

Évolution de l'occupation du sol de la zone humide du lac Wégnya au Mali : facteurs et portée sociale

Modibo Magassa,

Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de
Katibougou (Mali)

E-mail : magasse2000@yahoo.fr

Résumé

La zone humide du lac Wégnya a longtemps fourni aux populations locales d'incalculables services écosystémiques. Mais aujourd'hui, sa détérioration biophysique a atteint un tel niveau qu'elle est menacée d'extinction. Malgré cela, très peu d'actions concrètes ont été entreprises pour réduire cette altération, et peu d'études y ont été consacrées. C'est ce qui motive cette étude qui vise à comprendre les facteurs à l'origine de cette dégradation et son impact sur le système social et écologique de la zone étudiée. Basée sur l'analyse diachronique de trois images Landsat (Landsat MSS 1972, Landsat ETM 2000 et Landsat OLI-TIRS 2018), l'étude a été complétée par une enquête de terrain. Elle montre qu'entre 1972 et 2018, la dynamique de l'occupation des sols dans la zone humide du lac Wégnya a été caractérisée par une extension de la superficie des sols nus, une diminution de la couverture végétale et une réduction des zones d'eau libre et d'eau temporaire. Le sol étant de plus en plus dénudé, il devient sensible au ruissellement et à l'érosion hydrique, d'où le dépôt de sédiments dans le lac, puis son engorgement. En conséquence, les populations locales, qui tirent une partie de leur subsistance de ce lac, se retrouvent vulnérables. Pour assurer un développement durable à ces populations, il est important de mettre en place un système de gestion de ce lac qui permette sa réhabilitation en tenant compte l'incertitude écologique liée à des facteurs tels que la variabilité et les changements climatiques, ou la croissance démographique à l'échelle du bassin.

Mots-clés : Mali, Lac Wégnya, occupation du sol, analyse diachronique, incertitude écologique

Evolution of land use in the wetland of Lake Wégnya in Mali : factors and social impact

Abstract

The Lake Wégnya wetland has since long time provided local populations with invaluable ecosystem services. But today, its biophysical deterioration has reached such a level that it is threatened with extinction. Despite this, very little concrete action has been taken to reduce this deterioration, and few studies have been devoted to it. This is the motivation behind this study, which aims to understand factors behind this degradation and its impact on the social and ecological system of the study area. Based on the diachronic analysis of three Landsat images (Landsat MSS 1972, Landsat ETM 2000 and Landsat OLI-TIRS 2018), the study was completed by a field survey. It shows that between 1972 and 2018, the land cover dynamics in the Lake Wégnya wetland were characterized by an increase in the area of bare soil, a decrease in plant cover and a reduction in areas of open and temporary water. As the soil becomes increasingly bare, it becomes susceptible to runoff and water erosion, which ultimately leads to the deposition of sediment in the lake, followed by its siltation. As a result, the local populations, who derive part of their livelihood from this lake, find themselves vulnerable. To ensure sustainable development for these populations, it is therefore important to set up a management system for this lake that allows for its rehabilitation and takes into account the ecological uncertainty linked to factors such as climate variability and change, or population growth at the basin scale.

Keywords : Mali, Lake Wégnya, land cover, diachronic analysis, ecological uncertainty

Introduction

Situé dans la commune rurale de Guihoyo, dans la région de Koulikoro au Mali, le lac Wégna est la seule source d'eau permanente de cette commune de 21 531 habitants (INSTAT-Mali, 2013, p. 75). Il a le statut de " zone humide d'importance internationale " depuis 2013 (Convention on Wetlands Secretariat, 2023). Le bassin versant de cet écosystème permet à la population locale de s'engager dans diverses activités économiques telles que le maraîchage, la riziculture, l'arboriculture, la pêche et l'élevage de bétail (I.M. Coulibaly *et al.*, 2011, p. 7). Toutefois, cette ressource naturelle a subi une dégradation importante au fil du temps en raison de divers facteurs, ce qui a entraîné une réduction significative de son potentiel de pêche et constitue une menace pour la faune en raison de la destruction de leurs habitats naturels (forêts lacustres), de l'érosion des berges et de l'accumulation de sédiments dans son lit (MATCL/ARK, 2012, p. 33). La dégradation du couvert végétal et la mise à nu des sols ont accéléré le ruissellement et l'érosion hydrique, entraînant le dépôt de sédiments dans le lac. Aujourd'hui, une grande partie du lac est privée d'eau pendant la saison sèche (avril-mai) en raison de l'envasement. Bien que cet hydrosystème soit réellement menacé, les actions concrètes visant à réduire sa dégradation sont rares sur le terrain et les études sur le sujet sont peu nombreuses. Les quelques études notables qui lui ont été consacrées comprennent une description de ses caractéristiques physiques (M. B. Dicko *et al.*, 2007, p. 87), une étude de sa gouvernance (F. Coulibaly, 2013 p. 8) et une description générale en vue de son inscription sur la liste des zones humides d'importance internationale (I. M. Coulibaly *et al.*, 2011, p. 4). Cependant, aucune de ces études n'a abordé la dynamique spatiale de cette zone humide en vue d'identifier les changements d'occupation du sol et de comprendre les phénomènes qui en sont responsables.

