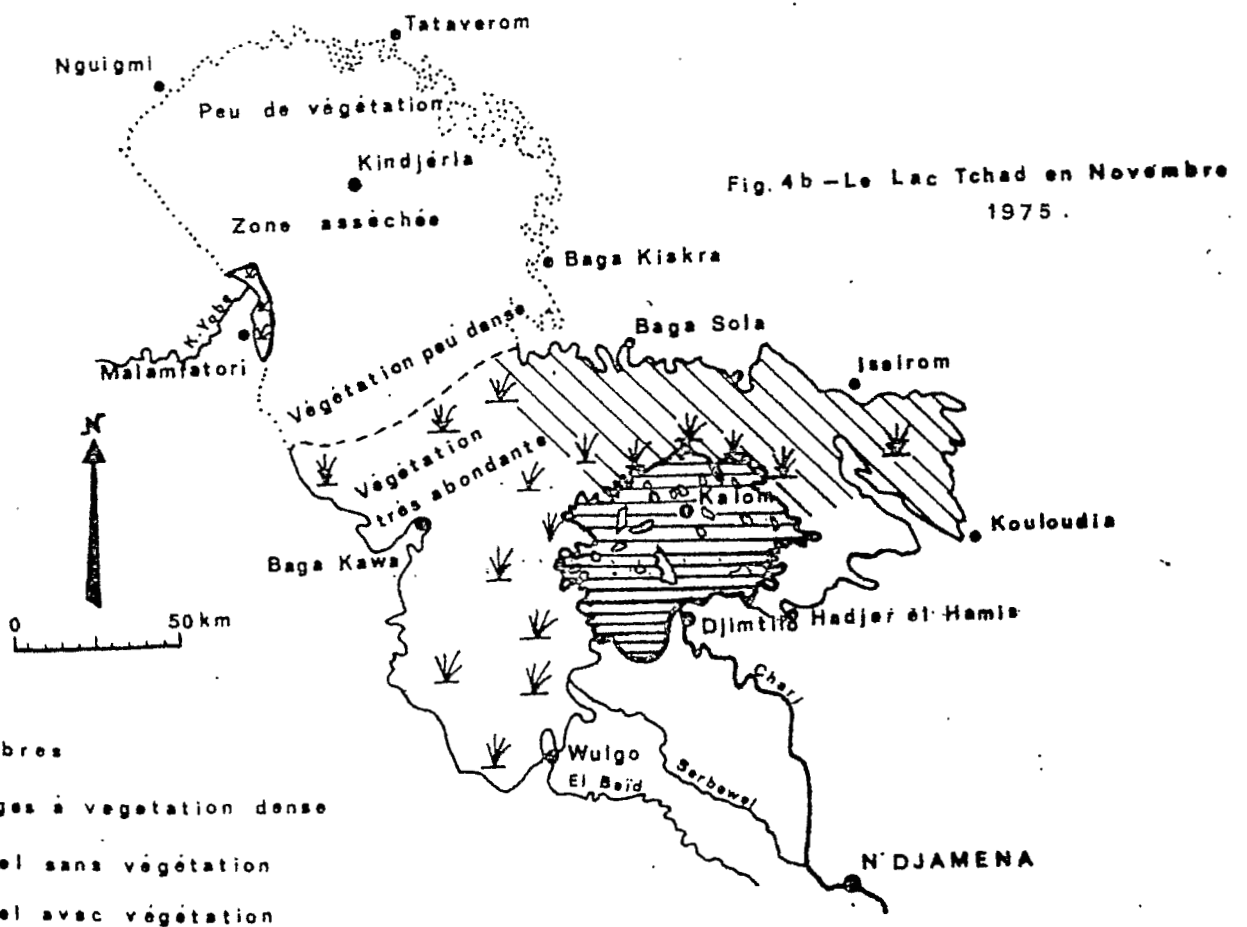
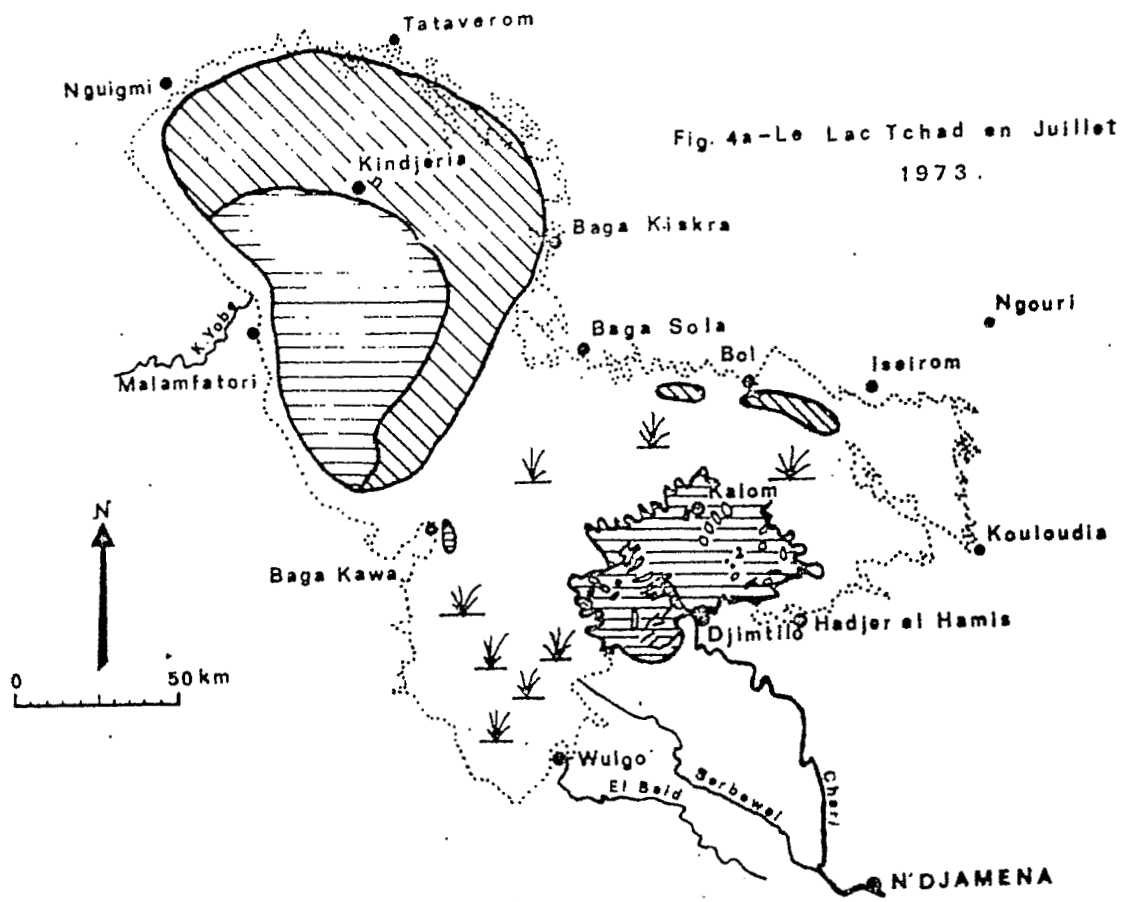
Dans ses grandes lignes, l'effet de la sécheresse sur le niveau du lac a été le suivant :





Après une brève montée de son plan d'eau de 1953 à 1963, le lac connaît dès 1964 une baisse continue qui s'est aggravée depuis 1968, les apports ayant tous été déficitaires de 1965 à 1974 inclus.

