

Analyse spatio-temporelle de la dynamique de la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) dans le lac Lagdo à partir des données Landsat et Sentinel-2A

Kenn Metou'ou

Ingénieur en gestion des écosystèmes aquatiques, Master II professionnel en cartographie, SIG et télédétection, Professeur des collèges d'enseignement technique et professionnel en informatique; Université de Yaoundé I; Ministère des Enseignements secondaires, Cameroun

[Doi:10.19044/esj.2026.v22n18p111](https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n18p111)

Submitted: 05 April 2026

Accepted: 22 June 2026

Published: 30 June 2026

Copyright 2026 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Metou'ou, K. (2026). *Analyse spatio-temporelle de la dynamique de la jacinthe d'eau (Eichhornia crassipes) dans le lac Lagdo à partir des données Landsat et Sentinel-2A*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (18), 111.

<https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n18p111>

Résumé

La jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) est une plante aquatiques envahissante. La prolifération de la jacinthe d'eau a atteint son paroxysme en novembre 2022, dans le lac Lagdo. La présence de la jacinthe d'eau est devenue un sérieux problème environnemental et socio-économique dans le lac Lagdo. Aujourd'hui, grâce aux progrès des capteurs tels que : Sentinel et Landsat, des séries d'images satellitaires sont disponibles, pour le suivi spatio-temporel régulier et à moindre coût de la prolifération de la jacinthe d'eau. L'objectif principal de cette étude était de déterminer le seuil de la température de surface favorable à la prolifération de la jacinthe d'eau dans le lac Lagdo.

La présente étude s'est concentrée sur trois axes. Premièrement, l'évaluation multi-temporelle de la superficie du lac Lagdo, en utilisant la technique de seuillage appliquée aux images du capteur Landsat-5&7, qui a révélé une réduction de la superficie du lac passant de 675km² en 1987 à 484km² en 2023 soit une perte de 28%. Ce rétrécissement est remarqué sur le pourtour Est, Sud-Est et Sud-Ouest. Deuxièmement, une évaluation multi-temporelle de l'occupation de la jacinthe d'eau, en calculant l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (IVDN) aux images du capteur Sentinel-2A. Cet indice a montré un taux d'occupation de 19,05% de la

jacinthe d'eau en décembre 2022, soit une surface de 92,24km² et en février 2024 un taux d'occupation de 12,38% de la jacinthe d'eau, soit une surface de 59,95km². Troisièmement, une évaluation multi-temporelle de la température de la surface, en appliquant la méthode de Chander et Markham. (2003) aux images du capteur Landsat-7. Les résultats ont montré des valeurs de température de surface comprises entre 19,21°C-24,89°C en décembre 2022 et en décembre 2023 les valeurs comprises entre 22,87°C-25,89°C.

L'échantillonnage aléatoire des points de la jacinthe d'eau par rapport à la température de surface de décembre 2022, a révélé que la température minimum pour l'apparition de la jacinthe d'eau est d'environ 21°C.

Mots-clés: Sentinel-2A, échantillonnage aléatoire, seuillage, Landsat, IVDN

Spatio-Temporal Analysis of the Dynamics of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Lake Lagdo Using Landsat and Sentinel-2A Data

Kenn Metou'ou

Engineer in Aquatic Ecosystem Management; Professional Master's Degree in Cartography, GIS, and Remote Sensing; Teacher of Computer Science in Technical and Vocational Secondary Education; University of Yaoundé I; Ministry of Secondary Education, Cameroon

Abstract

The water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) is an invasive aquatic plant. The proliferation of water hyacinth reached its peak in November 2022 in Lake Lagdo. The presence of water hyacinth has become a serious environmental and socioeconomic problem in Lake Lagdo. Today, thanks to advances in sensors such as Sentinel and Landsat, satellite image series are available for regular, low-cost spatiotemporal monitoring of water hyacinth proliferation. The main objective of this study was to determine the surface temperature threshold conducive to the proliferation of water hyacinth in Lake Lagdo.

This study focused on three main areas. First, a multi-temporal assessment of the surface area of Lake Lagdo, using a thresholding technique applied to Landsat-5&7 sensor images, revealed a reduction in the lake's surface area from 675km² in 1987 to 484km² in 2023, representing a loss of 28%. This shrinkage is observed along the eastern, southeastern, and southwestern shores. Second, a multi-temporal assessment of water hyacinth coverage was conducted by calculating the Normalized Difference Vegetation

Index (NDVI) using Sentinel-2A sensor imagery. This index showed a water hyacinth coverage rate of 19.05% in December 2022, corresponding to an area of 92.24km², and in February 2024, a coverage rate of 12.38%, corresponding to an area of 59.95km². Third, a multi-temporal assessment of surface temperature was conducted by applying the method of Chander and Markham (2003) to Landsat-7 sensor images. The results showed surface temperature values ranging from 19.21°C to 24.89°C in December 2022, and from 22.87°C to 25.89°C in December 2023.

Random sampling of water hyacinth locations in relation to surface temperature in December 2022 revealed that the minimum temperature for the appearance of water hyacinth is approximately 21°C.

Keywords: Sentinel-2A, random sampling, thresholding, Landsat, NDVI

Introduction

La jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) est une plante aquatiques envahissante flottante originaire de l'Amazonie, et répandue par l'homme par le biais de l'horticulture dans les régions tropicales et subtropicales (Gopal, 1987). Sa croissance est une des plus rapides du règne végétal, les graines sont produites en grand nombre dans des capsules, chaque capsule pouvant contenir jusqu'à 300 graines (Adamou et al., 2015). La jacinthe d'eau est une plante pérenne à croissance indéterminée (Fortier, 2007). La multiplication de la jacinthe s'effectue principalement par voie végétative à partir des stolons, dispersés par les courants (Navarro et Phiri, 2000). Le cycle de développement de la jacinthe d'eau est fonction des variations saisonnières et des différents facteurs environnementaux (Mama et al., 2011). Des facteurs tels que les concentrations d'azote et de phosphore totaux, le pH, la salinité, la température et la profondeur sont propices à son développement (Dersseh et al., 2019). Des études antérieures ont montré que l'ensoleillement et la température de surface influencent fortement la croissance de la jacinthe d'eau en affectant son taux d'absorption des nutriments (Urbanc-Berčič et Gabersčik, 1989). La récupération précise de la température de surface, à partir des données de l'infrarouge thermal dépend des effets atmosphériques, des paramètres du capteur, c'est-à-dire de la plage spectrale et de l'angle de vue, et des paramètres de surface tels que l'émissivité et la géométrie (Dash et al., 2001). De nombreux chercheurs ont proposé différentes approches pour la récupération de la température de surface en tenant compte de ces facteurs (Becker et Li, 1990), parmi lesquelles, la méthode simplifiée de Chander et Markham. (2003).

