

NOTE TECHNIQUE

APPLICATION DES IMAGES LANDSAT A LA COURBE BATHYMÉTRIQUE DU LAC TCHAD

JACQUES LEMOALLE

Hydrobiologiste O.R.S.T.O.M., Antenne O.R.S.T.O.M., Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA, 74203 Thonon-les-Bains

RÉSUMÉ

Des portions de la ligne de rivage ont été déterminées exactement au cours de survols à basse altitude lors de la phase d'assèchement du lac Tchad (1973-76). Ces données de terrain sont utilisées pour l'interprétation d'images Landsat de la même période, sur lesquelles les surfaces en eau sont évaluées à l'aide de l'analyseur d'images Quantimet 720. Les résultats sont utilisés pour préciser la courbe bathymétrique du Tchad pour ses bas niveaux.

ABSTRACT

A STAGE - AREA CURVE FOR LAKE CHAD USING LANDSAT DATA

Parts of the shore line have been exactly determined by low altitude aerial surveys during a drying phase of lake Chad (1973-1976). The ground data were used in the interpretation of successive Landsat images of the same period, and the water surface areas measured with the Quantimet 720 image analyser. The results have resulted in a better estimation of the lower part of the stage-area curve of lake Chad (water levels are indicated by their altitude above sea level).

La répétitivité des données des satellites Landsat a été utilisée pour suivre l'évolution rapide des surfaces en eau du lac Tchad au cours d'une période d'assèchement consécutive à la sécheresse du Sahel en 1972-73. Le calage des échelles limnimétriques par rapport au nivellement général de l'I.G.N. de 1956 permet de reconstituer les variations de l'altitude des plans d'eau au cours du temps (CHOURET, 1977). La combinaison de ces deux types de résultats (surfaces et niveaux) est utilisée pour préciser la partie inférieure de la courbe bathymétrique du lac Tchad. (Pour une description du lac, voir par exemple CARMOUZE *et al.*, 1972)*.

MÉTHODES

Les données du canal 7 (800-1100 nm) du scanner multispectral des satellites Landsat 1 et 2 ont été utilisées sous forme d'images équivalentes à des photos aériennes. La couverture de l'ensemble du lac nécessite trois images sur deux orbites successives, qui couvrent approximativement la cuvette nord, l'est du lac, la région de la Grande Barrière et le sud du Lac.

Afin d'utiliser au mieux les données disponibles et notamment les recouvrements entre images, le lac a été divisé en six parties (fig. 1) par des droites

(*) Je remercie MM. CAJAN (Cambridge France) et PREVOSTEAU (BRGM) qui m'ont donné accès au Quantimet 720, particulièrement utile pour l'évaluation des surfaces en eau du lac qui, suivant le niveau de l'eau, compte entre 2000 et 4000 îles.