Si l'on prend comme référence la station de Bol, suivie par l'ORSTOM depuis 1956, on peut évaluer en janvier 1963 la surface en eau du lac à 23.500 km² et le volume des eaux stockées à 105 milliards de m³ pour une cote moyenne un peu supérieure à 283 m. A partir de 1964, le plan d'eau commence à baisser d'environ 0,30 m entre maximums annuels successifs. Après la crue de 1967, la baisse s'amplifie et au minimum de 1971, la cote du plan d'eau à Bol n'est déjà plus que de 280,8 m, la surface du lac a diminué de 20 % et le volume des eaux stockées de 55 %.

En 1972 et 1973, la baisse s'accélère encore et atteint près d'un mètre par an, le déficit des apports étant énorme (fig. 2). En 1972, le Chari à N'Djamena (ainsi que toutes les stations du Chari et du Logone) présente le maximum le plus faible jamais observé avec 1.430 m³/s, valeur centennale (volume apporté au lac : 17,5 milliards de m³ - fig. 3).

En juillet 1973 (fig. 4a), le lac est scindé en deux cuvettes après exondation de la Grande Barrière, dès avril-mai, et isolement de l'archipel de Bol, réduit à quelques mares. Grâce à la couverture photographique aérienne du lac de juin-juillet 1973, réalisée par la Commission du Bassin du Lac Tchad (CBLT), on a pu évaluer (CHOURET, LEMOALLE - 1974) la nouvelle surface



-  Eaux libres
-  Marécages à végétation dense
-  Archipel sans végétation
-  Archipel avec végétation

en eau qui n'est plus alors que de 9.000 km², soit 40 % de ce qu'elle représentait en 1967-69. Le volume moyen ne serait plus que d'une vingtaine de milliards de m³ environ.

En 1973, le débit maximal du Chari à N'Djamena atteint 2130 m³/s mais le volume apporté au lac n'est que de 18 milliards de m³, soit à peu près la même valeur qu'en 1972.

Pendant l'hivernage 1973, seule la cuvette sud est alimentée et en juillet 1974 on retrouve une situation identique à celle de 1973, aggravée par le fait que, sur les vastes zones inondées dès 1973, une importante végétation palustre s'est développée, en particulier l'installation d'une forêt d'ambadjs (*Aeschynomene elaphroxylon*) sur la Grande Barrière.

L'assèchement de la cuvette nord est déjà bien amorcé et on note la disparition de la zone d'eaux libres où sont apparues de très nombreuses îles et qui est presque devenue un nouvel archipel. Plus près de la cote, dans l'archipel traditionnel, de multiples seuils exondés relient les îles entre elles.

3 - LA SITUATION PRESENTE

3.1 - Les années 1974 et 1975

Après une année 1974 encore assez médiocre, le maximum de la crue du Chari n'étant que de 3270 m³/s (contre 3690 m³/s en année moyenne*) et le volume apporté au lac que de 30,5 milliards de m³, le maximum de novembre 1975 monte à 3870 m³/s, valeur qui depuis novembre 1964 n'avait plus été observée sur le Chari à N'Djamena. Cependant, le volume apporté au lac n'est que de 36,6 milliards de m³, légèrement inférieur à la médiane.

Les crues du Chari en 1974 et surtout en 1975 (fig. 5), en se rapprochant des valeurs moyennes, permettent une remise en eau à peu près normale de la cuvette sud. Toutefois, l'important couvert végétal (ambadjs en particulier) ne permet le passage vers la cuvette nord que de faibles quantités liquides insuffisantes pour compenser l'évaporation annuelle qui, elle, reste constante et de l'ordre de 2,2 à 2,5 m par an. Ainsi, en novembre 1975 et 1976, peut-on constater l'assèchement total de la cuvette nord (fig. 4b). Les remises en eau partielles de fin 76 et début 77 ne seront que de peu d'effet et de très courte durée (quelques mois).

* Valeur médiane calculée sur une période d'observation ne tenant pas compte des années exceptionnellement sèches de 1972 et 1973.

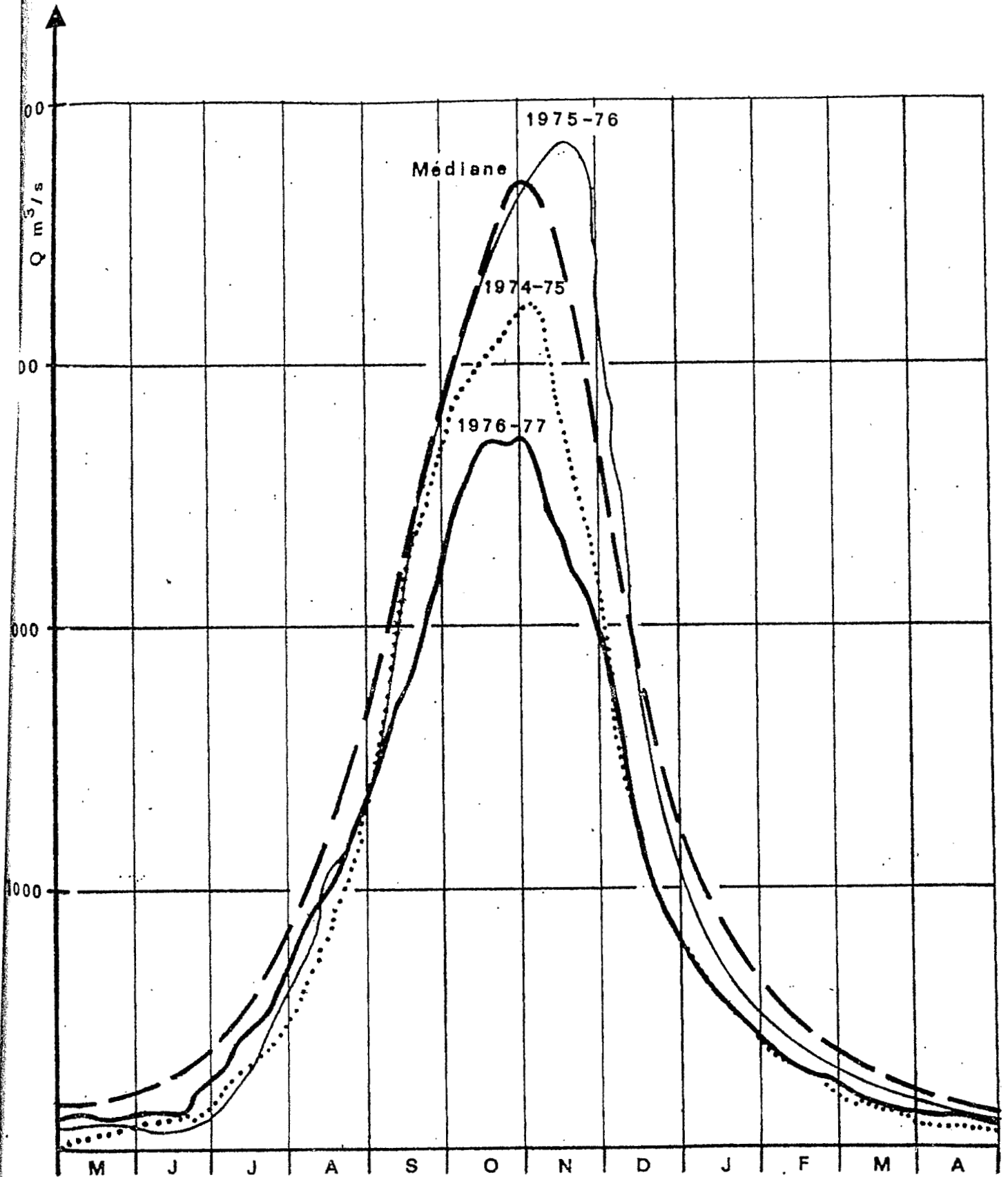


Fig.5- Le Chari à N'DJAMENA - Hydrogrammes des crues récentes.