Dans le bassin du lac Lagdo la jacinthe d'eau fut apparu vers l'année 1997. Les premiers effets néfastes de la présence de la jacinthe d'eau dans le lac Lagdo ont été observés par la population riveraine en l'an 2004. La

prolifération de la jacinthe d'eau a atteint son paroxysme en novembre 2022. La présence de la jacinthe d'eau est devenue un sérieux problème environnemental et socio-économique dans la zone du lac Lagdo. Elle laisse entrevoir des inconvénients majeurs tels que : la colonisation des rives du lac et des chenaux d'irrigation ; les difficultés d'accès aux abords du lac pour l'alimentation en eau des populations et l'abreuvement du bétail ; l'obstruction des débarcadères pour la pêche ; le pourrissement des tiges et envasement entraînant l'altération de la qualité de l'eau ; la réduction de l'activité du barrage hydroélectrique. Aujourd'hui, grâce aux progrès des capteurs tels que : Sentinel et Landsat, des séries d'images satellitaires sont disponibles, pour le suivi spatio-temporel régulier et à moindre coût de la prolifération de la jacinthe d'eau. L'application de la télédétection pour surveiller et gérer la jacinthe d'eau a été reconnue au cours des dernières années (Asmare et al., 2020; Dersseh et al., 2020; Dube et al., 2017; Mutanga et al., 2017; Thamaga et Dube, 2019). L'une des méthodes de classification de la végétation couramment utilisée est l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). L'indice NDVI est un indicateur de la biomasse des surfaces (terrestres et aquatiques) et présente des variations saisonnières (Piao et al., 2003; Reed et al., 2009). Une étude précédente (Robles et al., 2015) a montré que l'indice NDVI de la jacinthe d'eau se situe entre 0,81 et 0,94. L'objectif principal de cette étude était de déterminer le seuil de la température de surface favorable à la prolifération de la jacinthe d'eau dans le lac Lagdo.

Matériel et méthodes

Présentation de la zone d'étude

Le lac Lagdo est un lac de barrage sur la rivière Bénoué, situé dans la région du Nord Cameroun. Le lac Lagdo 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 08.71N et 09.04N et entre longitude 13.65E et 14.08E. Le lac Lagdo se trouve dans un bassin versant de forme allongée (Indice de Gravinus : $K_G=2$), de surface 30777km², de périmètre de 1194km et d'altitude moyenne de 465,55m (figure 1).

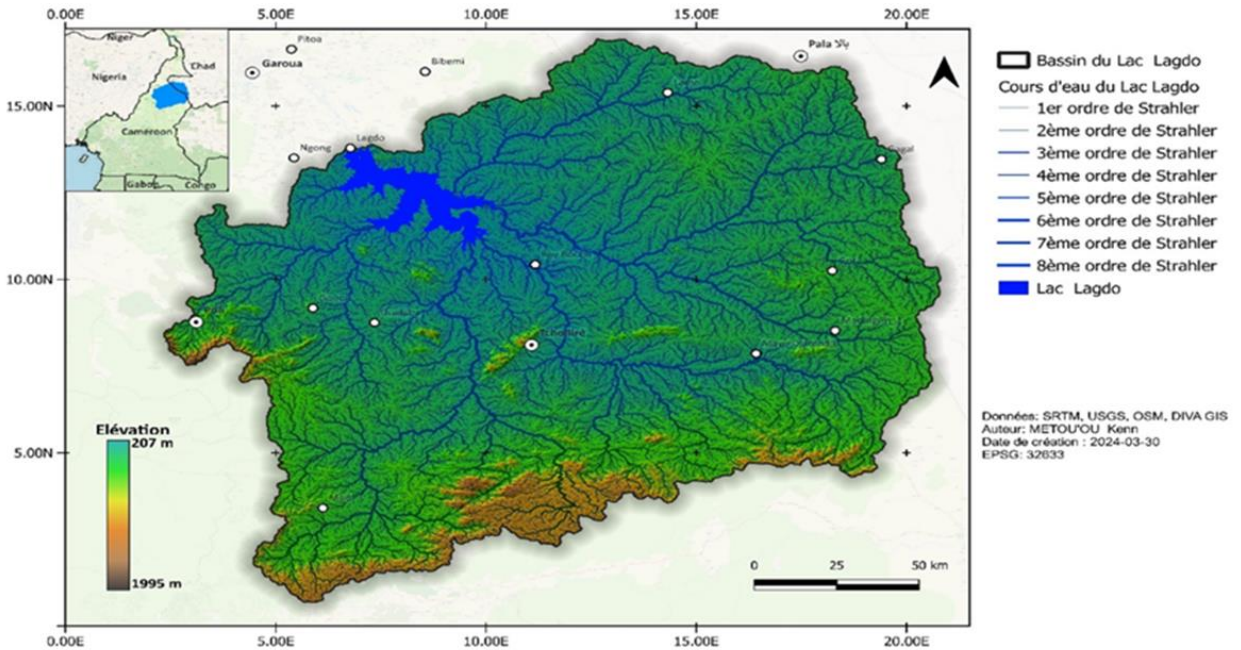


Figure 1 : Localisation du lac Lagdo dans son bassin versant

Le relief est caractérisé par trois grands groupe de sols qui sont : les vertisols qui représentent les sols les plus fertiles ; les sols hydromorphes qui regroupent les gleysols, stagnosols et fluvisols ; les sols légers constitués des planosols et lixisols (Gavaud et al., 1975). La végétation caractéristique originelle est celle d'une savane arborée, dégradée en savane arbustive à herbeuse laissant la place dans les zones très dégradées à une steppe à épineux épars. Selon Djoufack (2011) , le climat de Lagdo est tropical de type soudanien à soudano-sahélien caractérisé par deux saisons : une saison sèche qui va du mois de novembre au mois de mars ; une saison des pluies qui débute en avril et se termine en octobre. Les températures sont élevées avec une moyenne de 32,2°C avec des maxima moyens atteignant 39°C au mois d'Avril. Toutefois, de grandes irrégularités sont signalées d'une année à l'autre et même d'un mois à l'autre. L'humidité relative est assez faible, elle est inférieure à 35% sur plus de la moitié de l'année. Le réseau hydrographique est composé de deux grands types d'écoulement à savoir : les mayos à écoulement semi-permanent et les rivières à écoulement permanent. Les mayos sont la première composante de l'hydrographie. La faune aquatique est ramenée à celle du fleuve Bénoué, dont la variété estimée à 129 espèces (Daget et Stauch, 1963). Selon le site web d'OIDP Afrique, la prise des poissons dans le lac de Lagdo est passée de près de 20 000 tonnes de poissons

en 1986 à moins de 3000 tonnes en 2013. Des espèces de poissons autrefois rencontrées ont disparu des prises c'est le cas du *Dasyatis garouaensis* (MEADEN, 2005).

