

Fonctionnement et dynamique des écosystèmes au Sahel et dans le bassin du lac Tchad: Analyse Bibliométrique

kaoulé KAREMA ARY MADOU^{1*}, Boubacar MOUSSA MAMOUDOU¹

(Reçu le 11/04/2026; Accepté le 27/05/2026)

Résumé

Le bassin du lac Tchad constitue un écosystème stratégique, partagé entre quatre pays, mais fragilisé par le changement climatique, la pression démographique et l'insécurité croissante. Cette étude propose une synthèse bibliométrique examinant la production scientifique relative au fonctionnement et à la dynamique des écosystèmes au Sahel et dans le Bassin du Lac Tchad sur une période de 1992-2022. La collecte de données via OpenAlex et Google Scholar a permis d'analyser 1009 articles publiés en français ou anglais. L'approche méthodologique combine l'analyse temporelle, le couplage bibliographique et l'analyse factorielle des correspondances pour cartographier les tendances. Les résultats montrent une évolution quantitative positive, avec une augmentation significative des publications passant de 10 % à 55 % sur les trois décennies étudiées. Qualitativement, on observe un glissement disciplinaire : des approches initiales centrées sur la géographie et la biologie vers une interdisciplinarité forte intégrant sciences sociales, économie et technologies numériques. Les thèmes dominants incluent le changement climatique, la biodiversité et la dégradation des terres. Toutefois, depuis 2013, les mots-clés reflètent l'impact majeur des conflits armés, des migrations et de la sécurité alimentaire. Les principaux acteurs institutionnels identifiés sont le CNRS, le CIRAD et diverses universités de la sous-région comme N'Djaména et Yaoundé. En conclusion, montre la nécessité d'orienter la recherche future vers une gestion durable et adaptative, capable de répondre aux défis environnementaux et géopolitiques complexes qui menacent la résilience des socio-écosystèmes sahéliens. Elle identifie le climat, les pressions anthropiques et les conflits comme leviers prioritaires pour la conservation.

Mots clés: Sahel, Bassin du Lac Tchad, Niger, Insécurité

Functioning and dynamics of ecosystems in the Sahel and the Lake Chad basin: A bibliometric analysis

Abstract

The Lake Chad Basin is a strategic ecosystem, shared by four countries, but weakened by climate change, population pressure, and increasing insecurity. This study presents a literature review examining the scientific output related to the functioning and dynamics of ecosystems in the Sahel and the Lake Chad Basin over the period 1992–2022. Data collected via OpenAlex and Google Scholar allowed for the analysis of 1,009 articles published in French or English. The methodological approach combines temporal analysis, bibliographic linkage, and correspondence analysis to map trends. The results show a positive quantitative trend, with a significant increase in publications from 10% to 55% over the three decades studied. Qualitatively, a disciplinary shift is observed: from initial approaches centered on geography and biology to a strong interdisciplinarity integrating social sciences, economics, and digital technologies. The dominant themes include climate change, biodiversity, and land degradation. However, since 2013, the keywords have reflected the major impact of armed conflict, migration, and food insecurity. The main institutional actors identified are the CNRS, CIRAD, and various universities in the sub-region, such as those in N'Djamena and Yaoundé. In conclusion, the study highlights the need to direct future research towards sustainable and adaptive management, capable of addressing the complex environmental and geopolitical challenges that threaten the resilience of Sahelian socio-ecosystems. It identifies climate, anthropogenic pressures, and conflict as priority levers for conservation.

Keywords: Sahel, Lake Chad Basin, Niger, Insecurity

INTRODUCTION

Le bassin du lac Tchad, vaste zone transfrontalière partagée par le Niger, le Tchad, le Nigeria et le Cameroun, est un écosystème stratégique à la fois du point de vue écologique, socio-économique et géopolitique. Il couvre une superficie estimée à environ 2,5 millions de km² et abrite plus de 30 millions d'habitants vivant principalement de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche et de la collecte des ressources naturelles (Muliati *et al.*, 2023; FAO, 2018). Ce système est caractérisé par une grande diversité écologique allant des zones humides aux formations steppiques sahéliennes. Cependant, depuis les années 1970, cette région connaît une profonde mutation sous l'effet combiné des changements climatiques, de la pression démographique, de la dégradation des terres, de la surexploitation des ressources, et de l'insécurité croissante liée aux conflits armés, notamment l'insurrection de Boko Haram (Lemoalle et Magrin, 2014; Okpara *et al.*, 2016). Ces dynamiques ont modifié de manière significative le fonctionnement écologique des

milieux, la disponibilité des services écosystémiques et les interactions entre les communautés et leur environnement. Par conséquent, une analyse bibliométrique constitue une étape fondamentale de la recherche scientifique, permettant de contextualiser un travail dans un paysage des connaissances existantes, d'identifier les points chauds, les lacunes et les pistes de recherche futures. Cette méthode quantitative utilise des indicateurs statistiques pour évaluer l'évolution d'un domaine de recherche scientifique (Ziky et Limam, 2024). Elle intègre plusieurs techniques bibliométriques, telles que l'analyse de Co-authorship qui apprécie les collaborations entre auteurs, institutions et les pays ; l'étude des co-occurrences de mots-clés pour identifier les thèmes dominants et émergents et l'analyse des couplages bibliographiques qui ressort les liens entre documents, les sources et les acteurs scientifiques (Bakker *et al.*, 2005). Selon Ziky et Limam (2024), cette approche permet de retracer l'évolution historique d'un champ de recherche, d'identifier les périodes clés de développement, et de car-

¹ Faculté des sciences agronomiques, Université de Diffa, Niger

tographier les thèmes émergents et les changements dans l'orientation académique. Cette approche offre une vue d'ensemble structurée de l'état actuel de la recherche et de son évolution, mettant en lumière les tendances qui ont façonné le domaine.

C'est dans ce cadre que la présente étude bibliométrique a été réalisée afin de: (i) évaluer les tendances de la recherche sur le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes dans le bassin du lac Tchad; (ii) identifier les institutions de recherche actives sur ces thématiques; (iii) mettre en évidence les facteurs influençant la dynamique des écosystèmes, ainsi que les approches méthodologiques utilisées dans les études, et proposer des orientations futures pour une gestion durable de ces écosystèmes spécifiques.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Zone d'étude

La zone d'étude de cette synthèse bibliométrique couvre une vaste région transfrontalière d'Afrique de l'Ouest et du Centre, englobant deux unités géographiques majeures, écologiquement connectées: le bassin du lac Tchad et la zone sahélienne élargie. Ce périmètre s'étend de l'océan Atlantique à l'ouest (Sénégal, Mauritanie) jusqu'à la mer Rouge à l'est (Soudan, Érythrée), incluant le Mali, le Burkina Faso, le Niger, le Nigeria, le Tchad et le Cameroun. Cette configuration correspond à une bande climatique comprise entre environ 10°N et 20°N, caractéristique du domaine sahélien (Nicholson, 2013).

