

Detection du changement de bathymetrie et de volume d'eau dans le lac de Lagdo au nord Cameroun

Kenn Metou'ou

Ingénieur Halieute/Master II Pro Cartographie, SIG & Télédétection;
Professeur de Collèges d'Enseignement Technique et Professionnel en
Informatique; Université de Yaoundé I, Cameroun;
Ministère des Enseignements Secondaires, Cameroun

Approved: 08 July 2026
Posted: 10 July 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Metou'ou, K. (2026). *Detection du changement de bathymetrie et de volume d'eau dans le lac de Lagdo au nord Cameroun*. ESI Preprints.
<https://doi.org/10.19044/esipreprint.7.2026.p201>

Résumé

Depuis quelques années maintenant on observe en période de basses eaux des affleurements sableux à certains endroits du lac de Lagdo, cette situation est le résultat de la sédimentation du lac sous l'effet conjugué de l'ensablement et de l'envasement constant dans cette retenue (MEADEN, 2005). Le comblement du lac de Lagdo est favorisé par les phénomènes : d'érosion éolienne et des eaux de ruissellement dû à la perte du couvert végétal (Bappa, 2017 ; Douga & Djiangoue, 2020). La présente étude s'est concentrée à l'identification des changements de bathymétrie et de volume d'eau dans le lac de Lagdo, à l'aide de séries temporelles des images du capteur multispectral Sentinel-2A. Après une correction radiométrique, les valeurs de radiances ont servi de données d'entrée pour une correction atmosphérique FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes). Les bathymétries ont été estimées en appliquant la méthode empirique de la bathymétrie dérivée par satellites de Traganos et al., (2018), une méthode linéaire se servant d'une carte bathymétrique de référence et d'un rapport logarithmique entre la bande bleue et la bande verte d'un capteur spectral ou multispectral. Les coefficients de détermination R^2 obtenus sont de : 0.98, 0.97, 0.95 et 0.98 respectivement en décembre 2018, en décembre 2020, en décembre 2022 et en 08 décembre 2024. Les profondeurs les plus élevées sont de : 32 m, 33 m, 32 m et de 33 m

respectivement en décembre 2018, en décembre 2020, en décembre 2022 et en décembre 2024. Les gains et les pertes de profondeurs par rapport à la carte bathymétrique de référence ont été observés. La perte la plus importante est en décembre 2022 soit de 2.75 m à et le gain le plus important est en décembre 2020 soit de 4.8 m. De façon générale, les gains sont plus importants en décembre 2024 soit de 64%, ces gains sont plus observés les dix-sept premiers mètres mais aussi à 28 m. Tandis que la perte la plus importante est en décembre 2022 soit de 53%, les pertes se focalisent entre 18 m et 27 m. Quant aux volumes d'eau, ils ont été obtenus en appliquant la méthode de Marin (2019) sur les tables d'attributs des images de bathymétries estimées. Les volumes d'eau calculés ont une tendance en dents de scie avec des zones de pic différentes, qui alternent entre 12 m et 19 m. En décembre 2018 le volume d'eau estimé est de 6.184.392.500 m³ avec un pic entre 12 et 15 m, en décembre 2020 le volume d'eau est de 7.727.748.900 m³ avec un pic entre 16 m et 19 m, en décembre 2022 le volume d'eau est de 6.196.685.500 m³ avec un premier pic entre 12 m et 15 m et un deuxième pic entre 22 m et 24 m et en décembre 2024 le volume d'eau est de 7.727.748.900 m³ avec un pic entre 16 m et 19 m.

Mots-clés : Télédétection, lac de Lagdo, bathymétrie, Sentinel-2A, FLAASH

Detection of Changes in Bathymetry and Water Volume in Lake Lagdo in Northern Cameroon

Kenn Metou'ou

Fisheries Engineer/Master's in Cartography, GIS & Remote Sensing;
Lecturer in Computer Science at Technical and Vocational Colleges;
University of Yaoundé I, Cameroon;
Ministry of Secondary Education, Cameroon

Abstract

For several years now, sandy outcrops have been observed in certain areas of Lake Lagdo during periods of low water; this situation is the result of sedimentation in the lake caused by the combined effects of siltation and constant silting in this reservoir (MEADEN, 2005). The silting up of Lake Lagdo is exacerbated by wind erosion and runoff caused by the loss of vegetation cover (Bappa, 2017; Douga & Djiangoue, 2020). This study focused on identifying changes in bathymetry and water volume in Lake Lagdo using time series of images from the Sentinel-2A multispectral sensor. After radiometric correction, the radiance values were used as input data for FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes)

atmospheric correction. Bathymetries were estimated using the empirical satellite-derived bathymetry method developed by Traganos et al. (2018), a linear method that utilizes a reference bathymetric map and a logarithmic ratio between the blue and green bands of a spectral or multispectral sensor. The coefficients of determination R^2 obtained are: 0.98, 0.97, 0.95, and 0.98, respectively, in December 2018, December 2020, December 2022, and December 8, 2024. The greatest depths are: 32 m, 33 m, 32 m, and 33 m, respectively, in December 2018, December 2020, December 2022, and December 2024. Depth gains and losses relative to the reference bathymetric map were observed. The largest loss occurred in December 2022, amounting to 2.75 m, and the largest gain occurred in December 2020, amounting to 4.8 m. In general, the gains are greatest in December 2024, at 64%; these gains are most pronounced in the first 17 meters but are also observed at 28 m. Meanwhile, the largest loss occurs in December 2022, at 53%; the losses are concentrated between 18 m and 27 m. As for water volumes, they were obtained by applying Marin's (2019) method to the attribute tables of the estimated bathymetric images. The calculated water volumes exhibit a sawtooth pattern with varying peak zones, alternating between 12 m and 19 m. In December 2018, the estimated water volume was 6,184,392,500 m³ with a peak between 12 and 15 m; in December 2020, the water volume was 7,727,748,900 m³ with a peak between 16 m and 19 m; in December 2022, the water volume is 6,196,685,500 m³ with a first peak between 12 m and 15 m and a second peak between 22 m and 24 m, and in December 2024, the water volume is 7,727,748,900 m³ with a peak between 16 m and 19 m.