Évaluation de la superficie

Le suivi spatio-temporel de l'évolution de la superficie du lac Lagdo, a conduit à privilégier trois scènes du capteur Landsat. Les trois images Landsat qui ont été utilisées couvre une période de 36 ans, soit l'image Landsat-5 TM du 20 octobre 1987, Landsat-7 ETM+ du 15 décembre 2008 et l'image Landsat-7 ETM+ du 01 novembre 2023. La méthode par seuillage d'une image a été appliquée dans le logiciel ENVI 5.6, pour isolé le lac (Shafait et al., 2008). Pour une bonne caractérisation et exploitation de l'information extrait par la méthode de seuillage, toutes les valeurs d'occurrences ont été regroupées en une couche dans le logiciel ArcGIS 10.8. En fin, la digitalisation a permis d'obtenir les différentes couches vectorielles.

Intensité de la jacinthe d'eau

La construction de la série temporelle de l'évaluation de l'occupation de la jacinthe d'eau a été faite à l'aide des images provenant du capteur Sentinel-2A. Ces-dernières, ont été acquises le 19 décembre 2022, 24 mai 2023 et le 18 février 2024. Ces images ont été sélectionnées en raison de leur excellente qualité. Premièrement, les corrections atmosphériques de terrain et des cirrus sont déjà appliquées. Deuxièmement, leur date d'acquisition est assez proche dans l'année.

Pour parvenir aux résultats, l'indice spectral NDVI a été appliqué aux images dans le logiciel IMPACT.Toolbox.5.51. Cet indice normalisé est compris entre -1 et 1. Les valeurs négatives correspondent aux surfaces autres que les couverts végétaux. Dans cette étude, les valeurs négatives correspondent à la surface de l'eau, tandis que les valeurs positives indiquent les surfaces couvertes de la jacinthe d'eau. Car, le lac Lagdo est essentiellement couvert par la jacinthe d'eau comme le montre la photo 1.



Photo 1 : Invasion de la jacinthe d'eau dans le lac Lagdo

L'indice spectral NDVI de formule : $NDVI = \frac{PIR-R}{PIR+R}$

Cette formule repose sur le contraste des caractéristiques de deux canaux d'un jeu de données raster multispectral : l'absorption du pigment chlorophyllien dans le canal rouge (R) et la haute réflectivité des matières végétales dans le canal proche infra-rouge (PIR) (Tucker, 1979). Pour une meilleure appréciation de l'information extrait par l'indice spectral NDVI, la zone d'étude a été limitée avec la couche vectorielle du lac Lagdo 2023, en effectuant une extraction par masque dans le logiciel ArcGIS Desktop 10.8. Ensuite, à une application des couleurs représentatives de l'eau et de la jacinthe d'eau respectivement le bleu et le vert.

Détermination de la température de surface

Pour la récupération de la température de surface, qui ne correspond qu'à la température de premiers 100 μm de profondeur de la masse d'eau (Hook et al., 2003), deux images du capteur Landsat-7 ETM+ ont été utilisées : celle du 19 décembre de 2022 et celle du 27 décembre 2023. Ces images ont été sélectionnées en raison de la couverture totale de la zone d'étude en une seule scène.

Prétraitement d'images

Le 31 mai 2003, Landsat-7 ETM+ a connu une panne dans son mécanisme de correction de ligne de balayage. Pour combler ces lacunes, l'algorithme d'ajustement radiométrique de remplissage landsat_gapfill.sav du logiciel ENVI a été utilisé.

Traitement d'images

Dans cette étude la méthode de Chander et Markham. (2003) a été utilisée dans le logiciel ArcGIS Desktop 10.8. Le premier paramètre calculé est la radiance spectrale, en appliquant la formule suivante :

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} \right) (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda}$$

Où :

- L_{λ} = radiance spectrale à l'ouverture du capteur en watts / (mètre carré * ster * μm)
- QCAL = la valeur de pixel calibrée quantifiée en DN
- $LMIN_{\lambda}$ = la radiance spectrale mise à l'échelle en QCALMIN en watts / (mètre carré * ster * μm)
- $LMAX_{\lambda}$ = la radiance spectrale mise à l'échelle en QCALMAX en watts / (mètre carré * ster * μm)
- QCALMIN = la valeur minimale du pixel calibré quantifié (correspondant à $LMIN_{\lambda}$) en DN = 0
- QCALMAX = la valeur maximale du pixel calibré quantifié (correspondant à $LMAX_{\lambda}$) en DN = 255.

L'étape suivante consiste à calculer la température effective visualisée par satellite du système visuel Terre-atmosphère (température de la surface du sol). En ajoutant -273,15, la conversion de Kelvin en degrés Celsius est effectuée. La formule correspondante est :

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} - 273.15$$

Où :

- T = température effective au niveau du satellite en Kelvin
- K2 = constante d'étalonnage 2 à partir du fichier de métadonnées
- K1 = constante d'étalonnage 1 à partir du fichier de métadonnées
- L_{λ} = rayonnement spectral en watts / (mètre carré * ster * μm)

Résultats

Évaluation de la superficie

Le suivi spatio-temporel de l'évolution de la superficie a révélé que le lac Lagdo est passé de 675km² en 1987 à 484km² en 2023, soit une diminution de 191km², qui vaut 28% de perte de sa superficie. La carte de synthèse de l'évolution de la superficie du lac Lagdo (figure 2), a montré un recul du plan d'eau remarquable sur le pourtour Est, Sud-Est et Sud-Ouest. Cette perte serait liée d'une part, au comblement du lac Lagdo dû à l'érosion éolienne et eaux de ruissellement (Douga et Djiangoue, 2020). D'autre part, à l'effet de la variabilité climatique (Sylvestre et al., 2012).

