

Morphologie du fond et tendance évolutive de la dynamique sédimentaire des chenaux du secteur aval du Lac de Buyo (Côte d'Ivoire)

[Bottom morphology and evolutionary trend of the sediment dynamics of the channels in the downstream sector of Lake Buyo (Côte d'Ivoire)]

Konan Guy Serge¹, Adopo Kouassi Laurent¹, Atto Yapi Désiré Sosthène Ronald^{1,2}, and Monde Sylvain¹

¹Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétiques, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, Unité de formation et de recherche des Sciences de la terre et des ressources Minière, 22 BP 582 Abidjan 22, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Département Mines et réservoirs, Université de Man, Unité de formation et de recherche des Sciences Géologiques et Minières, BP 20 Man, Man, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this study is to present the morphology of the bottom and to characterise the filling dynamics in the downstream sector of Buyo lake. A bathymetric survey carried out in March 2021 and the use of an old topographic map of the Buyo hydroelectric development dated 1980, allowed to apprehend the impact of the hydrosedimentary processes on the morphological evolution of the Buyo lake bottom. The analysis of the topo-bathymetric maps revealed that the downstream sector of Buyo Lake presents a rather irregular relief with depths ranging from 0 to 26 m. The greatest depths are located at the level of the flood spillway and the shallowest depths in the vicinity of the water intake. The 3D map of the lake shows the presence of depressions and shallows. The maximum depth was 24 m in 1982 and will be 26 m in 2021. In some places, the depressions of 4 and 22 m that were recorded in 1982 are 6 and 16 m respectively in 2021. The volume of deposition over the last 39 years (1982 to 2021) is estimated to be about 6,130,297.08 m³ of sediment with a filling rate of 68 cm/year. The analysis of the main channels revealed bathymetric profiles of intermediate and « V » morphology.

KEYWORDS: bathymetry, filling, hydrosedimentary, channels, Buyo lake.

RESUME: L'objectif de cette étude vise à présenter la morphologie du fond et à caractériser la dynamique de comblement dans le secteur aval du lac de Buyo. Un levé bathymétrique réalisé en Mars 2021 et l'utilisation d'une ancienne carte topographique de l'aménagement hydroélectrique de Buyo datée de 1980, ont permis d'appréhender l'impact des processus hydrosédimentaire sur l'évolution morphologique du fond du lac de Buyo. L'analyse des cartes topo bathymétriques a révélé que le secteur aval du lac de Buyo présente un relief assez irrégulier avec des profondeurs allant de 0 à 26 m. Les plus grandes profondeurs se situent au niveau du déversoir de crue et les faibles profondeurs au voisinage de la prise d'eau. La carte 3D du lac montre la présence de dépressions et de hauts fonds. La profondeur maximale qui était de 24 m en 1982 est passée à 26 m en 2021. A certains endroits, les dépressions de 4 et 22 m qui ont été enregistrées en 1982 sont respectivement de 6 et 16 m en 2021. Le volume de dépôt au cours des 39 dernières années (1982 à 2021) est estimé à environ 6.130.297,08 m³ de sédiments avec une vitesse de comblement de 68 cm/an. L'analyse des chenaux principaux a mis en évidence des profils bathymétriques de morphologie intermédiaire et en « V ».

MOTS-CLEFS: Bathymétrie, comblement, hydrosédimentaire, chenaux, lac de Buyo.

1 INTRODUCTION

Les barrages représentent des obstacles artificiels s'opposant à l'écoulement naturel de l'eau et sont ainsi construits afin de répondre à une ou plusieurs des fonctions notamment la production d'énergie hydroélectrique et l'alimentation en eau domestique ou industrielle. La Côte d'Ivoire possède un vaste réseau hydrographique avec sept (7) importants barrages hydroélectriques (Ayamé 1, Ayamé 2, Kossou, Taabo, Buyo, Fayé et Soubéré). Les retenues d'eau des barrages hydroélectriques de Côte d'Ivoire sont de plus en plus confrontées aux problèmes hydro sédimentaires. Des travaux récents ([10]; [12]; [5]; [4]; [3]; [7]) ont montré que ces retenues d'eau, qui représentent

des atouts majeurs pour soutenir le développement du pays, sont menacées par les variations hydrologiques, la pollution, l'envasement et l'ensablement. Les sédiments émanant des activités agricoles, de l'intensification des phénomènes d'érosion ont conduit au comblement des lacs [9]; [2].

Le lac de Buyo, sur lequel porte notre présente étude, n'échappe pas aux problèmes d'envasement et d'ensablement. La progression des dépôts solides dans le lac engendre la modification de la morphologie du fond, la perte de la capacité de stockage du réservoir, altère le rôle habituel des organes d'exploitation de l'ouvrage et diminue sa durée de vie. Malgré, les dangers inhérents au comblement du lac avec le temps, aucune étude morphobathymétrique n'a été entreprise sur le lac du barrage hydroélectrique de Buyo.

Pour initier donc des actions visant la conservation, la pérennisation et la gestion durable du lac de Buyo, cette étude a été réalisée en vue de fournir des éléments précis et solides pour une meilleure compréhension de la tendance évolutive de la dynamique sédimentaire. La présente étude vise donc à présenter la morphologie du fond et à déterminer la dynamique sédimentaire dans le secteur aval du lac de Buyo.

2 SITE D'ETUDE

Le lac de Buyo, l'espace d'étude est localisé au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire dans la ville de Buyo, appartenant au département de Soubré dans la région de la Nawa à 513 Km d'Abidjan (capitale économique). Le lac se situe entre la latitude 6°19'60" N et la longitude 7°10'0" W avec une superficie de 920 km² (figure 1).

Le réservoir d'eau, objet d'investigation est le secteur aval du lac de Buyo. La zone Buyo, correspondant à la zone du réservoir créée par les installations hydroélectriques de la Compagnie Ivoirienne d'Electricité (CIE). Le régime des eaux du lac est sous la dépendance des pluies. Le niveau atteint par les basses et hautes eaux dépend essentiellement des apports des fleuves N'Zo et Sassandra. La pluviométrie annuelle est comprise entre 1250 et 1643 mm.