Le Sahel est défini comme une zone de transition bioclimatique entre les écosystèmes désertiques du Sahara et les savanes soudaniennes du sud (Le Houérou, 1989; Nicholson, 2013). Il est caractérisé par un climat semi-aride fortement saisonnier, marqué par une courte saison des pluies (3 à 5 mois) et une longue saison sèche. Cette forte variabilité pluviométrique interannuelle constitue l'un des principaux facteurs de contrôle des dynamiques hydroécologiques régionales (Nicholson, 2013; Sultan et Gaetani, 2016). Les épisodes récurrents de sécheresse, notamment ceux des décennies 1970–1980, ont profondément modifié la structure et le fonctionnement des écosystèmes sahéliens (Dai, 2013).

Sur le plan hydroécologique, le bassin du lac Tchad constitue un système endoréique majeur, fortement dépendant des apports des principaux affluents que sont le Chari–Logone, le Komadougou Yobé et l'El Beïd. Ces cours d'eau assurent l'essentiel de l'alimentation hydrique du lac et régulent sa dynamique saisonnière et interannuelle (Coe et Foley, 2001). Cependant, les variations climatiques combinées aux pressions anthropiques (irrigation, expansion agricole, changement d'usage des terres) ont contribué à une forte instabilité hydrologique et à une réduction significative de la superficie du lac depuis le milieu du XX^e siècle (UNEP, 2004; GEF, 2015).

Sur le plan écologique, la région constitue un système socio-écologique complexe et hautement sensible, où interagissent savanes arbustives, steppes, zones humides et systèmes fluviaux. Ces écosystèmes sont fortement dépendants des flux d'eau, de la variabilité climatique et des usages des terres (Reynolds *et al.*, 2007). Les dynamiques de dégradation des terres, incluant la perte de couverture végétale, l'érosion des sols et la baisse de fertilité, sont largement documentées dans la région sahélienne et sont

exacerbées par les pressions combinées du climat et des activités humaines (MEA, 2005; Herrmann *et al.*, 2005).

Ainsi, l'intégration de la zone sahélienne élargie dans cette analyse bibliométrique permet de replacer la dynamique du bassin du lac Tchad dans un contexte régional plus large, caractérisé par des interactions complexes entre climat, hydrologie, occupation des sols et services écosystémiques. Cette approche systémique est essentielle pour comprendre les trajectoires de vulnérabilité et de résilience des socio-écosystèmes sahéliens face aux changements globaux (IPCC, 2021) (Figure 1).

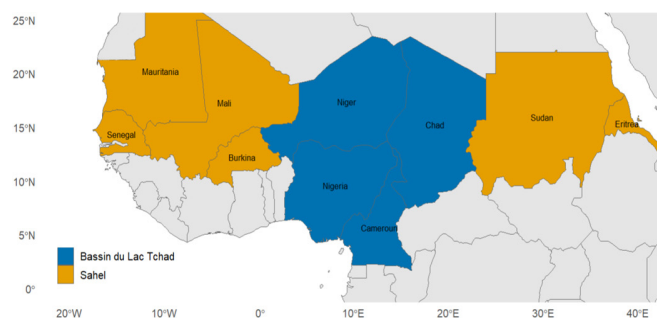


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

Collectes des données

Il existe plusieurs bases de données bibliométriques dont entre autres Web of Science, Scopus, Google Scholar et OpenAlex. Pour cette étude, les bases OpenAlex (<https://openalex.org/works>) et Google Scholar (<http://scholar.google.com>) ont été sélectionnées pour leur accessibilité et leur couverture des publications en accès libre. OpenAlex, s'appuyant sur des données et infrastructures ouvertes (Crossref, RoR, ORCID, DOAJ et Wikidata notamment), offre une alternative aux bases payantes comme Scopus (Priem *et al.*, 2022). Google Scholar vient compléter cette approche en intégrant une grande diversité de sources. Le moteur de recherche «Publish or Perish» a été utilisé pour la collecte des données à travers la requête «(Dynamiques OR Fonctionnement) AND écosystèmes AND (Sahel OR bassin du Lac Tchad)» (Figure 2).

Analyse et traitements des données

Pour l'analyse des données, la période de 1992-2022 a été divisée en trois phases correspondant à des contextes socio-environnementaux distincts:

- 1992-2002: période post-sécheresse des années 1980,
- 2003-2012: mise en place de programmes internationaux de conservation,
- 2013-2022: période de crise sécuritaire et accélération des impacts du changement climatique.

Les articles de revues à comité de lecture en version française et anglaise ont été filtrés. Sur 1009 articles initialement identifiés, 553 traitent la dynamique et 456 du fonctionnement des écosystèmes.

Analyses historiques

Une analyse temporelle a été menée pour identifier l'évolution du volume de publications (1992-2022) sur le fonctionnement et les dynamiques des écosystèmes dans le bassin du Lac Tchad. Les disciplines dominantes ont été identifiées à travers les mots-clés (Figure 2).

Analyse de couplages bibliographiques

Cette méthode permet d'identifier les liens entre les articles partageant des références communes Van *et al.*, (2017). Un réseau de couplage bibliographique est obtenu en utilisant la formule générale:

$$BC(A, B) = |R_A \cap R_B|$$

RA : l'ensemble des références bibliographiques citées par le document A,

RB: l'ensemble des références citées par le document B, AB (A, B) est la force de couplage bibliographique entre A et B,

$|R_A \cap R_B|$ est le nombre d'éléments communs entre les références citées par A et celles citées par B.

Analyses statistiques

Le test de comparaison de proportions a été réalisé afin d'évaluer statistiquement les différences dans la proportion des articles scientifiques consacrés au fonctionnement et à la dynamique des écosystèmes du bassin du Lac Tchad selon les périodes considérées. Ce choix méthodologique permet de vérifier si l'évolution observée des productions scientifiques est significative et associée aux différents contextes environnementaux qui se sont succédé. Parallèlement, une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été effectuée pour faire ressortir les relations entre les mots-clés cités dans ces publications et les trois périodes temporelles (1992–2002, 2003–2012, 2013–2022). Les traitements ont été réalisés sous le logiciel R 4.4.3, à l'aide des packages FactoMineR, factoextra, dplyr et ggplot2.