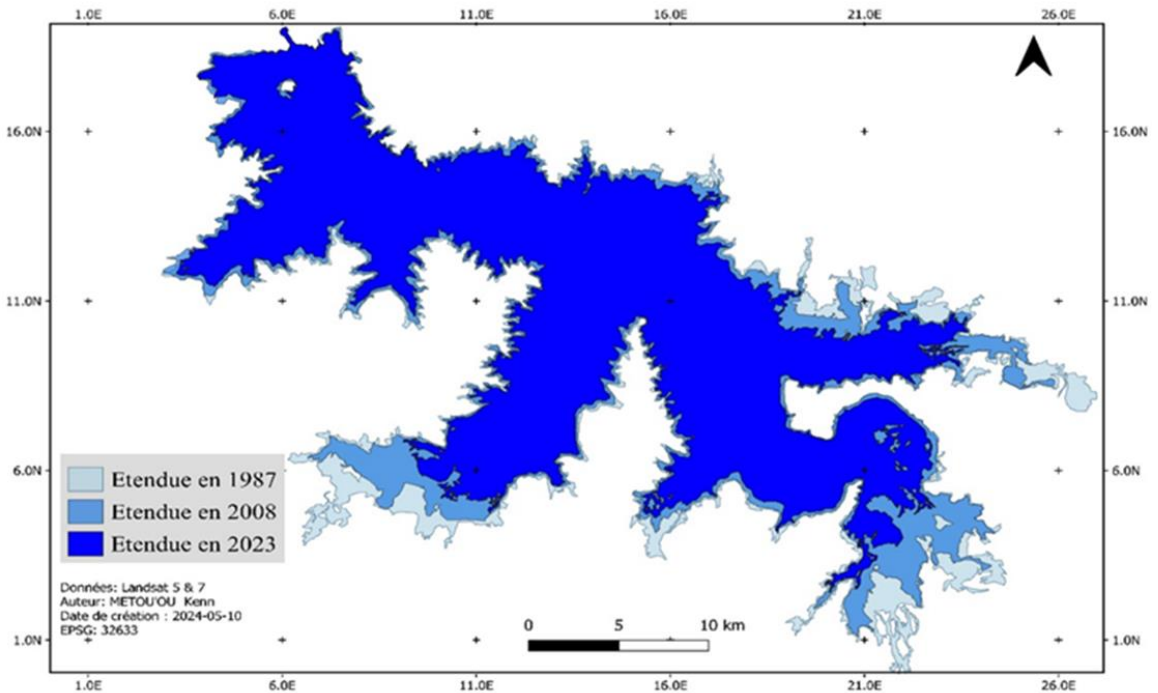


Figure 2 : Carte de synthèse de l'évolution spatio-temporelle de la superficie du lac Lagdo des années 1987, 2008 et 2023

L'analyse de la régression linéaire simple des superficies obtenues en fonction des différentes années, met en évidence un très fort coefficient d'explication ($R^2=0,9591$) (figure 3). De cette régression linéaire simple, la disparition totale du lac Lagdo est prévue en 2121.

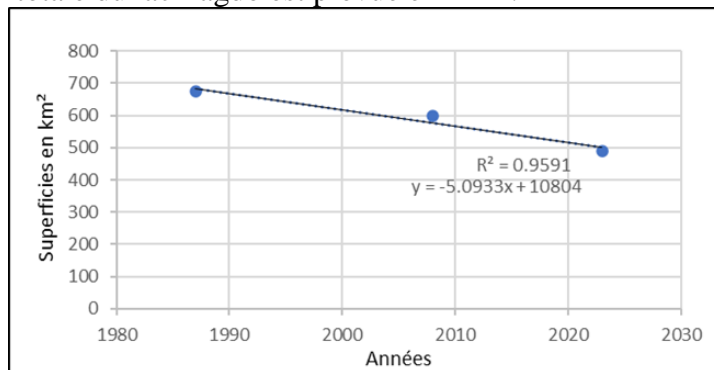


Figure 3 : Régression linéaire simple entre les superficies du lac Lagdo aux années 1987, 2008 et 2023

Intensité de la jacinthe d'eau

La série spatio-temporelle d'intensité de la jacinthe d'eau a présenté une répartition différente (figure 4). En décembre 2022, la couverture était la

plus importante occupant une superficie de 92,24km² soit 19,05%, la jacinthe d'eau était visible sur les pourtours Est, Sud, Sud-Est, Sud-Ouest du lac. En mai 2023, le taux d'occupation de la jacinthe d'eau était de 16,55% occupant une superficie de 80,11km², la jacinthe d'eau était concentrée dans la partie Est, Sud-Est et Nord-Est du lac. En février 2024, la jacinthe d'eau occupait 12,38% soit une surface de 59,95 km², avec une occupation remarquable dans les zones Nord, Nord-Ouest et Sud-Ouest, mais avec une forte expansion vers la partie centrale du Lac. Le développement de la jacinthe d'eau justifie la présence d'une grande quantité d'éléments nutritifs notamment du phosphore et de l'azote (Bodo et al., 2006). La population étant galopante aux environs du lac et pratiquant comme activité secondaire l'agriculture (Douga et Djiangoue, 2020), il se pourrait que les éléments fertilisants sont en quantité importante dans le lac après la saison de culture (MEAVSB/MEADEN, 2002).