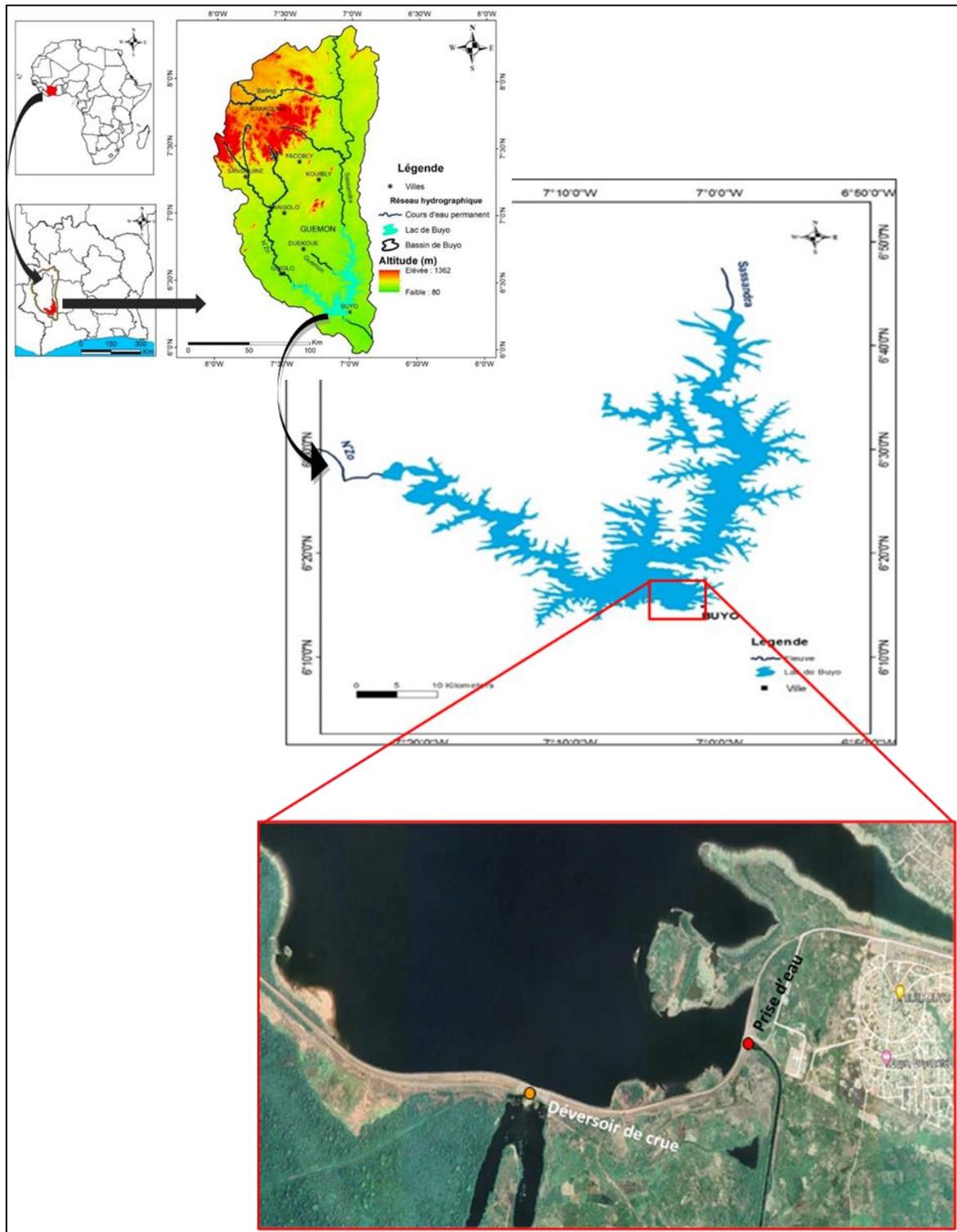


Fig. 1. Localisation de la zone d'investigation

3 METHODE D'ETUDE

3.1 BATHYMETRIE DU LAC DE BUYO

L'étude de la morphologie du fond du secteur aval du lac de Buyo a été effectuée par l'intermédiaire d'un levé bathymétrique, réalisés à l'aide d'un échosondeur de type Lowrance, modèle Elite-4. Cette mission a été réalisée en mars 2021 correspondant à la période d'étiage du fleuve Sassandra. Le système de détection bathymétrique comprend un transducteur, un émetteur et un récepteur. Lors des travaux, le transducteur est fixé sur la coque de l'embarcation à une profondeur d'immersion de 8 cm. Ainsi, le faisceau acoustique étant orienté vers le bas explore le fond.

À chaque station, l'échosondeur affiche concomitamment la profondeur, les coordonnées géographiques et l'altitude [13]. Les mesures ont été effectuées suivant des radiales approximativement perpendiculaires aux rives du lac. Selon l'étendue de la surface du plan d'eau à parcourir une distance entre les radiales de 50 à 100 m a été fixée. Cependant, lors des levés bathymétriques des changements morphologiques brusques survenaient. Notamment, des changements dus à la présence d'arbres immergés et de filets de pêche. Dans ce cas, la distance entre les radiales devait être resserré pour ne pas perdre le détail de la topographie du fond. Pour l'ensemble du plan d'eau, environ 9397 points de sonde ont été enregistrés (figure 2).

Un certain nombre de corrections ont été par la suite apporté aux données brutes issues des capteurs. Ces corrections sont importantes car elles permettent de réduire les marges d'erreur et de déterminer la profondeur réelle de chaque point.

Les cartes bathymétriques ont été élaborées au moyen du logiciel de cartographie "Surfer 11" par krigeage qui est un programme écrit par Golden Software Inc. L'établissement des cartes a consisté à créer des fichiers graphiques à partir des fichiers de données (X: longitude; Y: latitude et Z: profondeur corrigée de la sonde) rangées en colonne à l'aide du tableur Surfer (Worksheet). La cote 192 m du plan d'eau par rapport au niveau moyen de la mer est la cote de référence pour la carte bathymétrique. Cette cote correspond au niveau le plus élevé du lac de barrage lors des sondages bathymétriques.

3.2 CALCUL DU COMPLEMENT

La carte topographique de l'aménagement hydroélectrique de Buyo de 1980 et le levé bathymétrique réalisé en 2021 ont été utilisés afin d'apprécier l'évolution de la morphologie du fond du secteur aval du lac de Buyo. Les deux séries de données sont transformées en Modèle Numérique de Profondeur (MNP), puis exploitées à l'aide du logiciel SURFER. L'estimation du comblement passe par le calcul de la différence de profondeur pour chaque point du MNP. Cette différence est intégrée sur la surface pour obtenir l'évolution globale des variations de cote du plan d'eau (figure 3), [1].

