

RESEARCH ARTICLE

ÉVALUATION DE L'IMPACT DES SÉCHERESSES SUR LES RESSOURCES PASTORALES DANS LA BOUCLE DU MOUHOUN: UNE APPROCHE INTÉGRÉE COMBINANT L'INDICE SPI ET LE VHI

Yssouf Sieza^{1,2,3}, Halidou Compaore^{2,3}, Alain P. K. Gomgnimbou^{2,3}, Daouda KASSIE^{4,5} et Idriss SERME⁶

¹Centre d'Appui, de Recherche, de Renforcement des compétences et d'Etude (CARRÉ), Ouagadougou, Burkina Faso; ²Centre National de la recherche Scientifique et Technologique/ Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, CREAf Kamboincin, Ouagadougou, Burkina Faso. ³Université Norbert ZONGO, Laboratoire de Recherche en Sciences-Humaines et sociales (LABOSHS), Département de Géographie, BP 376, Koudougou, Burkina Faso; ⁴Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) UMR ASTRE (Animal, Santé, Territoires, Risques, Ecosystèmes), F-34398 Montpellier, France; ⁵Institut Pasteur de Madagascar (IPM), Unité Epidémiologie et Recherche Clinique (Epi-RC) BP 1274, 101, Antananarivo, Madagascar; ⁶Centre National de la recherche Scientifique et Technologique/ Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Laboratoire Sol-Eau-Plantes, Kamboinsè, Burkina Faso

ARTICLE INFO

Article History:

Received 24th March, 2026

Received in revised form

16th April, 2026

Accepted 28th May, 2026

Published online 30th June, 2026

Key words:

Sécheresse, Pastoralisme, Résilience, SPI, VHI, Boucle du Mouhoun, Burkina Faso.

*Corresponding author:

Yssouf Sieza

ABSTRACT

Les sécheresses récurrentes constituent l'un des principaux facteurs de vulnérabilité des systèmes pastoraux au Burkina Faso, en particulier dans la région de la Boucle du Mouhoun. Cette étude vise à analyser l'impact des sécheresses sur les ressources pastorales en mobilisant une approche intégrée combinant l'indice standardisé des précipitations (SPI) et l'indice de santé de la végétation (VHI). Les données climatiques CHIRPS (1981–2023) et les données satellitaires NOAA/NESDIS (1981–2024) ont été exploitées pour caractériser l'évolution des anomalies pluviométriques et du stress végétal sur plus de quatre décennies. Le SPI a permis d'identifier quatre années critiques (1984, 1995, 2014, 2021) reflétant différentes intensités de sécheresse, tandis que l'analyse du VHI pour les mois de juin, juillet et août a révélé une dégradation progressive des pâturages, mais également des dynamiques différenciées selon les zones géographiques. Les résultats montrent qu'au-delà des sécheresses extrêmes historiques, les épisodes récents, même modérés, ont entraîné des impacts disproportionnés sur la végétation, suggérant une perte de résilience écologique. De plus, le gradient nord-sud caractéristique de la région tend à s'effacer, signalant une homogénéisation du risque pastoral. En conclusion, l'étude souligne la nécessité d'intégrer les deux indices dans un système d'alerte précoce, de renforcer la gouvernance et la gestion territoriale des ressources, et de promouvoir la restauration écologique afin de préserver la durabilité des systèmes pastoraux et la sécurité alimentaire des populations.

Citation: Yssouf Sieza, Halidou Compaore, Alain P. K. Gomgnimbou Daouda KASSIE et Idriss SERME. 2026. "Évaluation de l'impact des sécheresses sur les ressources pastorales dans la Boucle du Mouhoun : une approche intégrée combinant l'indice SPI et le VHI.", *Asian Journal of Science and Technology*, 17, (07), 14384-14390.

Copyright©2026, Yssouf Sieza et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

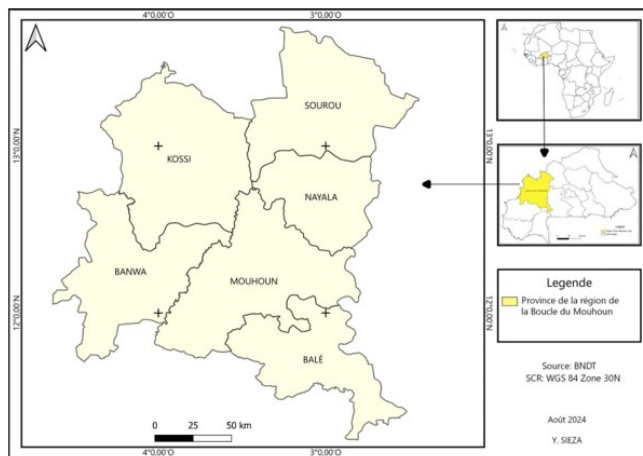
En Afrique de l'Ouest, les sécheresses récurrentes constituent une menace majeure pour le pastoralisme, une activité étroitement tributaire des cycles naturels de l'eau et des pâturages (Amigues *et al.*, 2006; Lemaire & Pflimlin, 2007). Au Burkina Faso, ces aléas climatiques réduisent la disponibilité des pâturages et des points d'eau, ce qui affecte négativement la production animale; il en résulte une intensification des mouvements pastoraux et une exacerbation des conflits entre éleveurs et agriculteurs (Dongmo *et al.*, 2012; Nassef *et al.*, 2023; Robert, 2010).