L'objectif de cette étude est d'étudier les changements intervenus dans cette zone humide et d'en analyser leurs conséquences au plan socio-écologique. Pour ce faire, en plus de l'analyse des données satellites, une enquête de terrain a été effectuée auprès des populations concernées pour récolter des données et valider les résultats du traitement d'images.

L'utilisation de la télédétection pour analyser les changements dans la zone d'étude repose sur le principe qu'elle fournit des données sur la couverture terrestre au fil du temps (A. E. Garouani *et al.*, 2008, p. 198) et que cette occupation du sol, en constante évolution, permet de détecter facilement les interventions humaines sur le territoire (J. F. Mas, 2000, p. 349 ; A. Di Gregorio, 2016, p.1).

1. La zone d'étude

La zone humide du lac Wégna (13°18' N, et 8° 08' W) est située dans la région de Koulikoro, au Mali. Caractérisée par le climat soudanien nord, elle reçoit une pluviométrie variant entre 600 et 900 mm par an et a des températures moyennes variant entre 16°C et 42°C selon les saisons (M. B. Dicko *et al.*, 2007, p. 87). Il est formé de deux hydrosystèmes (lac Wégna et lac Kononi) reliés par une rivière (figure 1). En saison sèche, il mesure 3,5 km de long et 600 m de large et en hivernage, il peut aller jusqu'à 20 km de long et 1 km de large (I. M. Coulibaly *et al.*, 2011, p. 5).