RÉSULTATS

Évolution quantitative des articles scientifiques

Au total, 1009 articles ont été retenus pour les analyses. L'analyse montre que le nombre d'articles scientifiques sur le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes dans le Bassin du Lac Tchad a évolué positivement entre 1992 et 2022. Cependant, la production scientifique a connu des fluctuations au cours de cette période, bien que la tendance globale soit à la hausse, avec un intérêt particulièrement renforcé ces dernières années, comme en témoigne le pic de 2022 (Figure 3). L'année 2022, affiche une hausse

spectaculaire avec un pic de 120 articles.

Les proportions de nombres des publications qui abordent le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes dans

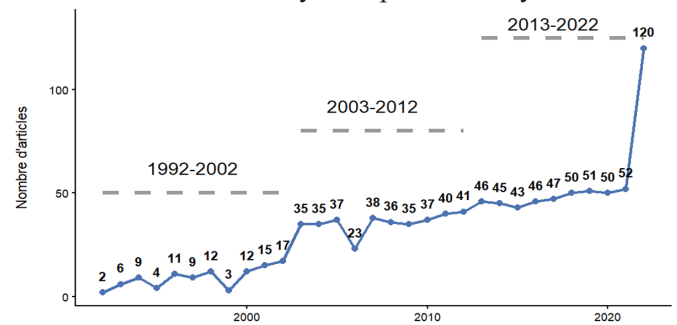


Figure 3: Évolution quantitative de la production scientifique entre 1992-2022

le Bassin du Lac Tchad augmentent significativement par période de 10 ans. La proportion des productions pour la période 1992-2002 est significativement différente de ceux de la période 2003-2012 et 2013-2022 avec respectivement 10%, 35% et 55% (Tableau 1).

Tableau 1: Évolution quantitative de la production scientifique

Périodes	Nombres d'articles	Proportion (%)	P-value		
1992–2002	102	10	0,0001	<0,0001	<0,001
2003–2012	357	35			
2013–2022	550	55			
Total	1009	100			

Disciplines scientifiques dominantes

Le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes dans le Bassin du Lac Tchad sont étudiés à travers une approche pluridisciplinaire. Les disciplines en lien avec la Géologie, la Géographie, la Biologie, la Foresterie, l'Écologie sont les clusters les plus fréquents. Ces disciplines sont interconnectées et forment un réseau de connaissances autour des interactions entre les organismes vivants et leur environnement afin de mieux comprendre, gérer et exploiter durablement les ressources naturelles. Elles sont liées aussi à des champs disciplinaires, des concepts et des outils à savoir le changement climatique, la biodiversité et la cartographie (Figure 4).

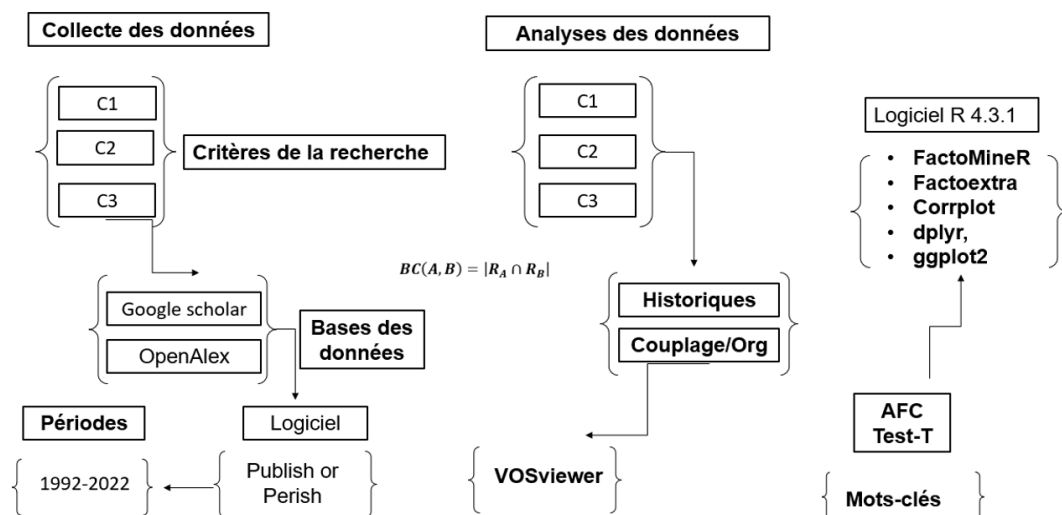


Figure 2: Résumé de collecte et analyse des données

Légende: C1: Dynamiques OR Fonctionnement, C2: Ecosystèmes, C3: bassin du Lac Tchad et Sahel

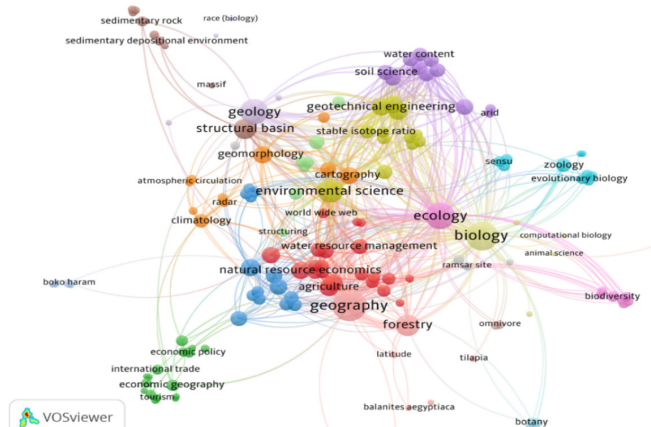


Figure 4: Cartographie des disciplines scientifiques étudiant le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes

Légende: Les nœuds rouges regroupent les mots-clés liés à la géographie, à l'agriculture et à la gestion des ressources naturelles; Les nœuds verts représentent des thèmes en économie et politique économique; Les nœuds violets sont associés aux sciences du sol et de l'eau; Les nœuds bleus regroupent des concepts de sciences environnementales et climatiques; Les nœuds jaunes et rose clair correspondent à des domaines en écologie et biologie, incluant biodiversité et sciences animales. Et Les nœuds bruns et gris indiquent des sujets en géologie et géomorphologie.

Facteurs explicatifs de la dynamique des écosystèmes

Changements climatiques

La figure 5 représente un réseau de co-occurrence entre différentes disciplines scientifiques autour du concept de «climate change» (changement climatique). Chaque nœud (cercle) représente une discipline ou un domaine de recherche, et sa taille traduit l'importance ou la fréquence de son association avec les autres disciplines (nombre de co-occurrences ou de publications liées). Les liens (arêtes) montrent les interactions, c'est-à-dire les collaborations ou convergences thématiques entre domaines.