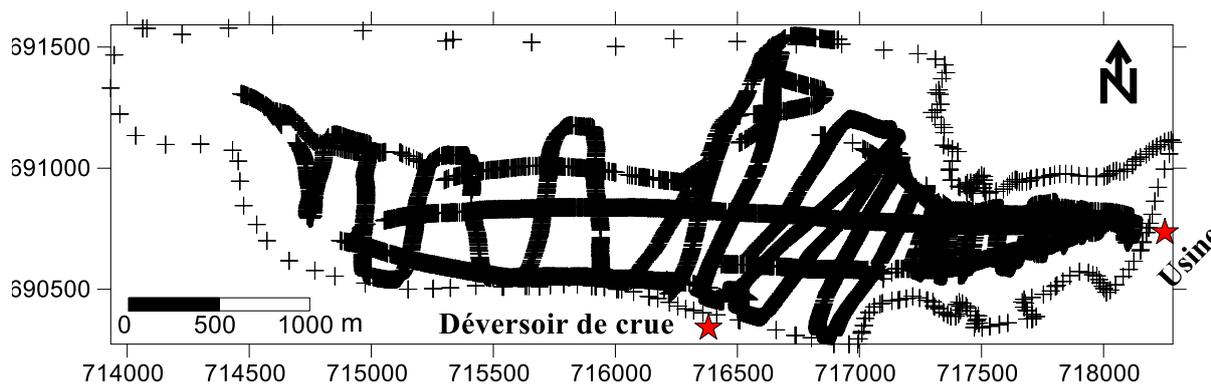


Fig. 2. Carte de répartition des points de sonde du lac de Buyo

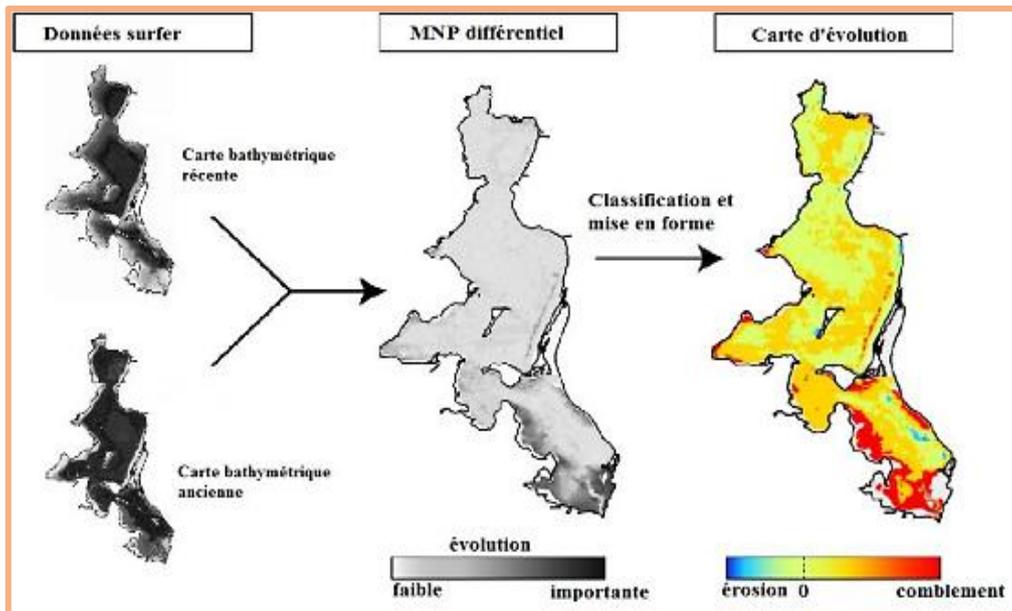


Fig. 3. Principe de l'analyse d'évolution bathymétrique [1]

4 RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 MORPHOBATHYMÉTRIE DU SECTEUR AVAL DU LAC DE BUYO

4.1.1 CARTE BATHYMÉTRIQUE 2D

La figure 4 présente la carte bathymétrique 2D du secteur aval du lac de Buyo. La cote 192 m du plan d'eau a été retenue comme cote de référence et est considérée comme étant le niveau zéro (surface) du plan d'eau. Il s'agit de la première carte bathymétrique du lac de Buyo depuis sa mise en eau en 1982. L'examen détaillé de la carte bathymétrique du lac de Buyo fait apparaître une morphologie de fond relativement complexe. Celle-ci présente des profondeurs allant de 0 à 26 m avec une équidistance de 2 m sur une surface de 368 ha. La profondeur moyenne est de 10 m. On constate que le fond du lac présente un relief un peu plus accidenté. La carte bathymétrique 2D montre deux principaux chenaux, notamment le chenal du lit naturel du fleuve du Sassandra de direction Nord-Sud, se prolongeant du côté de l'évacuateur de crue et le chenal d'amenée de direction Ouest-Est débouchant sur la prise d'eau. On remarque que les profondeurs augmentent progressivement de l'amont vers la digue. Aux voisinages de l'usine de production, notamment du côté de la prise d'eau où transitent les débits turbinés, les profondeurs sont assez faibles et atteignent au maximum 10 m. Par contre, les plus grandes profondeurs se localisent aux voisinages de l'évacuateur de crue (déversoir de crue) avec des profondeurs allant jusqu'à 26 m.