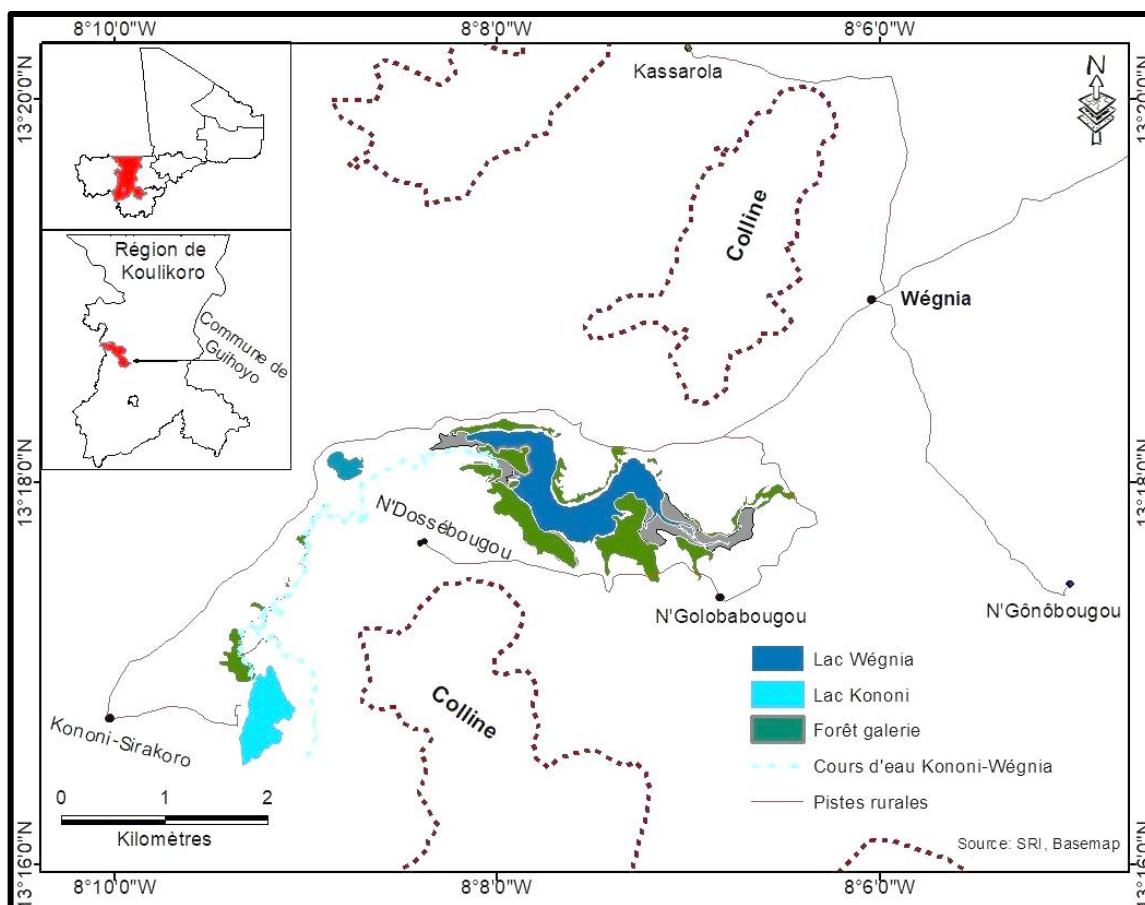


Figure 1 : Présentation du lac Wégnia (source : Magassa, 2021)

2. Les matériels et méthodes

2.1. LES DONNÉES

2.1.1. Les données de terrain

Les données de terrain ont été collectées par une enquête menée dans deux villages riverains du lac Wégnia : Wégnia et Kononi-Sirakoro. Le premier est situé sur les rives du lac Wégnia et le second sur les rives du lac Kononi. Cette enquête s'est appuyée sur un questionnaire destiné aux chefs de ménage et structuré autour des thèmes suivants : compréhension du bassin du lac Wégnia, interactions entre le lac et les populations riveraines, état des ressources naturelles et moyens de subsistance.

L'étude a porté sur un échantillon de 100 personnes et l'échantillonnage aléatoire simple et a utilisé (Formarier, 1992, p. 95). Une liste de chefs de ménage a été préparée pour chaque village : Wégnia, avec 134 chefs de ménage, et Kononi-Sirakoro, avec 54. Les listes ont été numérotées de 1 à N, N indiquant le nombre total de chefs de ménage. Enfin, le nombre estimé de participants dans chaque village a été calculé, en tenant compte de la taille de la population dans les deux localités. Ainsi, un total de 100 chefs de ménage a répondu au questionnaire, avec 71 participants recrutés à Wégnia et 29 à Kononi-Sirakoro. Les noms des participants ont été tirés au sort.

Deux programmes informatiques, Excel et SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), ont été utilisés pour le traitement des données. D'abord encodées dans un fichier Excel, les données ont ensuite été transférées dans SPSS pour une analyse statistique avancée.

2.1.2. Les données satellitaires

Trois images Landsat ont été utilisées dans cette étude : Landsat MSS de 1972, Landsat ETM de 2000 et Landsat OLI-TIRS de 2018. Ces images ont été choisies en fonction de leur qualité et de leur accessibilité sur le site Web de Landsat au moment de leur acquisition. Bien qu'elles n'aient pas été prises la même année, elles ont été obtenues en décembre au cours de la même période (voir tableau I), ce qui justifie leur comparaison. Cette période de l'année correspond à un stade de couverture végétale juste après la saison des pluies dans les régions soudano-sahéliennes (M. A. Sarr, 2009, p. 5). A cette époque, les plantes herbacées jaunissent et perdent leur chlorophylle et leur eau, tandis que les plantes ligneuses conservent leurs feuilles vertes. Il n'est plus possible de confondre ces deux types de plantes. Aussi, pour comparer deux images prises à des dates différentes, il faut qu'elles aient été acquises à la même période de l'année (D. Laffly, 1993, p. 23).

Pour télécharger les images, les critères de sélection ont d'abord été définis, puis une requête a été lancée sur le site web de Landsat¹. Les scènes d'intérêt pour la zone d'études (199/51 et 214/51) ont été identifiées avant leur téléchargement. Celles-ci ont, ensuite, été traitées à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) pour produire des cartes d'occupation du sol.

L'analyse des changements biophysiques dans la zone d'étude a été réalisée en comparant les trois cartes d'occupation du sol, mais aussi en prenant en compte les statistiques relatives aux classes d'occupation du sol. Ces dernières sont au nombre de cinq : sol nu, forêt-galerie, eau libre, savane (savane arborée et savane arbustive) et zones d'eau temporaire.