3.2 - Le retour à des conditions climatiques sévères (1976 et 1977)

Après les années exceptionnellement déficitaires de 1972 et 1973, le retour à des crues du Chari, proches ou égales à la médiane, pouvait laisser espérer le retour à un "cycle" d'hydraulicité normale.

En fait, c'est au phénomène inverse que nous avons assisté avec la crue de 1976. Alors que sur le bassin du Logone, la crue 1976 a été moyenne et égale à celle de 1975, sur le bassin du Chari, par contre, l'hydraulicité a été de nouveau très faible sans atteindre cependant les caractéristiques catastrophiques de la sécheresse 1972-73*.

Le débit maximal observé sur le Chari à N'Djamena n'a été que de 2720 m³/s et le volume total apporté au lac, sur l'année hydrologique 1976-77, égal à 28,7 milliards de m³, valeur très faible.

Ces apports fluviaux sont donc nettement insuffisants pour permettre une remise en eau durable (fig. 6a) sauf dans la cuvette sud ; en effet, les apports liquides freinés par l'intense végétation palustre établie sur la Grande Barrière, restent en majeure partie dans la zone sud du lac qui est revenue à un cycle annuel normal.

Si l'on a pu constater la disparition de nombreux ambadjs autour de la poche des eaux libres du sud par suite de l'invasion fluviale et de l'élévation du plan d'eau, par contre ceux de la face nord de la Grande Barrière, ayant poussé plus tard, persistent toujours et sont d'autant un frein aux passages vers la partie nord (FOTIUS, 1976).

Il est à noter sur les différentes cartes schématiques du lac que la superficie de la zone des eaux libres du sud, tracée à partir de la couverture photographique aérienne de la CBLT ou des documents de la NASA (programme LANDSAT) varie peu depuis 1973 et est de l'ordre de 1600 à 1800 km². Ceci est à mettre en relation avec l'intense végétation qui l'entoure. On observe par contre, entre 1973 et 1977, une submersion importante des îles au sein de cette poche d'eaux libres.

Dans la cuvette nord, on observe un nouvel assèchement presque total dès le mois d'août 1977 (fig. 6b), les quelques mares restant autour de l'île de Kindjéria n'étant qu'un marécage de très faible profondeur (0,50 m à 1 m en moyenne) en voie de disparition. Par contre, dans la cuvette sud, on note l'apparition de grands bras d'eaux libres au milieu des marécages en face de Baga Kawa et vers le sud.

* Par suite des débordements et des déversements dans les plaines d'inondations du Nord-Cameroun, principalement en aval de Bongor-Laf, les apports du Logone, sauf en cas d'années exceptionnelles, sont toujours sensiblement les mêmes au niveau du confluent avec le Chari à N'Djamena.

Fig. 6a - Le Lac Tchad à la fin janvier 1977

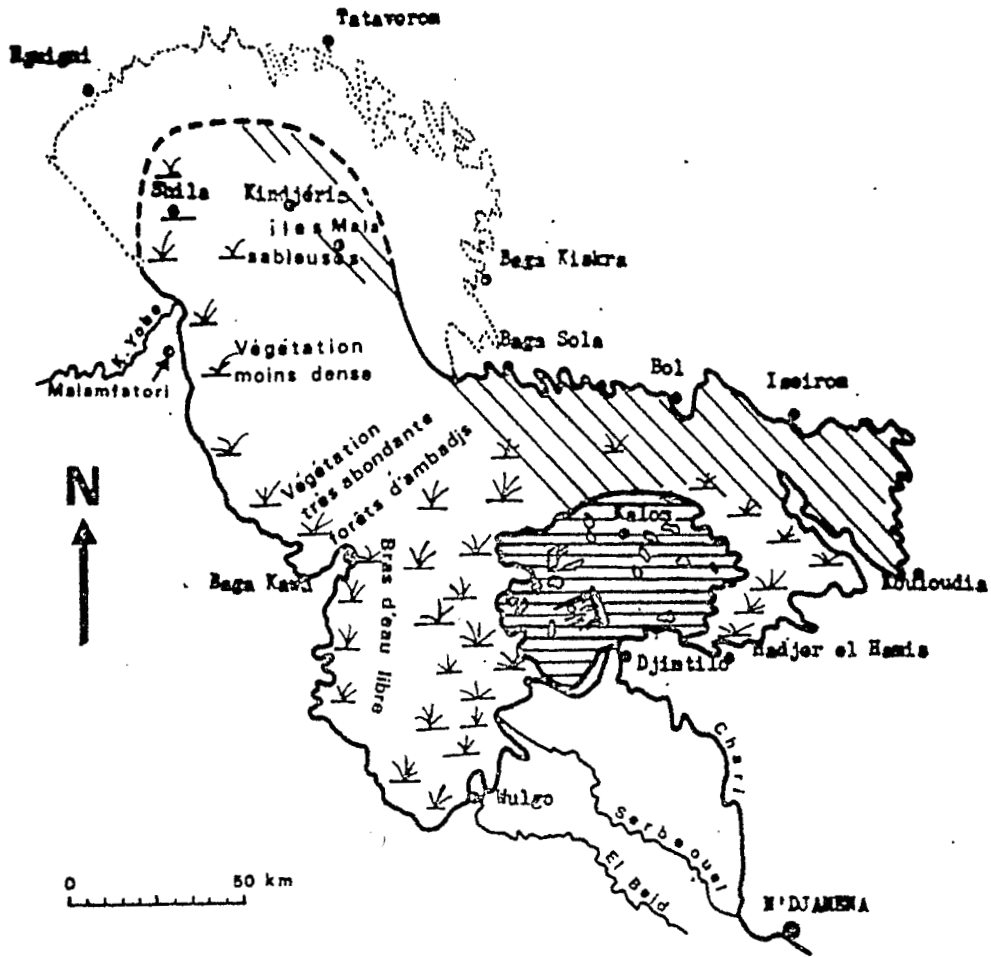
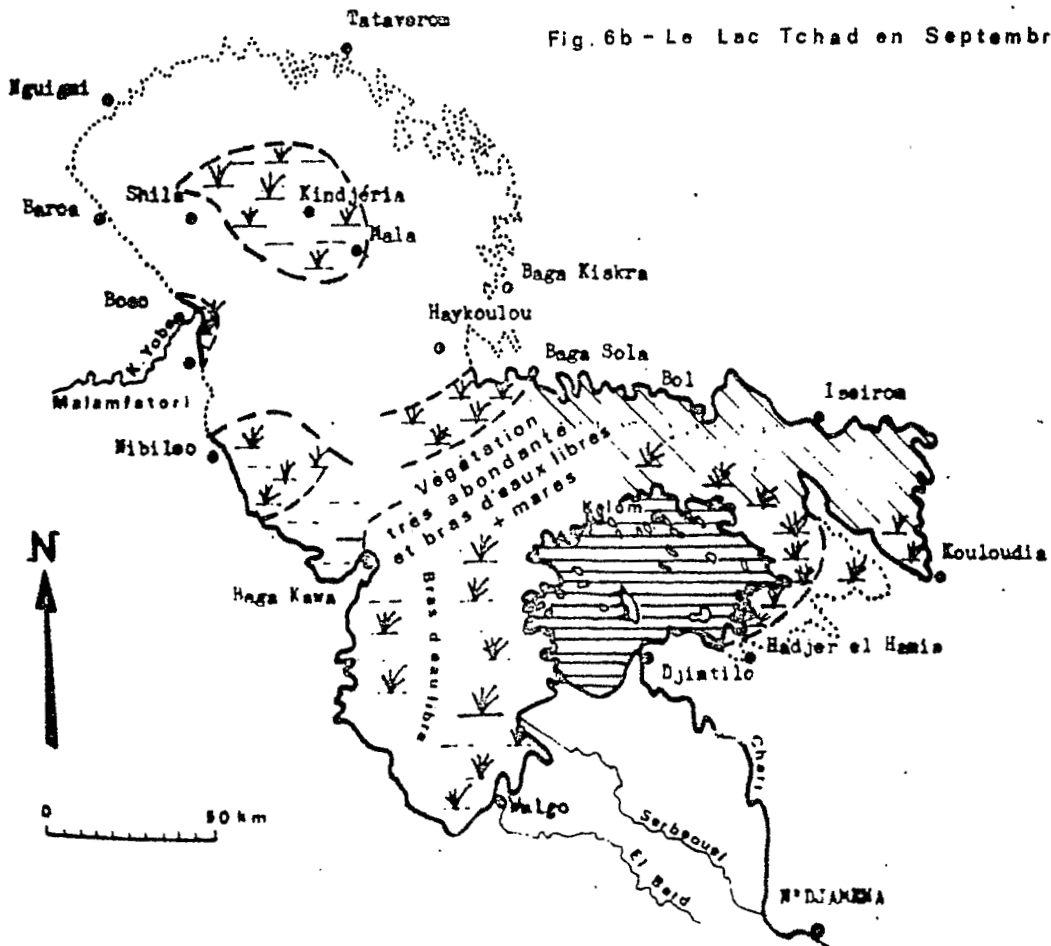