Dans la région de la Boucle du Mouhoun, au Burkina Faso, le pastoralisme constitue une activité essentielle qui joue un rôle clé dans la sécurité alimentaire et l'économie locale (Alary & Gautier, 2023; Little *et al.*, 2008; Sounon *et al.*, 2019). Ces systèmes pastoraux dépendent de ressources naturelles telles que les pâturages et l'eau, dont la disponibilité est fortement conditionnée par le climat (Bonkougou *et al.*, 2019). Cependant, le changement climatique accentue la fréquence et l'intensité des sécheresses dans cette région, réduisant considérablement la disponibilité des pâturages et l'accès à l'eau (Blanfort *et al.*, 2011; N'Goran *et al.*, 2022).

Ces perturbations climatiques engendrent une baisse de la productivité pastorale, intensifient les migrations et aggravent les conflits d'usage des ressources naturelles (Méral *et al.*, 2022; Zakaria, 2014). La situation est d'autant plus préoccupante que les projections climatiques prévoient une aggravation de ces aléas dans les décennies à venir (Ickowicz & Moulin, 2022; Masson-Delmotte *et al.*, 2019). Pour analyser les sécheresses, la littérature scientifique recourt fréquemment à des indices climatiques. L'indice standardisé des précipitations (SPI), par exemple, est largement utilisé pour identifier les périodes critiques de déficit hydrique (Kabore *et al.*, 2017; Sanou *et al.*, 2018; Sieza *et al.*, 2019). En outre, le SPI s'est révélé particulièrement efficace pour détecter les épisodes de sécheresse prolongée ainsi que leurs impacts sur les écosystèmes agricoles et pastoraux (Vicente-Serrano *et al.*, 2010). Parallèlement, l'indice de santé de la végétation (VHI), dérivé des données satellitaires, est un outil efficace pour évaluer l'état des pâturages et mesurer l'impact des anomalies climatiques sur la végétation (Bijaber & Rochdi, 2017; Hakam *et al.*, 2023; Hanadé Houmma *et al.*, 2022; Kounta *et al.*, 2022). Cependant, ces deux indices sont le plus souvent employés séparément, ce qui limite la compréhension des liens directs entre les conditions climatiques et l'état des ressources pastorales. À ce jour, rares sont les études ayant exploré leur usage conjoint, notamment dans les régions sahéliennes où les interactions entre sécheresse, santé des pâturages et pratiques pastorales demeurent complexes. Cette lacune souligne la nécessité d'une approche intégrée combinant le SPI et le VHI afin d'obtenir une analyse plus complète et pertinente. La présente étude s'inscrit dans cette perspective en proposant une approche intégrée combinant le SPI et le VHI pour évaluer l'impact des sécheresses sur les ressources pastorales dans la Boucle du Mouhoun. Cette approche se distingue par la complémentarité des deux indices et par sa portée opérationnelle; elle peut ainsi contribuer à la mise en place de stratégies d'adaptation visant à renforcer la résilience des systèmes pastoraux.

METHODOLOGIE

Zone d'étude : La zone d'étude est située dans la région de la Boucle du Mouhoun, au Burkina Faso (Figure 1).



La région de la Boucle du Mouhoun est située dans le nord-ouest du Burkina Faso et couvre environ 12 % du territoire national (Tingueri, 2024). Elle bénéficie d'un climat tropical soudano-sahélien marqué par deux saisons bien distinctes : une saison des pluies généralement de mai à octobre, suivie d'une longue saison sèche. Les précipitations annuelles varient

typiquement entre 800 et 1 200 mm, conditionnant fortement le développement des pâturages et la disponibilité en eau. Considérée comme un « grenier » agro-pastoral du pays, la Boucle du Mouhoun abrite de nombreuses communautés d'éleveurs dont les activités dépendent étroitement des ressources naturelles locales (eau et parcours). La vulnérabilité de ces ressources face aux aléas climatiques souligne l'importance d'une gestion durable des pâturages et des points d'eau dans la région (Adama et Goama, 2025).