Tableau I : Les différentes caractéristiques des images utilisées

Dates	Type de capteur	Les bandes	Résolution spatiale	Système de projection
05/12/1972	Landsat-1 MSS	7	60 m	UTM WGS84
30/12/2000	Landsat-7 ETM	9	30 m	UTM WGS84
08/12/2018	Landsat-8 OLI- TIRS	11	30 m	UTM WGS84

Source : <https://landsat.usgs.gov>

2.2. LES OUTILS ET LES TECHNIQUES DE PRODUCTION DES CARTES D'OCCUPATION DU SOL

Afin de faciliter le traitement et l'analyse des images satellites, une zone a été définie autour du lac Wégna (figure 2). Ses dimensions sont les suivantes : longueur = 20,4 km; largeur = 15,3 km ; superficie = 312,12 km² (31292 hectares) ; périmètre = 71,4 km. Cette zone comprend des zones agricoles et pastorales, des zones bâties, des forêts, etc. Elle correspond à la zone où les habitants du lac exercent leurs activités. Moins étendue et bien délimitée, elle rend moins complexe la validation des résultats du traitement d'images sur le terrain.

¹ <http://landsat.usgs.gov/>; lien d'acquisition des données : <https://earthexplorer.usgs.gov/>



Figure 2. Espace délimité autour du lac Wégnia (source : ESRI, 2017 ; Landsat 8)

En prélude au traitement des images, des opérations visant à les rendre plus lisibles et superposables, appelées prétraitements (S. I. M. Salmanou *et al.*, 2018, p. 349), ont été réalisées. Il s'agit notamment des corrections radiométriques et géométriques. Les corrections radiométriques s'intéressent aux effets qui perturbent la mesure radiométrique, en particulier les irrégularités du capteur, le bruit du capteur ou de l'atmosphère (diffusion, absorption...). On doit alors redistribuer les différentes nuances

de gris (ou de couleurs) en vue d'une utilisation efficace de la palette disponible. (Y. El Hadraoui, 2013, p. 34). Quant aux corrections géométriques, elles permettent de rectifier les images satellitaires afin qu'elles soient superposables à des cartes ou à d'autres images sous des coordonnées communes (S. I. M. Salmanou *et al.*, 2018, p. 349). Mais, avant la correction géométrique, les pixels des images MSS de 1972 (60 m) ont été rééchantillonnés pour avoir la même résolution que les pixels ETM et OLI-TIRS, qui ont une résolution de 30 m.

Deux applications complémentaires, ENVI 4.7 et Arc GIS 10.6, ont été utilisées pour traiter les images et produire les cartes d'occupation du sol. Le premier, qui est un logiciel de traitement d'images utilisé pour les compositions colorées et les classifications dirigées, a été utilisé en amont pour numériser et concevoir les cartes d'occupation du sol ; et le second, utilisé en aval, a permis de calculer les statistiques relatives à la superficie des types d'occupation du sol (grâce à la table des attributs). Le système de projection utilisé pour cette correction est le WGS 84/UTM zone 29 N.

Le traitement d'image a commencé par l'application de la technique de la composition colorée pour mieux discerner les éléments de l'image. Les combinaisons ont été choisies comme suit : bandes 4-2-1 pour la scène de 1972, 4-3-2 pour la scène de 2000 et 5-4-3 pour la scène de 2018. Les forêts galeries sont représentées en rouge, tandis que les savanes arborées et arbustives sont représentées en bleu-vert. Les sols nus sont représentés en blanc et l'eau libre est indiquée en bleu. Quant aux savanes arborées et arbustives, elles sont évidentes dans les bandes spectrales visibles et thermiques. (D.H. Akpoyè *et al.*, 2018, p. 575). Les sols nus, tels que les champs agricoles après la récolte, les espaces bâtis et les sols dépourvus de végétation sont détectables dans les bandes spectrales du proche infrarouge, du thermique, et du visible. (*ibid.*).

Ces combinaisons ont permis d'identifier les principaux types d'occupation du sol. Cependant, il y avait une certaine confusion entre les classes de savane arborée et de savane arbustive. Celles-ci ont été combinées en une seule classe d'entité. L'identification des différentes classes d'occupation s'est basée sur les travaux de A. Di Gregorio (2016) sur le « *Land Cover Classification System* » et de I. M. Coulibaly et ses collaborateurs (2011). Mais, c'est surtout la connaissance du terrain et la meilleure qualité des images qui ont été déterminantes dans ce travail.