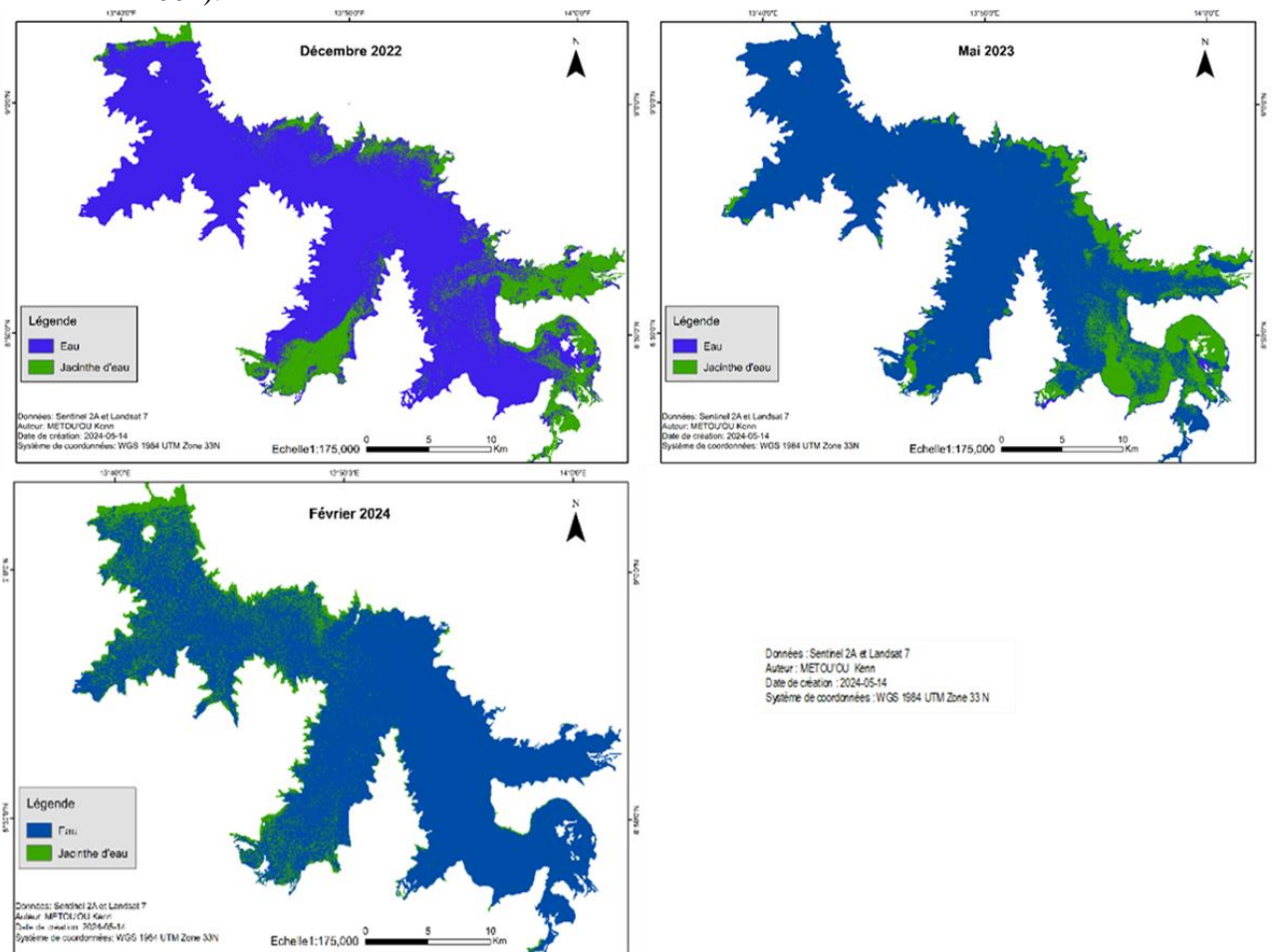


Figure 4 : Répartition spatio-temporelle de la jacinthe d'eau dans le lac Lagdo entre décembre 2022, mai 2023 et février 2024

Ces quantités d'occupation de la jacinthe d'eau sont décroissantes de décembre 2022 à février 2024 (figure 5). Cette baisse peut être justifiée d'une part, par la lutte manuelle et mécanique de la jacinthe d'eau, organisée par la commune de Lagdo après la catastrophe écologique de décembre 2022. D'autre part, par le cycle de développement de la jacinthe d'eau qui est fonction des variations saisonnières et des différents facteurs environnementaux (Mama et al., 2011).

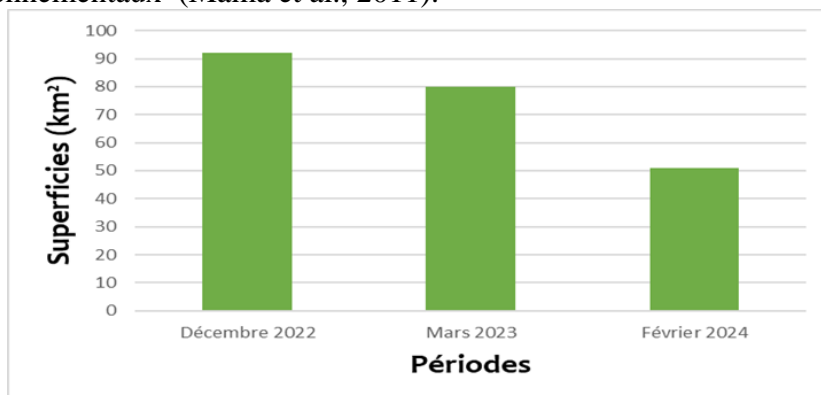


Figure 5 : Répartition temporelle de la jacinthe d'eau dans le lac Lagdo entre décembre 2022, mai 2023 et février 2024

Détermination de la température de surface

Les valeurs de la température de surface varient de 19,21°C à 24,36°C en décembre 2022 et de 22,87°C à 25,89°C en décembre 2023, soit une augmentation de 3,66°C (figure 6). L'augmentation de la température est assimilable à une charge importante des matières organiques et inorganiques, influençant ainsi directement le métabolisme des organismes aquatiques et leur répartition (Hecky, 2000). L'augmentation de la température de surface dans le lac Lagdo serait due d'une part, aux déchets des matières plastiques, aux déchets d'animaux présents dans l'eau, qui résultent des activités pratiquées aux abords du lac Lagdo (Douga et Djiangoue, 2020). D'autre part aux perturbations climatiques liées aux vagues de chaleurs et à l'augmentation de la température que connaît la région du Nord-Cameroun.

Relation entre température de surface et la présence de la jacinthe d'eau

L'échantillonnage aléatoire des points de la jacinthe d'eau, suivi de l'extraction des valeurs de ces points par rapport à la température de décembre 2022, a montré que le seuil de la température de surface favorable à la prolifération de la jacinthe d'eau dans le lac Lagdo est d'environ de 21°C (figure 7). Des études antérieures ont montré que l'ensoleillement et la température de surface influencent fortement la croissance de la jacinthe d'eau en affectant son taux d'absorption des nutriments (Urbanc-Berčič et Gaberščik, 1989).

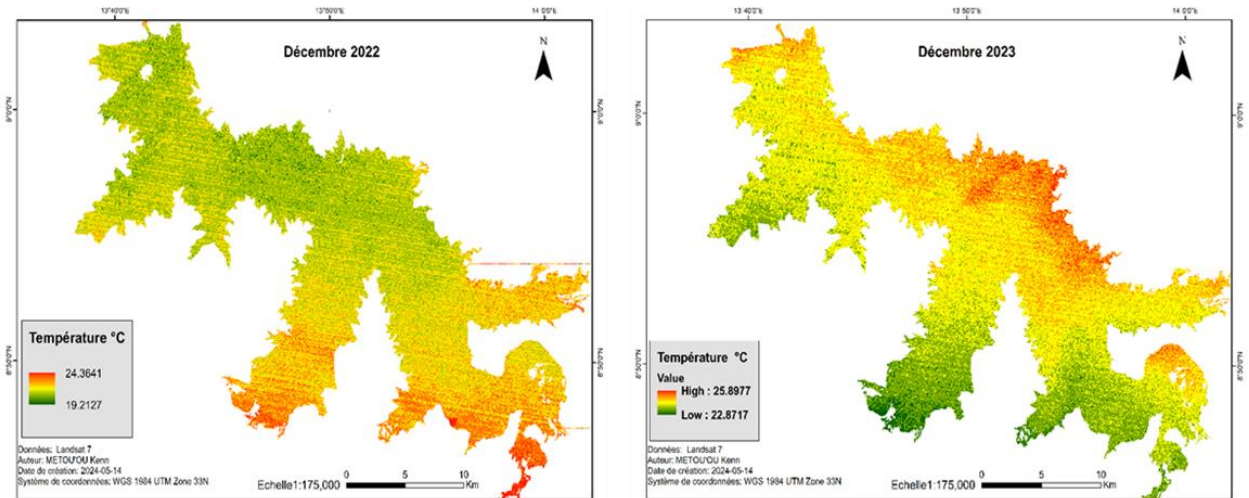


Figure 6 : Répartition de la température de surface entre Décembre 2022 et Décembre 2023 dans le lac Lagdo