Données et sources : Les données exploitées proviennent de deux sources principales et couvrent la période 1981–2023. D'une part, les données climatiques mensuelles nécessaires au calcul du Standardized Precipitation Index (SPI, indice standardisé de précipitations) proviennent du portail Climate Explorer du Programme Alimentaire Mondial (PAM/WFP), qui fournit les estimations de précipitations CHIRPS à l'échelle nationale. Ce jeu de données CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) combine des observations satellites et terrestres, et a été choisi pour sa couverture spatio-temporelle adaptée à l'analyse des sécheresses en Afrique de l'Ouest (Funk *et al.*, 2015). D'autre part, les données de télédétection utilisées pour le calcul de l'indice de santé de la végétation (VHI, Vegetation Health Index) proviennent du système NOAA/NESDIS de la National Oceanic and Atmospheric Administration. Ce système fournit des indices de végétation dérivés des capteurs AVHRR puis VIIRS, à une résolution spatiale d'environ 4 km, avec des images composites sur 7 jours. Les données VHI couvrent ainsi la période 1981–2024 et offrent un suivi cohérent de l'état de la végétation. Le VHI intègre à la fois l'état de la végétation et le stress thermique, combinant l'indice de condition de la végétation (VCI) calculé à partir du NDVI et l'indice de condition thermique (TCI) issu de la température de surface (Bento *et al.*, 2018). Cette approche par indices satellitaires, initialement développée par Kogan (2012), permet de suivre les impacts des sécheresses sur la végétation à l'échelle régionale.

Calcul des indices : La méthodologie d'analyse s'articule en trois étapes complémentaires.

- **Calcul du SPI :** Le SPI a été calculé à partir des cumuls de précipitations mensuelles afin d'identifier les périodes et intensités des sécheresses météorologiques dans la région étudiée. Le logiciel Drin C (*Drought Indices Calculator*) a été utilisé pour effectuer ce calcul, en appliquant la méthode normalisée recommandée par l'OMM basée sur l'ajustement des précipitations à une loi gamma puis leur transformation en loi normale standard (Kumar Kar *et al.*, 2018; McKee *et al.*, 1993). Le SPI obtenu est adimensionnel (moyenne nulle, écart-type unitaire) et permet de quantifier les anomalies pluviométriques : des valeurs négatives indiquent un déficit de pluie (sécheresse), en deçà de -1 correspondant aux sécheresses modérées à extrêmes (Wanders *et al.*, 2010), tandis que des valeurs positives reflètent des excédents hydriques. Sur la base des résultats du SPI calculé sur la période 1981–2023, quatre années critiques ont été sélectionnées (1984, 1995, 2014, 2021) en raison de sécheresses marquantes (de degré modéré à extrême) observées durant ces années. Ces années, réparties sur plusieurs décennies, fournissent un échantillon équilibré pour une analyse approfondie.

- **Analyse du VHI** : La deuxième étape consiste à exploiter l'indice de santé de la végétation (VHI) pendant les périodes critiques identifiées par le SPI. Pour chaque année sélectionnée, les images satellitaires correspondantes aux mois de **juin, juillet et août** (période cruciale pour les pâturages) ont été extraites du jeu de données NOAA/NESDIS. Ces images ont été traitées et analysées avec le logiciel R afin d'évaluer spatialement et temporellement l'état de la végétation pendant et après les épisodes de sécheresse. Le VHI, en tant qu'indice combiné VCI/TCI, fournit une mesure de la « santé » des couverts végétaux en tenant compte à la fois de l'anomalie de verdure et du stress thermique (Bento *et al.*, 2018). Une baisse significative du VHI signale une dégradation des pâturages liée à un déficit hydrique et à la contrainte thermique sur la végétation. L'analyse spatio-temporelle du VHI pour les mois et années retenus permet ainsi de localiser les zones les plus affectées par la sécheresse et de quantifier l'ampleur de la dégradation pastorale au sein de la Boucle du Mouhoun.
- **Croisement SPI-VHI** : Enfin, la troisième étape repose sur l'analyse croisée des résultats du SPI et du VHI afin d'évaluer la correspondance entre sécheresses météorologiques et stress de la végétation. Les cartes et séries temporelles du SPI et du VHI ont été comparées pour chaque période critique, ce qui a permis d'identifier les corrélations spatio-temporelles entre le déficit pluviométrique et la dégradation des pâturages. Cette approche intégrée offre une vision plus complète de l'impact des sécheresses sur le pastoralisme local : en identifiant les zones et périodes les plus vulnérables, elle fournit des informations précieuses sur les risques pour les éleveurs et leurs troupeaux. Les résultats de cette analyse conjointe SPI-VHI servent de base à la discussion des impacts observés et à la formulation de recommandations en matière de gestion durable des ressources pastorales face aux aléas climatiques.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Résultats

Analyse des tendances climatiques (SPI): L'analyse du SPI pour les mois de juin à septembre sur la période 1980–2023 met en évidence une forte variabilité interannuelle des précipitations dans la Boucle du Mouhoun. Les valeurs observées montrent une alternance de périodes déficitaires et excédentaires, traduisant une instabilité croissante du régime pluviométrique au fil des décennies. Au mois de juin, la période 1980–1990 se caractérise par plusieurs années déficitaires, notamment 1983–1984, marquées par une sécheresse sahélienne importante. La fin des années 1980 enregistre toutefois quelques pics positifs, témoignant de conditions pluviométriques ponctuellement favorables. Entre 1990 et 2000, les valeurs du SPI oscillent généralement autour de la moyenne, sans orientation linéaire affirmée. Par la suite, plusieurs épisodes humides notables apparaissent au cours des années 2000 et 2010, bien que certaines années comme 2014–2015 signalent un retour à des conditions sèches modérées. En juillet, les valeurs restent généralement situées entre -1 et +1, malgré des pics particulièrement élevés durant certaines années postérieures à 2000. Cette configuration reflète des contrastes pluviométriques plus marqués, avec alternance entre excédents ponctuels et déficits isolés.