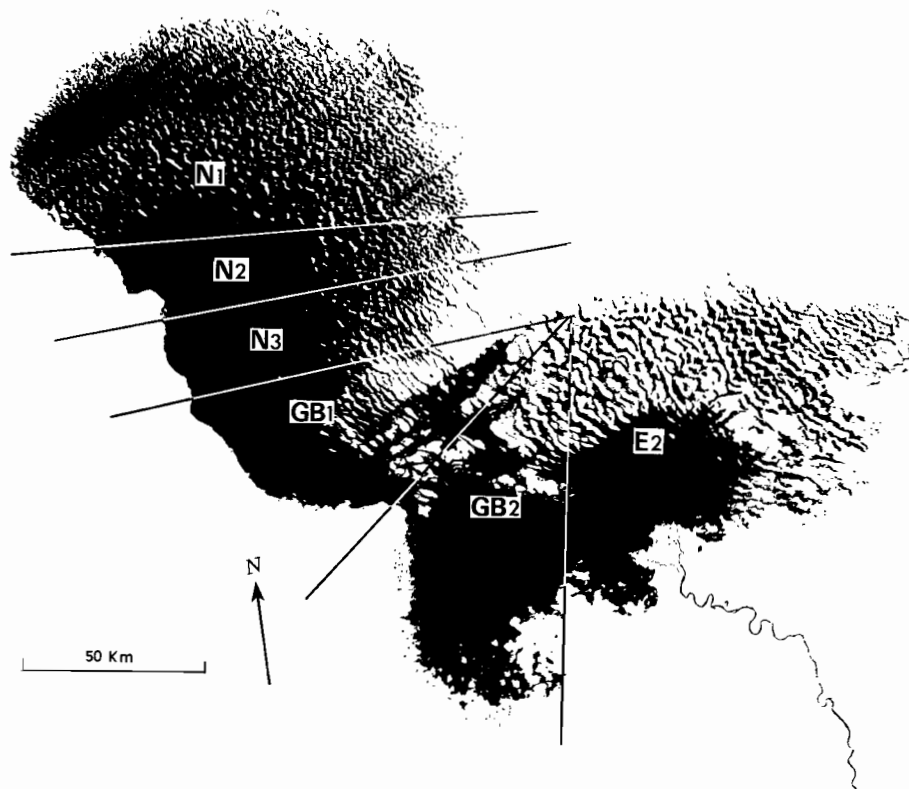


Fig. 1. — Aspect schématique du lac Tchad en janvier 1973 (d'après les images Landsat des 12 et 31 janvier). Le découpage du lac en six zones de mesures est indiqué.

The aspect of Lake Chad in January 1973 (from Landsat images). The six regions used for water area measurements are shown.

passant par des points caractéristiques repérables sur toutes les images.

L'ensemble N1, N2, N3, GB1 constitue la cuvette nord,

L'ensemble GB2, E2 constitue la cuvette sud.

L'eau absorbe l'infra-rouge de façon très efficace et il suffit d'une très faible couche d'eau pour que la luminance entre 800 et 1100 nm (canal MSS7) soit faible par rapport aux autres éléments du paysage. Cependant, les substances en suspension, et notamment les particules minérales, augmentent de façon notable la réflectance de l'eau ; il est parfois délicat de dissocier sur l'image une surface d'eau turbide d'une vase ou d'un sol humide. Lors des survols du lac cette distinction se fait aisément en utilisant la réflexion spéculaire du soleil dans l'eau.

Les images utilisées pour les mesures de surface ont été faites en négatif sur papier contrasté, à l'échelle 10^{-6} à partir de films au $1/3\ 369\ 000$. L'eau apparaît alors en blanc, les zones humides en gris et le reste du paysage en gris foncé ou noir. Par modification du temps d'exposition, il est possible

d'ajuster la limite des zones en blanc aux lignes de rivages effectivement observées à des périodes proches de celles de la prise de vues. Un dernier ajustement est ensuite fait lors de l'utilisation de l'analyseur d'images Quantimet 720 auquel on impose la limite de densité de gris entre surfaces à mesurer et surfaces à exclure. Le facteur personnel dans l'interprétation des images est donc réduit. Il faut cependant remarquer que l'incertitude sur la limite des surfaces en eau prend ici une importance particulière du fait du développement exceptionnel de la ligne des rivages (îles comprises).

RÉSULTATS

Les surfaces des différentes zones du lac ont été mesurées sur les images disponibles, au moyen de l'analyseur d'images Quantimet 720, les mesures étant converties en km^2 au moyen d'une courbe d'étalonnage obtenue par la mesure de rectangles de surface connue (tabl. I). Ces résultats permettent

TABLEAU I
Surfaces en eau libre et niveaux moyens des différentes zones du lac

Date	Surfaces						Niveaux	
	N1	N2	N3	GB1	GB2	E2	H nord	H sud
27.9.72.....	4010	1365	—	1900	—	—	280,3	280,1
8.12.72.....	3740	1365	1480	—	2780	—	280,0	279,8
12.1.73.....	—	—	—	—	—	3190	280,0	279,7
13.1.73.....	3815	—	—	—	—	—	280,0	279,7
31.1.73.....	—	1320	1500	1990	2875	—	279,7	279,6
17.2.73.....	—	—	—	—	—	2910	—	279,5
7.3.73.....	—	—	—	—	—	2625	—	279,3
8.3.73.....	—	1365	1290	1910	2350	—	279,5	279,3
26.3.73.....	3730	—	—	—	—	—	279,4	279,2
30.4.73.....	—	—	—	—	1100	2540	279,0	278,9
6.6.73.....	3280	—	—	—	—	—	278,6	278,7
10.10.73.....	—	—	1170	700	70	—	278,3	278,8
7.3.75.....	2670	790	710	(810)	1190	—	276,6	—
5.6.75.....	1685	280	140	45	140	—	276,0	—
22.6.75.....	—	—	—	—	—	1935	—	—
23.6.75.....	830	—	—	55	165	—	276,0	—
8.10.75.....	0	0	0	—	—	2220	275,7	—
9.10.75.....	0	0	0	45	270	—	275,7	—
1.12.75.....	—	—	—	—	—	2770	—	—
5.1.76.....	1125	—	—	—	—	—	—	—
11.2.76.....	—	—	—	—	—	2860	—	—
19.3.76.....	2920	—	900	470	1290	—	—	—
24.4.76.....	3580	—	—	—	—	—	—	—
29.5.76.....	—	—	—	—	—	2690	—	280,0