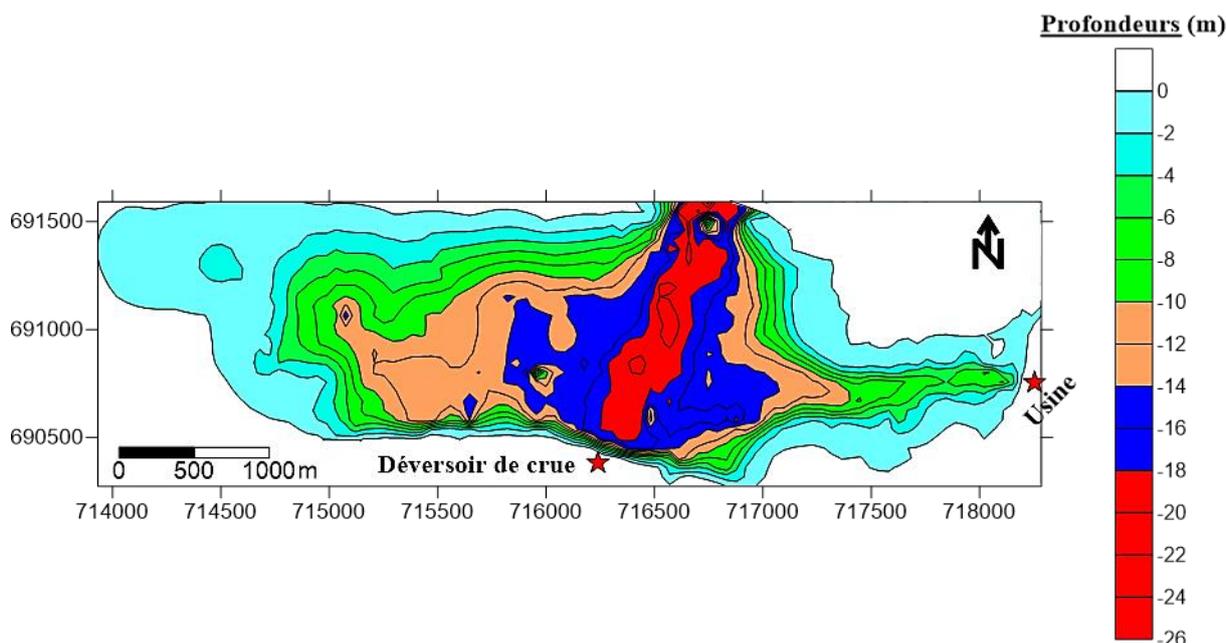


Fig. 4. Carte bathymétrique 2D du secteur aval du lac de Buyo

4.1.2 CARTE BATHYMETRIQUE 3D

Le Modèle Numérique de Profondeur (MNP) ou carte 3D, permet d'apprécier tous les aspects géomorphologiques qui caractérisent le lac. La carte 3D montre une morphologie assez irrégulière caractérisée par la présence de dépressions et de hauts fonds se situant dans l'axe de l'évacuateur de crue (figure 5). Ces dépressions proviendraient de l'érosion intense naturelle du fond du lit du fleuve du Sassandra due aux forts courants de fond. Toutefois, les hauts fonds proviennent de l'accumulation des sédiments et leur présence dans la zone du déversoir pourrait s'expliquer par la fermeture observée des vannes au cours des périodes de hautes et basses eaux. Ils traduisent un hydrodynamisme assez calme. L'ouverture ou la fermeture de l'évacuateur de crue influence considérablement les processus de dépôt et d'érosion des sédiments.

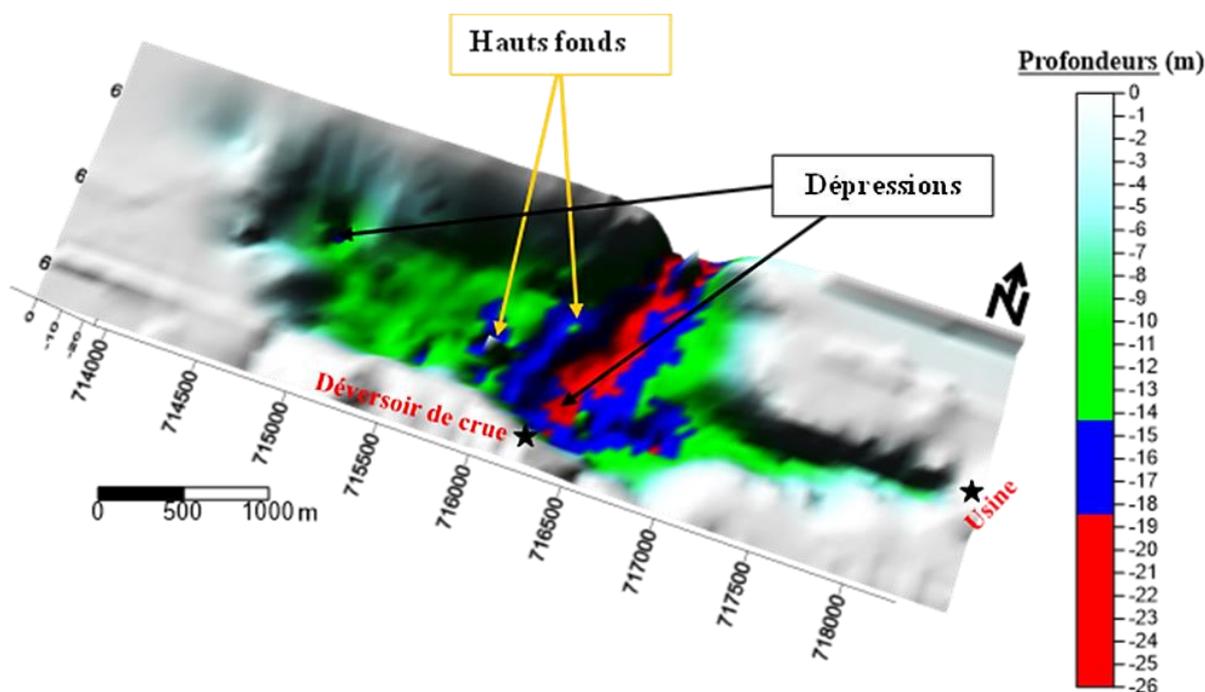


Fig. 5. Carte bathymétrique 3D du secteur aval du lac de Buyo

4.1.3 CARACTÉRISATION DES CHENAUX ET INTERPRÉTATION DES PROFILS BATHYMÉTRIQUES

L'étude des chenaux du secteur aval du lac de Buyo s'est faite à partir de six (6) profils de directions E-W et N-S, qui permettent de voir l'évolution morphologique du fond. Deux chenaux principaux sont observés dans le lac, notamment le chenal principal du lit du fleuve Sassandra (direction N-S) et celui du canal d'amenée du côté de la prise d'eau de direction (W-E).

Les radiales 1, 2 et 3 ont été tracées perpendiculairement (direction Nord-Sud) au canal d'amenée, tandis que les radiales 4, 5 et 6, ont été tracées perpendiculairement (direction E-W) au lit principal du fleuve Sassandra (figure 6). Ainsi, en fonction de la forme du chenal, on a une information sur les phénomènes dominant dans ces différents secteurs à savoir une érosion ou un dépôt.

Suite à l'analyse des différents profils, issus des six radiales, on distingue deux (2) types morphologiques de chenaux: il s'agit du type « intermédiaire » et du type en « V ».

Les profils 1, 2 et 3 ont une concavité à fond aigu. Les chenaux sont en forme de « V » avec des profondeurs allant de 0 à 15 m (figure 7). Le chenal ayant un profil de type « V » résulte d'un processus d'érosion.

Les profils 4, 5 et 6 ont des profondeurs allant de 0 à 22 m et caractérisent des chenaux de type « intermédiaires » (figure 8). Ces types de chenaux sont compris entre les chenaux de morphologie en « V » ou « U ». Ces chenaux n'ont pas encore atteint leur forme d'équilibre ou l'ont atteint et ultérieurement subit une nouvelle phase d'érosion. L'action des agents d'accumulation et des agents d'érosion ne s'équilibrent pas. Ces agents permettent de suivre et de comprendre le processus d'évolution d'un profil d'érosion qui se caractérise par le passage du profil « V » au profil « U ».