Keywords: Remote sensing, Lake Lagdo, bathymetry, Sentinel-2A, FLAASH

Introduction

La détermination précise de la bathymétrie est importante à la gestion des installations industrielles, aux opérations de dragage, à la prévision du remplissage des chenaux, à la navigation et à la pêche (*J. Gao, 2009*). Quant à l'évolution du volume d'eau du lac, elle est utilisée pour établir le bilan hydrique du lac, puis pour analyser les principaux facteurs de contrôle de ce bilan dans différentes régions climatiques (*Lin et al., 2020*). Depuis quelques années on observe en période de basses eaux des affleurements sableux à certains endroits du lac de Lagdo, cette situation est le résultat de la sédimentation du lac sous l'effet conjugué de l'ensablement et de l'envasement constant dans cette retenue (*MEADEN, 2005*). Le comblement du lac de Lagdo est favorisé par des phénomènes : d'érosion éolienne et des eaux de ruissellement dû à la perte du couvert végétal (*Bappa, 2017 ; Douga & Djiangoue, 2020*). L'ensablement de la retenue de

Lagdo a comme effet principal la diminution de la capacité de stockage de cet ouvrage (MEADEN, 2005). De ce fait, la navigation des pêcheurs devient pénible, la capture de la ressource halieutique diminue, une insuffisance à l'approvisionnement en eau des turbines du barrage hydro-électrique et à l'irrigation. En général, les données pour déterminer la bathymétrie sont collectées par des équipements de pointe coûteux tels que : les données lidars aéroportés (Saylam et al., 2018) ou les systèmes d'échosondeurs multifaisceaux (Ierodiaconou et al., 2018) . Quant à l'estimation du volume d'eau des lacs, les méthodes sont généralement combinées à des données topographiques du fond du lac ou à des données de modèles de stockage de surface (Foteinopoulos, 2009; Furnans & Austin, 2008; Smith & Pavelsky, 2009; Wilcox & Los Huertos, 2005) . Ces contraintes techniques, de coût et de temps ne sont pas souhaitables dans un contexte de suivi continu et automatisé de la bathymétrie et du volume d'eau du lac de Lagdo. La méthode de télédétection telle que la bathymétrie dérivée par satellite (en anglais : Satellite-Derived Bathymetry (SDB)), permet l'acquisition rapide et à intervalles relativement réguliers d'une bathymétrie offrant une précision suffisante pour le suivi de changements de profondeur sur de grandes superficies (Caballero & Stumpf, 2019). De cette bathymétrie dérivée par satellite, un calcul automatique est appliqué pour estimer le volume d'eau selon la méthode de Marin (2019). Bien que conçue principalement pour des applications terrestres, la nouvelle génération de capteurs multispectraux tels que : Landsat 8 et Sentinel-2, offrent des opportunités sans précédent pour la télédétection des lacs (Dörnhöfer et al., 2016 ; Palmer et al., 2015). Les analyses de sensibilité et de données de terrain basées sur des modèles ont révélé un potentiel élevé de Sentinel-2 pour la récupération des constituants de l'eau (Manzo et al., 2015; Kutser et al., 2016) et la cartographie des substrats de fond (Dörnhöfer et al., 2016). Le lac de Lagdo étant constamment sous l'effet conjugué de l'ensablement et de l'envasement (MEADEN, 2005). Il est nécessaire et urgent qu'un suivi spatio-temporel continu et automatisé de la bathymétrie et du volume d'eau se mette en place, vu l'importance des services écosystémiques que rend ce lac tels que : l'énergie électrique, l'irrigation et la pêche.

Matériel et méthodes

Présentation de la zone d'étude

Le lac de Lagdo est un lac de barrage sur la rivière Bénoué, situé dans la région du Nord Cameroun, ce lac se partage entre deux départements à savoir le Mayo Rey et la Bénoué, plus précisément les arrondissements de Lagdo et de Rey Bouba. Il s'étend entre latitude 08.71 N et 09.04 N et entre longitude 13.65 E et 14.08 E. Le lac de Lagdo a une superficie 484 km² et une profondeur de 32 m (figure 1).