Fig. 6b - Le Lac Tchad en Septembre 1977.



L'observation en cours de la crue du Chari 1977 laisse de fortes chances de prévoir qu'elle sera du même ordre de grandeur que celle de l'an passé. L'analyse des données climatologiques du réseau d'observation met en évidence l'inverse du phénomène habituel se produisant au mois d'août.** Du fait du déplacement au delà de la frontière nord du Tchad du Front Intertropical, au cours du mois d'août, ce sont les régions sud, et donc les bassins amont, qui sont les plus arrosés. En 1977, on a assisté au phénomène inverse et ce sont les bassins du Logone et du Chari qui présentent le plus grand déficit pluviométrique en particulier dans le triangle Bousso-Laf-Sarh (- 100 à - 120 mm). Dans cette zone, l'aggravation du déficit peut atteindre 35 %.

Ces différentes observations ne peuvent que laisser entrevoir des perspectives pessimistes quant au retour à un "Tchad Normal" à brève échéance.

4 - COMPARAISON AVEC LES DONNEES ANTERIEURES OU LES ARCHIVES ANCIENNES

Les explorateurs du début du siècle nous ont laissé des documents prouvant que le lac Tchad a connu des phases d'assèchement comparables à celles observées de nos jours.

Alors qu'à la fin du siècle dernier BARTH et NACHTIGAL ont décrit un lac au stade "Grand Tchad", en juin 1905, FREYDENBERG constate une coupure entre le nord et le sud au niveau du barrage de Seyorom à Kindin. La partie sud étant elle même isolée de l'archipel de Bol par le barrage herbeux de Koremirum (fig. 7a).

A la fin 1907, début 1908, TILHO décrit un lac au stade "Petit Tchad" (fig. 7b) comparable aux périodes de courte durée de remise en eau et d'assèchements actuels de la partie nord. A l'époque des observations de TILHO, il existait également sur la Grande Barrière une importante forêt d'ambadjs qui freinait le franchissement des eaux. "Depuis quelques années, la végétation palustre s'est développée dans une proportion surprenante dans tout le lac et les rives de certaines îles sont bordées par une ceinture d'herbes et d'ambadjs haute parfois de 6 à 7 m, le diamètre des troncs d'ambadjs pouvant atteindre 45 cm". Cette description ancienne peut s'appliquer parfaitement aux observations actuelles.

** Renseignements fournis par le service météorologique de l'ASECNA.

- A Lagune de la Komadougou
- B Bahra des environs de Nguigmi-Wuidi
- C Archipel de Madorou
- K Barrage herbeux de Koremirum

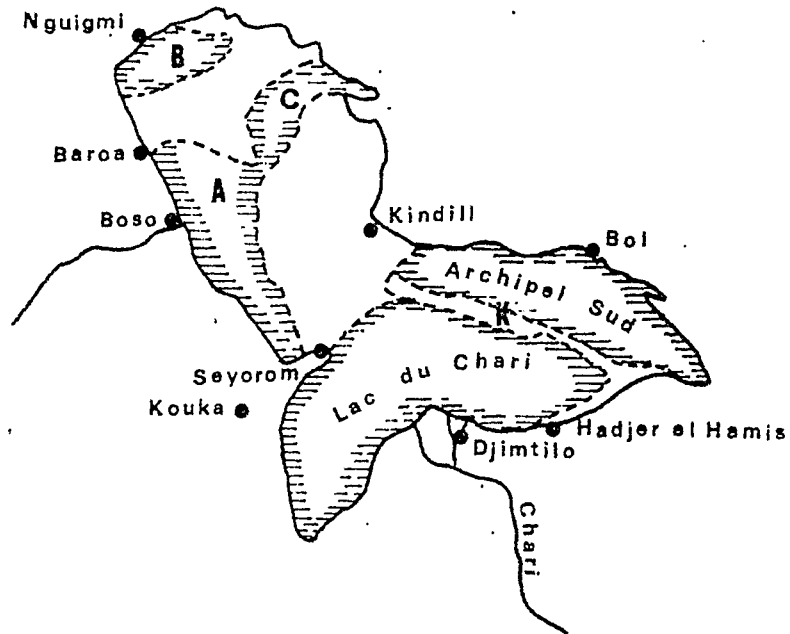


Fig.7a - Le Lac Tchad en Juin 1905 (d'après Freydenberg)

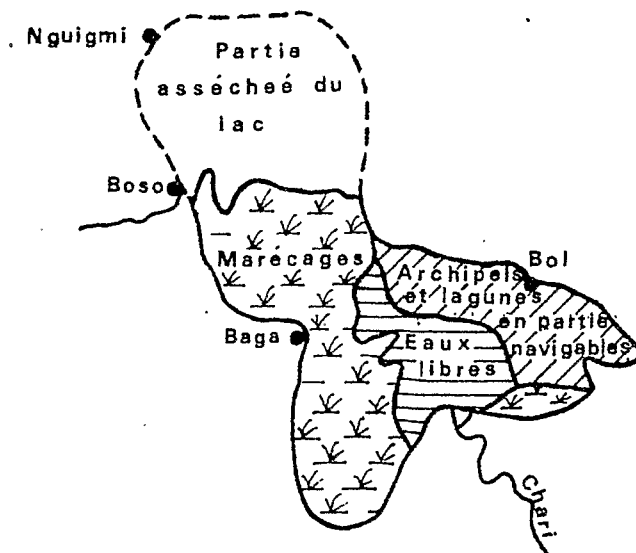


Fig.7b - Le Lac Tchad fin 1907 - début 1908 (d'après Tilho)

Toujours d'après le même auteur, le lac a été scindé en deux cuvettes en juillet 1913. Des documents et des observations plus récentes font également état d'un même phénomène au cours des années 1940, bien que la sécheresse "1940" ne soit en rien comparable en sévérité à celles de "1913" et "1970".