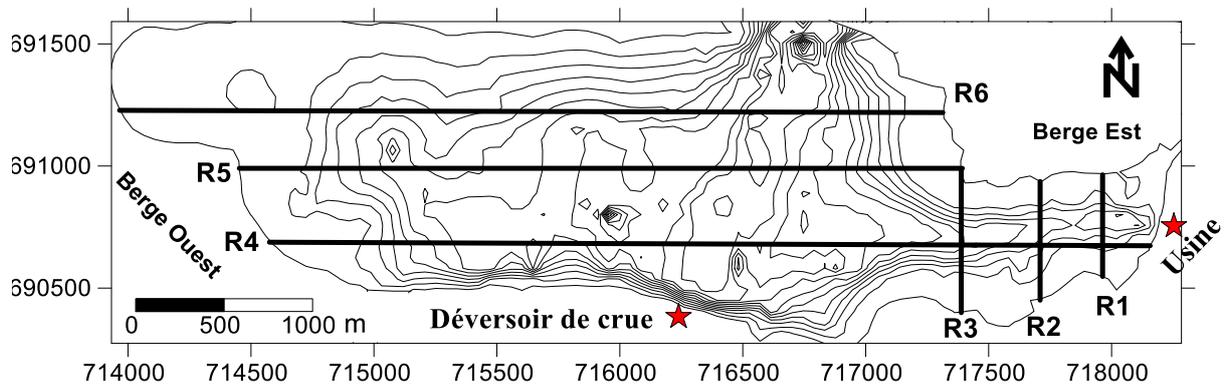


Fig. 6. Carte de positionnement des radiales du secteur aval du lac de Buyo

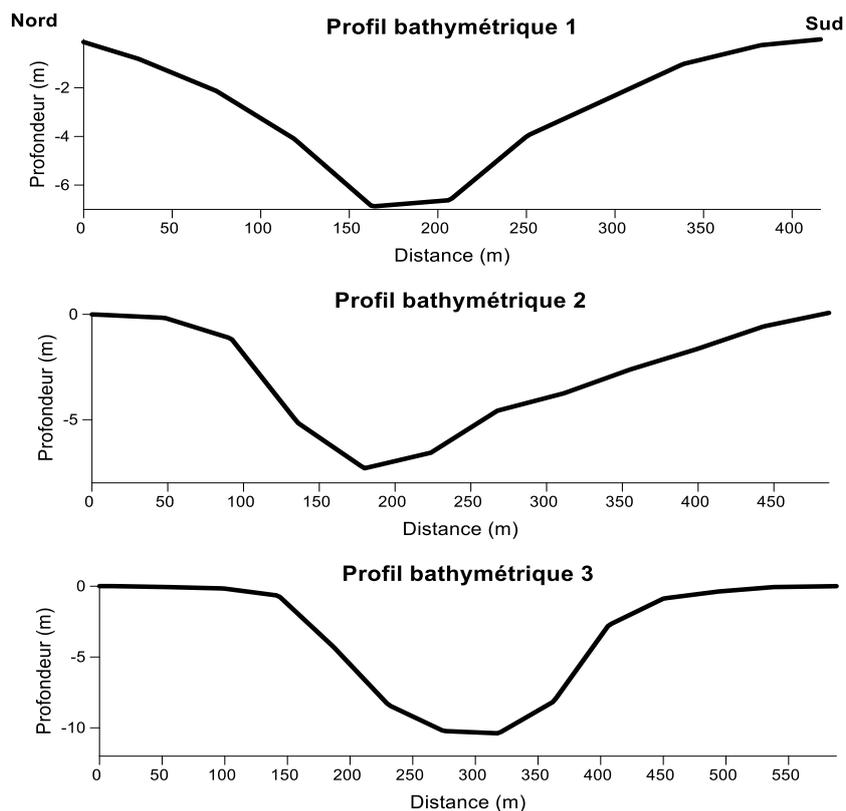


Fig. 7. Formes en « V »

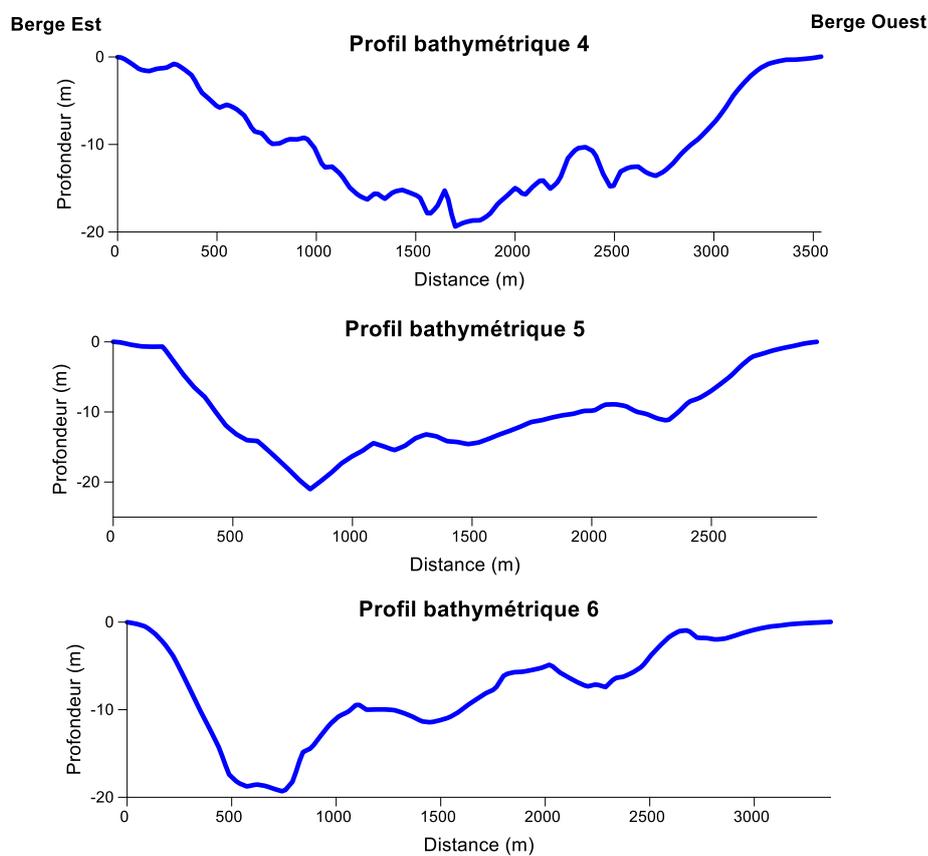


Fig. 8. Formes « Intermédiaires »

4.2 DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE DES CHENAUX DU SECTEUR AVAL DU LAC DE BUYO DE 1982 À 2021

4.2.1 MODÈLES NUMÉRIQUES DE PROFONDEUR (MNP)

Les paramètres permettant d'apprécier la tendance évolutive de la dynamique sédimentaire des chenaux du lac portent sur la variation de la profondeur au cours du temps, sur les aspects géomorphologiques (dépression, haut-fond).

La cote 192 m du plan d'eau ayant été retenue comme niveau de référence, l'analyse d'une carte topographique de la zone d'investigation (secteur aval du lac de Buyo), réalisée dans le cadre de l'implantation du barrage, nous a permis d'obtenir la morphologie du fond au moment de la mise en eau du barrage.

Selon les cartes 3D du fond du lac de 1982 et 2021 (figure 9), la profondeur maximale qui était de 24 m en 1982 est passée à 26 m en 2021. A certains endroits, les dépressions de 4 et 22 m qui ont été enregistrées en 1982 sont respectivement de 6 et 16 m en 2021. Elles se situent dans le lit principal du fleuve Sassandra et dans la zone du canal d'amenée (prise d'eau), traduisant ainsi l'érosion et la sédimentation des chenaux. On retient donc que les chenaux du lac de Buyo ont subi d'importantes modifications au plan morphologique sur les deux modèles numériques de terrain de 1982 et 2021.