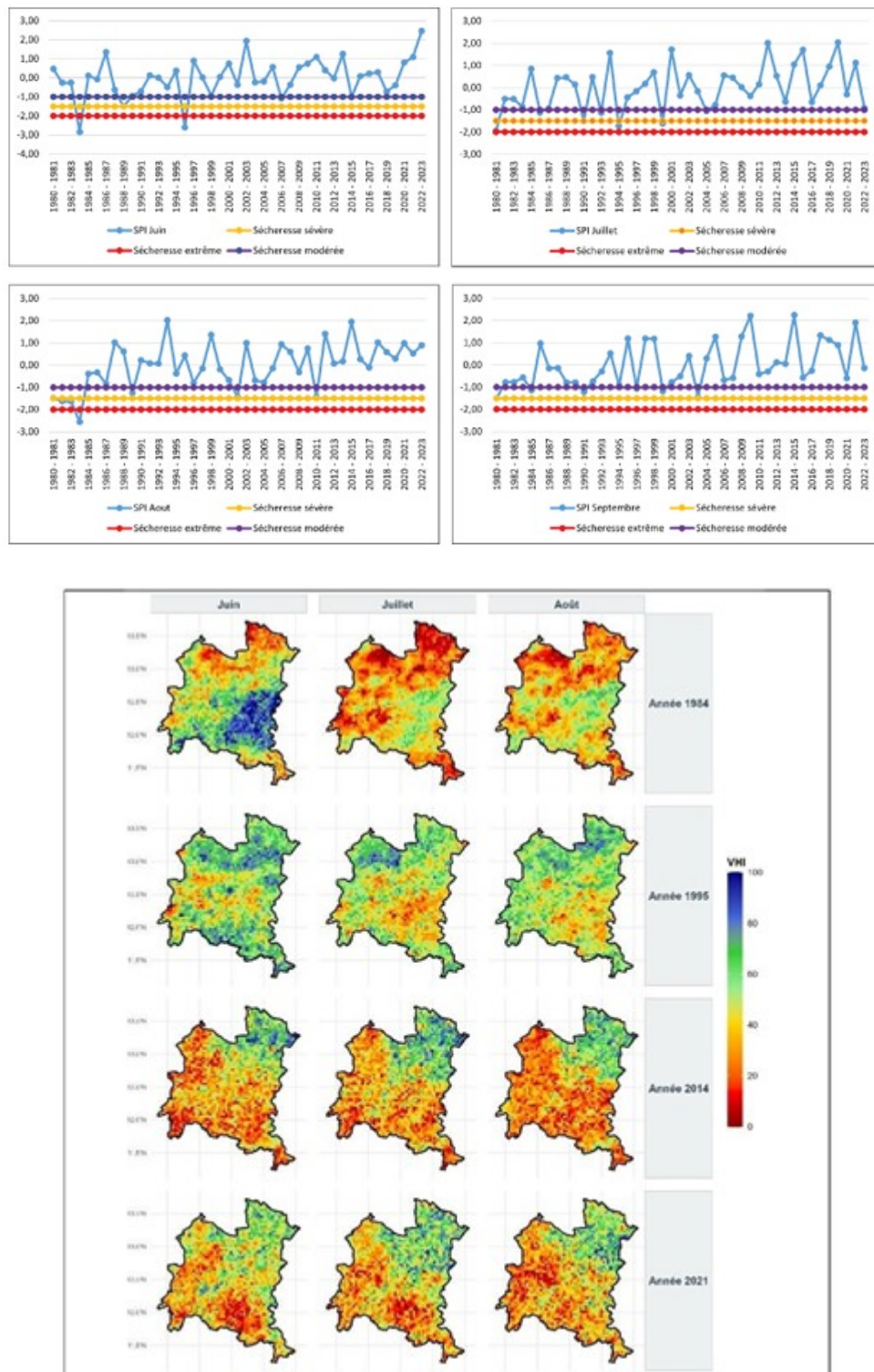
Le mois d'août enregistre les valeurs SPI les plus négatives de la période étudiée, plus particulièrement en 1983–1984. Cette anomalie confirme l'intensité historique de la sécheresse sahélienne. Bien que les années suivantes montrent un certain retour à la moyenne, plusieurs épisodes de sécheresse ponctuelle persistent, révélant une tendance structurelle à la variabilité accrue. Enfin, pour le mois de septembre, les fluctuations du SPI atteignent des amplitudes importantes, avec des pics supérieurs à +2 observés régulièrement après 2000. Les déficits restent toutefois moins intenses qu'en 1983–1984, mais la variabilité croissante observée depuis le début du siècle témoigne d'un régime pluviométrique instable, sans tendance de retour vers une situation plus régulière. En somme, l'évolution du SPI sur quatre décennies indique une oscillation croissante des précipitations, sans stabilisation observée. Cette dynamique révèle une vulnérabilité accrue de la région face aux aléas climatiques, avec des implications directes pour la disponibilité des ressources pastorales.