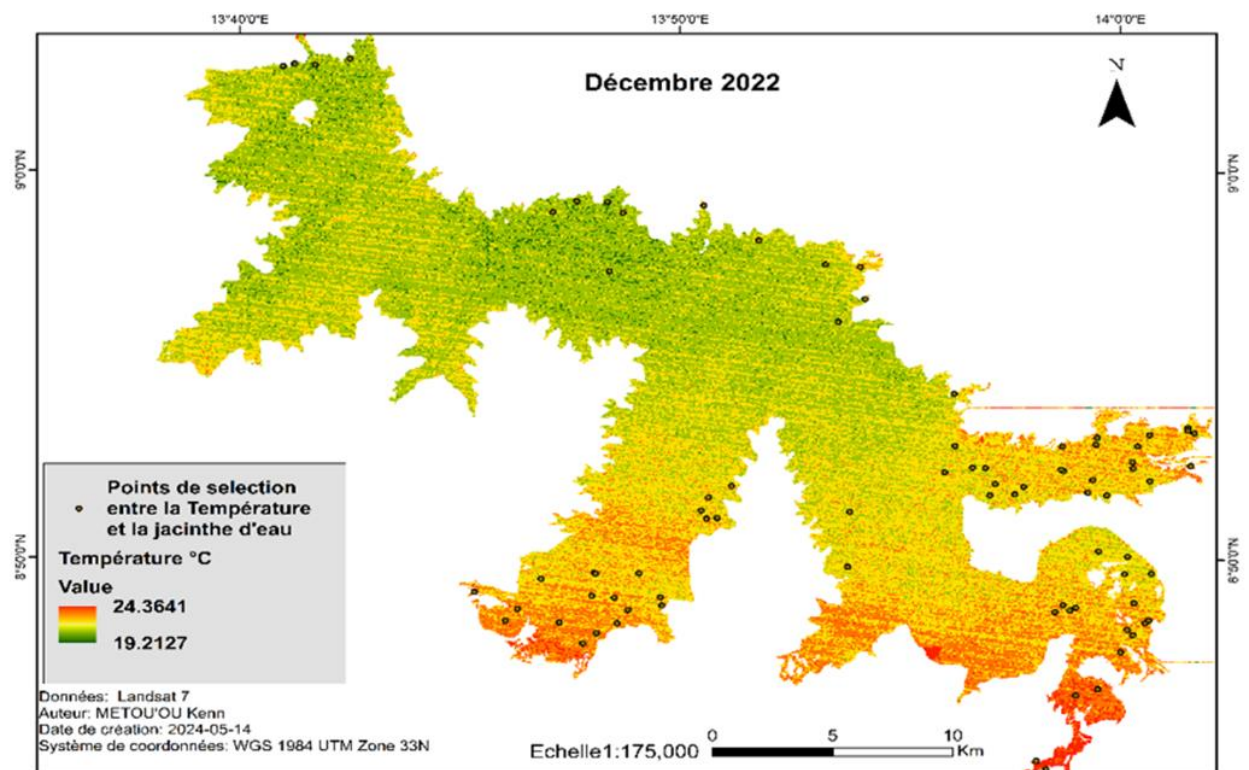


Figure 7 : Relation entre la température de surface et la présence de la jacinthe d'eau en Décembre 2022

Discussion

L'imagerie satellitaire contient des informations utiles pour le suivi environnemental. Dans la présente étude, le suivi de l'évolution de la superficie par les images provenant des capteurs Landsat-5&7, montre que le lac Lagdo est passé de 675km² en 1987 à 484km² en 2023, soit une diminution 191km². Le rétrécissement du lac se fait dans les zones Est, Sud-Est et Sud-Ouest. Ces zones correspondent aux lieux où la population riveraine à plus d'accès dans le lac, car elles sont moins profondes et parsemées des ilots. Par conséquent, on assiste à une forte activité humaine. Le lac Mandza du Gabon qui est un écosystème aquatique moins anthropisé, a connu un faible recul du lac estimé à 1,70km² entre 1987 et 2017 (Mboumbou Makanga et Maloba Makanga, 2022). La perte significative de la superficie du lac Lagdo soit 28%, peut aussi être associée aux effets de la variabilités climatiques, par exemple dans le domaine de la limnologie, le paramètre relatif aux précipitations est un élément clé dans les variations spatiales des eaux d'un lac. À partir des images satellitaires et des données météorologiques, Lu et al. (2013) ont montré une bonne corrélation entre la dynamique des précipitations et celle de l'étendue spatiale d'un lac au nord de la Chine.

Le traitement des images Sentinel-2A, permet de constater une présence permanente de la jacinthe d'eau durant la période de notre étude, avec des proportions et des répartitions différentes dans le lac Lagdo. Des facteurs tels que les concentrations d'azote et de phosphore totaux, le pH, la salinité, la température et la profondeur sont propices à son développement (Dersseh et al., 2019). En effet, les berges du lac Lagdo sont dénudées par surpâturage et à l'installation anarchique des campements aux abords du lac, ce qui entraîne une érosion alimentant le lac en éléments nutritifs (Douga et Djiangoue, 2020). Ces-derniers proviennent des déchets d'animaux, des activités ménagères et des activités agricoles. En décembre 2022, la jacinthe d'eau est présente dans les zones Est, Sud, Sud-Est, Sud-Ouest du lac, elle occupe une superficie de 92,24km² soit 19,05%. Après le premier ramassage de la jacinthe d'eau organisée par la commune de Lagdo, en mai 2023 de la jacinthe d'eau couvre une superficie de 80,11km² soit 16,55%, occupant les parties Est et Sud-Est du lac. La commune a effectué une deuxième phase de ramassage de la jacinthe d'eau. En février 2024, la jacinthe d'eau occupe une superficie de 59,95km² soit 12,38%, avec une répartition remarquable dans les zones Nord, Nord-Ouest et Sud-Ouest, mais avec une forte expansion vers la partie centrale du lac. Toutes ces valeurs sont largement supérieures à 25,045km², qui est la superficie maximale infesté par la jacinthe d'eau sur le lac Tana en décembre 2019 (Dersseh et al., 2020). Pour éradiquer la jacinthe d'eau dans le lac Lagdo, la lutte manuelle et mécanique est entreprise par la commune de Lagdo. Cependant, cette technique s'avère insuffisante puisqu'elle n'empêche pas une réapparition de la jacinthe d'eau (Ranarijaona

et al., 2013). Par ailleurs, elle favorise la dispersion de celle-ci et dégrade l'environnement (Dagno et al., 2007).

Cette expansion de la jacinthe d'eau observée en février 2024, peut être due par l'augmentation du niveau de température de surface, mais aussi par le cycle de développement de la jacinthe d'eau qui est fonction des variations saisonnières. Des études antérieures ont montré que l'ensoleillement et la température de surface influencent fortement la croissance de la jacinthe d'eau en affectant son taux d'absorption des nutriments (Urbanc-Berčič et Gaberščik, 1989). Les travaux de Fortier. (2007) ont déterminé que : les valeurs de la température favorables pour la croissance de la jacinthe d'eau sont comprises entre 21°C et 28°C. Ce qui coïncide à la valeur de 21°C obtenue, après échantillonnage aléatoire des points de la jacinthe d'eau par rapport à la température de surface de décembre 2022 (figure 7).