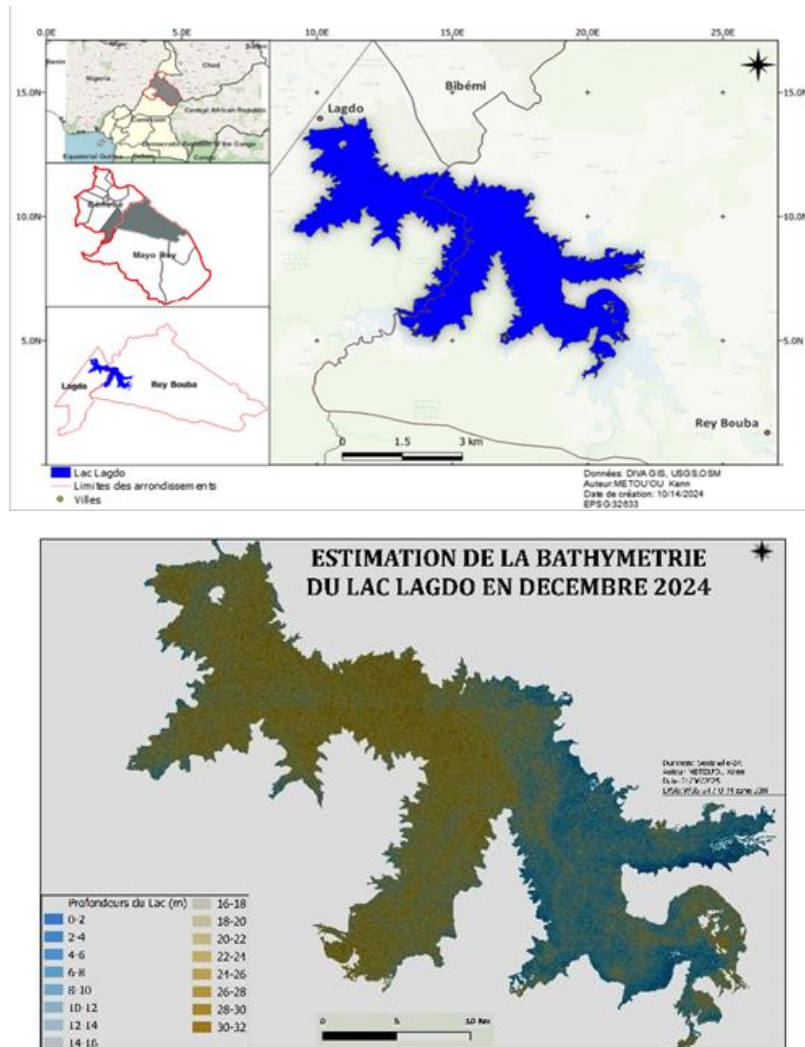


Figure 1 : À gauche localisation, à droite bathymétrie du lac de Lagdo

Estimation de la bathymétrie

Premièrement les images satellitaires provenant du capteurs Sentinel-2A (MSI), ont été acquises le 20 décembre 2018, le 24 décembre 2020, le 19 décembre 2022 et le 08 décembre 2024. Celles-ci ont été choisies en décembre parce que ce mois marque effectivement le début de la saison sèche avec une température de 25°C (Djoufack, 2011), avec des eaux moins troubles. Ces images ont été sélectionnée également en raison de leur excellente qualité. Deuxièmement, une carte bathymétrique de référence a été téléchargée dans le site web de l'Association des Journalistes Africains pour l'Environnement - AJAE (<https://ajafe.info/atlas-des-statistiques-de-lenvironnement-au-cameroun-part-i/carte-bathy/>).

Prétraitement d'images

Pour avoir les valeurs de réflectance des bandes spectrales bleue et verte, qui sont utilisées dans notre étude, nous avons commencé par faire une calibration radiométrique pour transformer les valeurs numériques du capteur Sentinel- 2A en radiance. La radiance spectrale, se produit lorsque les pixels sont convertis des nombres numériques en unités de radiance absolue. Puis, ces valeurs de radiances ont servi de données d'entrée pour la correction atmosphérique FLAASH. Cet algorithme supprime les effets de diffusion et d'absorption de la lumière par l'atmosphère, permettant ainsi d'obtenir une estimation plus précise de la réflectance de surface.

Traitement d'images

La méthode de modélisation empirique utilisée est le ratio logarithmique entre les bandes bleues et vertes, proposée par Stumpf et al., (2003;) et modifiée par Traganos et al., (2018).

$$Z = m_1 \left(\frac{\ln(R(\lambda_B))}{\ln(R(\lambda_V))} \right) - m_0$$

Où :

Z est la bathymétrie ou la profondeur estimée, m_1 est une constante pour calibrer le ratio de la profondeur, (λ_B) est la réflectance de la bande bleue, (λ_V) est la réflectance de la bande verte et m_0 représente le décalage par rapport à la profondeur de 0 m. Les constantes m_1 et m_0 sont déterminées à partir d'une régression linéaire, ayant pour variable indépendante les valeurs de l'indice de profondeur (rapport entre les valeurs logarithmiques de réflectance de la bande verte et de la bande bleue) et comme variable dépendante les valeurs de la carte bathymétrique de référence.

Estimation volume d'eau

Le suivi temporel du volume d'eau du lac de Lagdo a été fait en se servant de la table d'attributs obtenue de la bathymétrie dérivée par satellite. De ces informations, le volume d'eau a été calculé automatiquement en appliquant sur chaque cellule la formule suivante :

$$V = \text{cell size} * \text{value} * \text{count}$$

Cette formule n'est pas standard, elle est liée à l'analyse de données, notamment dans le domaine du comptage cellulaire en biologie (Marin, 2019).

Où :

cell size : fait référence à la dimension de chaque cellule ;

value : représente le contenu ou la donnée associée à chaque cellule ;

count : indique la quantité de cellules considérés.