État de la végétation (VHI): L'analyse spatiale du VHI portant sur les années 1984, 1995, 2014 et 2021 met en évidence une dégradation progressive de la santé végétale dans la région. Cette évolution est particulièrement manifeste lorsque l'on observe l'état de la végétation en juin, juillet et août pour chacune des décennies.

En 1984, l'indice montre une forte dégradation de la végétation entre juin et août. Les zones nordiques présentent encore des niveaux modérés en début de saison, mais l'ensemble du territoire glisse progressivement vers des conditions de stress sévère en fin de saison pluviométrique. En 1995, le démarrage de la saison des pluies est plus favorable, comme l'indiquent les cartes en juin où plusieurs zones du nord et du centre affichent des conditions saines. Toutefois, un déclin progressif apparaît vers août, particulièrement dans les zones méridionales. Ce phénomène illustre une vulnérabilité différenciée des territoires, avec certaines localités montrant une meilleure résilience végétale. L'année 2014 constitue un tournant majeur : les zones initialement préservées montrent des signes de stress dès juin. En août, une large partie de la région est marquée par des conditions sévères et persistantes de stress hydrique, indiquant une réduction drastique de la capacité de régénération des couverts végétaux. L'année 2021 confirme cette évolution défavorable, avec un stress végétal généralisé dès le début de la saison. L'ampleur et la rapidité de la dégradation observée durant cette année suggèrent une perte de résilience du système écologique pastoral face aux aléas climatiques.

DISCUSSION

L'analyse croisée du SPI et du VHI met en évidence une relation historiquement forte entre anomalies pluviométriques et état de la végétation dans la Boucle du Mouhoun, mais révèle également une transformation progressive des dynamiques écosystémiques au cours des quatre dernières décennies. Le SPI demeure un indicateur pertinent pour caractériser les excédents et déficits pluviométriques (Faye *et al.*, 2018), tandis que le VHI traduit la réponse de la végétation au stress hydrique et thermique, intégrant les effets cumulés des facteurs climatiques et anthropiques (Kogan, 2012). Leur analyse conjointe renforce la compréhension multi-dimensionnelle des sécheresses et confirme l'intérêt des approches combinées prônées par les systèmes d'alerte modernes (Pandey & Shrivastava, 2025).



Historiquement, la grande sécheresse de 1983-1984 illustre une corrélation quasi parfaite entre SPI négatif et dégradation végétale sévère mesurée par le VHI — les zones initialement préservées basculant rapidement en stress généralisé (Kima *et al.*, 2015; Nougara *et al.*, 2021). Cette synchronisation témoigne d'une forte sensibilité des pâturages au déficit hydrique durant cette décennie. À l'inverse, l'année 1995 illustre une période de variabilité climatique plus marquée : les oscillations du SPI entre valeurs excédentaires et déficitaires s'accompagnent d'une résilience végétale différenciée selon les zones. Le nord conserve un VHI élevé alors que le sud-ouest demeure fragilisé, confirmant le caractère spatialement hétérogène de la réponse écologique (Cissé *et al.*, 2015; Ndiaye *et al.*, 2015). À partir des années 2010, une évolution notable apparaît : la dégradation végétale devient plus rapide et

plus étendue, même en l'absence de sécheresse extrême. En 2014, les cartes VHI indiquent un stress sévère dans les zones centrales et septentrionales, alors que le SPI ne révèle pas un déficit pluviométrique majeur. Cette décorrélation croissante suggère une érosion de la capacité de tampon des écosystèmes. Ce phénomène a également été observé au Sahel, où des sécheresses modérées ont généré des dépérissements massifs en raison d'un affaiblissement structurel des sols et d'une biomasse « pré-chargée » en période humide (Bernardino *et al.*, 2020). Les années récentes, particulièrement 2021, marquent une rupture encore plus forte : la dégradation végétale apparaît dès le début de la saison pluvieuse, y compris dans des secteurs historiquement résilients. Ce constat renforce l'hypothèse d'une perte de résilience écosystémique, cohérente avec les conclusions du GIEC selon lesquelles les zones arides