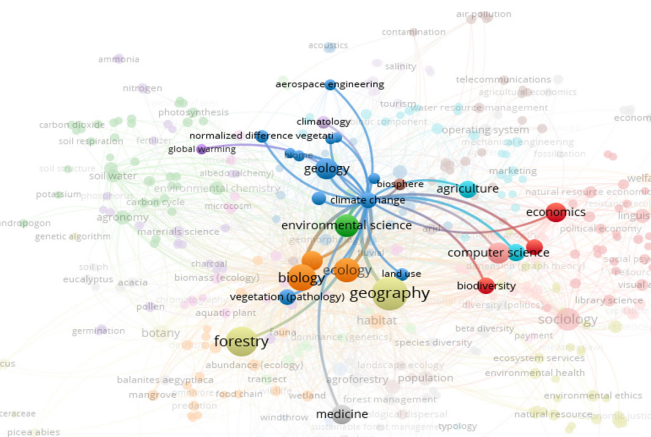


Figure 5: Interactions interdisciplinaires autour des catégories de changement climatique: un réseau de relations conceptuelles et sectorielles

Légende: Bleu foncé - Géologie et climat: englobe des termes liés à la géologie, au changement climatique, à la télédétection (NDVI), et aux sciences atmosphériques; Orange - Écologie et biologie: regroupe les concepts associés aux interactions biologiques, à la biosphère, aux cycles écologiques et aux processus biologiques; Vert - Sciences environnementales: associe les thématiques environnementales (chimie, sols, biomasse, hydrologie) aux approches écosystémiques; Jaune - Géographie et utilisation des terres: connecte la géographie, l'habitat, l'écologie spatiale et les dynamiques de paysage; Marron clair - Foresterie: comprend les mots-clés liés aux arbres, aux formations végétales, à la botanique et à l'abondance écologique; Rouge - Économie et informatique: rassemble des thèmes en économie de l'environnement, économie, économie agricole, informatique et modélisation et Rose - Sociologie et gouvernance: inclut les thématiques de gouvernance, communautés, normes sociales et politiques.

Analyse révélant une forte interdisciplinarité entre les sciences naturelles, sociales et technologiques. Le changement climatique occupe une position centrale, connectant principalement les domaines de la géologie, de la géographie, de l'écologie et des sciences de l'environnement, qui forment le noyau de la recherche sur les processus physiques, biologiques et spatiaux liés au climat. Les liens importants avec la foresterie et la biologie traduisent l'intérêt pour la dynamique de la végétation, la biodiversité et la séquestration du carbone, tandis que les connexions avec l'agriculture et l'économie reflètent les préoccupations socio-économiques liées à la productivité et à la sécurité alimentaire. La présence de la science informatique met en évidence le rôle croissant de la modélisation, de l'intelligence artificielle et du traitement des données dans la prédiction et la gestion des impacts climatiques.

Biodiversité

La figure 6 montre un réseau de co-occurrence thématique organisé autour du concept central de «biodiversité» (biodiversité), en analysant les liens interdisciplinaires qui structurent la recherche scientifique dans ce domaine. La taille des cercles traduit l'importance relative de chaque discipline (en termes de fréquence d'association ou de volume de publications), tandis que les liaisons (traits) représentent les interactions scientifiques ou conceptuelles entre domaines. Les disciplines comme la géographie, l'écologie, la biologie et la foresterie traduisent leur forte implication dans l'étude de la diversité biologique, de la structure des écosystèmes et de la gestion durable des habitats. Les liens avec la foresterie, l'agriculture et les sciences de l'environnement montrent l'importance de la conservation des ressources naturelles et des interactions entre biodiversité et changement climatique. L'informa-

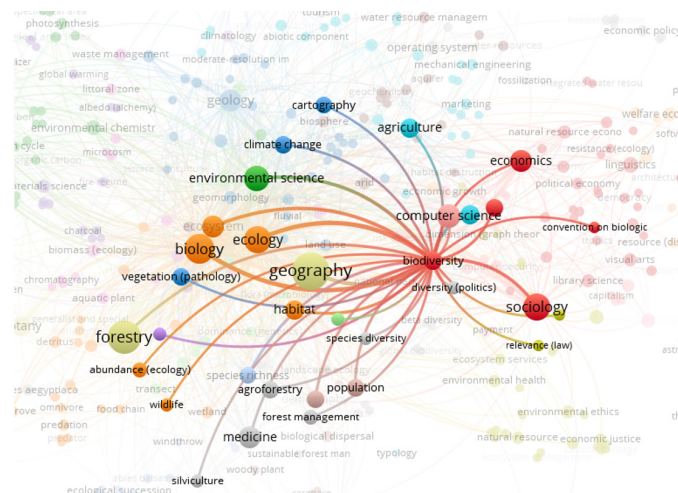


Figure 6: Interactions interdisciplinaires autour des composantes de la biodiversité: un réseau de relations scientifiques et sectorielles

Légende: Jaune - Géographie et gestion des terres: termes liés à l'habitat, au land use, à la cartographie, aux dynamiques spatiales et aux systèmes socio-écologiques; Vert foncé - Sciences environnementales: inclut les thématiques liées aux écosystèmes, à la géomorphologie, au changement climatique et aux interactions biosphériques; Orange - Biologie & écologie: englobe les questions de végétation, biodiversité fonctionnelle, dynamiques écologiques et interactions biotiques; Violet - Foresterie: regroupe les concepts liés à la gestion forestière, à l'abondance écologique et à la faune sauvage; Bleu - Géologie & agriculture: connecte les domaines de la géologie, de la science du sol, et de l'agriculture; Rouge - Économie et sciences sociales: rassemble économie, sociologie, gouvernance, droit environnemental, justice écologique et politiques publiques; Bleu turquoise - Informatique & modélisation: montre le lien entre biodiversité, analyse de données, intelligence artificielle, systèmes informatiques et modélisation.

tique, l'économie et la sociologie, expliquent l'élargissement des recherches vers la modélisation, la valorisation économique et la gouvernance sociale de la biodiversité.

Évolution des champs disciplinaires et des outils d'analyse des écosystèmes du Bassin du Lac Tchad (1992–2022)

Entre 1992 et 2022, l'évolution des champs disciplinaires des recherches sur les fonctionnements et dynamique des écosystèmes du Bassin du Lac Tchad a progressivement évolué d'approches dominées par les disciplines biophysiques (géographie, géologie, biologie) vers une interdisciplinarité. Dans les années 1992-2002, la recherche se concentrait principalement autour de la géographie, de la géologie et de la biologie. Entre 2003 et 2012, les sciences de l'environnement, la foresterie, la sociologie et l'économie ont enrichi l'analyse, marquant un élargissement vers la compréhension des interactions nature-société. En fin, entre 2014 et 2022, les recherches se sont orientées vers une approche intégrée mobilisant géographie, biologie, climatologie, économie du développement et gouvernance, en réponse aux défis environnementaux et sociopolitiques complexes, soutenue par des outils modernes tels que les SIG, la télédétection et la modélisation. Cette dynamique reflète une évolution vers une recherche plus appliquée, intégrant les sciences naturelles et sociales pour relever les enjeux environnementaux du bassin (Figure 7).