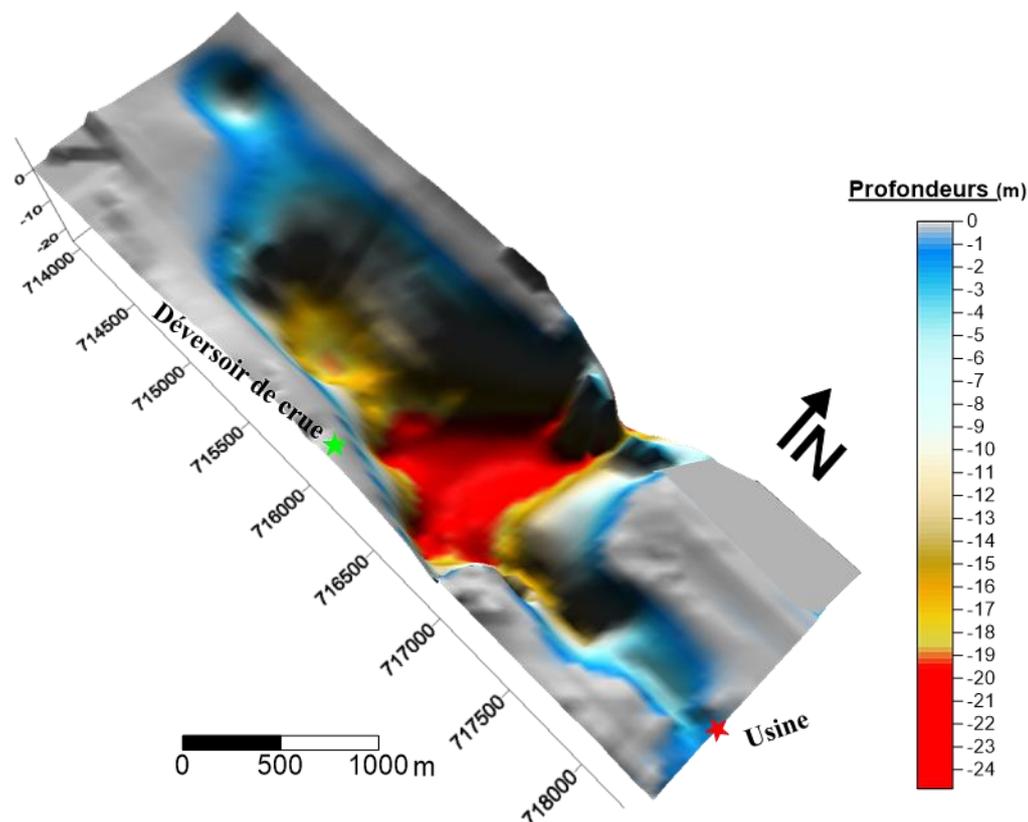


Fig. 9. MNP du secteur aval du lac de Buyo en 1982

4.2.2 CHENAUX DE 1982 À 2021

Dans les différents chenaux, six (6) radiales ont été réalisées pour superposer les profils bathymétriques afin d'apprécier l'évolution morphologique entre 1982 et 2021 (figure 10). Les profils bathymétriques sont généralement concaves et se présentent comme suit (Figure 11):

- Les profils bathymétriques concaves décrivent une morphologie régulière et symétrique en 1982;
- En 2021, on a des profils bathymétriques concaves à morphologie irrégulière et asymétrique.

La superposition des profils bathymétriques montre que de façon générale le lit principal du fleuve Sassandra s'est engraisé tandis que le canal d'amenée s'est érodé au cours des trente-neuf dernières années. De plus, on note également un engraissement des flancs des berges situées dans la zone de la prise d'eau et une érosion du fond à certains endroits dans la zone du déversoir de crue.