sont désormais plus vulnérables aux chocs hydriques du fait du changement climatique et des pressions humaines (IPCC, 2022). La disparition progressive du gradient nord-sud, observée entre 1984 et 2021, signale également une homogénéisation alarmante du risque. L'expansion agricole, la déforestation et le surpâturage fragilisent les parcours pastoraux, rendant la végétation moins résistante aux anomalies hydriques (Rosenstock *et al.*, 2019; Nébié *et al.*, 2020; Bilali *et al.*, 2022). Ces transformations appellent à adapter les stratégies de gestion des risques. L'utilisation conjointe du SPI et du VHI doit être intégrée dans des systèmes d'alerte précoce opérationnels, permettant d'anticiper le manque de fourrage avant qu'il ne devienne critique (WMO, 2020). Au-delà de l'observation, la résilience pastorale nécessite des mesures d'adaptation structurelles : restauration écologique, infrastructures hydriques, gestion concertée des transhumances (Sanou & Akoba, 2025) et diversification économique des ménages. Ainsi, les résultats soulignent l'urgence de politiques fondées sur des données multi-indices pour préserver durablement les systèmes pastoraux face au changement climatique.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude apporte un éclairage essentiel sur l'évolution de la sécheresse et ses répercussions sur les ressources pastorales dans la Boucle du Mouhoun. L'approche méthodologique mobilisant conjointement l'indice SPI et l'indice VHI a permis d'analyser de manière fine les dynamiques hydrométéorologiques et écologiques sur plus de quatre décennies. Les résultats révèlent une tendance manifeste à la dégradation croissante de la végétation, indépendamment parfois de l'intensité des anomalies pluviométriques, et mettent en évidence une perte progressive de résilience des écosystèmes pastoraux. Les sécheresses historiques des années 1980, comme les épisodes récents, ont provoqué des déficits substantiels en biomasse et un stress marqué sur les pâturages, entraînant des implications socio-économiques pour les communautés éleveuses dont les moyens de subsistance en dépendent étroitement. Par ailleurs, l'analyse a montré une transformation du comportement spatio-temporel de la végétation : les zones autrefois relativement préservées, notamment dans le nord de la région, présentent désormais les mêmes niveaux de vulnérabilité que les secteurs historiquement sensibles. Cette homogénéisation du risque constitue un signal d'alerte majeur et souligne la nécessité de repenser les stratégies de gestion des ressources pastorales, au-delà d'une simple intervention ponctuelle centrée sur les épisodes de sécheresse.

Au regard de ces constats, plusieurs recommandations se dégagent. Premièrement, il apparaît indispensable de renforcer les dispositifs de surveillance climatique et écologique, en institutionnalisant l'utilisation conjointe d'indicateurs tels que le SPI et le VHI dans un système d'alerte précoce fonctionnel, accessible et opérationnel pour les acteurs locaux. Deuxièmement, la région doit engager des actions de restauration et de conservation des écosystèmes pastoraux, incluant la régénération naturelle assistée, la gestion des parcours, l'amélioration de la fertilité des sols et l'implantation d'espèces fourragères adaptées. Troisièmement, la gouvernance des mobilités pastorales devra être mieux structurée, en intégrant des mécanismes de concertation entre éleveurs, agriculteurs et autorités locales, afin de réduire les conflits liés à l'accès aux ressources et d'optimiser spatialement l'usage des pâturages. Enfin, l'adaptation à long

terme suppose également un appui socio-économique aux ménages pastoraux, fondé sur la diversification des moyens de subsistance, le développement d'infrastructures hydrauliques et la création d'instruments de gestion du risque, comme des assurances indexées. En définitive, l'approche adoptée dans cette étude démontre que la compréhension des sécheresses et de leurs impacts ne peut se limiter au climat seul. La vulnérabilité des systèmes pastoraux de la Boucle du Mouhoun résulte aujourd'hui d'une combinaison de facteurs naturels et anthropiques. Garantir leur durabilité exige une vision intégrée, anticipative et territorialisée de la gestion des ressources, capable de soutenir à la fois les écosystèmes et les communautés humaines qui en dépendent.

REFERENCES

- Adama, T., & Goama, N. (2025). Analyse de l'influence climatique, socio-économique et politique sur les ressources potentielles en terres dans la Boucle du Mouhoun (Burkina Faso). *Revue*
- Alary, V., & Gautier, D. (2023). Évaluer la contribution de l'élevage au développement des régions sèches : Indicateurs en vue de politiques publiques adaptées. *Perspective*, 60, 1–4. <https://doi.org/10.19182/perspective/37106>
- Amigues, J.-P., Debaeke, P., Itier, B., Lemaire, G., Seguin, B., Tardieu, F., Thomas, A., & UESC, E. S. C. (2006). *Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau* [Rapport d'expertise scientifique collective]. INRA.
- Bento, V. A., Trigo, I. F., Gouveia, C. M., & DaCamara, C. C. (2018). Contribution of Land Surface Temperature (TCI) to Vegetation Health Index : A Comparative Study Using Clear Sky and All-Weather Climate Data Records. *Remote Sensing*, 10(9), 1324. <https://doi.org/10.3390/rs10091324>
- Bernardino, P. N., Brandt, M., De Keersmaecker, W., Horion, S., Fensholt, R., Storms, I., ... Somers, B. (2020). Uncovering dryland woody dynamics using optical, microwave, and field data—Prolonged above-average rainfall paradoxically contributes to woody plant die-off in the western Sahel. *Remote Sensing*, 12(14), 2332. <https://doi.org/10.3390/rs12142332>
- Bijaber, N., & Rochdi, A. (2017). Télédétection spatiale pour l'évaluation du risque de sécheresse au Maroc. *Revue Internationale de Géomatique*, 27(2), 203–222. <https://doi.org/10.3166/ri.2017.00026>
- Bilali, H. E., Dambo, L., Nanema, J., Bassole, I. H. N., & Calabrese, G. (2022). Biodiversity–pastoralism nexus in West Africa. *AIMS Agriculture and Food*, 7(1), 73–95. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2022005>
- Blanfort, V., Doreau, M., Huguenin, J., Lazard, J., Porphyre, V., Soussana, J.-F., & Toutain, B. (2011). Impacts et services environnementaux de l'élevage en régions chaudes. *INRAE Productions Animales*, 24(1), 89–112. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2011.24.1.3239>
- Bonkougou, J., Compaoré, J., Traoré, F., Beucher, O., & Bikienga, I. (2019). Analyse de vulnérabilités des systèmes agraires de la région de la Boucle du Mouhoun au Burkina Faso. *European Scientific Journal*, 15(2), 104–120.
- Cissé, S., Eymard, L., Ndione, J. A., & Gaye, A. T. (2015). Analyse statistique des relations pluie–végétation au Ferlo (Sénégal). In *Actes du XXVIII Colloque de l'Association Internationale de Climatologie* (pp. 307–312).