Conclusion

Au terme de notre étude, il a été question de mettre en exergue le seuil de la température de surface favorable à la prolifération de la jacinthe d'eau dans le lac Lagdo. Pour y parvenir, une série d'analyse a été faite. Premièrement, une délimitation des superficies du lac Lagdo à partir des images du capteur Landsat-5&7 entre 1987, 2008 et 2023 a été faite. Il en ressort que le lac Lagdo a perdu 28% de sa superficie, passant de 675km² en 1987 à 484km² en 2023. Deuxièmement, une série d'évaluation spatio-temporelle de la jacinthe d'eau a été faite à l'aide des images du capteur Sentinel-2A entre décembre 2022, mai 2023 et février 2024. Sur cette série spatio-temporelle, l'analyse de la couverture végétale montre que décembre 2022 correspond au mois où la couverture végétale était la plus importante sur le lac, soit un taux d'occupation de 19,05% équivaut à une superficie de 92,24km². Par contre, février 2024 correspond au mois où la couverture végétale était faible, soit un taux d'occupation de 12,38% équivaut à une superficie de 59,95km². Troisièmement, une détermination de la température de surface à l'aide des images du capteur Landsat-7 entre décembre 2022 et décembre 2023 a été faite. Les résultats montrent que les valeurs de la température de surface varient de 19,21°C à 24,36°C en décembre 2022 et de 22,87°C à 25,89°C en décembre 2023, soit une augmentation de 3,66°C. Pour déterminer la relation spatio-temporelle qui existe entre la prolifération de la jacinthe d'eau et la température de surface dans le lac Lagdo, un échantillonnage aléatoire des points de la jacinthe d'eau, suivi de l'extraction des valeurs de ces points par rapport à la température de surface de décembre 2022. Il en ressort que la présence de la jacinthe d'eau coïncide avec la valeur minimale de 21°C.

Malgré la lutte manuelle et mécanique entreprise par la commune de Lagdo après le mois de décembre 2022, on constate un récidivisme de la

jacinthe d'eau et à chaque fois une prolifération dans une zone autre que celle qui a fait l'objet de campagne de ramassage (figure 4). La première étape de tout programme de lutte contre la jacinthe d'eau devrait consister à réduire la concentration des nutriments dans le plan d'eau (Coetzee et Hill, 2012). Dans certaines régions, comme les grands lacs tropicaux d'Afrique, la lutte contre cette plante par l'introduction d'agents de lutte biologique a été très efficace (Cilliers et al., 2003). L'analyse de la carte de synthèse de la superficie, révèle un recul du lac remarquable sur le pourtour Est, Sud-Est et Sud-Ouest, des zones qui concordent à la présence abondante de la jacinthe d'eau identifiée en décembre 2022.

Les résultats d'analyse spatio-temporelle de cette étude dans le lac Lagdo, certes encourageants ont néanmoins été obtenus à partir des images des capteurs : Landsat-5 TM, Landsat-7 ETM+ et Sentinel-2A, dont la précision est limitée par la résolution spatiale et temporelle. En effet, les satellites Landsat disposent de 30m de résolution dans le visible, même si celle-ci peut être améliorée à 15m avec la bande panchromatique et 60m de résolution dans la région thermique, tandis que le capteur Sentinel-2A fournit une résolution spatiale de 10m dans le visible et le proche infrarouge, certes avec une répétitivité de 5 jours mais les données ne sont que disponibles à partir de 2015. En plus de ces limites de résolution spatiale et temporelle des capteurs, l'étude n'a pas intégré les données *in situ*, car elles ne sont pas disponibles et d'un manque de financement pour prélever des vérités terrain.

Toutefois, ces premiers résultats obtenus à partir d'une approche méthodologique inédite pour des études par télédétection concernant à la fois l'évaluation multi-temporelle : de l'occupation de la jacinthe d'eau ; de la superficie et de la température de surface du lac Lagdo, devraient être approfondis par :

- une analyse plus fine de la sédimentation actuelle au fond du lac, afin de mieux comprendre le recul du plan d'eau et d'apporter un complément de données pour une régression multiple, qui permettra de prédire avec moins d'incertitude la date de disparition du lac Lagdo ;
- une évaluation multiples des six (06) paramètres déterminants : azote, phosphore, pH, salinité, température, profondeur afin de ressortir un modèle mécanistique de la jacinthe d'eau du lac Lagdo ;
- une utilisation de l'algorithmes à fenêtre mono, de l'algorithme à canal unique et la méthode d'équation de transfert radiatif pour une détermination analytique de la température de surface.

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. Adamou, R., Alhou, B., & Garba, Z. (2015). Impact de la pollution anthropique du fleuve Niger sur la prolifération de la jacinthe d'eau. *Journal des Sciences*, 15, 25-38.
2. Asmare, T., Demissie, B., Nigusse, A. G., & GebreKidan, A. (2020). Detecting Spatiotemporal Expansion of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Lake Tana, Northern Ethiopia. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(5), 751-764. <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01107-6>
3. Becker, F., & Li, Z. L. (1990). Towards a local split window method over land surfaces. *Int. J. Remote Sensing*, 11, 369-393. <https://doi.org/10.1080/01431169008955028>
4. Bodo, R., Hausler, R., & Azzouz, A. (2006). Multicriteria approach for the selection and a rational use of aquatic plants for wastewater treatment. *Journal of Water Science*, 19(3), 181-197. <https://doi.org/10.7202/013537ar>
5. Chander, G., & Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 41(11), 2674-2677. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2003.818464>
6. Cilliers, C., Hill, M., Ogwang, J., & Ajuonu, O. (2003). Aquatic weeds in Africa and their control. In: Neuenschwander P, Borgemeister C, Langewald J. (éds). *Biological control in IPM systems in Africa*. CABI, Wallingford, UK, pp 161-178 <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/9780851996394.0161>
7. Coetzee, J. A., & Hill, M. P. (2012). The role of eutrophication in the biological control of water hyacinth, *Eichhornia crassipes*, in South Africa. *BioControl*, 57(2), 247-261. <https://doi.org/10.1007/s10526-011-9426-y>
8. Daget, J., & Stauch, A. (1963). *Poissons de la partie camerounaise du bassin de la Bénoué*. Mémoires de l'Institut Français d'Afrique Noire. 68 : 85-107
9. Dagno, Karim, Rachid, Lahlali, Damien, Friel, Mohammed Bajji, & Haïssam Hijakli. (2007). Synthèse bibliographique : Problématique de la jacinthe d'eau douce, *Eichhornia crassipes*, dans les régions tropicales et subtropicales du monde, notamment son éradication par

