

BATHYMETRIE DU LAC DE TENGRELA POUR LA MISE EN EVIDENCE DE LA DYNAMIQUE DU COMPLEMENT

Abdoulaye B. SIRIMA¹,
Yélézoumin Stphane Corentin SOME^{2,1},
Augustin YAMEOGO², Dapola Evariste Constant DA¹

1. Laboratoire Dynamique des Espace et Société (LDES), Université Joseph Ki Zerbo ;
2. Laboratoire Sciences Humaines (LABOSH) Université Norbert Zongo
sirimaulrich@yahoo.fr

Résumé

Le comblement des retenues d'eau au Burkina Faso constitue une préoccupation majeure. Il est dû directement aux forts taux d'érosion des bassins versants. Cette sédimentation pose d'énormes problèmes : la réduction de la capacité de stockage, l'obturation des organes de vidange, la sécurité des ouvrages hydrauliques et même la modification de la qualité de l'eau. De plus, les connaissances sur le phénomène de comblement des plans d'eau de surface dans le pays, sont insuffisantes, cela ne permet pas de apprécier des problèmes et d'envisager leur résolution efficiente. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude qui vise principalement à évaluer l'ampleur du comblement du lac de Tengrela. La méthodologie repose sur des levés bathymétriques, des techniques d'interpolation des levés et le calcul du volume de sédiments à travers la formule de SARRAUS. On retient de cette étude l'effectivité du comblement du lac car le volume de dépôt estimé avoisine deux cent mille mètres cube pour l'année de mesure.

Mots clés : comblement des plans d'eau, bathymétrie, Lac Tengrela, Burkina Faso

Abstract

The filling of reservoirs in Burkina Faso is a major concern. It is directly due to the high erosion rates of the watersheds. This sedimentation poses enormous problems: the reduction of storage capacity, the obturation of draining organs, the safety of hydraulic works and even the modification of water quality. In addition, the knowledge on the phenomenon of filling surface water bodies in the country is insufficient; this does not allow a good appreciation of the problems and to envisage their efficient resolution. This is the context for this study, which mainly aims to assess the extent of the filling of Lake Tengrela. The objective of this work is to assess the level of filling of Lake Tengrela. The methodology is based on bathymetric surveys, survey interpolation techniques and the calculation of sediment volume using the SARRAUS formula. The effectiveness of the filling of the lake is retained from this study

because the estimated deposit volume is around two hundred thousand cubic meters for the measurement year.

Keywords: *filling of water bodies, bathymetry, Lake Tengrela, Burkina Faso.*

Introduction

En Afrique, le problème du comblement du lac Tchad a été posé depuis 1928 avec l'étude de Tilho cité par A. CHOURET, (1977 : 11) sur les variations et la disparition possible du Lac. A N'Djamena, les populations perçoivent l'ensablement du fleuve où, en période de basses eaux, les bancs de sable restent visibles plus longtemps (J. LEMOALLE, 2014 : 10). Aussi, il est même arrivé qu'à Chagoua, en mai 1985, le Chari s'arrête de couler (J. LEMOALLE et G. MAGRIN, 2014 : 885). La modification du régime des pluies a entraîné des apports importants de sédiments au fleuve par les petits affluents latéraux dont les bassins étaient endoréiques avant la sécheresse, (L. DESCROIX *et al.* 2009 : 90-102). Au Burkina Faso, il existe des petits barrages en terre dont plus de 300 sont fichés par le Comité Inter-Etats d'Etudes Hydrauliques (St-F. D'AT *et al.* 1985 : 355) ; On note cependant une carence des études approfondies dans le domaine de l'envasement des retenues d'eau. Pourtant, ce phénomène s'avère dramatique dans la mesure où la sédimentation dont il est la résultante, constitue " le plus grand fléau des barrages " (M. MANUS, 1985 : 68-158). Il se traduit en effet par le dépôt et la consolidation, au fil des années, d'une importante quantité de matériaux solides dans les barrages et autres retenues d'eau, entraînant progressivement leur comblement. Bien que ce phénomène se produise naturellement, les cours d'eau courent un risque de comblement à travers le ruissellement qui transporte des matières ou sédiments en solution, en suspension, par saltation ou par reptation qui se déposent dans les retenues d'eau. Ce mécanisme peut être aggravé par les activités agro-sylvo-pastorales. Dans la région de Kaya, le lac Dem est aujourd'hui menacé de disparition par l'accumulation de sable charrié par

plusieurs cours d'eau et ravines, surtout sur sa rive droite (E. BANDRÉ et D.E. C DA., 2004, : 27).