- Dongmo, A. L., Djamen, P., Vall, É., Mian-Oudanang, K., Coulibaly, D., & Lossouarn, J. (2012). Du nomadisme à la sédentarisation : L'élevage d'Afrique de l'Ouest et du Centre en quête d'innovation et de durabilité. *Revue d'ethnoécologie*, 1. <https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.779>
- Faye, M., Fall, A., Faye, G., & Van Hecke, E. (2018). La variabilité pluviométrique et ses incidences sur les rendements agricoles dans la région des Terres Neuves du Sénégal oriental. *Belgeo – Revue belge de géographie*, 2018(1), Article 1. <https://doi.org/10.4000/belgeo.20837>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations (CHIRPS)—A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- GIEC (IPCC). (2022). *Changement climatique 2022 : Impacts, adaptation et vulnérabilité* (Résumé à l'intention des décideurs, 6e Rapport d'évaluation, vol. II). GIEC.
- Hakam, O., Baali, A., & Belhaj Ali, A. (2023). Modeling drought-related yield losses using new geospatial technologies and machine learning approaches: Case of the Gharb plain, North-West Morocco. *Modeling Earth Systems and Environment*, 9(1), 647–667. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01523-2>
- Hanadé Houmma, I., El Mansouri, L., Hadria, R., Emran, A., & Chehbouni, A. (2022). Retrospective analysis and version improvement of the satellite-based drought composite index: A semi-arid Tensift–Morocco application. *Geocarto International*, 37(11), 3069–3090. <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1844314>
- Ickowicz, A., & Moulin, C. (2022). Élevages au pâturage et développement durable des territoires méditerranéens et tropicaux. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3486-8>
- Kabore, P. N., Ouedraogo, A., Sanon, M., Yaka, P., & Some, L. (2017). Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du Centre-Nord du Burkina Faso entre 1961 et 2015. *Climatologie*, 14, 82–95. <https://doi.org/10.4267/climatologie.1268>
- Kima, S., Okhimamhe, A., Kiema, A., Zampaligré, N., & Sule, I. (2015). Adapting to the impacts of climate change in the sub-humid zone of Burkina Faso, West Africa: Perceptions of agro-pastoralists. *Pastoralism*, 5(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s13570-015-0034-9>
- Kogan, F. N. (2012). Global drought watch from space at work: Crop losses and food security. *AGU Fall Meeting Abstracts*, 2012, NH21B-1597.
- Kounta, A., El-Aboudi, A., Loum, M., Ngom, E. M. D., Diongue, D. M. L., & Hanadé Houmma, I. (2022). Agro-meteorological drought risk assessment in the groundnut basin of Senegal: The case of the municipalities of Djilor, Diossong, Keur Samba Gueye and Toubacouta. *Geocarto International*, 37(27), 18546–18568. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2142965>
- Kumar Kar, S., Singh, R., & Thomas, T. (2018). Spatio-temporal evaluation of drought characteristics in the Dhasan basin. *Mausam*, 69, 589–598. <https://doi.org/10.54302/mausam.v69i4.423>
- Lemaire, G., & Pflimlin, A. (2007). Les sécheresses passées et à venir : Quels impacts et quelles adaptations pour les systèmes fourragers. *Fourrages*, 190, 163–180.
- Little, P. D., McPeak, J., Barrett, C. B., & Kristjanson, P. (2008). Challenging orthodoxies: Understanding poverty in pastoral areas of East Africa. *Development and Change*, 39(4), 587–611. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7660.2008.00497.x>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Buendía, E. C., Shukla, P. R., Slade, R., & Connors, S. (2019). *Résumé à l'intention des décideurs : Changement climatique et terres émergées* (Rapport spécial du GIEC). GIEC.
- McKee, T., Doesken, N., & Kleist, J. (1993). *THE RELATIONSHIP OF DROUGHT FREQUENCY*
- Méral, P., Andriamahefazy, F., Castella, J.-C., Neang, M., Serpantié, G., & Titttonell, P. (2022). Intégrer la notion de service écosystémique dans les politiques et les pratiques agricoles des pays du Sud. *Cahiers Agricultures*, 31, 9. <https://doi.org/10.1051/cagri/2022005>
- Nassef, M., Eba, B., Islam, K., Djohy, G., & Flintan, F. E. (2023). *Causes des conflits entre agriculteurs et éleveurs en Afrique*. ILRI/CGIAR.
- Ndiaye, C., Guèye, E. F., Ngom, S., Traoré, E. H., & Akpo, L. E. (2015). Impact de la pluviométrie sur la production de biomasse herbagère en milieu sahélien : Un cas en région de Matam (Nord du Sénégal). *Livestock Research for Rural Development*, 27(3), 1–10.
- Nébié, E., Nébié, E., & Crane, T. (2020). “Where’s the map?”: Integrating ethnography with maps to understand the complementarity between pastoral mobility and border formation. *Journal of Political Ecology*, 27(1), 798–818. <https://doi.org/10.2458/v27i1.23152>
- N’Goran, A.-J., Diouf, A., Diatta, S., Assouma, M., Djagoun, A., Assogba, G., Cournac, L., Chapuis-Lardy, L., Blanfort, V., & Taugourdeau, S. (2022). Variabilité des stocks de carbone du sol sous et hors houppier dans la zone sylvopastorale du Sénégal. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 75(3), 67–75. <https://doi.org/10.19182/remvt.36984>
- Nougara, S., Kiema, A., Soudré, A., Guissou, L., & Berthe, T. (2021). Adaptation de l'élevage bovin de l'Ouest du Burkina Faso aux sécheresses récurrentes. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*
- Pandey, V., & Shrivastava, S. K. (2025). Comparative analysis of drought indices to characterize drought in agro-climatic zones of Assam, Northeast region of India. *Natural Hazards Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2025.08.008>
- Robert, É. (2010). Les zones pastorales comme solution aux conflits agriculteurs/pasteurs au Burkina Faso : L'exemple de la zone pastorale de la Doubégué. *Cahiers d'Outre-Mer*, 63(249), 47–71. <https://doi.org/10.4000/com.5861>
- Rosenstock, T. S., Dawson, I. K., Aynekulu, E., Chomba, S., Degrande, A., Fornace, K., Jamnadass, R., Kimaro, A., Kindt, R., Lamanna, C., Malesu, M., Mausch, K., McMullin, S., Murage, P., Namoi, N., Njenga, M., Nyoka, I., Paez Valencia, A. M., ... Steward, P. (2019). A planetary health perspective on agroforestry in sub-Saharan Africa. *One Earth*, 1(3), 330–344. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.017>
- Sanou, C. L., Tsado, D. N., Kiema, A., Eichie, J. O., & Okhimamhe, A. A. (2018). Climate variability adaptation strategies: Challenges to livestock mobility in south-eastern Burkina Faso. *OALib*, 5(2), 1–17. <https://doi.org/10.4236/oalib.1104372>
- Sanou, C. L., & Akoba, L. D. (2025). Climate change-induced threats to transhumance pastoral systems in Burkina Faso, West Africa. *Environmental Science & Policy*, 173, 104244. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2025.104244>