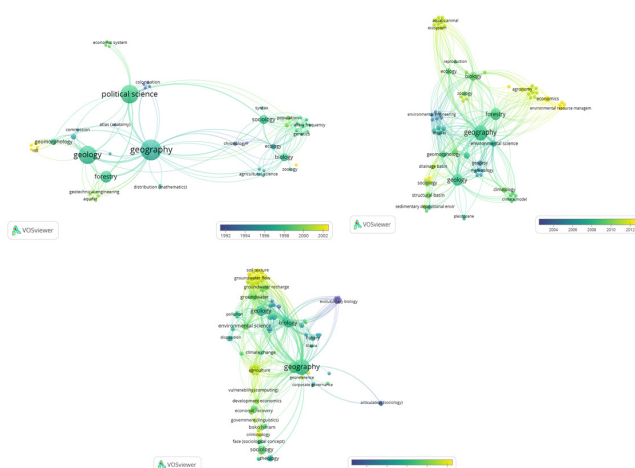


Figure 7: Évolution des champs disciplinaires et des outils d'analyse des écosystèmes du Bassin du Lac Tchad (1992–2022), (A) 1992–2002, (B) 2003–2012 et (C) 2013–2022

Légende: La taille des nœuds reflète la fréquence d'apparition des mots-clés dans les publications; Les couleurs représentent l'année moyenne d'apparition des mots-clés dans la période considérée (du bleu foncé → ancien, au jaune → plus récent) et Les liens traduisent les relations entre thématiques, indiquant les champs disciplinaires les plus connectés.

Relations entre les institutions

L'analyse de couplage bibliographique par institution a permis de visualiser les relations entre les articles partageant des références communes (Figure 8). Les résultats révèlent que le Pôle de recherche scientifique pour l'organisation et la diffusion, le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), ainsi que le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) et le Centre d'études et de recherche "Acteurs, Ressources et Territoires dans le Bassin du Lac Tchad (ARTELT)" se distinguent comme les principales institutions ayant le plus contribué à l'étude du fonctionnement et de la dynamique des écosystèmes dans le bassin

du Lac Tchad. Ces institutions sont suivies par plusieurs universités de la sous-région, notamment l'Université de Yaoundé, l'Université de N'Djaména, l'Université de Diffa, l'Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, l'Université Abdou Moumouni de Niamey, l'Université de Ngaoundéré et l'Université de Maiduguri, qui jouent également un rôle essentiel dans la production scientifique sur les écosystèmes du bassin. Cette configuration traduit une forte collaboration régionale et internationale dans la recherche environnementale autour du bassin du Lac Tchad.

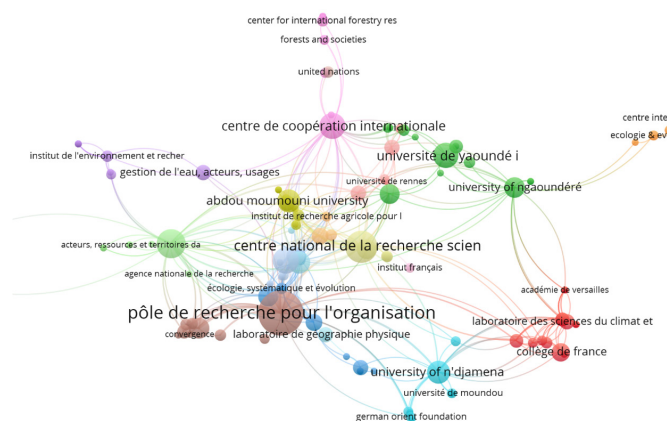


Figure 8: Cartographie des principales institutions de recherche sur le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes du bassin du Lac Tchad

Légende: Rose-Coopération internationale: regroupe les organismes internationaux et les centres de recherche transfrontaliers (ex. Centre de coopération internationale, Nations Unies, Center for International Forestry Research), indiquant un rôle central dans les projets multipartites; Vert -Réseau universitaire camerounais: inclut l'Université de Yaoundé I, l'Université de Ngaoundéré, l'Université de Dschang, montrant une forte collaboration régionale au Cameroun; Bleu-Réseau institutionnel tchadien et sahélien: dominé par l'Université de N'Djaména, l'Université de Moundou, et des laboratoires associés à la géographie physique et aux ressources naturelles; Marron -Institutions françaises et partenaires européens: comprennent le Collège de France, l'Académie de Versailles, des laboratoires français de climat, environnement et géographie; Violet-Institutions nigériennes: dominé par Abdou Moumouni University et des centres de recherche thématiques nationaux (agriculture, environnement, ressources naturelles); Jaune/Orangé-Agences de recherche nationales: incluant le Centre national de la recherche scientifique, l'Agence nationale de la recherche, et des instituts spécialisés.

Analyse de mots clés en fonctions de temps

Les résultats de l'Analyse Factorielle de Correspondance des mots clés utilisés montrent que les deux premiers axes représentent 95,1% des informations, soit 54,0 % pour l'axe 1 et 41,9% de l'axe 2.

Au cours de la période 1992-2002, les mots-clés qui ressortent le plus dans les articles sont: réduction de la pauvreté, conservation de la biodiversité, dégradation des pâturages. Au cours de la période 2003-2012, les principaux mots-clés utilisés dans les articles scientifiques sur le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes dans le Bassin du Lac Tchad incluaient la vulnérabilité, le terrorisme, la récupération des eaux de pluie, la dégradation des sols, la cartographie des eaux de surface, les migrations, la désertification, la perte de la biodiversité, Boko Haram, les inondations, les températures des cours d'eau et les changements climatiques (Figure 9).

Alors qu'entre la période 2013-2022, les résultats ont montré des liens avec les mots clés comme Boko haram et radicalisation, démobilisation et mouvements sociaux, inondations, réfugiés et déplacés, vulnérabilité, pastoro-

ralisme, résilience climatique, capacité d'adaptation et durabilité, migrations, changement climatique et adaptation, extrémisme, Boko haram et eaux transfrontalières et sécurité de l'eau et inondations urbaine (Figure 9).