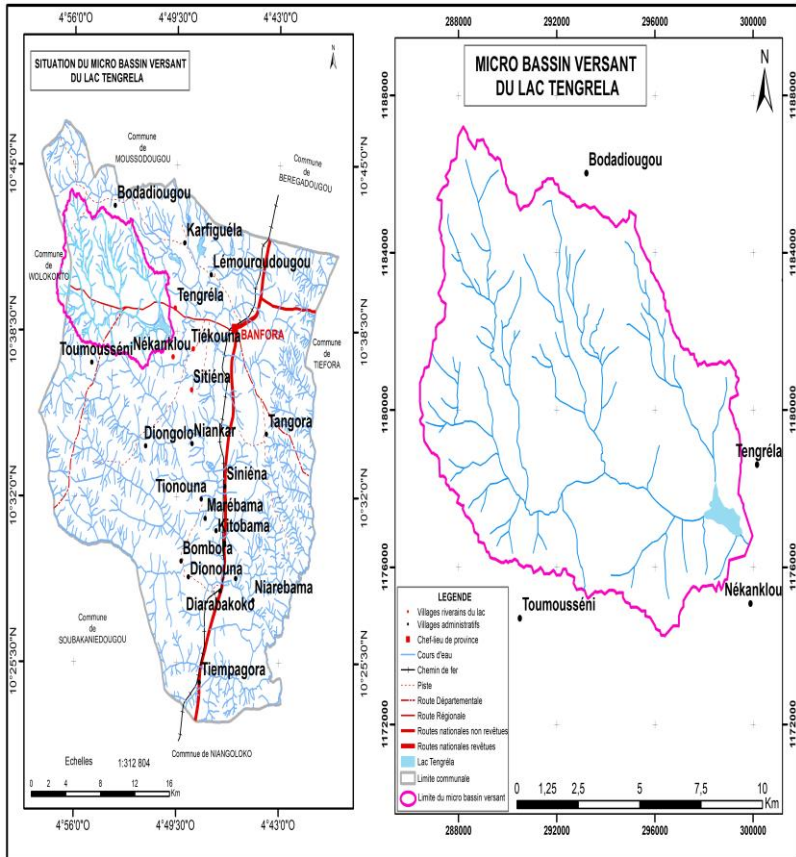
Dans le micro bassin versant (MBV) du lac de Tengrela, le couvert végétal est en régression continue au profit des terres de culture (Base Nationale de Données Topographiques, 2012). Ce couvert végétal protège le sol par le ralentissement de l'énergie cinétique des gouttes de pluie, son recouvrement aux périodes durant lesquelles le climat est des plus agressifs (fortes pluies, vents violents, etc.), la réduction de la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement, le maintien d'une bonne porosité facilitant une meilleure infiltration des eaux de pluie. Ce rôle protecteur de la végétation tend à disparaître lorsque cette dernière est fortement dégradée. C'est cette situation qui prévaut depuis quelques décennies dans le micro bassin versant du lac de Tengrela, provoquant ainsi son comblement. Au regard de cette situation préoccupante ainsi que des multiples enjeux liés au comblement du lac de Tengrela, nous nous sommes fixé comme objectif principal de travail, d'évaluer l'ampleur du phénomène de comblement que connaît le lac en déterminant le volume de sédiments déposé entre juillet 2018 et juillet 2019.

1. Présentation du milieu d'étude

1.1. Situation géographique

Le site d'étude est le lac de Tengréla. Il se situe à 7 kilomètres à la sortie de Banfora en direction de Sindou près du village de Tengréla entre 4°48'0" et 4°57'0" de longitude Ouest et 10°34'30" et 10°43'30" de latitude Nord. Ce lac est dans un micro-bassin du sous bassin versant de la Comoé. La majeure partie de ce micro bassin versant est dans la commune de Banfora et une petite partie se prolonge dans la commune de Wolokonto, au nord-ouest de la commune de Banfora.

Figure 1 : situation géographique du micro bassin versant



Source: BNDT 2012, images srtm

Projection UTM Zone 30 N

Production: A. SIRIMA Date: 12/02/2019

1.2. Cadre physique du milieu d'étude

Dans le micro bassin versant du lac de Tengréla règne un climat tropical à saison contrastée de type sud soudanien caractérisé par deux grandes saisons : une saison humide qui s'étale d'avril à octobre, une saison sèche qui couvre les mois de novembre à mars. La pluviométrie moyenne interannuelle a varié entre