Résultats

Estimation de la bathymétrie dérivée par satellite

La bathymétrie estimée en décembre 2018 révèle un coefficient de détermination $R^2 = 0.98$, avec un maximum de profondeur de 32 m. La surestimation est observée de 1 m à 16 m mais également à 28 m et une sous-estimation entre 17 m et 27 m (figure 2a). En décembre 2020, nous avons un coefficient de détermination $R^2 = 0.97$ avec un maximum de profondeur de 33 m. Une surestimation allant premièrement de 2 m à 13 m, deuxièmement à 28 m. Quant à la sous-estimation elle est perçue à 1 m et entre 14 m et 25 m (figure 2b). Le mois de décembre 2022 montre un coefficient de détermination $R^2 = 0.95$ avec un maximum de profondeur de 32 m. La surestimation se révèle d'abord entre 7 m et 18 m, puis à 28 m. Par contre la sous-estimation commence entre de 1 m à 6 m et se termine entre 19 m et 27 m (figure 2c). Le coefficient de détermination $R^2 = 0.98$ en décembre 2024 avec un maximum de profondeur de 33 m, la surestimation se trouve entre 1 m à 17 m, puis à 28 m. La sous-estimation se réfère à l'intervalle fermée de 18 m à 27 m (figure 2d).

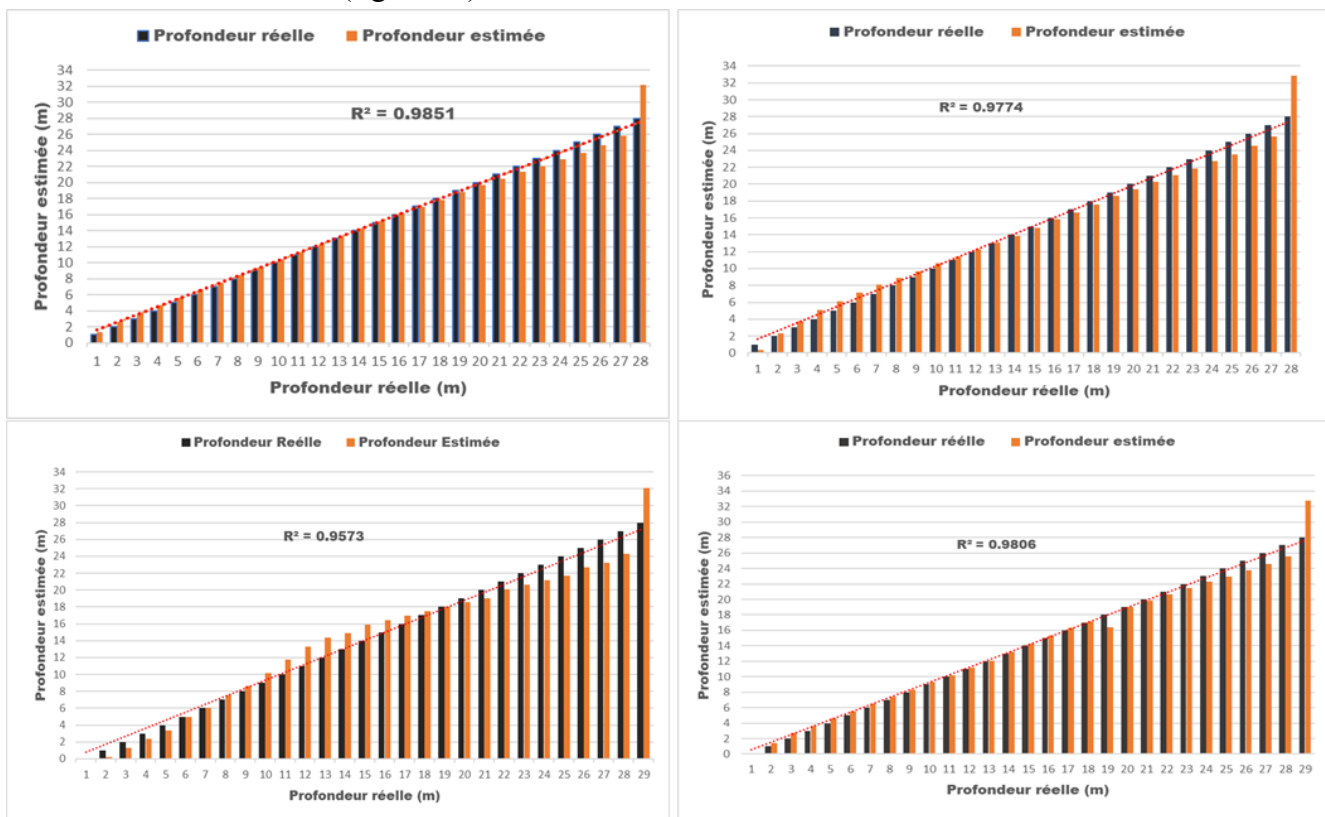


Figure 2 : Distribution entre la profondeur réelle et la profondeur estimée dans le lac de Lagdo en décembre 2018 (a), décembre 2020(b), décembre 2022(c) et décembre 2024(d)

Le coefficient de détermination R^2 entre les années étant supérieur ou égal à 0.95 indique la fiabilité de nos résultats, cela serait les conséquences : d'une faible quantité de turbidité et d'un fond uniforme du lac de Lagdo en cette période d'année, aux performances élevées des algorithmes de correction radiométrique et atmosphérique, mais aussi à la résolution spatiale de 10 m qu'offre le capteur Sentinel-2A.