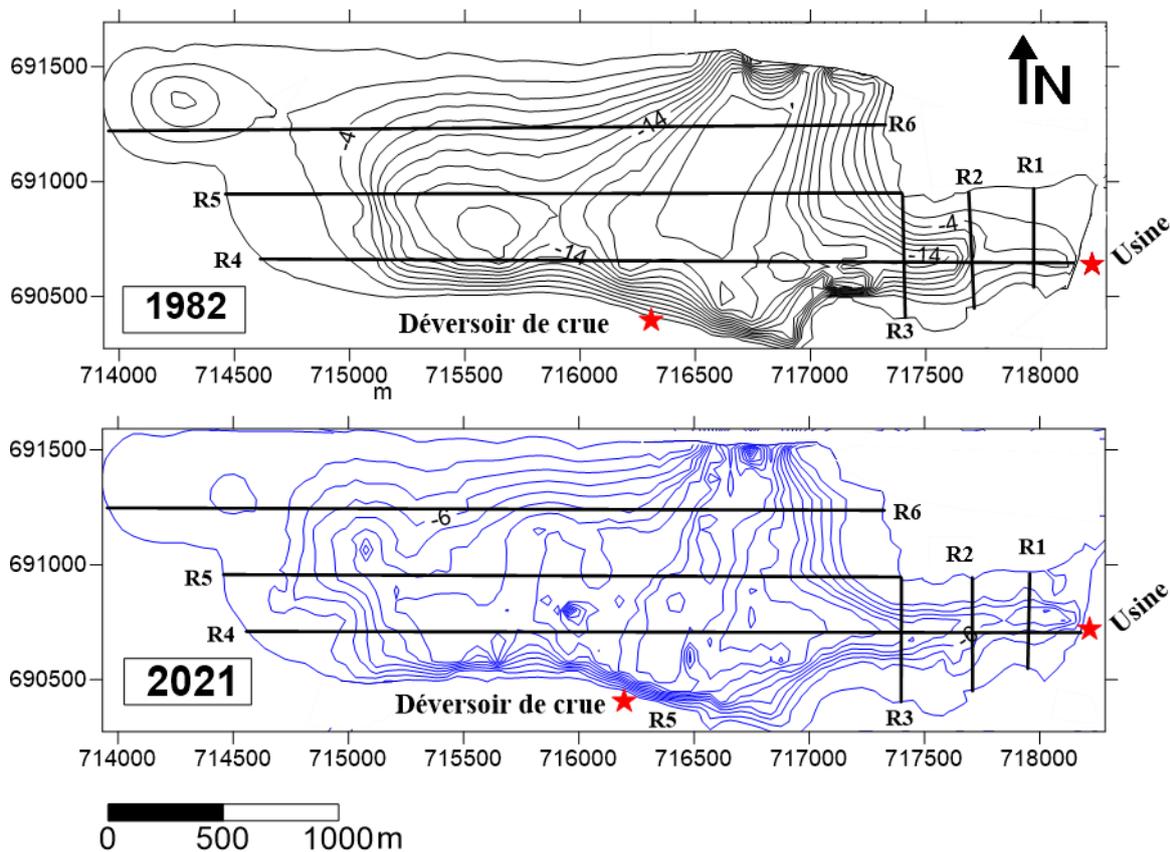


Fig. 10. Carte de positionnement des radiales de 1982 et 2021

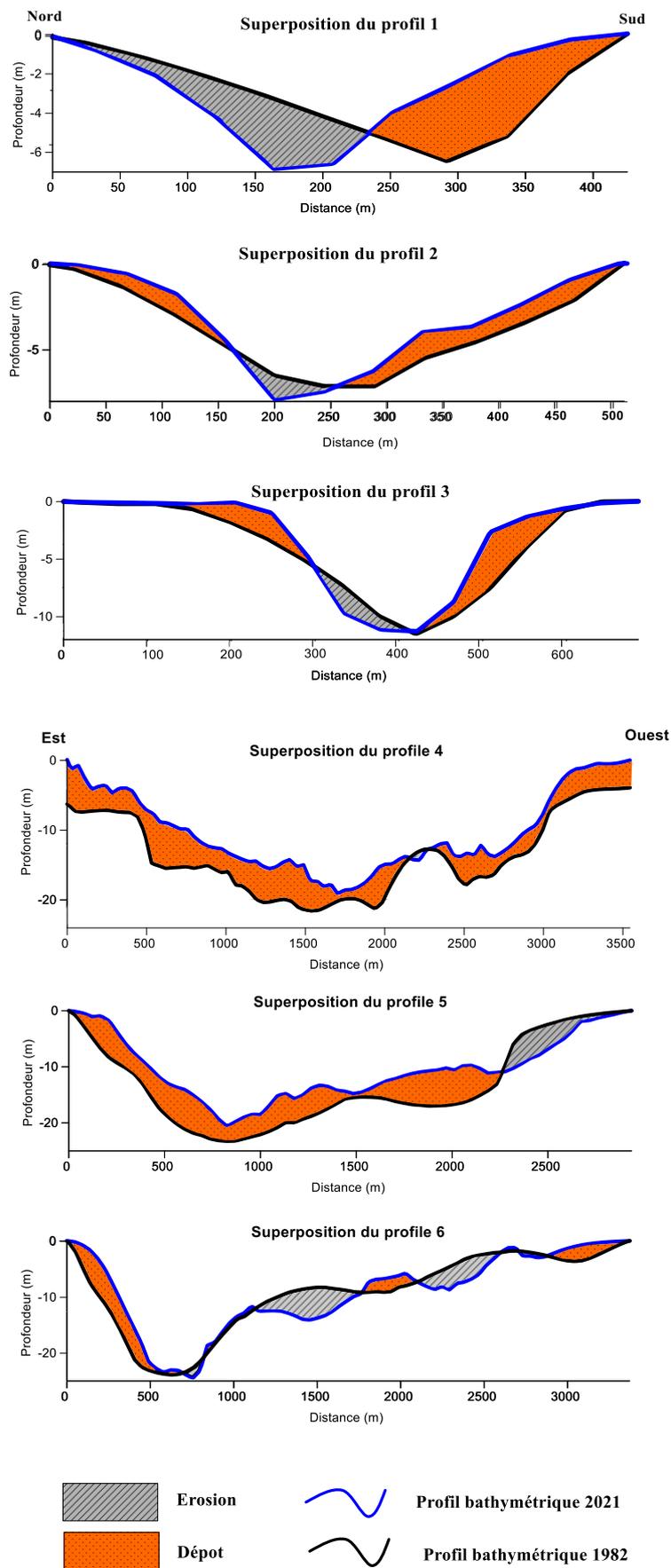


Fig. 11. Evolution morphologique des chenaux du lac de Buyo de 1982 à 2021

4.2.3 VOLUME ET VITESSE DE SÉDIMENTATION DU SECTEUR AVAL DU LAC DE BUYO DE 1982 À 2021

Dans le secteur aval du lac de Buyo, la tendance évolutive tend vers le comblement des chenaux que l'érosion selon la carte résiduelle.

La figure 12 donne des valeurs indicatives des variations de cotes. Elle permet d'apprécier l'intensité des modifications du fond du lac. L'examen de cette figure permet de constater que, entre 1982 et 2021, le fond du secteur aval de Buyo a subi, dans l'ensemble, d'importantes modifications qui se caractérisent soit par des érosions (variations négatives d'épaisseur), soit par des dépôts (variations positives d'épaisseur).

En outre, le volume de sédiments accumulés entre 1982 et 2021 est estimé à environ $+7.793.821 \text{ m}^3$ sur une surface de 231,254 ha. Le volume de sédiments ayant été érodé dans le même laps de temps vaut $-1.663.523,92 \text{ m}^3$ pour une superficie de 137,1 ha.

Le budget sédimentaire qui en découle est estimé à environ $6.130.297,08 \text{ m}^3$ de sédiments déposés, soit une moyenne de $157.187,10 \text{ m}^3/\text{an}$.

La vitesse de comblement peut être estimée à 68 cm/an dans le secteur aval du lac de Buyo.

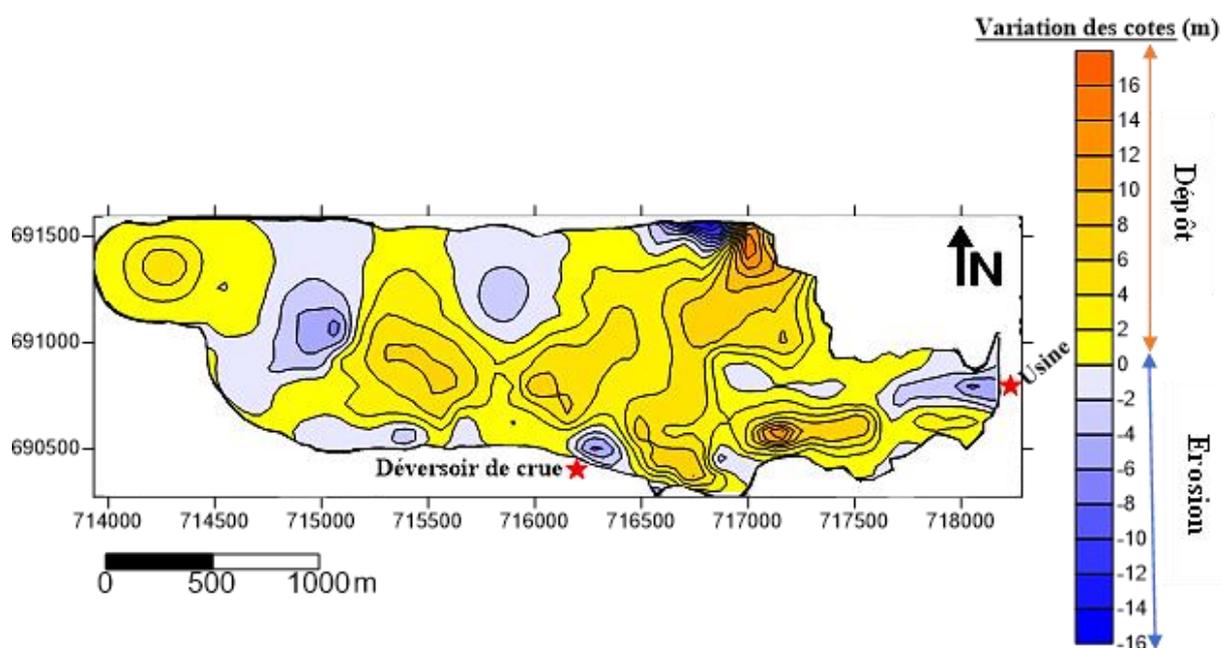


Fig. 12. Carte des mouvements sédimentaires dans le secteur aval du lac de Buyo de 1982 à 2021