648,2(en 2009) et 1219,5mm (en 2010), (Direction Régionale des Aménagements Agricoles et Hydrauliques/Cascades, 2018). Les températures moyennes annuelles varient entre 16,7°C (minimales moyennes) et 36°C (maximales moyennes), avec une amplitude thermique de 19°C. Les vitesses du vent sont généralement les plus élevées entre avril et septembre. Elles varient entre 2,4 m/s et 3,4 m/s. L'hygrométrie obtenue à partir des valeurs d'humidité moyenne mensuelle a varié entre 51,41% (plus basse valeur moyenne en 2008) et 56,83% en 2012, et cela, de 1989 à 2018. Quant aux moyennes annuelles des durées d'insolation, elles varient entre 6,79 heures (en 2005) et 8,15 heures (en 2017). Le régime hydrologique est tropical, avec des débits mensuels moyens variant entre 1,9 m³/s (en mars) et 109 m³/s (en septembre), sur la période de 1969 à 2019, (Direction Générale des Ressources en Eau, 2019). La variation de l'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle calculée à partir des moyennes journalières sur 28 ans montre une tendance générale à la hausse (Direction Générale de la Météorologie, 2019). Le milieu d'étude appartient au domaine phytogéographique pré-guinéen. La partie nord du bassin versant est dominée par la savane arborée et boisée, avec une intrusion par endroits de forêts galeries le long des cours d'eau. La nature et la diversité des sols, la relative abondance de la pluviométrie ont favorisé le développement d'une grande biodiversité végétale. Le micro bassin versant bénéficie d'une pluviométrie assez bonne compte tenu de sa situation entre les isohyètes 1000 et 1100 millimètres qui couvrent une grande partie du sous bassin versant de la Comoé auquel appartient notre milieu d'étude (PROGRAMME GIRE, 2001). La nature du sol est étroitement liée à la géologie et au climat. La majeure partie du bassin versant (centre et sud-ouest) est occupée par les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés moyennement profonds (4192,84 ha) avec des inclusions de sols peu évolués d'apports colluviaux modaux, de lithosols. Dans les bas-fonds alimentés par les cours d'eau, nous retrouvons des sols hydromorphes peu humifères à

pseudogley de surface, avec par endroits des inclusions des sols bruns tropicaux hydromorphes vertiques (BUNASol, 2004). Une intrusion mafique-ultramafique datant du Paléoprotérozoïque (21,79 ha), un complexe métamorphique et anatectique (7827,02 ha), un Bassin sédimentaire de Taoudéni du Néoprotérozoïque (2856,47 ha) composent la géologie du MBV (Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina, 2004). Les unités géomorphologiques du milieu d'étude sont en étroites relations à cause des inclusions pédologiques communes qu'elles comportent. Comme unités, nous avons un haut de glaciais, un bas de glaciais, des buttes rocheuses, et des bas-fonds (Bureau National des Sols, 2004).

2. Matériels et méthode

2.1. Méthode

Elle est basée sur des levés bathymétriques et une technique d'interpolation et d'estimation spatiale. Les levés ont été faits par bathymétrie au tachéomètre de 12886 points obtenus par échantillonnage systématique de 50x50m. Ils ont été faits en montée de crue, en juillet 2018 et juillet 2019.

Les points obtenus ont été utilisés pour calculer les cotes sur l'ensemble du bassin par interpolation spatiale. La technique d'interpolation est celle dite de l'IDW aux 12 plus proches voisins d'une distance carrée et résolution de 5m. A partir des levés bathymétriques, une différence d'altitude de 8,25 m est déterminée. Sur la base de l'interpolation, les calculs des profils (en long et en travers) sont tracés et les calculs des volumes en utilisant la formule de SARRAUS, $V_i = L_i/2 \times (S_i + S_{i+1})$.

L'estimation du comblement est obtenue par comparaison et le résultat est le différentiel entre les résultats des deux levés et leurs traitements.

2.2. Matériels de collecte des données de l'étude

Le matériel utilisé, est composé d'un tachéomètre électronique, d'un GPS et des logiciels de dessin.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats

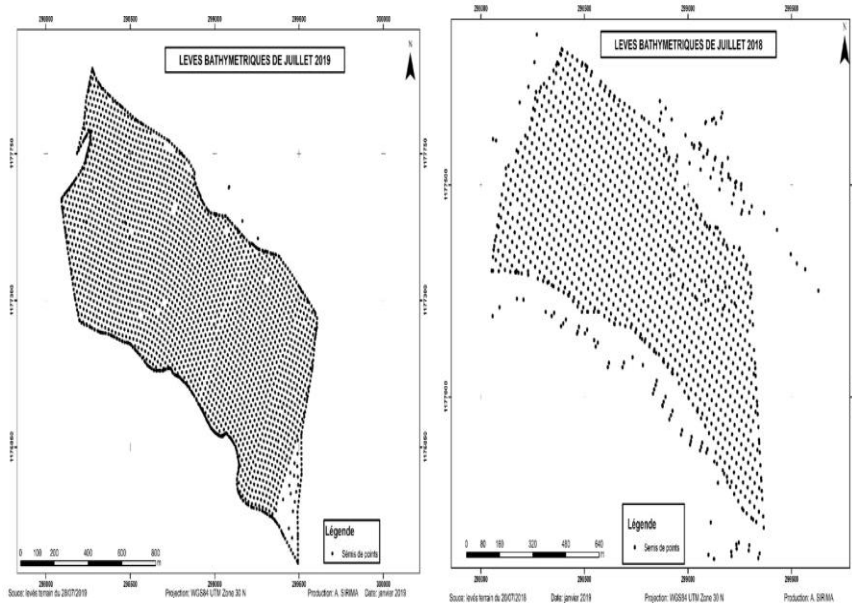
3.1.1. Levés ponctuels ou semis de points de la première campagne

L'accumulation des sédiments dans la retenue est estimée à partir de mesures bathymétriques répétées. La bathymétrie peut être décrite soit par des profils en travers, localisés le long de la retenue et plus ou moins espacés, soit à partir de courbes de niveaux obtenues par interpolation de mesures ponctuelles (L. GUERTAULT., 2006 : 270). Ici, l'option a été la description basée sur les levés ponctuels suivant le profil en long. La figure 5 présente l'ensemble des points obtenus par levés topographiques et par extrapolations (1288 points la première année).