Les périodes de très bas niveaux anciens connus ont été suivies de phases de retour à de hauts niveaux du stade "Tchad Normal" ou avoisinant celui du "Grand Tchad" sans jamais cependant atteindre les très hauts niveaux de la fin du siècle dernier.

5 - EVOLUTION HYDROLOGIQUE ACTUELLE - COTE DES PLANS D'EAU

5.1 - Installations limnimétriques nouvelles et calage des zéros des échelles

Dès 1973, de nouvelles stations limnimétriques ont dû être créées pour suivre l'évolution du milieu lacustre, les stations anciennes de Nguigmi et Bol n'étant plus représentatives.

Deux stations ont été installées au sein des cuvettes lacustres, une sur l'île de Kalom pour la partie sud, une sur l'île de Kindjéria pour la partie nord. Des stations complémentaires ont été également ouvertes ou remises en service, en particulier celle de Baga-Kawa pour étudier les franchissements au niveau de la Grande Barrière, à Baga-Kiskra (rivage est) et Malumfatori (rivage ouest).

Trois stations sont rattachées au nivellement général (IGN 56) : Bol (0 à 277,87 m), Nguigmi (0 échelle 1973 à 278,82 m) et Malumfatori (échelle actuelle de juillet 1973 à 270,98 m). Grâce aux renseignements aimablement communiqués par les ingénieurs du "South Chad Irrigation Project" (Ngala, Nigéria), nous avons pu également utiliser les relevés des échelles dites "South Chad Intake" et Kirinawa, situées dans la partie nigériane SSW du lac, dont les zéros ont été nivelés.

Les zéros des échelles non rattachées au nivellement général ont été calés de la façon suivante :

- Au maximum de la remise en eau de la cuvette sud en décembre 1975, où toute cette région du lac était entièrement en communication, il a été possible de déterminer approximativement ($\pm 0,10$ m) la cote des zéros

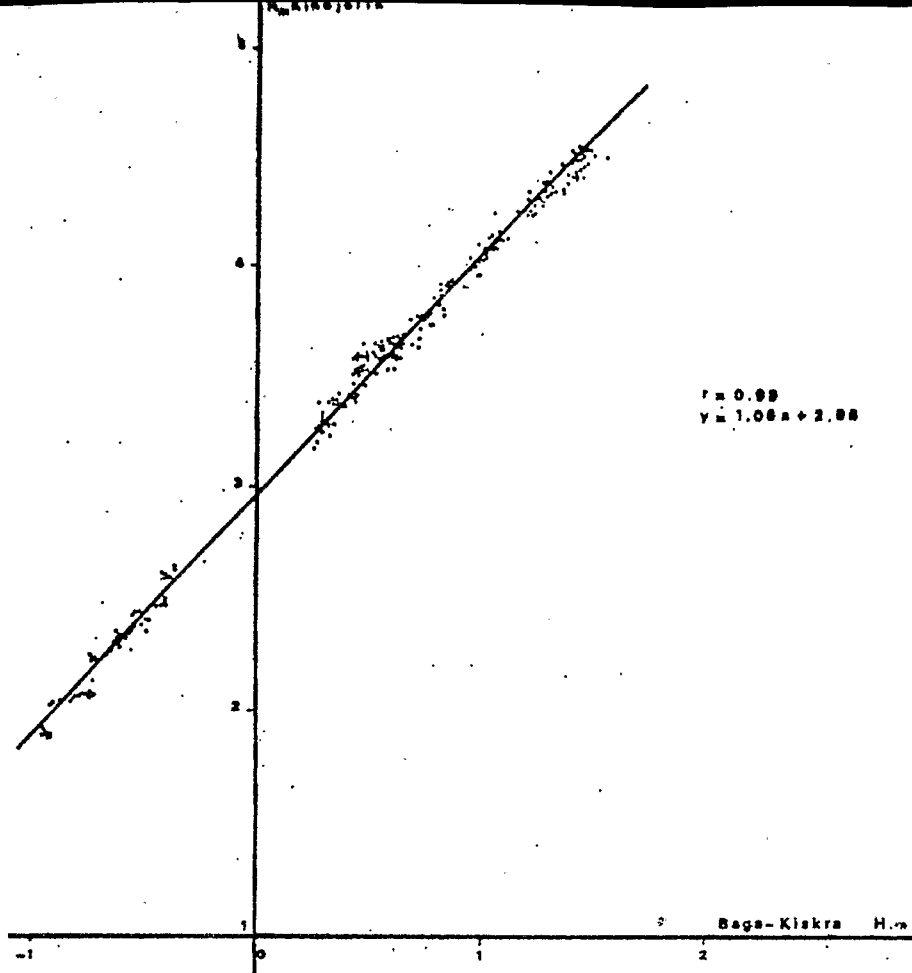


Fig. 8a - Correspondance des échelles Kindjéria et Baga Kiskra.

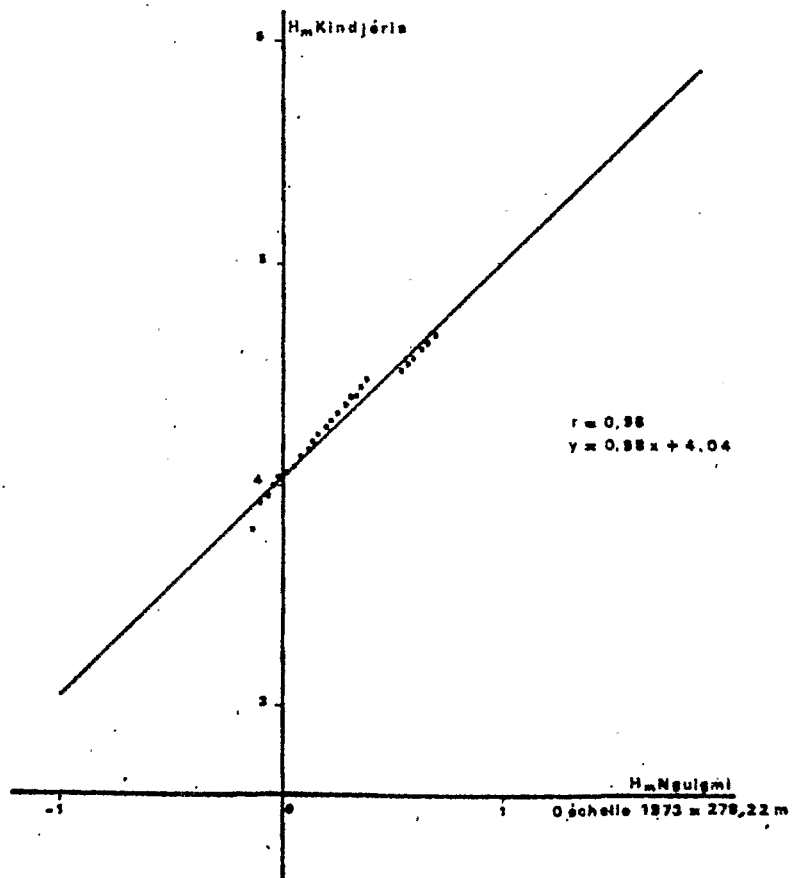


Fig. 8b - Correspondance des échelles Ngulmi et Kindjéria.

des échelles de Kalom et Baga-Kawa. La remontée du plan d'eau, mesurée aux différents points, a été sensiblement du même ordre de grandeur (2 m). La cote maximale enregistrée, en valeurs lissées graphiquement pour éliminer les variations journalières dues au vent, a été de 281,39 m à Bol (archipel SE) et à "South Chad Intake" (SSW) à des dates voisines compte tenu de la propagation de l'onde de crue.