5 DISCUSSIONS

Les sondages bathymétriques réalisés sur le secteur aval du lac de Buyo montrent des profondeurs allant jusqu'à 26 m. Cette profondeur maximale observée est inférieure à celle obtenue par MELEDJE *et al.*, (2014) sur le lac d'Ayamé 1 (34 m de profondeur). Cela pourrait par la morphologie de la cuvette naturelle du lac d'Ayamé 1, assez accidentée, avec des dépressions plus importantes que celles du lac de Buyo. La caractérisation des chenaux du lac de Buyo a mis en évidence outre les profils en « V », des formes intermédiaires. De manière générale, les formes en « V » et intermédiaires sont respectivement rencontrées dans le chenal d'amenée et le lit principal du fleuve du Sassandra. Ces résultats corroborent ceux obtenus par KONAN (2018) sur les lacs urbains de Yamoussoukro. En Côte d'Ivoire, les chenaux d'origine lacustre rencontrés sont de type « V » (YAPI, 2016). Ce type de profil est dû à des processus d'érosion intense. De 1982 à 2021, le fond du secteur aval du lac de Buyo a subi d'importantes modifications. En effet, l'évaluation de la dynamique sédimentaire des chenaux montre une tendance significative au comblement. Le lac a retenu environ $6.130.297,08 \text{ m}^3$ de sédiments déposés, soit une moyenne de $157.187,10 \text{ m}^3/\text{an}$. Le volume de dépôts dans le lac de Buyo est considéré faibles comparativement aux valeurs (84 Million m^3) rencontrées par KOUASSI (2007) à Taabo. La faiblesse des apports serait liée à l'influence du couvert végétal des bassins versants desdites retenues d'eau et à la nature des sols. Le lac de Taabo se trouvant dans une région de savane a un sol beaucoup plus exposé à l'érosion.

6 CONCLUSION

Les sondages bathymétriques effectués sur le lac de Buyo montrent des profondeurs allant de 0 à 26 m avec une profondeur moyenne de 10 m. Les plus grandes profondeurs se situent au niveau de l'évacuateur de crue et les faibles profondeurs se localisent vers les berges et du côté de la prise d'eau. Le modèle numérique de terrain du lac, a mis en évidence la présence de dépressions et de haut fond au niveau du déversoir de crue. L'analyse des profils bathymétriques du lac montre des chenaux de morphologie intermédiaire et en V. La forme en « V » est couramment rencontrée dans le lac, ce qui traduit un processus d'érosion assez intense. L'estimation des volumes de sédiments a permis de mettre en évidence l'importance des processus de sédimentation dans le secteur aval du lac de Buyo. En effet, le lac a retenue environ 6.130.297,08 m³ de sédiments, soit une moyenne de 157.187,10 m³/an avec une vitesse de comblement estimée à 68 cm/an dans le lac.

REFERENCES

- [1] CASTAINGS J. (2008). Etat de l'art des connaissances du phénomène de comblement des milieux lagunaires. Mémoire de Master, Université de Montpellier 2, 100p.
- [2] GRISMER ME. (2012). Erosion modelling for land management in the Tahoe basin, USA: scaling from plots to forest catchments. *Journal des Sciences Hydrologiques*, 57 (5): 878-899.
- [3] GROGA N. 2012. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Université de Toulouse, p.224.
- [4] KOUAME MK, DIETOA MY, EDIA EO, DA COSTA SK, OUATTARA A, GOURENE G. (2011). Macroinvertebrate communities associated with macrophyte habitats in a tropical man-made lake (Lake Taabo, Côte d'Ivoire). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 400, 03; <http://www.kmae-journal.org>.
- [5] KOUAME MK, DIETOA MY, DA COSTA SK, EDIA EO, OUATTARA A AND GOURENE G. (2010). Aquatic macroinvertebrate assemblages associated with root masses of water hyacinths, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach, 1883 (Commelinales: Pontederiaceae) in Taabo Lake, Ivory Coast. *Journal of Natural History*, 44 (5- 8): 257-278.
- [6] KOUAME K.J. (2007). Contribution à la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) du district d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire): outils d'aide à la décision pour la prévention et la protection des eaux souterraines contre la pollution. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody, 225 p.
- [7] KOUASSI KL, KOUAME KI, KONAN KS, ANGOULO MS, DEME M, MELEDJE NH. (2013). TwoDimensional Numerical Simulation of the Hydro-Sedimentary Phenomena in Lake Taabo, Côte d'Ivoire. *Water Resources Management*, 27 (12): 4379-4394.
- [8] MELEDJE N H, KOUASSI K L, N'GO Y A, KOUASSI K M, SAVANE I, AKA K. (2014). Caractérisation des apports sédimentaires et morphologie du lac du barrage hydroélectrique d'Ayamé 1 (Sud-Est de la Cote d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol.8, n°3, p.1290-1307.
- [9] N'GO Y.A. (2000). Contribution à l'étude de l'érosion des sols du bassin versant du Sassandra (Région de Buyo): Analyse des facteurs et essai d'évaluation des risques par télédétection et les systèmes d'information géographique. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université d'Abobo-Adjamé (Côte d'Ivoire), (Hydrob et SIG), 164 p.
- [10] OUATTARA A. (2000). Premières données systématiques et écologiques du phytoplancton du lac d'Ayamé (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat Unique, Université Katholique de Louvain, Belgique. 207 pp.
- [11] YAPI Y.S.P. (2016). Aspect morphologique et sédimentologique d'un environnement lacustre du littoral de Côte d'Ivoire: Cas du lac Lalie (Abidjan), Master, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody 25p.
- [12] YAPO O. B. (2002). Evaluation de l'état trophique du lac de Buyo (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire. 296 pp.
- [13] WOGNIN A. V. I. (2004). Caractérisation, Hydrologie et sédimentologie de l'embouchure du fleuve Bandama. Thèse de doctorat, Université Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 198p.