D'une manière générale les profils bathymétriques estimées sont quasiment semblables, sauf en décembre 2022 telle que nous révèle la figure 3.

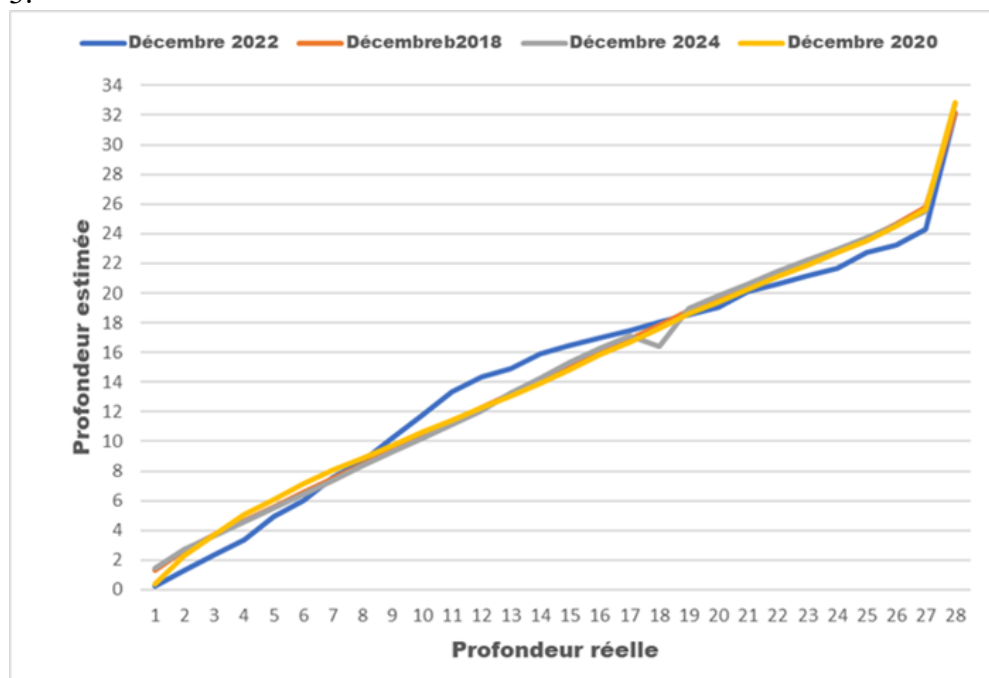


Figure 3 : Différence d'évolution temporelle de la profondeur estimée dans le lac de Lagdo en décembre 2018 (a), décembre 2020(b), décembre 2022(c) et décembre 2024(d)

Par contre nous observons des différences interannuelles entre les zones de surestimation et sous-estimation des bathymétries estimées tel que nous présente le tableau 1.

Tableau 1 : Proportion des zones de surestimation et sous-estimation dans le lac de Lagdo en décembre 2018, en décembre 2020, en décembre 2022 et en décembre 2024

	Les zones de surestimation (m)	%	Les zones de sous-estimation (m)	%
Décembre 2018	1 à 16	57	17 à 27	39
	28	4		
	Total	61	Total	39
Décembre 2020	2 à 13	43	14 à 26	43
	28	4	1	4
	Total	47	Total	47
Décembre 2022	7 à 18	43	1 à 6	21
	28	4	19 à 27	32
	Total	47	Total	53
Décembre 2024	1 à 17	61	18 à 27	36
	28	4		
	Total	64	Total	36

Estimation volume d'eau

Le volume d'eau estimé le 20 décembre 2018 est 6.184.392.500 m³, avec une forme quasiment en cloche. Le maximum de volume d'eau est observé entre 12 m et 15 m atteignant un pic de 1.000.000.000 m³ (figure 4a). Le 24 décembre 2020 la courbe du volume d'eau apparaît comme une distribution asymétrie étalée à droite avec un volume estimé de 7.727.748.900 m³ soit un maximum de 1.268.546.800 m³ aux environs de 16 m et 19 m (figure 4b). Nous observons une distribution bimodale le 19 décembre 2022, avec un premier pic de 2.069.342.600 m³ aux abords de 12 m et 15 m et un deuxième pic de 929.200 m³ aux alentours de 22 m et 24 m (figure 4c), le volume d'eau estimé est 6.196.685.500 m³. La figure (4d) montre une distribution quasi normale le 08 décembre 2024, avec un pic de 1.023.907.200 m³ entre 16 m et 19 m, soit un volume d'eau estimé à 7.498.079.600 m³.