A partir de là, il a été possible de caler le zéro de l'échelle de Kalom en considérant que tous les maximums observés se sont produits à des dates voisines avec des montées sensiblement identiques à partir d'un niveau d'étiage où toute la cuvette sud était en communication.

Le zéro de l'échelle de Kalom est égal à 278,40 m \pm 10 cm IGN 56. Cette estimation, à la même approximation près, est confirmée par les observations et les résultats des campagnes 1974 et 1976.

De la même façon, le zéro de Baga Kawa est égal à 278,88 m \pm 10 cm IGN 56.

- En ce qui concerne la cuvette nord, les seules échelles rattachées au nivellement général sont celles de Nguigmi et de Malumfatori. Des correspondances d'échelles ont été établies entre Nguigmi, Kindjéria et Baga-Kiskra à l'époque où la région de Nguigmi était encore en eau et où la cuvette nord était isolée du reste du lac et correspondait donc à une même étendue d'eau soumise à la seule évaporation.

A partir des figures 8a et 8b, les zéros de ces échelles, à \pm 10 cm, sont pour Kindjéria : 274,18 m IGN 56 et pour Baga-Kiskra : 277,16 m IGN 56.

5.2 - Evolution hydrologique du lac depuis 1971

En possession de ces nouvelles données et des cotes absolues des zéros des échelles anciennes, on peut tracer les différentes courbes de la figure 9 depuis 1971. A cette époque, bien que déjà à un niveau très bas, le lac constituait un seul plan d'eau comme le prouve la concordance des relevés enregistrés à Bol et Nguigmi.

Ce graphique met en évidence les effets de la sécheresse passée avec l'isolement en 1973 de l'archipel de Bol et la coupure en deux cuvettes distinctes du lac, la remise en communication des différentes régions du sud, définitive à partir de fin 1974 et, malgré les faibles apports provoquant une remontée du niveau de courte durée de la cuvette nord, l'assèchement de cette dernière région lacustre. La région de Nguigmi est totalement asséchée à partir de mars 1974 et celle de Baga-Kiskra à partir de décembre 74.

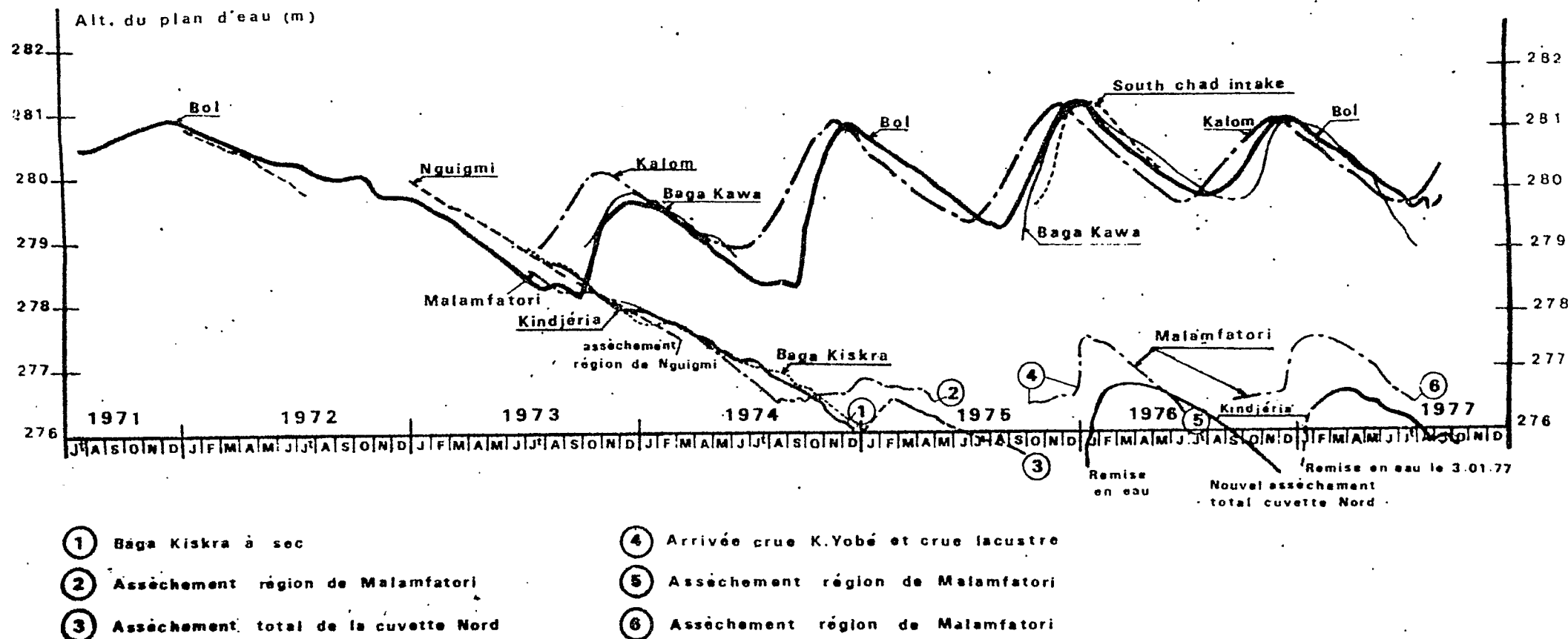


Fig. 9 - Limnigrammes du Lac Tchad de 1971 à 1977.

Par rapport aux relevés pour lesquels le rattachement IGN est connu (Nguigmi et Malumfatori), le calage des relevés de Baga-Kiskra et Kindjéria, compte tenu également des renversements dus au vent en avril et octobre, semble acceptable.

L'allure générale du limnigramme de Kindjéria en particulier est bien représentative de l'évolution du milieu physique. Le palier observé en août 1977 à cette station traduit l'influence des fortes précipitations tombées au cours de ce mois sur une surface liquide réduite et de faible profondeur.

Le retour de la cuvette sud à un cycle annuel est confirmé alors que la lenteur, et donc les difficultés de pénétration du flot liquide à travers le barrage végétal de la Grande Barrière, apparaissent nettement.

La différence de niveau entre partie nord et partie sud est de l'ordre de 4 m au cours de l'étiage et lors des maximums de remise en eau en 1976-1977.

Ces graphiques ne peuvent que confirmer une vue pessimiste, sauf occurrence d'une ou plusieurs crues du Chari comparables à celle de 1961, quant au retour à un "Tchad Normal" où les conditions de navigation et de pêches reviendraient à ce qu'elles étaient encore il y a une dizaine d'années.