- la lute biologique au moyen des phytopathogènes. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 11 (4), 299-311.
10. Dash, P., Göttsche, F.-M., Olesen, F., & Fischer, H. (2001). Retrieval of land surface temperature and emissivity from satellite data: Physics, theoretical limitations and current methods. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 29, 23-30. <https://doi.org/10.1007/BF02989910>
 11. Dersseh, M. G., Kibret, A. A., Tilahun, S. A., Worqlul, A. W., Moges, M. A., Dagneu, D. C., Abebe, W. B., & Melesse, A. M. (2019). Potential of Water Hyacinth Infestation on Lake Tana, Ethiopia: A Prediction Using a GIS-Based Multi-Criteria Technique. *Water*, 11(9), 1921. <https://doi.org/10.3390/w11091921>
 12. Dersseh, M. G., Tilahun, S. A., Worqlul, A. W., Moges, M. A., Abebe, W. B., Mhired, D. A., & Melesse, A. M. (2020). Spatial and temporal dynamics of water hyacinth and its linkage with lake-level fluctuation: Lake Tana, a sub-humid region of the Ethiopian highlands. *Water*, 12(5), 1435. <https://doi.org/10.3390/w12051435>
 13. 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 Bourgne.
 14. Douga, P. W., & Djiangoue, B. (2020). Effets physiques des activités anthropiques sur la retenue d'eau de Lagdo, Nord, Cameroun. *Afrique SCIENCE*, 17(1), 59-72.
 15. Dube, T., Mutanga, O., Sibanda, M., Bangamwabo, V., & Shoko, C. (2017). Testing the detection and discrimination potential of the new Landsat 8 satellite data on the challenging water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in freshwater ecosystems. *Applied Geography*, 84, 11-22.
 16. Fortier, J. F. (2007). *Eichhornia crassipes (jacinthe d'eau)*. <https://www.aquaportail.com/fiche-plante-479-eichhornia-crassipes.html>. Consulté 1 avril 2025.
 17. Gavaud, M., Rieffel, J.-M., & Muller, J.-P. (1975). *Les sols de la vallée de la Benoue de Lagdo au confluent du Faro*. ORSTOM, Paris, France.
 18. Gopal, B. (1987). *Water Hyacinth*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands.
 19. Hecky, R. E. (2000). A biogeochemical comparison of lakes superior in Malawie, and the limnological consequences of an endless summer. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 3. <https://doi.org/10.1080/14634980008656988>
 20. Hook, S. J., Prata, F. J., Alley, R. E., Abtahi, A., Richards, R. C., Schladow, S. G., & Pálmarrsson, S. Ó. (2003). Retrieval of Lake Bulk and skin temperatures using along-track scanning radiometer (ATSR-

- 2) data: A case study using Lake Tahoe, California. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20 (4), 534-548. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2003\)20%3C534:ROLBAS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2003)20%3C534:ROLBAS%3E2.0.CO;2)
21. Lu, S., Ouyang, N., Wu, B., Wei, Y., & Tesemma, Z. (2013). Lake water volume calculation with time series remote-sensing images. *International Journal of Remote Sensing*, 34(22), 7962-7973. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.827814>
22. Mama, Daouda, Deluchat, V., Bowen, J., Chouti, W., Yao, B., Baba Gnon, & Baudu, M. (2011). Caractérisation D'un Système Lagunaire En Zone Tropicale : Cas Du Lac Nokoué (Bénin). *European Journal of Scientific Research*, 2011, 56 (4), pp.516-528. <hal-00654657>.
23. Mboumbou Makanga, F. L., & Maloba Makanga, J. D. (2022). Contribution de la télédétection à l'analyse hydro-morphologique du lac Mandza (Sud-ouest du Gabon). *Climat et Développement*, 33, 71-86.
24. MEADEN. (2005). *Évaluation de la sédimentation du lac de Lagdo et détermination de la fréquence de son curage*, RCM-Consultant, 78 p.
25. MEAVSB/MEADEN. (2002). *Rapport d'étude d'impact des activités anthropiques sur la retenue d'eau de Lagdo*, CEDC- Maroua, 73 p.
26. Mutanga, O., Sibanda, M., Bangamwabo, V., & Shoko, C. (2017). Evaluating the performance of the newly-launched Landsat 8 sensor in detecting and mapping the spatial configuration of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in inland lakes, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.02.015>
27. Navarro, L., & Phiri, G. (2000). *Water Hyacinth in Africa and the Middle East: A Survey of Problems and Solutions*. International Development Research Center, Ottawa, Ontario, Canada.
28. Piao, S., Fang, J., Zhou, L., Guo, Q., Henderson, M., Ji, W., Li, Y., & Tao, S. (2003). Interannual variations of monthly and seasonal normalized difference vegetation index (NDVI) in China from 1982 to 1999. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D14), 2002JD002848. <https://doi.org/10.1029/2002JD002848>
29. Ranarijaona, H. L. T., Zainabo, F., Herilala, A. A., & Simon, A. G. (2013). Évaluation de la prolifération de la Jacinthe d'eau du lac Ravelobe Ankarafantsika et plan de restauration. *Vertigo*, 13(1). <https://www.erudit.org/en/journals/vertigo/2013-v13-n1-vertigo01515/1026587ar/abstract/>
30. Reed, B., Budde, M., Spencer, P., & Miller, A. E. (2009). Integration of MODIS-derived metrics to assess interannual variability in snowpack, lake ice, and NDVI in southwest Alaska. *Remote Sensing*

- of Environment*, 113(7), 1443-1452.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.07.020>
31. Robles, W., Madsen, J. D., & Wersal, R. M. (2015). Estimating the Biomass of Waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*) Using the Normalized Difference Vegetation Index Derived from Simulated Landsat 5 TM. *Invasive Plant Science and Management*, 8(2), 203-211. <https://doi.org/10.1614/IPSM-D-14-00033.1>
 32. Shafait, F., Keysers, D., & Breuel, T. M. (2008). Efficient implementation of local adaptive thresholding techniques using integral images. *Document recognition and retrieval XV*, 6815, 317-322. <https://doi.org/10.1117/12.767755>
 33. Sylvestre, F., Lemoalle, J., & Favreau, G. (2012). Vulnérabilité du lac Tchad = The vulnerability of the water of lake Chad to climate. In: Pouyaud B., Servat E. and Chevallier P. (éds). *L'eau au coeur de la science = Water at the heart of science*. Marseille, IRD, pp. 96-97.
 34. Thamaga, K. H., & Dube, T. (2019). Understanding seasonal dynamics of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in the Greater Letaba river system using Sentinel-2 satellite data. *GIScience & Remote Sensing*, 56(8), Article 8. <https://doi.org/10.1080/15481603.2019.1646988>
 35. Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
 36. Urbanc-Berčič, O., & Gaberščik, A. (1989). Influence de la température et de l'intensité lumineuse sur l'activité de la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.). *Aquatic Botany*, 35(3), 403-408. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(89\)90011-9](https://doi.org/10.1016/0304-3770(89)90011-9)