- Sieza, Y., Gomgnimbou, A., Serme, I., & Belem, A. (2019). Étude de la variabilité climatique sur la dynamique d'occupation et d'utilisation des terres à des fins agro-pastorales dans la zone sud-soudanienne du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(4), 1980–1988. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i4.6>
- Sounon, K. L. S., Aho, E., Lessé, P., Ickowicz, A., Messad, S., Lesnoff, M., & Houinato, M. (2019). Évaluation de la valeur économique directe de l'élevage bovin au nord-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(1), 8–21. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i1.2>
- Tingueri, A. (2024). Stratégie d'orientation de la gestion locale des dynamiques des ressources potentielles en terres dans la Boucle du Mouhoun (Burkina Faso). *Revue Ecosystèmes et Paysages*, 4(2), 1-18. <https://doi.org/10.59384/recopays.tg4219>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Wanders, N., Lanen, H. V., & Loon, A. V. (2010). *Indicators for drought characterization on a global scale*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Indicators-for-drought-characterization-on-a-global-Wanders-Lanen/bf2f049d94c3ecd8c5f8cbdf3ead612cflde9767>
- WMO (Organisation météorologique mondiale). (2020). *Monitoring and early warning systems – Drought*. World Meteorological Day 2020 – Drought.
- Zakaria, Y. (2014). La transhumance transfrontalière en Afrique de l'Ouest. *Paix et Sécurité Internationales*, 2, 31–46. https://doi.org/10.25267/paix_secur_int.2014.i2.02