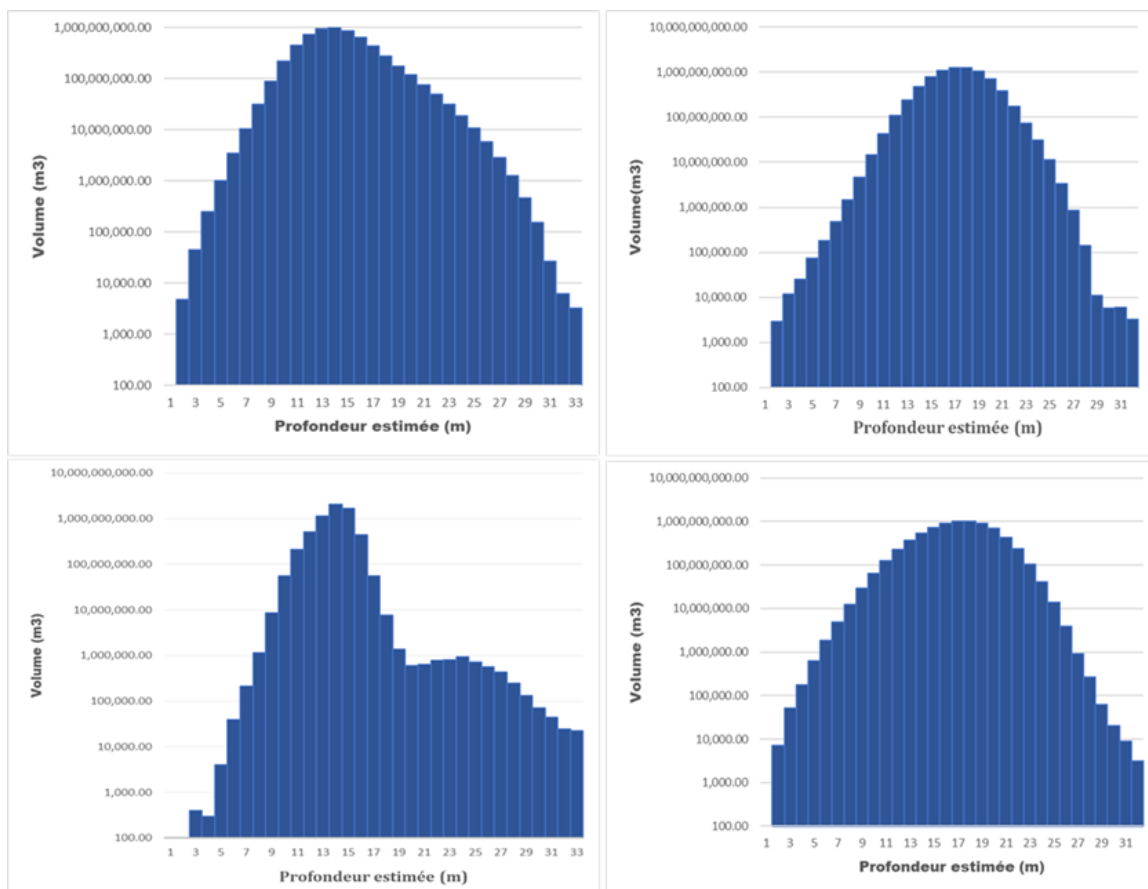


Figure 4 : Distribution du volume d'eau en fonction de la profondeur estimée dans le lac de Lagdo en décembre 2018 (a), décembre 2020(b), décembre 2022(c) et décembre 2024(d)

En décembre 2020, nous avons un pic de volume atteignant $7.727.748.900 \text{ m}^3$, une valeur qui est similaire à la valeur de $7.700.000.000 \text{ m}^3$ mentionnée dans le Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau - PANGIRE (MINEE, 2009) . Nous observons la valeur minimale du volume en décembre 2022 soit une différence de $1\,531\,063\,400 \text{ m}^3$ par rapport en décembre 2020. De façon générale nous observons une variation interannuelle de volume d'eau estimé en dents de scie (figure 5).

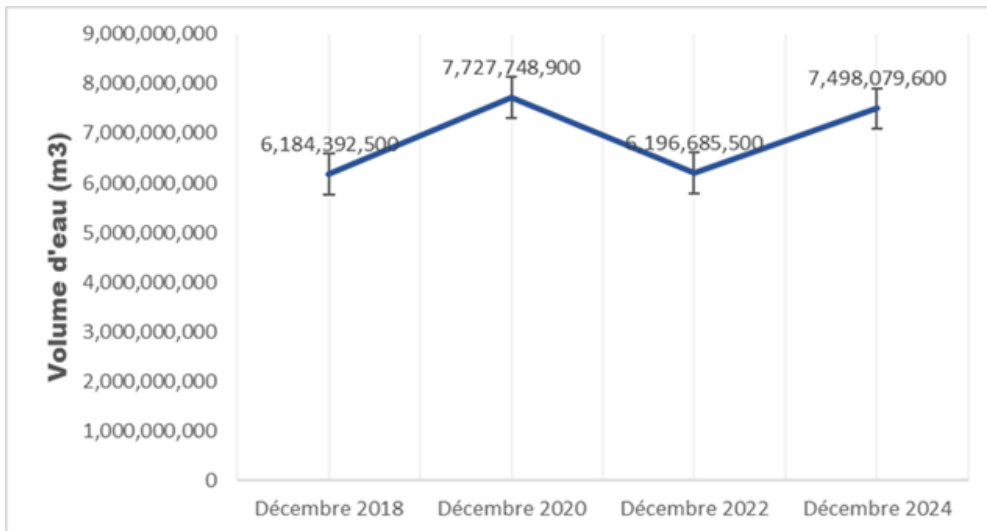


Figure 5 : Quantité du volume d'eau dans le lac de Lagdo en décembre 2018 (a), décembre 2020(b), décembre 2022(c) et décembre 2024(d)

La variation en dents de scie, peut-être la résultante de plusieurs facteurs ou phénomènes. Elle peut être due aux précipitations présentant une forte variation saisonnière avec des changements évidents, aux conditions climatiques qui peuvent avoir une grande influence sur les variations du volume d'eau du lac de Lagdo. Elle peut également être influencée par la demande d'eau destinée à l'irrigation et la quantité d'eau absorbée par les turbines du barrage hydro-électrique.