3.1.2. Levés ponctuels ou semis de points de la deuxième campagne

Dans le but d'effectuer un calcul du volume de dépôt de sédiments dans le lac, une seconde campagne de levés bathymétriques a été menée en juillet 2019. La figure 2 présente l'ensemble des points obtenus par levés topographiques et par extrapolations (1288 point pour la première année et 2900 points la seconde année).

Figure 2 : levés bathymétriques de juillet 2019 Figure 3 : levés bathymétriques de juillet 2018



La bathymétrie réalisée en deux saisons de sondage en 2018 et 2019 a permis de calculer les cubatures à travers les profils en long et en travers du lac de Tengréla. Les levés ont couvert des superficies d'environ 60 ha et 100 ha respectivement pour les périodes de juillet 2018 et juillet 2019. Ces levés ont constitué la base des calculs de cubature qui ont permis d'évaluer le volume de sédiments déposés entre les deux périodes de levés.

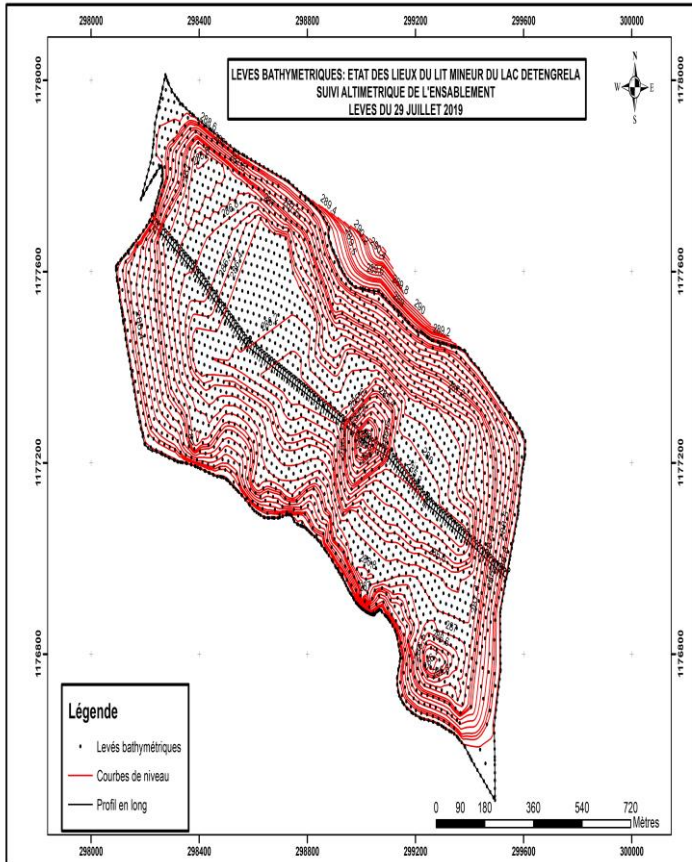
3.1.3. Calcul des cubatures

❖ Profil en long

Un profil en long est réalisé en effectuant une coupe suivant le plan vertical passant par l'axe du tracé. Le tracé est perceptible sur la figure 4. Les cotes sur ce tracé sont prises sur les courbes de niveau aussi visibles sur la même figure. Les éléments ainsi

considérés, permettent le montage graphique par superposition sur le profil en long du terrain.