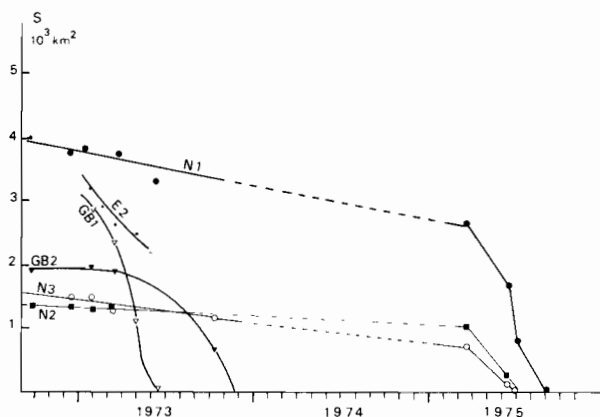


Fig. 2. — Évolution des surfaces en eau des différentes zones au cours du temps.

Variation of the water areas as a function of time.

d'estimer la variation des surfaces en eau en fonction du temps (fig. 2). A partir des courbes ainsi déterminées, et des données approximatives des niveaux reconstitués par CHOURET (1977), on attribue à chaque portion de scène un niveau de l'eau, ce qui

permet de déterminer l'évolution des surfaces en fonction du niveau.

La figure 3 représente les surfaces inondées en fonction du niveau de l'eau dans les deux cuvettes sud et nord du lac Tchad, ainsi que leurs volumes (en pointillé) déterminés par planimétrie des courbes.

Les surfaces en eau, mesurées lors de la décrue du lac, sont dépourvues de végétation (CHOURET, LEMOALLE, 1974). Les données reportées ici correspondent donc aux surfaces vraies, à la différence des mesures obtenues plus tôt dans l'évolution du lac (ROCHE, 1973). D'autre part, on n'a pas tenu compte des scènes Landsat pour lesquelles le plan d'eau présente une pente importante (mars 1975 dans la zone GB1, au cours du déversement de la cuvette sud vers le nord) et occupe des surfaces sans rapport avec le niveau de l'eau. Il faut enfin souligner que les niveaux des deux cuvettes sont approximatifs du fait des vents et des crues fluviales : les vents saisonniers imposent à la surface des oscillations de période annuelle qui peuvent atteindre près des côtes une amplitude supérieure à 0,2 m (ROCHE, 1973 ; CHOURET, LEMOALLE, 1975 ; CHOURET, 1977), la progression des ondes de crues des

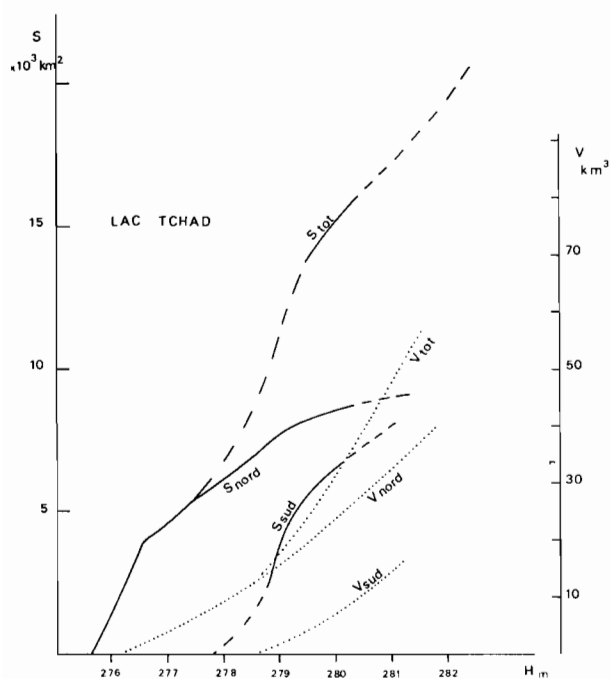


Fig. 3. — Courbe bathymétrique du lac Tchad. En traits pleins les variations observées. En tireté, surfaces estimées. En pointillé estimation des volumes par intégration des surfaces.

Stage-area curves of lake Chad. Full line = observed variations in the southern basin ($E_2 + GB_2$), the northern basin ($N_1 + N_3 + N_2 + GB_1$) and total. Dashed lines = estimated surface areas from other data. Dotted lines = estimated volumes by integration of surface areas and depth.

affluents (Chari, rivière Yobé) altèrent la planéité des surfaces d'eau.

Notons enfin, le 29 mai 1976, la surface totale en eau (eau libre plus marécages) de 5960 km² pour la cuvette sud.