Discussion

Les zones de surestimations et de sous-estimations obtenues concordent avec l'analyse des modifications géomorphologiques survenues au fond du lac de Lagdo, qui a conduit à distinguer deux zones caractéristiques : les zones de piégeage de matériaux soumise à une accrétion verticale d'une part, les zones de surcreusement d'autre part (MEADEN, 2005).

La différence des valeurs de proportion interannuelle de la surestimation et de la sous-estimation, confirme l'assertion que le comblement de la retenue des eaux du lac de Lagdo n'est pas lié à un exhaussement généralisé, mais plutôt associé à des phénomènes en relais (MEADEN, 2005). Les proportions élevées de la surestimation désapprouve que le comblement du lac de Lagdo est associé à un bilan sédimentaire marqué par la prédominance des dépôts constitués de sable et de galets (MEADEN, 2005), mais plutôt par l'érosion. D'après le tableau 1 on peut confirmer que l'érosion est plus étendue entre 1 m et 17 m avec un gain de profondeur élevé entre 1 m et 12 m ne dépassant pas 2.5 m, ceci peut être dû

à la forte présence des activités anthropiques dans ces zones. Cette présence humaine aurait tendance à creuser le fond du lac. L'érosion observée à 28 m est moins étendue mais avec un gain de profondeur supérieur à 4 m, qui peut s'expliquer par la présence des prises d'eau du barrage hydro-électrique à ce niveau. La sédimentation quant à elle s'étale entre 18 m et 27 m avec une perte de profondeur remarquée à 26 m inférieur à 3 m, on peut dire que l'intervalle de 18 m à 27 m est moins fréquenté par la population, à cet effet l'envasement et l'ensablement auront tendance à prendre place.

La tendance inverse observée en décembre 2022 avec une sous-estimation remarquable entre 1m et 6 m soit 21% en particulier et 53% en général, peut être le résultat de la perturbation écologique qu'a connu le lac de Lagdo en cette période avec la prolifération importante la jacinthe d'eau.

Conclusion

L'estimation multi-temporelle de la bathymétrie dérivée par satellite et du volume d'eau appliquée à Sentinel-2A dans le lac de Lagdo, révèle des différences remarquables. En effet, la valeur maximale de la bathymétrie estimée oscille entre 32 m et 33 m tant dis que la valeur maximale du volume d'eau estimé oscille entre 6 184 392 500 m³ et 7 727 748 900 m³. Des zones de surestimations et sous-estimations de la bathymétrie ont été identifiées qui sont assimilées respectivement aux zones d'érosion et de dépôts (sable et galets). Il en ressort que les zones de surestimation occupent majoritairement le fond du lac de Lagdo, identifiées en grande partie dans les dix-sept premiers mètres, soit 61 %, 47 %, 47 % et 64% respectivement en décembre 2018, 2020, 2022 et 2024 et ces proportions alternatives confirment l'assertion que : le comblement de la retenue des eaux du lac de Lagdo n'est pas lié à un exhaussement généralisé, mais plutôt associé à des phénomènes en relais (*MEADEN, 2005*). De ce qui est du volume d'eau estimé, les valeurs élevées ont été obtenues entre 12 m et 15 m en décembre 2018, 16 m et 19 m en décembre 2020, 12 m et 15 m en décembre 2022, 16 m et 19 m en décembre 2024.

Les résultats de la bathymétrie dérivée par satellite et du volume d'eau, certes encourageants avec un coefficient de détermination R² supérieur à 0.95, ont néanmoins été obtenus à partir des images de Sentinel-2A dont la précision est limitée par la résolution spatiale. En effet, le capteur de Sentinel-2A fournit une résolution spatiale de 10 m dans le visible et le proche infrarouge. Cependant, il est bien connu qu'il est difficile de déterminer la bathymétrie précise et le volume d'eau absolu dans un lac sans les méthodes dites traditionnelles telles que : les données lidars, les systèmes d'échosondeurs multi faisceaux, les mesures topographiques sous-marines de haute précision, la prise en compte des différences géographiques et climatiques du lac.

Toutefois, ces premiers résultats obtenus à partir d'une approche méthodologique inédite pour des études par télédétection concernant à la fois : l'estimation multi-temporelle de la bathymétrie dérivée par satellite et de volume d'eau du lac de Lagdo. Il en demeure, que cette étude devrait être approfondis à partir d'une étude comparative sur une période s'étalant sur une vingtaine d'année avec un pas de temps mensuel, en prenant pour variables : la superficie, la bathymétrie (déterminer par d'autres méthodes empiriques : *Dierssen et al., 2003 ; Lyzenga, 1985*) et le volume d'eau. Afin de détecter d'une part le volume d'eau constant et le volume d'eau variable, d'autre part d'estimer les pertes et les gains de profondeurs à l'aide d'une pente temporelle.

Conflit d'intérêts : L'auteur a déclaré n'avoir aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données figurent dans le corps de l'article.