Figure 4 : Cartographie du profil en long du lac



Source: Levés bathymétriques, juillet 2019

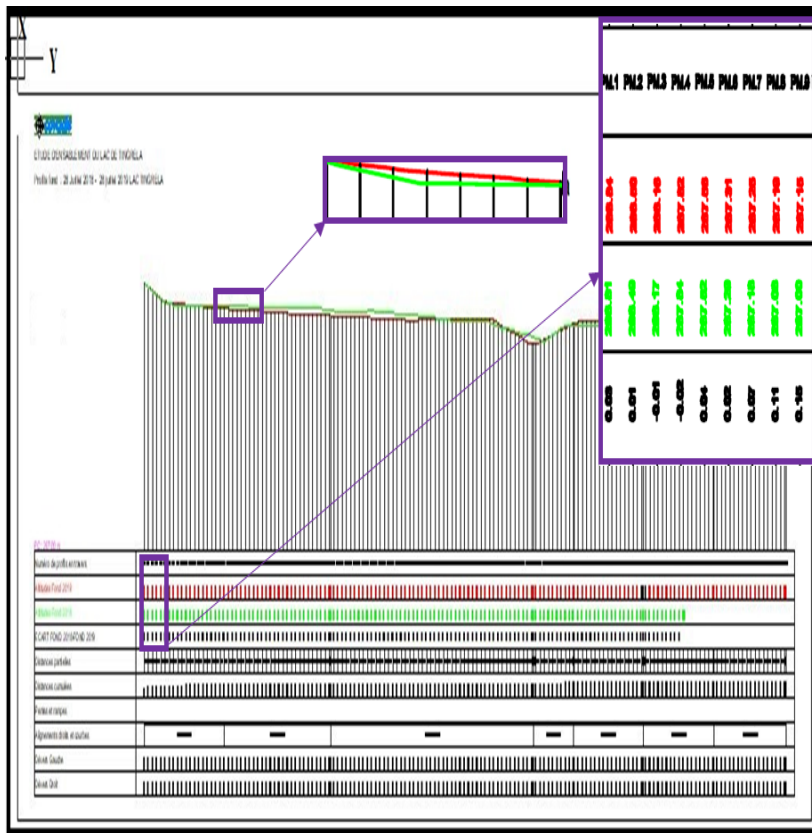
Projection: WGS84 UTM Zone 30 N Production: A. SIRIMADate: 14/05/2019

❖ Les profils en travers

Des sections transversales correspondant à chaque point du profil en long sont aussi effectuées. C'est-à-dire que nous avons pu réaliser les profils en travers par section suivant le profil en long du lac de Tengrela. La figure 5 présente les différentes sections d'un même profil en long obtenu. En

somme, 1023 profils transversaux ont été réalisés. La figure 5 présentant ces profils est calée sur une échelle de 1/200. Le profil entier pour être très bien lisible, devrait être imprimé en format A₀.

Figure 5 : Profils en long et en travers entiers des deux années de levés bathymétriques



Source : Levés bathymétriques terrain de juillet 2018 et 2019

A. SIRINA, Décembre, 2019

La figure ci-dessus présente deux courbes (tracés en rouge et en vert). Le tracé en rouge illustre l'état initial du fond du lac pendant les levés de juillet 2018, suivant le tracé du profil. Quant à la courbe en vert, elle présente l'état du fond du lac pendant les levés de juillet 2019. En situation normale, le tracé en vert devait demeurer au-dessus du tracé en rouge, car celui-ci est ultérieur au premier tracé de 2018. Mais par endroits l'on constate l'inverse. Cela s'explique par un départ de sédiments, donc un déblai en ces endroits. Ainsi, les endroits où le tracé en vert est au-dessus, correspondent à une zone de remblai, c'est-à-dire un dépôt de sédiments. La cubature a consisté au calcul des volumes de terre à enlever (déblais) et les volumes à apporter (remblais). Pour y parvenir, le principe est basé sur les éléments suivants : le profil en long, les profils en travers, les distances entre les profils transversaux. Les profils en long et les profils en travers doivent comporter un certain nombre de points suffisamment proches pour que les lignes qui joignent ces points soient différents le moins possible de la ligne du terrain qu'il représente. A partir des levés bathymétriques, nous avons pu déterminer la différence d'altitude entre fond du lac (284 m) et les berges (292,25m), soit une différence de 8,25 m. Sur la base du principe de calcul défini dans la partie méthodologique, en nous basant sur le précédent principe de calcul des cubatures par profil en long et en travers, nous avons pu, à partir des levés bathymétriques des différentes années, calculer les cubatures du lac de Tengréla. Les résultats des calculs de cubatures sont présentés dans la suite du travail.

❖ Les cubatures

Tous les points étant levés, leurs cotes sont connues. Cela a permis de faire une représentation des profils en superposant les deux sections de terrain, puis de procéder au calcul de cubatures. Partant des cotes dont les valeurs sont connues (m) l'altitude de

chaque point (définie en mètre) en fonction des distances altimétriques notées sur chaque profil. Les figures géométriques délimitées par les traits des profils sont repérées et leurs surfaces (verticales) calculées. Elles sont appelées surfaces de déblai ou de remblai et elles sont de formes triangulaires ($Aire = (base \times hauteur) / 2$) ou parallélogrammes (dont la formule du trapèze de la surface est : $[(\text{petite base } (b) + \text{grande base } (B)) \times \text{Hauteur}] / 2$). Il en est ainsi, pour toutes les figures des profils 1, 2, 3, 4, ...n, n+1, en prenant soin de faire deux catégories de surfaces, les « remblais » et les « déblais ».

Une fois toutes les surfaces calculées, une moyenne des surfaces (Moyenne Surface Remblai et Moyenne Surface Déblai), les résultats obtenus sont en m^2 (donc en deux dimensions), les surfaces sont multipliées par la ou les distances inter-profils afin de passer en trois dimensions et donc en volume (m^3), et obtenir les volumes de remblai et de déblai. Ainsi, le volume total de déblai pour passer du MNT 1 au MNT 2 est de $100409,19 m^3$ et le volume total de remblai pour passer du MNT 1 au MNT 2 est de $195813,24 m^3$. Ce volume total de remblai représente la quantité de sédiment déposée entre juillet 2018 et juillet 2019. Ce volume de sédiment est la preuve que le lac se comble.