Après la composition colorée, la classification supervisée a été choisie pour définir les classes d'occupation du sol, ce qui est assez rapide et relativement simple (D. Laffly, 1993, p. 25). Elle consiste à utiliser des classes d'information pour définir des classes spectrales, qui sont un ensemble de pixels ayant les mêmes ou presque les mêmes caractéristiques spectrales en termes de valeur radiométrique dans les différents canaux (J. F. Mas, 2000, p. 355). Sinon, il s'agit de créer une relation entre les deux types de classes (classes spectrales et classes d'information). Ce processus produit des résultats qui peuvent facilement être convertis en surfaces d'occupation du sol (D. Laffly, 1993, p. 25). La classification supervisée est utilisée pour transformer les images satellites en cartes d'occupation des sols (Observatoire du Sahara et du Sahel, n.d., p. 26).

3. Les résultats

L'évolution de l'occupation du sol dans la zone humide du lac Wégénia entre 1972 et 2018 a montré une expansion de la couverture des sols nus, une altération des formations végétales, et une diminution des zones d'eau libre et d'eau temporaire (comme le montrent la figures 3).

3.1. DYNAMIQUE DES SOLS NUS ET DES ZONES D'EAU LIBRE ET TEMPORAIRE

En 1972, les sols nus, y compris les zones bâties, les champs agricoles après récolte et toutes les zones sans arbres telles que les clairières, occupaient une superficie de 1257 hectares (ha) par rapport à la zone définie centrée sur le lac. En 2018, ils atteignent 7601 hectares de la zone considérée, s'étendant considérablement autour du lac et de son bassin versant.

Les étendues d'eau libre ont considérablement diminué. Leur évolution est liée à la variabilité climatique et à l'envasement progressif des plans d'eau. Elles occupaient 288 ha en 1972, 127 ha en 2000 et seulement 114 ha en 2018 (figure 3).

De même, les zones d'eau temporaire ont connu une forte réduction, passant de 3 472 hectares en 1972 à 959 hectares en 2018. La cause de cette diminution reste toutefois à déterminer.

3.2. DYNAMIQUE DES FORMATIONS VÉGÉTALES

L'augmentation de la surface de sol nu s'est faite au détriment de la végétation, qui a régressé. En conséquence, la superficie et la densité de la forêt-galerie ont diminué au fil du temps, passant de 4 693 ha en 1972 à 3 661 ha en 2018, soit une réduction de 1 032 ha en l'espace de 46 ans (figure 3). La savane a diminué, passant de 21 582 ha en 1972 à 18 957 ha en 2018.