6 - SUPERFICIE ET VOLUME DES EAUX DU LAC TCHAD

A partir des estimations anciennes, pour lesquelles la cote du plan d'eau a pu être reconstituée (BOUCHARDEAU, 1957) et à l'aide des observations de la Commission Scientifique Logone-Tchad ou actuelles de l'ORSTOM, on peut tenter de présenter une nouvelle mise à jour des courbes de la variation de la superficie et du volume des eaux du lac en fonction de l'altitude du plan d'eau à Bol.

On dispose des renseignements suivants :

Mars-avril 1904
(Mission Moll-Tilho)

Superficie en eau estimée à 16.000 km² (d'après documents de l'époque).

Cote reconstituée = 281,5 m (H Bol = 3,63 m)

La cote à Bol n'est pas représentative du plan d'eau de tout le lac.

Fin 1907 - début 1908
(Mission Tilho)

Superficie en eau estimée à 12.700 km² (d'après documents de l'époque).

Cote reconstituée = 280,5 m (H Bol = 2,63 m)

Stade Petit Tchad, comparable à la phase actuelle.

La cote à Bol n'est pas représentative du plan d'eau de tout le lac.

1950-51
(Commission Logone-Tchad)

Superficie en eau = 20.000 km² (à partir cartes IGN au 1/200 000° et cartes D.O.S.).

Cote estimée à 282,0 m (H Bol = 4,13 m).

1956
(Commission Logone-Tchad)

Superficie en eau = 21.600 km² (couverture aérienne)

Niveau : 282,65 m (H Bol = 4,78 m)

1963
(RODIER)

Superficie en eau = 23.500 km²

Niveau un peu supérieur à 283 m

1967-69
(ROCHE)

Superficie en eau = 18.140 km² (planimétrage cartes IGN au 1/200 000 ° corrigées).

Niveau moyen sur la période : 281,8 m (H Bol = 3,93 m).

Juin-Juillet 1973
(CHOURET, LEMOALLE)

Superficie en eau : 8.940 km² (couverture aérienne CBLT) dont 7.000 km² pour la cuvette nord et 1.940 km² pour la cuvette sud.

Cote à Bol (archipel isolé de tout le reste du lac) : 278,37 m (H Bol = 0,50 m).

A partir de ces données, il a été possible de tracer les courbes de la figure 10 qui modifient sensiblement les graphiques des publications antérieures. Elles doivent cependant être considérées comme approximatives

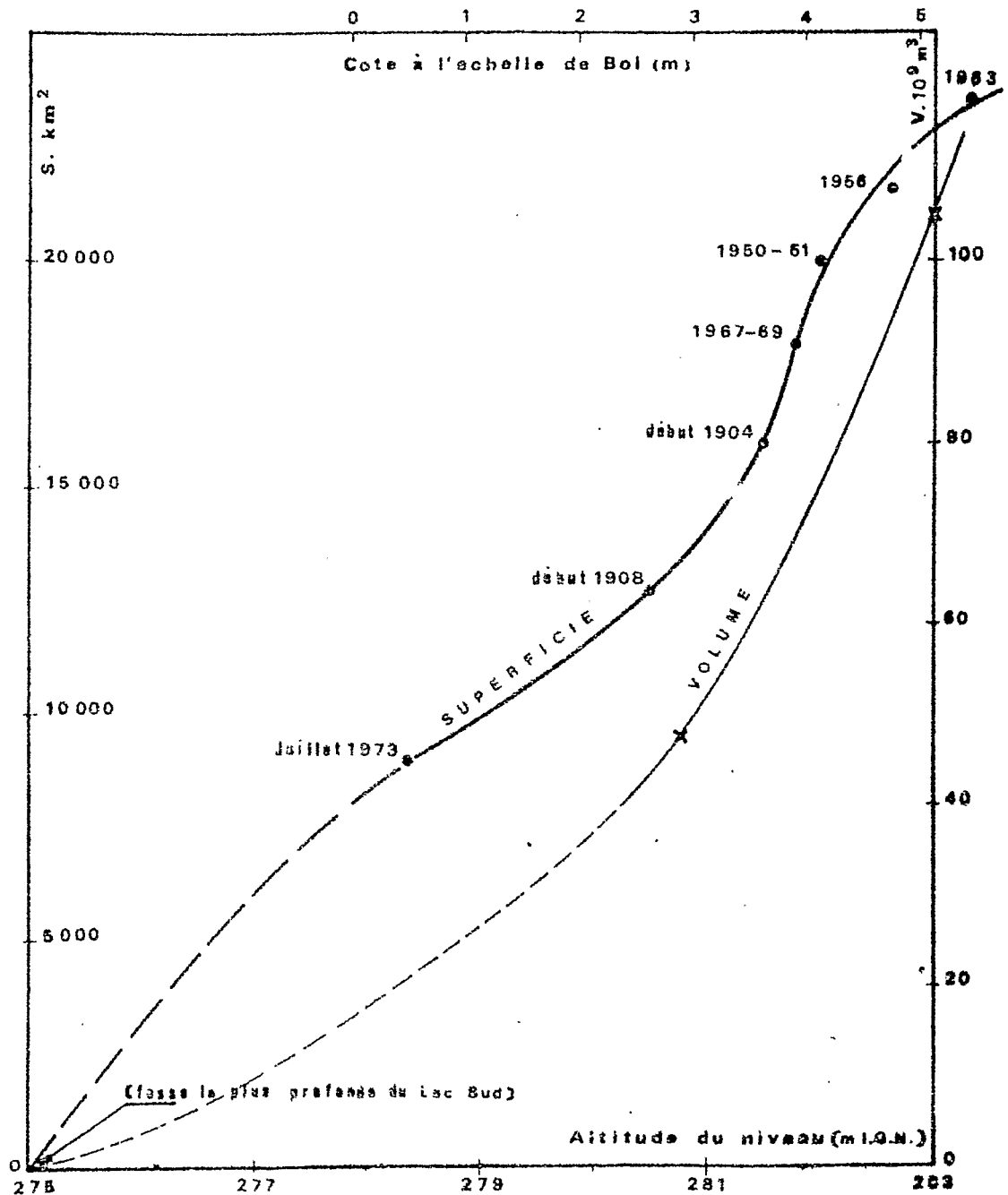


Fig.10 - Superficie et volume des eaux du Lac Tchad en fonction de l'altitude du plan d'eau

et très provisoires. Les possibilités offertes par l'exploitation des données des satellites (programme LANDSAT en particulier) devraient pouvoir apporter des précisions appréciables principalement lors des phases de coupure en deux collections d'eau ou à des stades de remplissage épisodique ou de longue durée.

ADDENDUM

Les valeurs utilisées pour tracer sur la figure 10 la variation de la superficie des eaux en fonction de l'altitude du plan d'eau correspondent uniquement à des surfaces d'eau libre.