Tableau n°1 : Calcul de cubatures par profils entre deux M.N.T.

COVADIS – CALCUL DE CUBATURES PAR PROFILS								
Volume total de déblai pour passer de MNT 1 au MNT 2 (m^3) :				100409,19				
Volume total de remblai pour passer de MNT 1 au MNT 2 (m^3) :				195813,24				
Profil n°	Abscisse (m)	Long. Appli (m)	DEBLAIS			REMBLAIS		
			Surface (m^2)	Volume (m^3)	Cumul (m^3)	Surface (m^2)	Volume (m^3)	Cumul (m^3)
P1	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P2	1,50	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P3	3,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P13	18,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P14	19,50	1,50	0,00	0,00	0,00	10,19	15,29	15,29

.....
P59	87,00	1,50	0,00	0,00	0,00	269,55	404,33	16146,65
P60	88,50	1,50	0,01	0,02	0,02	269,32	403,98	16550,64
.....
P1020	1519,50	1,50	0,00	0,00	100409,19	0,00	0,00	195813,24
P1021	1521,00	1,50	0,00	0,00	100409,19	0,00	0,00	195813,24
P1022	1522,50	1,23	0,00	0,00	100409,19	0,00	0,00	195813,24
P1023	1523,45	0,48	0,00	0,00	100409,19	0,00	0,00	195813,24

Source : levés bathymétriques de juillet 2018 juillet 2019

A. SIRIMA, 2019

Le tableau montre quelques profils de calcul en travers. Ne pouvant présenter tout le tableau (car très volumineux), nous avons juste présenté une section. En réalité, 1023 profils ont été réalisés pour le calcul de cubature. Au regard du résultat obtenu, relativement à la question de l'ampleur du comblement du lac de Tengrela, l'hypothèse selon laquelle le lac de Tengrela connaît une dynamique de comblement accélérée est confirmée.

3.1.4. Cartographie bathymétrique

Lorsque la densité des données bathymétriques est suffisante, la création d'un modèle numérique de terrain permet le calcul des différences bathymétriques et leur cartographie (J. BRASINGTON *et al.*, 2000 : 973–990 ; J. M. WHEATON *et al.*, 2010 : 136–156). La différence entre deux campagnes permet d'obtenir le volume déposé (V. VANONI, 1977 : 418 ; J. FAN et L. MORRIS, 1998: 784) et de localiser les zones de dépôt. Cette méthode d'estimation du comblement des retenues est très répandue (I. C. FULLER et al., 2003 ; N. P. SNYDER et al., 2004), mais son application est difficile à mettre en œuvre pour les retenues de très grande taille car elle nécessite une importante quantité de données.

❖ Cartographie bathymétrique de 2018

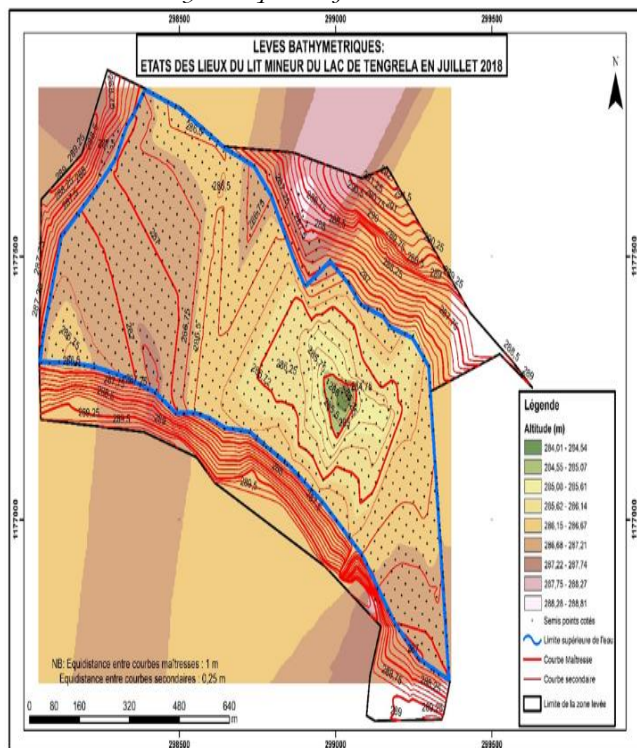
Les levés bathymétriques réalisés sur le lac de Tengrela en juillet 2018 ont permis la production de la carte ci-dessous. Les isobathes ont été générées automatiquement sur la base des

sondages de terrain des deux campagnes, par interpolation de surface raster à partir des points, à l'aide d'une méthode de pondération par l'inverse de la distance, dite la méthode de l'inverse distance (IDW).