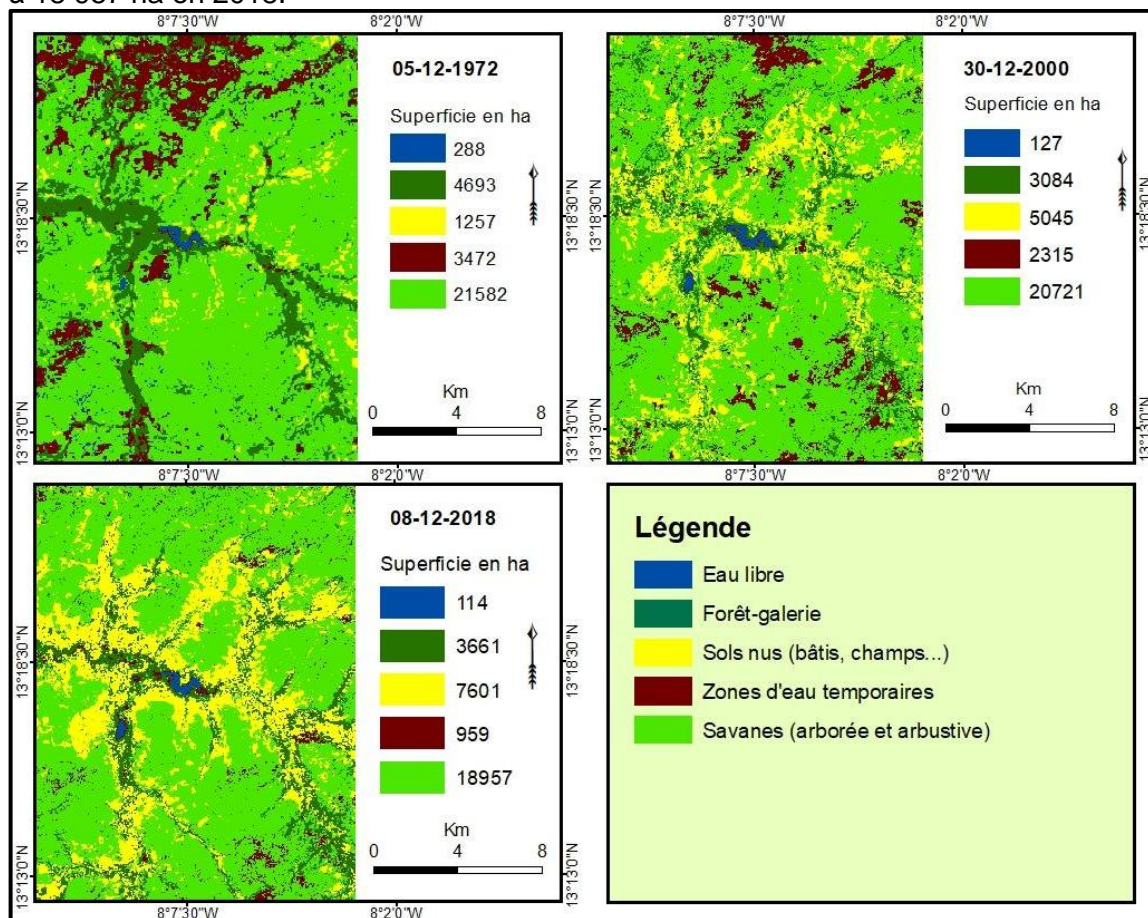


Figure 3. Occupation du sol et superficie des différents types d'occupation dans la zone humide du lac Wégna en 1972, 2000 et 2018, (source : ESRI, 2017 ; <https://landsat.usgs.gov>).

3.3. LES RAISONS DE L'ÉVOLUTION DE TYPES D'OCCUPATION DU SOL

L'expansion de la surface des sols nus est corrélée à la croissance et à l'activité de la population, ainsi qu'aux effets climatiques locaux. Cette augmentation démographique entraîne l'extension des zones agricoles, des feux de brousse incontrôlés, une exploitation forestière excessive et le surpâturage. La population de Wégna était de 947 habitants en 1998. En 2009, elle est passée à 1 534, soit une croissance de 62 % en 11 ans (DNSI/BCR, 1998, p. 43 ; INSTAT-Mali, 2013, p. 75). Cette poussée démographique s'explique non seulement par l'excédent des naissances sur les décès, mais aussi par l'installation de quelques agriculteurs dans le bassin du lac au cours des années 1970 et 1980. C'est grâce à cette migration que les villages de Dossébougou et de N'Golobabougou ont été créés entre 1976 et 1983 (nos enquêtes, 2018). En s'installant près du lac, ces agriculteurs bénéficient des sols fertiles des bas-fonds, des plaines inondables et des rives du lac. Ces zones sont également propices au creusement de puits maraîchers en raison de la faible profondeur de la nappe phréatique. La concentration des cultures céréalières et maraîchères autour du lac et son bassin versant en est la preuve.

4. Discussion

Les résultats de cette étude montrent que la zone humide du lac Wégna a subi une détérioration progressive de 1972 à 2018. Celle-ci est caractérisée par l'extension de la superficie des sols nus, la régression du couvert végétal et la réduction des zones d'eau libre et temporaire. Le développement des activités humaines à proximité du lac et les conditions climatiques locales (sécheresses) sont les principaux facteurs contribuant à ce phénomène de dégradation.