DISCUSSION

Tendances des recherches sur le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes au Sahel et dans le bassin du Lac Tchad

L'analyse montre une nette augmentation de publications scientifiques, passant de 5,25 % entre 1992–2002 à 70,27 % entre 2013–2022, traduit une dynamique croissante d'intérêt pour les écosystèmes sahéliens et ceux du Bassin du Lac Tchad. Ce phénomène peut s'expliquer par la montée des préoccupations globales autour du changement climatique, de la désertification et de la sécurité alimentaire dans une région vulnérable aux aléas environnementaux et sociopolitiques. Cette tendance confirme les observations de Houérou (2009) et de Moumouni *et al.* (2018), qui soulignent une montée progressive de la recherche environnementale dans cette région fragile, corrélée à une prise de conscience accrue des enjeux liés au changement climatique et à la désertification. Le pic observé en 2022 (456 articles) reflète probablement d'un effet combiné de la multiplication des financements internationaux, de la progression des capacités de recherche régionales et de l'intégration de ces thématiques dans les agendas politiques et scientifiques mondiaux (ODD, Agenda 2063). Les résultats révèlent une forte interdisciplinarité, avec une domination des disciplines environnementales telles que la géographie, la biologie, l'écologie, la foresterie et la géologie.

Cette diversité disciplinaire est nécessaire pour appréhender la complexité des écosystèmes sahéliens, à l'interface entre milieux naturels, dynamiques sociales et pressions anthropiques. L'intégration progressive des sciences humaines (économie, sociologie) témoigne d'une prise en compte croissante des dimensions sociales et institutionnelles dans la gestion des écosystèmes. Ce croisement entre sciences naturelles et sociales favorise une approche systémique, indispensable pour co-construire des solutions durables adaptées aux contextes locaux. Le fait que les disciplines environnementales (géographie, biologie, écologie, foresterie) dominent est cohérent avec les travaux de Mahamane *et al.* (2015) sur la diversité disciplinaire nécessaire à l'étude des écosystèmes sahéliens. L'interconnexion des disciplines reflète une tendance mondiale à adopter des approches interdisciplinaires pour comprendre la complexité socio-écologique des systèmes vulnérables (Folke *et al.*, 2016).

L'intégration progressive des sciences humaines comme l'économie et la sociologie rejoint les recommandations de Turner *et al.* (2003), qui insistent sur l'importance de la dimension sociale dans la gestion durable des ressources. Cette approche intégrée est particulièrement pertinente dans des contextes où les pressions anthropiques et les enjeux socio-politiques influencent fortement les dynamiques écologiques.

Analyse de la catégorie

Au total, 240 disciplines étudiant les fonctionnements et la dynamique des écosystèmes dans le Bassin du Lac Tchad, différents significativement en fonction du temps, ont été répertoriées. De 1992-2002, 20 disciplines ont étudié le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes dans le

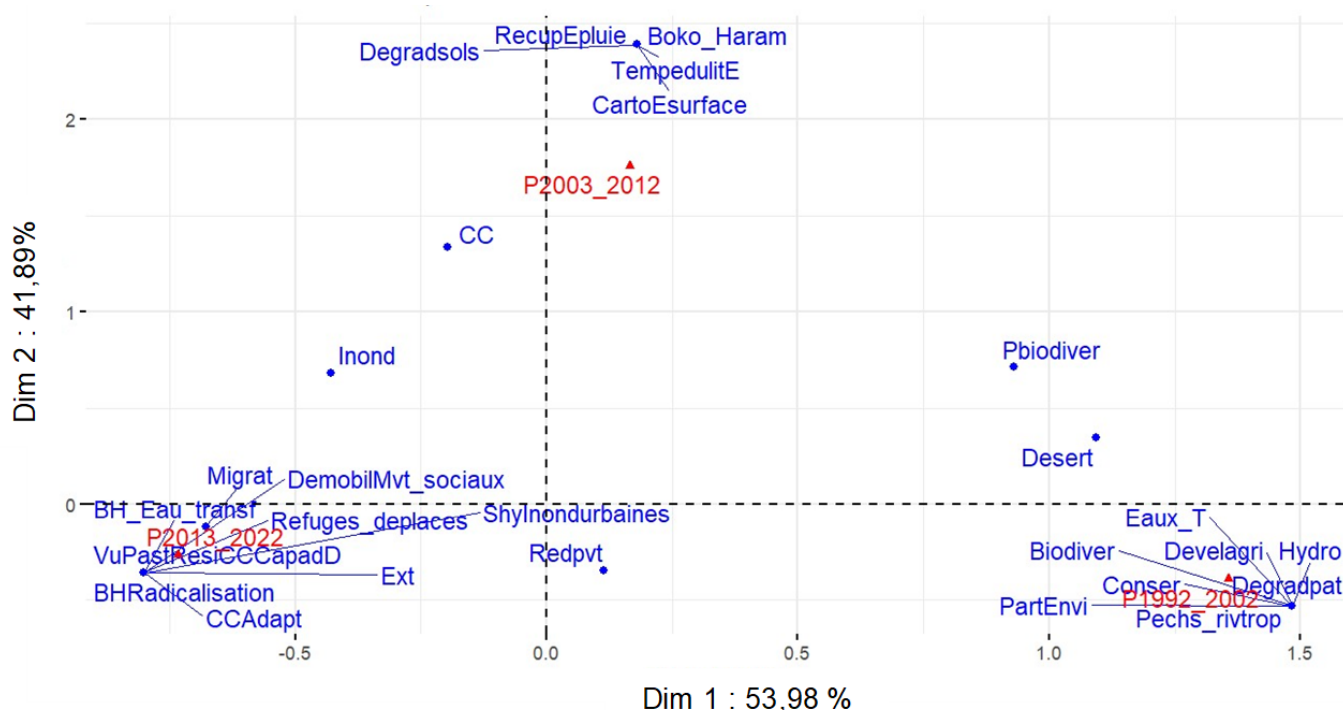


Figure 9: Analyse des mots-clés en fonction des années (1992-2002, 2003-2012 et 2013-2022)

Eaux T: Eaux transfrontalières, Hydro: Hydrologie, Conser: Conservation, PartEnvi: Participation environnementale, Pechs rivotrop: Pêche dans les rivières tropicales, Degradpat: Dégradation des pâturages, Redpvt: Réduction de la pauvreté, Biodiver: Biodiversité des poissons, Develagri: Développement agricole, CC: Changements climatiques, Migrat: Migration; Inond: Inondation, Pbiodiver: Perte de la Biodiversité, Degradsols: Dégradation des sols, Desert: Désertification, CartoEsurface: Cartographie des eaux de surface, RecupEpluie: Récupération des eaux de pluie, TempedulitE: Température du lit des cours d'eaux, ShyInondurbaines: Sécurité hydrique & Inondations urbaines, CCAadapt: Changements climatiques et adaptation, Ext: Extrémisme, DemobilMvt sociaux: Démobilisation et Mouvements sociaux, BHRadicalisation: Boko haram et Radicalisation, VuPastResiCCCapadD: Vulnérabilité, Pastoralisme, Résilience climatique, Capacité d'adaptation et durabilité