❖ La cartographie bathymétrique de 2019

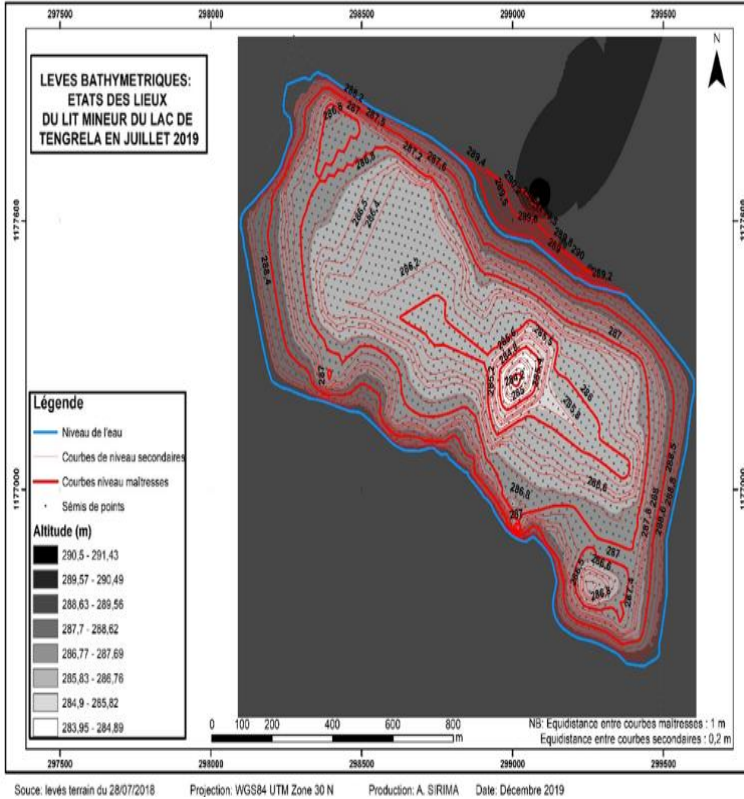
Pour augmenter la chance d'obtenir de bons résultats, les levés de la deuxième campagne de 2019 ont été effectués sensiblement pendant la même période que la première campagne. Les données de sondage obtenues et traitées suivant la même méthode utilisée que précédemment, ont permis de réaliser les cartes bathymétriques suivantes :

Figure 6 : Courbes bathymétriques de juillet 2018



Source: levés terrain du 20/07/2018 Projection: WGS84 UTM Zone 30 N Production: A. SIRIMA Date: janvier 2019

Figure 7 : Courbes bathymétriques de juillet 2019



4. Discussion

Les résultats de l'étude sont obtenus à partir de levés bathymétriques réalisés en deux étapes. La première étape a consisté aux levés bathymétriques du fond lacustre en juillet 2018 sur une surface d'environ 60 ha. La seconde étape a aussi consisté aux levés bathymétriques des mêmes fonds lacustres en juillet

2019. Ces données ont permis de déterminer le volume de sédiments qui s'est déposé entre les deux périodes de levés bathymétriques, entre juillet 2018 et juillet 2019 et de réaliser des cartes bathymétriques.

A partir de levés bathymétriques, F. HINSCHBERGER *et al* 2003, : 545-560 présentent une nouvelle carte bathymétrique des bassins marins de l'Est indonésien où la topographie et la morphologie sont l'expression des phénomènes externes aussi bien qu'internes. A ce titre, ils ont voulu confronter leurs informations aux connaissances structurales issues en particulier des données sismiques pour mettre en évidence les correspondances mais aussi les problèmes. Selon eux, l'apport de la bathymétrie et de la morphologie est primordial, au même titre que la gravimétrie, pour étendre à 3 dimensions les observations géophysiques ou géologiques ponctuelles ou réalisées le long de profils. De même, l'usage des données issues de levés bathymétriques est aussi mentionné par d'autres auteurs à des fins multiples et de différentes manières. L'accumulation des sédiments dans une retenue peut être estimée à partir de mesures bathymétriques répétées. La différence entre deux campagnes permet d'obtenir le volume déposé (V. VANONI, 1977 : 418 ; J. FAN et. L. MORRIS, 1998: 784) et de localiser les zones de dépôt. La bathymétrie peut être décrite soit par des profils en travers, localisés le long de la retenue et plus ou moins espacés, soit par des courbes de niveaux obtenues à partir de l'interpolation de mesures ponctuelles. Quant à J. FAN et. L. MORRIS,(1998) in L. GUERTAULT, (2006: 270): *Évaluation des processus hydro-sédimentaires d'une retenue de forme allongée: application à la retenue de Génissiat sur le Haut-Rhône*, ces derniers estiment qu'il existe plusieurs méthodes de calcul des volumes à partir de profils en travers. Lorsque la densité des données bathymétriques est suffisante, la création d'un modèle numérique de terrain permet le calcul des différences bathymétriques et leur cartographie (J. BRASINGTON *et al.*, 2000 : 973–990 ; J. M. WHEATON et al., 2010 *et al.*, 2010 : 136–156). Cette méthode d'estimation du