Un aperçu de la littérature montre que ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par d'autres auteurs. Par exemple, en ce qui concerne la dégradation des sols, E. Roose (1985, p. 510) conclut que dans les savanes soudaniennes, surtout dans la partie sahélienne, la dégradation des sols peut être expliquée par deux phénomènes majeurs : les sécheresses récurrentes et les activités humaines. Certes les sécheresses jouent un rôle accélérateur, mais ce sont les activités humaines qui sont le facteur principal, par l'augmentation des surfaces défrichées et cultivées, parfois sans respecter les mesures adéquates de conservation des sols, le surpâturage et la pratique des feux annuels. Quant à l'impact de la croissance démographique sur la destruction du couvert végétal, P. Chabalié (2002, p. 100) postule que dans les pays pauvres, la forte croissance démographique est à l'origine du défrichement des forêts, de la réduction des périodes de jachère et de la gestion des pâturages par le feu. Or, tout défrichement entraîne un certain déséquilibre du sol. De plus, le ruissellement et l'érosion augmentent dès que le sol est mis à nu (E. Roose, 1984, p. 24). Ce processus conduit au dépôt de sédiments dans les systèmes hydrologiques, en commençant par la dégradation des bassins versants et en aboutissant à l'envasement des lacs. Ce lien de causalité a été démontré par de nombreux auteurs. Au Cameroun, l'érosion des sols dans le bassin versant du lac Dang entraîne sa dégradation, comme l'ont démontré N. Daïwe et B.N. Ngatcha (2010, p. 65). R. Andriamasimanana et M. Rabarimanana (2011, p. 27) sont parvenus aux mêmes résultats concernant le lac Kinkony à Madagascar. W. Remini et B. Remini (2003, p. 45) affirment que l'érosion majeure des bassins versants est liée à la sédimentation des réservoirs en Afrique du Nord. Au Mali, selon A. Berthe et B. Koné (2008, p. 47), l'effondrement des

berges et l'envasement des cours d'eau sont la conséquence de la dégradation de leurs bassins versants.

Il est évident que la détérioration du lac Wégna est liée aux activités humaines dans son bassin, ainsi qu'aux effets du climat (sécheresses). Cela a eu un impact sur les services écosystémiques dont dépendent les populations locales. En conséquence, leurs moyens de subsistance sont devenus vulnérables. Les activités telles que la pêche, la chasse, l'élevage et le maraîchage ont été les plus touchées.

Conclusion

La croissance démographique dans le bassin versant du lac Wégna et l'expansion des activités humaines ont entraîné la dégradation du couvert végétal, l'accélération de l'érosion hydrique et, en fin de compte, l'envasement du lac. En conséquence, les moyens de subsistance des communautés voisines ont été affectés, avec une diminution de l'activité de pêche et la disparition de plusieurs oiseaux et animaux sauvages, mettant en péril la chasse. L'abaissement de la nappe phréatique (assèchement prématuré de certains puits) rend difficile l'approvisionnement en eau des ménages et des cultures maraîchères, impose des restrictions à l'élevage des animaux domestiques qui risquent de s'abreuver dans la boue du lac, etc.

Le lac Wégna est crucial pour la population locale, car il fournit des services écosystémiques essentiels aux communautés riveraines. Il est donc de la plus haute importance d'œuvrer à sa conservation afin de prévenir sa dégradation et d'assurer sa viabilité à long terme. Une stratégie de gestion devrait être mise en œuvre pour réhabiliter et entretenir ce lac, compte tenu de l'incertitude écologique découlant des niveaux élevés d'activité humaine et des risques posés liés aux changements climatiques.

Références bibliographiques

AKPOYÈTÈ Damase Hintchémè, LANDEOU Rodrigue C., & ORÉKAN Vincent O., (2018) « Anthropisation et dynamique des paysages en pays Agonlin au Bénin ». *European Scientific Journal*, ESJ, 14 (36).

ANDRIAMASIMANANA Rado et RABARIMANANAI Mamy, (2011) « Analyses de la dégradation du lac Kinkony pour la conservation du Complexe des Zones Humides Mahavavy-Kinkony, Région Boeny, Madagascar » *Madagascar Conservation & Development*, 6(1).

BERTHE Abdoulaye & KONE Bakary, (2008) « Wetlands and Sanitation - A View from Africa », in *Healthy Wetlands, Healthy People, Report of the Shaoxing City Symposium* (pp. 41-56).

CHABALIER Pierre, (2003) « Les phénomènes de dégradation des sols et de l'environnement : Facteurs physiques et humains », Mémoires de l'académie des Arts, lettres, et sciences, 49, Actes du colloque : sol, environnement et développement (23-26 octobre 2002).

CONVENTION ON WETLANDS SECRETARIAT (2023). Service d'information sur les zones humides. <https://www.ramsar.org/fr>, consulté le 03-09-2023.

COULIBALY Fa. (2013). *Analyse de la gouvernance locale de la zone humide du lac Wégna (Mali)* (Mémoire de Master). Université Senghor, Alexandrie (Égypte), 59 p.

COULIBALY Issa Mamourou, TRAORÉ Namory, TIMBO Soumana & DEMBÉLÉ Ibrahim. (2011). Fiche descriptive sur la zone humide du lac Wegnia, République du Mali, 10 p.