CONCLUSION

L'accumulation continuelle des données a permis de préciser progressivement la courbe bathymétrique

du lac Tchad (TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY, 1969 ; ROCHE, 1971, 1973 ; CARMOUZE, DUPONT, 1971 ; CARMOUZE *et al.*, 1973 ; CHOURET, 1977) par des mesures de profondeur sur le terrain et des mesures de surface sur les couvertures cartographiques disponibles (IGN de 1956, Commission du Bassin du lac Tchad de 1973).

La fréquence des données Landsat a été particulièrement utile pour suivre l'évolution des surfaces en eau après la sécheresse du Sahel en 1973 et 1975, période au cours de laquelle les variations ont été très rapides. Le rattachement des échelles au nivellement général (CHOURET, 1977) permet de mieux définir les volumes et les surfaces d'eau pour les bas niveaux du lac. Il est notamment possible d'évaluer quels seraient les effets d'un transfert d'eau du sud au nord du lac lorsque les deux cuvettes sont séparées par l'exondation du seuil qui les sépare ou par la végétation qui l'encombre.

Il faut cependant tenir compte d'un fait nouveau dans l'utilisation prévisionnelle de la courbe bathymétrique : beaucoup de sédiments du lac (vases organiques, vases argileuses, argile molle), très riches en eau (DUPONT, 1970) ont subi une rétraction de dessiccation importante lors de l'assèchement. Ainsi des affaissements locaux de l'ordre du mètre ont été observés dans les sédiments organiques de la région de Bol. Le phénomène n'étant que partiellement réversible (DUPONT, 1970 ; DUPONT, FRAQUET, 1972), le niveau des fonds après la remise en eau est généralement plus bas qu'avant. Toutefois, sur l'ensemble de la cuvette sud et dans une grande partie de la cuvette nord, c'est précisément sur ces sédiments exondés qu'est apparue la végétation de macrophytes qui a modifié les paysages du lac. A partir de 1976, la sédimentation et la décomposition de ces plantes contribue à relever ces fonds, compensant ainsi d'une façon mal connue l'affaissement constaté lors de l'assèchement.

*Manuscrit reçu au Service des Publications de l'O.R.S.T.O.M.
le 25 avril 1978.*

BIBLIOGRAPHIE

- DUPONT (B.), 1970. — Distribution et nature des fonds du lac Tchad (nouvelles données). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. 11, n° 1 : 9-42.
- DUPONT (B.), FRAQUET (E.), 1972. — Étude bathymétrique et sédimentologique d'un bras du lac Tchad (Yakoua-Mandi). O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 50 p. *multigr.*
- CARMOUZE (J. P.), DUPONT (B.), 1971. — Nouvelles approximations sur la bathymétrie et la superficie du lac Tchad. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 1 p., 4 fig., *multigr.*
- CARMOUZE (J. P.) *et al.*, 1972. — Grandes zones écologiques du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, vol. VI, n° 2 : 103-169.
- CARMOUZE (J. P.), CHOURET (A.), DURAND (J. R.), 1973. — Données récentes sur l'évolution du lac Tchad en 1972-73. O.R.S.T.O.M., N'Djamena, 11 p. *multigr.*
- CHOURET (A.), LEMOALLE (J.), 1974. — Évolution hydrologique du lac Tchad durant la sécheresse (1972 à 1974). O.R.S.T.O.M., N'Djamena, 12 p. *multigr.*
- CHOURET (A.), LEMOALLE (J.), 1975. — Évolution hydrologique du lac Tchad (juillet 1974 - octobre 1975). O.R.S.T.O.M., N'Djamena, 6 p. *multigr.*
- CHOURET (A.), 1977. — La persistance des effets de la sécheresse sur le lac Tchad. O.R.S.T.O.M., N'Djamena, 14 p. *multigr.*
- CHOURET (A.), FRANC (J.), LEMOALLE (J.), 1974. — Évolution hydrologique du lac Tchad de juillet à décembre 1973. O.R.S.T.O.M., N'Djamena, 9 p. *multigr.*
- ROCHE (M. A.), 1971. — Géographie et éléments numériques sur la superficie et la bathymétrie du lac Tchad. O.R.S.T.O.M., N'Djamena, 7 p. *multigr.*
- ROCHE (M. A.), 1973. — Traçage naturel salin et isotopique des eaux du système hydrologique du lac Tchad. *Thèse Univ. Paris*. O.R.S.T.O.M., Paris, 398 p., *multigr.*
- TOUCHEBOEUF DE LUSSIGNY (P.), 1969. — Monographie hydrologique du lac Tchad. O.R.S.T.O.M., Paris, 169 p. *multigr.*