comblement des retenues est très répandue, mais son application est difficile à mettre en œuvre pour les retenues de très grande taille car elle nécessite une importante quantité de données (I. C. FULLER *et al.*, 2003 889–903 ; N. P. SNYDER *et al.*, 2004 : 19). Les résultats auxquels nous sommes parvenus, sont semblables à ceux de nombreux auteurs ci-dessus cités. Il en est de même pour notre méthodologie adoptée, car à partir des levés bathymétriques de deux périodes différentes, ces auteurs sont aussi parvenus à des résultats probants, à savoir la réalisation de cartes bathymétriques et l'estimation de dépôts sédimentaires. C'est-à-dire que certains ont pu élaborer des cartes bathymétriques de zones précises et estimer les volumes de sédiments déposés aux fonds de retenues d'eau. Dans notre étude, à partir d'une quantité de données bathymétriques suffisante, des modèles numériques de terrain ont été créés, permettant le calcul numérique des différences bathymétriques et leur cartographie. Aussi, l'accumulation des sédiments dans le lac de Tengrela a-t-elle été estimée à partir de mesures bathymétriques répétées. C'est-à-dire que la différence entre deux campagnes a permis d'obtenir le volume de sédiments déposés.

Conclusion

Grâce aux levés bathymétriques ayant couvert une très grande partie du lac de Tengrela, il a été possible de calculer le volume de sédiments déposés au fond du lac durant une période comprise entre deux saisons pluvieuses successives et d'établir une carte bathymétrique détaillée du lac. Celle-ci pourra être utilisée pour des travaux d'aménagement du lac à de multiples fins (tourisme, agriculture, pisciculture, etc...). La même méthode peut être employée sur différents autres lacs, pour peu et autant que des levés bathymétriques très fournis, effectués à des niveaux de profondeur différents, aient été réalisés.

Bibliographie

- A. CHOURET**, 1977, « Régime des apports fluviaux des matériaux solides en suspension vers le lac Tchad. Synthèse des études de l'ORSTOM en République du Tchad. N'Djamena » : ORSTOM, 1977, P.11
- E. BANDRÉ et D.E. C. DA**, 2004, « impact de la dynamique du couvert végétal sur l'ensablement du lac de DEM au Burkina Faso », P. 27
- J. BRASINGTON et al.**, 2000. « Monitoring and modelling morphological change in a braided gravel-bed river using high resolution GPS-based survey. *Earth Surface Processes and Landforms.* », P 973–990.
- St-F. D'AT et al.** 1985 « Petits barrages en terre au Burkina Faso. Bilan et analyse critique », CIEH-Ouagadougou. P355
- L. DESCROIX et al.** 2009, « Spatiotemporal variability of hydrological regimes around the boundaries between Sahelian and Sudanian areas of West Africa: synthesis. », P 90-102.
- J. FAN et L. MORRIS**, 1998 « Reservoir Sedimentation Handbook », P 784
- I. C. FULLER et al.**, 2003 « Reach-scale sediment transfers: an evaluation of two morphological budgeting approaches. *Earth Surface Processes and Landforms.* ». P 889–903
- L. GUERTAULT**, 2006 « Évaluation des processus hydro-sédimentaires d'une retenue de forme allongée ». P 270
- F. HINSCHBERGER et al** 2003 : « Contribution of bathymetry and geomorphology to the geodynamics of the East Indonesian Seas, bulletin de la société géologique de France », vol 174, n°6, P 545-560
- L. LAPOINTE et G. MEYER**, 1997 : 270. « Topographie appliquée aux travaux publics, bâtiments et levés urbains. Eyrolles ».
- J. LEMOALLE, et al**, 2014, « Le développement du lac Tchad : Situation actuelle et futurs possibles », P. 885.
- J. LEMOALLE**, 2014, « Apports sédimentaires et ensablement », P 10.
- M. MANUS**, 1985 « Les mécanismes physiques de la sédimentation des retenues. UNESCO, Méthodes de calcul de la sédimentation dans les lacs et les réservoirs. Contribution au Programme Hydrologique International. PHI - II Project. A. 2. 6. 1 Panel », p. 68-158.
- N. P. SNYDER et al.**, 2004 « Estimating accumulation rates and physical properties of sediment behind a dam : Englebright Lake, Yuba River, northern California. *Water Resources Research* », 40(11) : P 19.
- J. TILHO**, 1928 « Variations et disparition possible du Tchad ». *Annales de Géographie* 37, n° 207 (1928): 238-260.
<https://doi.org/10.3406/geo.1928.9299>.

V. VANONI, 1977 « *Sedimentation Engineering. American Society of Civil Engineers* ». P 418

J. M. WHEATON et al., 2010. « *Accounting for uncertainty in DEMs from repeat topographic surveys: improved sediment budgets. Earth Surface Processes and Landforms.* », P 136–156.