Bassin du Lac Tchad, surtout en sciences environnementales (Biologie, Géographie, Foresterie, Science politique). Entre 2003-2012 et 2013-2022, 178 disciplines ont été mobilisées, surtout en études environnementales (Géologie, Géographie, Biologie, foresterie, écologie, cartographie, télédétection, Changements climatiques, insécurité et Hydrogéologie). Ces résultats similaires ont été trouvés par Foley *et al.* (2001), Elmore *et al.* (2008) et Rana *et al.* (2020) montrant que les disciplines scientifiques étudiant les catégories des sciences environnementales évoluent en fonction du temps. La catégorie des changements climatiques a beaucoup plus de liens avec la géologie, la géographie, l'écologie et la biologie, c'est-à-dire que les changements climatiques peuvent impacter directement la composition et la structure des écosystèmes (écologie et biologie) à travers les phénomènes géologiques naturels (inondation, feux de brousses) dans une zone géographique.

Institutions de recherche qui mènent des recherches sur ces aspects

L'implication croissante des universités africaines (Yaoundé, N'Djaména, Diffa, Maradi, Niamey, Maiduguri) dans la production scientifique régionale est un signal fort du renforcement des capacités endogènes de recherche. Le couplage bibliographique met en évidence l'émergence de pôles scientifiques régionaux et la nécessité de favoriser davantage la collaboration Sud-Sud, pour une meilleure appropriation des connaissances et une production de savoirs ancrée dans les réalités locales. Cette dynamique reste néanmoins tributaire des ressources, des infrastructures et du soutien politique à la recherche. La contribution des universités africaines rejoint les analyses de Njoya *et al.* (2018) qui mettent en avant le renforcement des capacités de recherche régionales dans le Bassin du Lac Tchad. L'accent mis sur la collaboration entre institutions illustre la montée en puissance des réseaux scientifiques africains et la nécessité d'une coopération Sud-Sud renforcée, conformément aux conclusions du rapport UNESCO (2021) sur la science en Afrique et dans le Bassin du Lac Tchad.

Facteurs de la dynamique des écosystèmes et approches utilisées dans les études, et proposition pour les orientations futures pour une gestion durable de ces écosystèmes particuliers

Le changement climatique apparaît comme le moteur principal des transformations écologiques, sociales et économiques dans la région. Son impact transversal est observé à travers la modification des régimes hydriques, la perte de biodiversité, la migration des espèces, mais aussi l'augmentation de la vulnérabilité des communautés. Le rôle central du changement climatique dans la dynamique des écosystèmes sahéliens corrobore les travaux de Herrmann *et al.* (2005) et de Nicholson (2013), qui documentent l'impact des variations climatiques sur la végétation, la désertification et les cycles hydrologiques dans la région. L'association avec les clusters agriculture, biodiversité et société illustre bien la complexité des interactions et la nécessité d'une recherche transdisciplinaire. Par ailleurs, les études récentes de Sarr *et al.* (2020) soulignent que l'adaptation aux changements climatiques passe par la prise en compte des pratiques agricoles locales et des connaissances autochtones, renforçant la pertinence des interactions relevées entre sciences naturelles et sociales.

La biodiversité est désormais considérée comme un enjeu stratégique, tant pour la conservation écologique que pour les fonctions économiques et sanitaires. L'émergence de l'agroforesterie, des savoirs traditionnels et des approches participatives renforce l'idée d'une gestion écosystémique holistique et inclusive. La place centrale accordée à la biodiversité s'aligne avec les observations de Scholes et Biggs (2005) sur son rôle fondamental dans le maintien des services écosystémiques. L'intégration de l'agroforesterie et des savoirs locaux fait écho aux conclusions de Nair (1993) et de Sinare *et al.* (2016), qui démontrent le potentiel des pratiques agroforestières pour concilier la conservation et le développement rural dans les zones semi-arides. Cette approche holistique répond aux recommandations de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB, 2010) pour une gestion intégrée et participative de la biodiversité.

Alors que les années 1990 étaient centrées sur la conservation de la biodiversité et la lutte contre la pauvreté, les années 2000 et 2010 ont vu émerger des thématiques liées à l'insécurité (Boko Haram, déplacements), à l'adaptation au changement climatique et à la résilience des sociétés. Cela reflète un déplacement des priorités scientifiques vers des enjeux plus intégrés, à l'interface entre écologie, sécurité et développement. L'évolution thématique des mots-clés de la biodiversité et de la pauvreté vers des enjeux liés à l'insécurité, aux migrations et à la résilience climatique est un reflet direct des réalités socio-politiques du Sahel, notamment l'impact de Boko Haram et les crises humanitaires documentées par Turner *et al.* (2017) et N'Diaye *et al.* (2019). Ce glissement thématique vers une intégration des questions sécuritaires dans la recherche environnementale est aussi observé dans les travaux récents de Adow *et al.* (2021), qui soulignent la complexité des interactions entre environnement, conflits et développement durable dans la région.

CONCLUSION

L'analyse des tendances scientifiques sur les écosystèmes sahéliens entre 1992 et 2022 révèle une progression notable de la production académique, avec un passage de 10% à 55% des publications entre les premières et dernières décennies, traduisant une croissance annuelle moyenne d'environ 10 %. Cette dynamique reflète l'intérêt croissant pour les enjeux liés au changement climatique, à la désertification, à la sécurité alimentaire et à la résilience des sociétés sahéliennes. La prédominance des sciences environnementales (70 %) témoigne de l'importance accordée aux problématiques écologiques, tandis que la montée des travaux en sciences sociales (40 %) souligne une approche de plus en plus interdisciplinaire. Les principaux facteurs de la dynamique des écosystèmes identifiés pour une orientation future sont le changement climatique (65 %), les pressions anthropiques (48 %) et les conflits et déplacements (30 %).

RÉFÉRENCES

- Abdelaziz M. (2015). L'Agenda 2063 et les ODD vont ensemble. *Afrique Renouveau*, 29: 10-10.
- Adow M.T., Gebresilasie S.F., Abebe N.A. (2021). Choriocarcinome ovarien primaire: entité rare. *Rapports de cas dans Obstetrics and Gynecology*, 2021: 4545375.
- Aznar N., Midde K.K., Dunkel Y., Lopez-Sanchez I., Pavlova Y., Marivin A., Ghosh P. (2015). Daple is a novel non-receptor GEF required for trimeric G protein activation in Wnt signaling. *Elife*, 4: e07091.