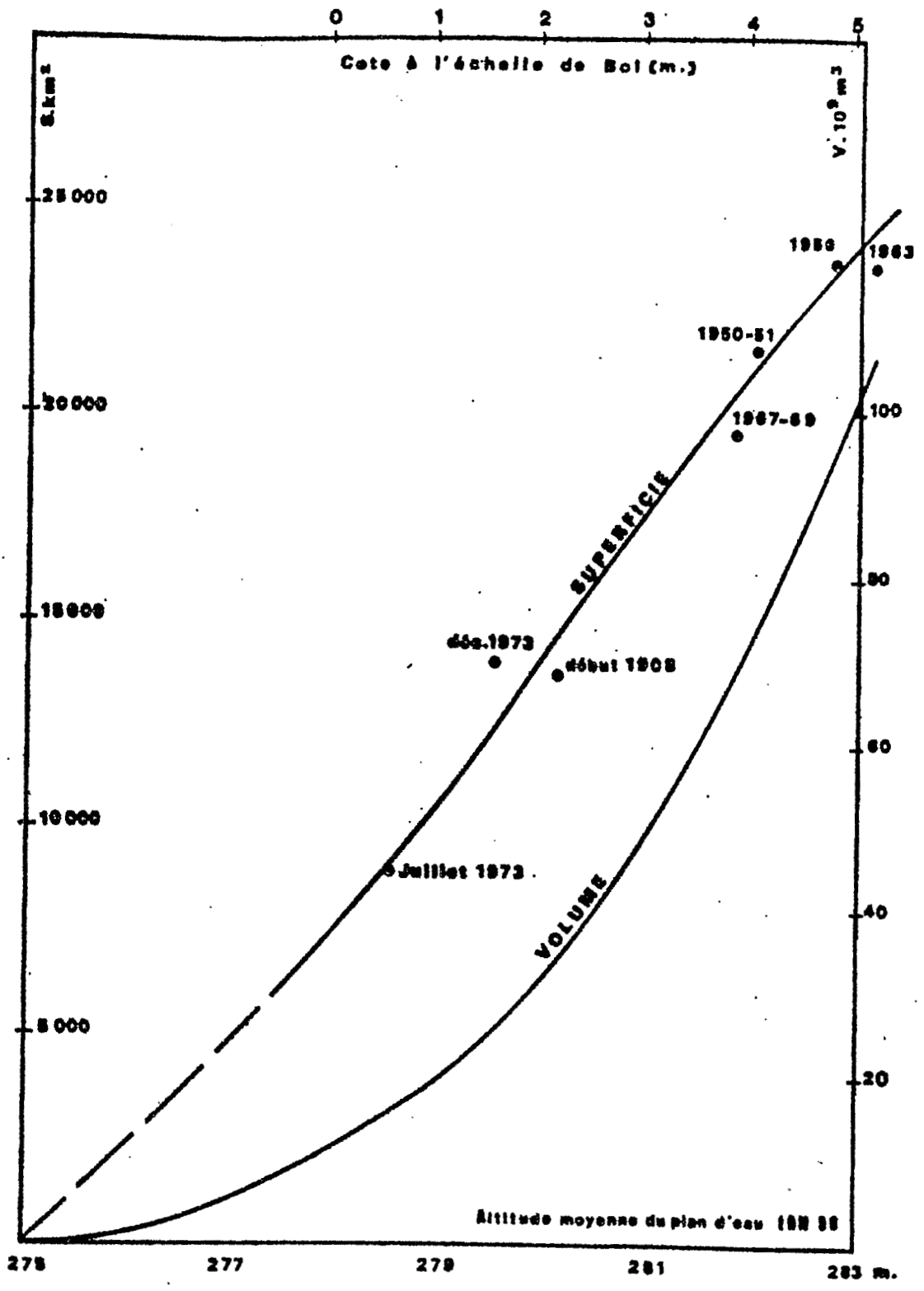
La figure suivante proposée tient compte non seulement des eaux libres mais également des marécages, zones d'îlots-bancs immergés etc...

Ainsi début 1908 il convient de rajouter environ 1000 km² de marécages et îlots-bancs aux 12 700 km² d'eau libre.

En 1951, la nouvelle surface considérée est de 21 600 km² et en 1956 de 23 590 km². De même entre juillet 1973 et décembre 1973, on a noté l'apparition de 5 000 km² de marécage

La nouvelle courbe a donc été tracée à partir des valeurs suivantes :

Période	Superficie eaux libres et marécages (km ²)	Altitude moyenne du plan d'eau: m. IGN 56
début 1908	13.700	280,15
1950 - 51	21.600	282
1956	23.590	282,75
1963	23.500	283 (légèrement supérieur)
1967 - 69	19.500	281,8
Juillet 1973	9.000	278,37
Décembre 1973	14.000	279,50



Superficie et volume des eaux du Lac Tchad en fonction de l'altitude du plan d'eau

REFERENCES CITEES

- BILLON (B.), GUISCAFRE (J.), HERBAUD (J.), OBERLIN (G.), 1974 - Le bassin du fleuve Chari.
ORSTOM Paris - Monographie hydrologique n° 2, 450 p.
- BOUCHARDEAU (A.), LEFEVRE (R.), 1957 - Monographie hydrologique du lac Tchad.
Rapp. ORSTOM, multigr., 112 p.
- CHOURET (A.) et al., 1974 - Les effets de la sécheresse actuelle en Afrique sur le niveau du lac Tchad.
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XI, 1, 1974, p. 35-46.
- CHOURET (A.), LEMOALLE (J.), 1974 - Evolution hydrologique du lac Tchad durant la sécheresse 1972-74.
Rapp. ORSTOM, multigr., N'Djamena, 12 p.
- CHOURET (A.), LEMOALLE (J.), 1976 - Evolution hydrologique du lac Tchad (juillet 1974-octobre 1975).
Rapp. ORSTOM, multigr., N'Djamena, 6 p.
- FOTIUS (G.), LEMOALLE (J.), 1976 - Reconnaissance de l'évolution de la végétation du lac Tchad entre janvier 1974 et juin 1976. Rapport de mission.
Rapp. ORSTOM, multigr., N'Djamena, 13 p.
- FREYDENBERG (H.), 1908 - Etude sur le Tchad et le bassin du Chari.
Paris, Fernand Schmidt ed., 187 p.
- ROCHE (M.A.), 1973 - Traçage naturel salin et isotopique des eaux du système hydrologique du lac Tchad.
Thèse Sci., Univ. Paris, 398 p.
- SIRCOULON (J.), 1976 - Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses "1913" et "1940".
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XIII, 2, 1976, p. 75.
- TILHO (J.), 1910 - Documents scientifiques de la mission TILHO 1906-1909.
Imprimerie Nationale, Paris, t. I, 412 p., t. II, 598 p. + annexes.
- TILHO (J.), 1928 - Variations et disparition possible du Tchad.
Ann. Géographie, 37, p. 238-260.
- TOUCHEBEUF de LUSSIGNY (P.), 1969 - Monographie hydrologique du lac Tchad.
Rapp. ORSTOM, multigr., 112 p. + annexes.

LISTE DES FIGURES

- Fig. 1 Régions naturelles du lac Tchad à la cote du plan d'eau 281,8 m "Tchad Normal".
- Fig. 2 Variation interannuelle du niveau du lac à la station de Bol depuis 1956.
- Fig. 3 Hydrogrammes caractéristiques du Chari à N'Djamena.
- Fig. 4a Le lac Tchad en juillet 1973.
4b Le lac Tchad en novembre 1975.
- Fig. 5 Le Chari à N'Djamena - Hydrogrammes des crues récentes.
- Fig. 6a Le lac Tchad à la fin janvier 1977.
6b Le lac Tchad en septembre 1977.
- Fig. 7a Le lac Tchad en 1905 (d'après Freydenberg).
7b Le lac Tchad fin 1907-début 1908 (d'après Tilho).
- Fig. 8a Correspondance des échelles Kindjéria et Baga-Kiskra.
8b Correspondance des échelles Nguigmi et Kindjéria.
- Fig. 9 Limnigrammes du lac Tchad de 1971 à 1977.
- Fig. 10 Superficie et volume des eaux du lac Tchad en fonction de l'altitude du plan d'eau.