Déclaration de financement : L'auteur n'a bénéficié d'aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Bappa, M. M. (2017). *Actualités du PNDP - Programme National de Développement Participatif*. PNDP - Programme National de Développement Participatif. <http://www.pndp.org/detail-operation.php?idactualite=77>.
2. Caballero, I., & Stumpf, R. P. (2019). Retrieval of nearshore bathymetry from Sentinel-2A and 2B satellites in South Florida coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 226, 106277.
3. Dierssen, H. M., Zimmerman, R. C., Leathers, R. A., Downes, T. V., & Davis, C. O. (2003). Ocean color remote sensing of seagrass and bathymetry in the Bahamas Banks by high-resolution airborne imagery. *Limnology and Oceanography*, 48(1part2), 444-455. https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0444/
4. Djoufack, V. (2011). *Étude multi-échelles des précipitations et du couvert végétal au Cameroun : Analyses spatiales, tendances temporelles, facteurs climatiques et anthropiques de variabilité du NDVI*. Océan, Atmosphère. Université de Bourgogne, 2011.
5. Dörnhöfer, K., Göritz, A., Gege, P., Pflug, B., & Oppelt, N. (2016). Water Constituents and Water Depth Retrieval from Sentinel-2A—A First Evaluation in an Oligotrophic Lake. *Remote Sensing*, 8(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/rs8110941/>

6. Douga, P. W., & Djangoue, B. (2020). Effets physiques des activités anthropiques sur la retenue d'eau de Lagdo, Nord, Cameroun. *Afrique SCIENCE*, 17(1), 59-72.
7. Foteinopoulos, P. (2009). Cubic spline interpolation to develop contours of large reservoirs and evaluate area and volume. *Advances in Engineering Software*, 40(1), 23-29.
8. Furnans, J., & Austin, B. (2008). Hydrographic survey methods for determining reservoir volume. *Environmental Modelling & Software*, 23(2), 139-146.
9. Gao, J. (2009). Bathymetric mapping by means of remote sensing: Methods, accuracy and limitations. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 33(1), 103-116. <https://doi.org/10.1177/0309133309105657>
10. Ierodiaconou, D., Schimel, A. C. G., Kennedy, D., Monk, J., Gaylard, G., Young, M., Diesing, M., & Rattray, A. (2018). Combining pixel and object-based image analysis of ultra-high resolution multibeam bathymetry and backscatter for habitat mapping in shallow marine waters. *Marine Geophysical Research*, 39(1-2), 271-288. <https://doi.org/10.1007/s11001-017-9338-z/>
11. Kutser, T., Paavel, B., Verpoorter, C., Ligi, M., Soomets, T., Toming, K., & Casal, G. (2016). Remote sensing of black lakes and using 810 nm reflectance peak for retrieving water quality parameters of optically complex waters. *Remote Sensing*, 8(6), 497.
12. Lin, Y., LI, X., Zhang, T., Chao, N., Yu, J., Cai, J., & Sneeuw, N. (2020). Water volume variations estimation and analysis using multisource satellite data: A case study of Lake Victoria. *Remote sensing*, 12(18), 3052.
13. Lyzenga, D. R. (1985). Shallow-water bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 115-125. <http://dx.doi.org/10.1080/01431168508948428/>
14. Manzo, C., Bresciani, M., Giardino, C., Braga, F., & Bassani, C. (2015). Sensitivity analysis of a bio-optical model for Italian lakes focused on Landsat-8, Sentinel-2 and Sentinel-3. *European Journal of Remote Sensing*, 48(1), 17-32. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20154802/>
15. Marin, A. (2019). *Méthodes robustes en traitement d'image pour la détection et la caractérisation d'objets compacts : Application à la biologie* [PhD Thesis, Université Bourgogne Franche-Comté]. <https://theses.hal.science/tel-02191661/>
16. MEADEN - Mission d'étude pour l'aménagement et le développement de la Région du Nord au Cameroun. (2005).

Evaluation de la sédimentation du lac de Lagdo et détermination de la fréquence de son curage (p. 78) [Rapport définitif]. RCM-Consultant.

17. Palmer, S. C., Kutser, T., & Hunter, P. D. (2015). Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions. In *Remote sensing of Environment* (Vol. 157, p. 1-8). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425714003666>.
18. PANGIRE - Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (MINEE, 2009) — *Recherche Google*. (S. d.). Consulté 30 juillet 2025, à l'adresse : [https://www.google.com/search?q=Plan+d%E2%80%99Action+National+de+Gestion+Int%C3%A9gr%C3%A9e+des+Ressources+en+Eau+\(MINEE%2C+2009\)&rlz=1C1CHBF_enCM1173&oq=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Plan+d%E2%80%99Action+National+de+Gestion+Int%C3%A9gr%C3%A9e+des+Ressources+en+Eau+(MINEE%2C+2009)&rlz=1C1CHBF_enCM1173&oq=chrome&ie=UTF-8).
19. Saylam, K., Hupp, J. R., Averett, A. R., Gutelius, W. F., & Gelhar, B. W. (2018). Airborne lidar bathymetry: Assessing quality assurance and quality control methods with Leica Chiroptera examples. *International Journal of Remote Sensing*, 39(8), 2518-2542. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1430916>.
20. Smith, L. C., & Pavelsky, T. M. (2009). Remote sensing of volumetric storage changes in lakes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(10), 1353-1358. <https://doi.org/10.1002/esp.1822>.
21. Stumpf, R. P., Holderied, K., & Sinclair, M. (2003). Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography*, 48(1part2), 547-556. https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547.
22. Traganos, D., Poursanidis, D., Aggarwal, B., Chrysoulakis, N., & Reinartz, P. (2018). Estimating satellite-derived bathymetry (SDB) with the google earth engine and sentinel-2. *Remote Sensing*, 10(6), 859. *Sensing of Environment*, 106(1), 123-135.
23. Wilcox, C., & Los Huertos, M. (2005). A simple, rapid method for mapping bathymetry of small wetland basins. *Journal of Hydrology*, 301(1-4), 29-36.