DAÏWE Nestor, & NGATCHA Benjamin NGOUNOU (2010) « Étude de l'envasement du lac Dang (Ngaoundéré, Cameroun) et estimation des transports solides en suspension. *Pangea*, N° 47/48, pp.63-67.

DI GREGORIO Antonio (2016) *Land Cover Classification System—Classification concepts Software version 3*, FAO, Rome, 40 p.

DICKO Mohamed Bana, Diarra Balla & TRAORÉ Namory (2007), Inventaire et caractérisation des zones humides au Mali, ministère de l'Environnement et de l'assainissement du Mali/Direction nationale de la conservation de la nature, Bamako, 240 p.

DNSI/BCR (Direction nationale de la statistique et de l'informatique/Bureau central de Recensement, (1998) « Répertoire des villages et fractions par région, cercle et commune, RGPH 98, Bamako, 195 p. http://www.malikunnafoni.com/bibliostat/docs/149114008_dnsi_1998.pdf, consulté le 10-06-2018.

EL HADRAOUI Youssef (2013), Étude diachronique de l'occupation du sol et de modélisation des processus érosifs du bassin versant du Bouregreg (Maroc) à partir des données de l'Observation de la Terre. Mémoire d'Ingénieur Géomètre-Topographe. CNAM. Maroc, 88 p.

FORMARIER Monique (1992) « Les échantillonnages – petites révisions », *Recherche en soins infirmiers* », N°31, 91-98.

GAROJANI Abdelkader EI, CHEN Hao, LEWIS Lawrence, TRIBAK Abdellatif & ABHAROUR Mohamed (2008) « Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG Idrisi au nord-est du Maroc. Télédétection, éditions scientifiques gb », 8(3), 193-201.

INSTAT-Mali (Institut National de la Statistique du Mali), 2013, 4^e recensement général de la population et de l'habitat du Mali (RGPH), résultats définitifs, République du Mali, 298 p. http://www.instat-mali.org/contenu/rgph/tdemo09_rgph.pdf, consulté le 06-07-2021.

LAFFLY Dominique (1993) « L'évolution des paysages et de l'occupation du sol observée par satellites », *Mappemonde*, 3(93), 22–28.

MAGASSA Modibo (2021) Gestion adaptative des zones humides : une approche de réduction de la vulnérabilité des populations riveraines face aux effets des changements climatiques : exemple du lac Wégria dans la région de Koulikoro, au Mali, Thèse de doctorat, Faculté de foresterie, de géographie, et de géomatique, Université Laval, Québec, Canada, 305 p.

MAS J. F., (2000) « Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement », *Canadian Journal of Remote Sensing*, 26(4), 349-362.

MATCL/ARK (Ministère de l'Administration Territoriale et des Collectivités Locales/Assemblée Régionale de Koulikoro) (2012) Étude diagnostique des secteurs économiques porteurs et espaces économiques partagés dans la région de Koulikoro, République du Mali, 115 p. <https://docplayer.fr/118760121-Etude-diagnostique-des-secteurs-economiques-porteurs-et-espaces-economiques-partages-dans-la-region-de-koulikoro.html>, consulté le 06-07-2021.

OBSERVATOIRE DU SAHARA ET DU SAHEL, (s.d), Amélioration de la Résilience des Populations sahéniennes aux Mutations environnementales : Cartographie de l'occupation du sol Spécifications technique, http://www.oss-online.org/rep-sahel/images/Etudes/Regionales/Specifications_Cartographie_Ocupation_Sols_OSS_REPSAHEL.pdf, consulté le 06-07-2021.

REMINI W., & REMINI B., (2003) « La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du Nord », *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°2, pp. 45-54.

ROOSE Eric (1984) « Impact du défrichement sur la dégradation des sols tropicaux », *Machinisme agricole tropical*, n°87, 24-36.

ROOSE Eric (1985) « Dégradation des terres et développement en Afrique de l'Ouest » Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux, 20 (3-4), 505–537.

SALMANOU Souleymane ISSA MALAM, SANDAO Issoufou, BABAYE Maman Sani ABDU, & OUSMANE Boureima (2018) « Dynamique de l'occupation des sols et l'évolution des mares dans le haut bassin versant de la Korama, Commune rurale de Droum, Région de Zinder », *Afrique SCIENCE*, 14(4), 346-358.

SARR Mamadou Adama (2009), « Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 1990 et 2002 dans le nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat » *Cybergeo : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*.