- Bakker A.B., Demerouti E., Euwema M.C. (2005). Les ressources professionnelles atténuent l'impact des exigences du travail sur l'épuisement professionnel. *Journal of occupational health psychology*, 10: 170.
- Coe M.T., Foley J.A. (2001). Impacts humains et naturels sur les ressources en eau du bassin du lac Tchad. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106: 3349-3356.
- Dai A. (2013). Sécheresse croissante sous réchauffement climatique dans les observations et modèles. *Nature changement climatique*, 3: 52-58.
- Duong D.L., Yun S.J., Lee Y.H. (2017). Matériaux superposés de van der Waals: opportunités et défis. *ACS nano*, 11: 11803-11830.
- Elmore R.F. (2008). Le leadership comme pratique de l'amélioration. *Amélioration du leadership scolaire*, 2: 37-67.
- FAOSTAT (2018). Food and agriculture organization of the United Nations. Rome, <http://faostat.fao.org>.
- Foley M.E. (2001). Dormance des graines: une mise à jour sur la terminologie, la génétique physiologique et les loci de traits quantitatifs régulant la germinabilité. *Science des mauvaises herbes*, 49: 305-317.
- Folke O., Persson T., Rickne J. (2016). L'effet principal: votes de préférence et promotions politiques. *American Political Science Review*, 110: 559-578.
- Herrmann M.J., Ehliis A.C., Muehlberger A., Fallgatter A.J. (2005). Localisation de la source des premières étapes du traitement facial. *Topographie cérébrale*, 18: 77-85.
- Ivanova M. (2009). PNUE en tant qu'organisation phare pour l'environnement mondial. Dans les organisations internationales en gouvernance environnementale mondiale (pp. 165-187).
- Le Houérou H.N. (1989). Classification écoclimatique des zones arides (sl) de l'Afrique du Nord. *Ecologia mediterranea*, 15: 95-144.
- Le Houérou H.N. (2009). Bioclimatology and biogeography of Africa. Springer Berlin Heidelberg.
- Legg S. (2021). GIEC 2021: Changement climatique 2021 - la base des sciences physiques. *Interaction*, 49: 44-45.
- Li H., Ravey A., N'Diaye A., Djerdir A. (2019). Online adaptive equivalent consumption minimization strategy for fuel cell hybrid electric vehicle considering power sources degradation. *Energy conversion and management*, 192: 133-149.
- Limam A., Ziky M. (2025). Insurance In Morocco: Current Status and Future Prospects. *Valahian Journal of Economic Studies*, 16: 83-98.
- Magrin G., Lemoalle J. (2019). L'avenir du lac Tchad: les échelles de l'incertitude. *Le Tchad des lacs. Les zones humides sahéniennes au défi du changement global*, p-289.
- Mahamane A.A., Guel B. (2015). Caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines de la localité de Yamtenga (Burkina Faso). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9: 517-533.
- MEa M.E.A. (2005). Écosystèmes et bien-être humain: zones humides et synthèse de l'eau, 23p.
- Moumouni P.F.A., Aplogan G.L., Katahira H., Gao Y., Guo H., Efstratiou A., Xuan X. (2018). Prévalence, facteurs de risque et diversité génétique des agents pathogènes vétérinaires importants transmis par les tiques chez les bovins issus de *Rhipicephalus* dans les zones microplus et non envahies du Bénin. *Tiques et maladies transmises par les tiques*, 9: 450-464.
- Muliati M., Dollah S., Tamra T., Rosydy A., AM S.A. (2023). The Impact of CBLT Approaches on Students' Learning Achievements for ESP Courses. *Journal Arbitrer*, 10: 275-282.
- Nair P.N.R., Sjögren U., Schumacher E., Sundqvist G. (1993). Kyste radriculaire affectant une dent humaine obtenue par une racine: un suivi post-traitement à long terme. *International Endodontic Journal*, 26: 225-233.
- Nicholson S.E. (2013). Le Sahel ouest-africain : une revue des études récentes sur le régime des précipitations et sa variabilité interannuelle. *Avis de recherche scientifique internationale*, 2013: 453521.
- Njoya E.T., Seetaram N. (2018). Contribution du tourisme à la réduction de la pauvreté au Kenya: une analyse dynamique calculable de l'équilibre général. *Journal of travel research*, 57: 513-524.
- Okpara U.T., Stringer L.C., Dougill A.J. (2016). Assèchement des lacs et dynamiques des moyens de subsistance au lac Tchad: dé mêler les mécanismes, contextes et réponses. *Ambio*, 45: 781-795.
- Priem J., Piwowar H., Orr R. (2022). OpenAlex: Un index entièrement ouvert des travaux académiques, auteurs, lieux, institutions et concepts. *arXiv preprint*: 2205.01833.
- Rana W., Mukhtar S., Mukhtar S. (2020). La santé mentale des professionnels de santé au Pakistan pendant l'épidémie de COVID-19. *Asian Journal of Psychiatry*, 51: 102080.
- Reynolds M.P., Pierre C.S., Saad A.S., Vargas M., Condon A. G. (2007). Évaluation des gains génétiques potentiels dans le blé associés à l'expression des traits adaptés au stress dans les ressources génétiques d'élite sous sécheresse et stress thermique. *Sciences des cultures*, 47: S-172.
- Sarr P.S., Ando Y., Nakamura S., Deshpande S., Subbarao G. V. (2020). Sorgoleone release from sorghum roots shapes the composition of nitrifying populations, total bacteria, and archaea and determines the level of nitrification. *Biology and Fertility of Soils*, 56: 145-166.
- Scholes R.J., Biggs R. (2005). Un indice d'intégrité de la biodiversité. *Nature*, 434: 45-49.
- Sinare H., Gordon L.J., Kautsky E.E. (2016). Évaluation des services écosystémiques et des bénéfices dans les paysages villageois – Une étude de cas du Burkina Faso. *Services écosystémiques*, 21: 141-152.
- Sultan B., Gaetani M. (2016). Agriculture in West Africa in the twenty-first century: climate change and impacts scenarios, and potential for adaptation. *Frontiers in plant science*, 7: 1262.
- Turner D.P., Ritts W.D., Cohen W.B., Gower S.T., Zhao M., Running S.W., Munger J.W. (2003). Mise à l'échelle de la production primaire brute (GPP) sur les paysages forestiers boréaux et feuillus en soutien à la validation du produit MODIS GPP. *Télédétection de l'environnement*, 88: 256-270.
- Turner J., Phillips T., Marshall G.J., Hosking J.S., Pope J.O., Bracegirdle T.J., Deb P. (2017). Retrait sans précédent de la banquise antarctique au printemps en 2016. *Lettres de recherche géophysique*, 44: 6868-6875.