

Évaluation de la disponibilité physique et de l'accessibilité des ressources en eau : cas des agropasteurs de la commune de Bama au Burkina Faso

**Abdoul Kader GANDEMA^{1*}, Safiatou OUEDRAOGO^{1,2}, Amidou KONE^{1,2}, Pierre ZONGO^{1,2},
Nafizatou COULIBALY¹ et Salifou OUEDRAOGO-KONE¹**

¹ *Université Nazi BONI, Laboratoire d'Études et de Recherches des Ressources Naturelles et des Sciences de l'Environnement (LERNSE), 01 BP 1091 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso*

² *Ministère l'Agriculture, de l'Eau, des Ressources Animales et Halieutiques (MAERAH), 03 BP 7010, Ouagadougou, Burkina Faso*

(Reçu le 20 Décembre 2025 ; Accepté le 21 Janvier 2026)

* Correspondance, courriel : gandakader@gmail.com

Résumé

L'hydraulique de l'élevage pastoral est un facteur déterminant pour l'économie et le sociale des pays sahéliens. La présente étude a eu pour objectif d'évaluer les déterminants de l'hydraulique pastorale dans la commune de Bama dans la région du Guiriko. Pour ce faire, un questionnaire a été administré auprès de 120 éleveurs dans 10 villages de la commune. Les modèles prédictifs de la distance parcourue pour l'abreuvement ont été évalués et comparés. L'indice MNDWI, calculé à partir d'images Landsat, a permis de cartographier la répartition de l'eau. Sur le terrain, plus de 90 % des éleveurs subissent une triple contrainte : pénurie d'eau, conflits d'usage et pistes impraticables. Ces problèmes résultent à la fois des aléas climatiques et des pressions humaines. Pour y répondre, les éleveurs proposent notamment de creuser des bœuls et davantage de forages. L'analyse statistique a comparé différents modèles pour traiter ces données complexes. Le modèle Random Forest s'est montré le plus performant et fiable, malgré un pouvoir explicatif modéré ($R^2 = 0,40$). À l'inverse, la régression linéaire classique s'est révélée totalement inadaptée. La cartographie par indice MNDWI révèle une nette variation saisonnière des points d'eau concentrés au Sud-Ouest et au Centre-Sud en saison sèche, avec une disponibilité de l'eau sur tout le territoire pendant la saison des pluies. Le défi de l'abreuvement des animaux dépasse la simple disponibilité physique de l'eau, demeurant un enjeu intégré de la gouvernance locale.

Mots-clés : *hydraulique pastorale, télédétection, modélisation, distance d'abreuvement, Burkina Faso.*

Abstract

Assessment of the physical availability and accessibility of water resources : the case of agropastoralists in the commune of Bama in Burkina Faso

Water resources for pastoral livestock farming are a determining factor in the economic and social development of Sahelian countries. This study aimed to assess the determinants of pastoral water resources in the commune of Bama, in the Guiriko region. To this end, a questionnaire was administered to 120 livestock farmers in 10 villages within the commune. Predictive models of the distance traveled for watering were

evaluated and compared. The MNDWI index, calculated from Landsat imagery, was used to map water distribution. In the field, more than 90% of livestock farmers face a triple constraint: water scarcity, conflicts over water use, and impassable tracks. These problems result from both climatic hazards and human pressures. To address these issues, livestock farmers propose, among other things, digging ponds and drilling more boreholes. Statistical analysis compared different models to process this complex data. The Random Forest model proved to be the most effective and reliable, despite its moderate explanatory power ($R^2 = 0.40$). Conversely, classical linear regression proved entirely unsuitable. Mapping using the MNDWI index reveals a clear seasonal variation in water points: concentrated in the Southwest and South-Central regions during the dry season, with water available throughout the territory during the rainy season. The challenge of providing water for livestock goes beyond the mere physical availability of water, remaining an integral issue of local governance.

Keywords : *pastoral hydraulics, remote sensing, modeling, watering distance, Burkina Faso.*

1. Introduction

La politique d'hydraulique pastorale a connu un tournant décisif en 1960, avec la définition de ses principes fondamentaux, qui font encore référence aujourd'hui [1]. Les ressources hydrauliques durables, comprenant les écosystèmes aquatiques naturels et les infrastructures d'exhaure modernes, forment le socle permanent d'approvisionnement en eau et la solution de secours essentielle en période de soudure [2]. D'après les travaux de [3], le rayon de pâturage moyen d'un bovin autour d'un point d'eau a été établi entre 15 et 20 km. Sur la base des besoins zootechniques standards - soit 20 à 30 litres d'eau quotidiennement et 5 à 10 hectares de pâturage annuel - cette modélisation détermine un espacement optimal de 40 km entre deux points d'eau. Cette concentration animale génère un besoin hydrique journalier de 240 à 720 m³, impliquant un débit d'exhaure requis de 10 à 30 m³ par heure pour un abreuvement adéquat. Le développement de l'hydraulique pastorale moderne a exercé une influence déterminante sur les systèmes économiques pastoraux, avec des implications particulières sur l'organisation spatiale et la mobilité des éleveurs [4]. La mobilité pastorale, essentielle à la survie de ces systèmes, est compromise par une disparité spatiale criante dans l'accès à l'eau. Cette inégalité rend impossible une exploitation rationnelle et complète des ressources fourragères [5]. En 2018, le Burkina Faso a dénombré 1031 barrages, 571 boulis, 223 mares et 12 lacs soit un total de 1837 ouvrages hydrauliques [6]. Plus de 80 % des ménages d'éleveurs font recours aux ressources naturelles pour assurer l'alimentation et l'abreuvement de leurs animaux [7, 8]. Ce mode d'élevage fournit 75 % de la production de viande et 95 % de la production laitière [9]. La question hydraulique dans les systèmes pastoraux constitue un enjeu critique pour l'ensemble des acteurs de la filière d'élevage. En effet, les études menées par [10] ont présenté une distribution spatiale inégale des points d'eau dans les zones pastorales. Cette disparité contraint 70 % du cheptel à parcourir plus de 12,5 km pour s'abreuver. Parallèlement, 80 % des accès aux points d'eau sont obstrués par des cultures durant l'hivernage. L'objectif général de cette étude a été d'évaluer les déterminants de l'hydraulique pastorale dans la commune de Bama dans la région du Guiriko. A travers une approche intégrée, combinant un diagnostic des contraintes perçues par les éleveurs, une comparaison de modèles prédictifs pour estimer les distances d'accès à l'eau, et une cartographie des indices des points d'eau par télédétection.

2. Matériel et méthode

2-1. Zone d'étude

L'étude a été conduite au Burkina Faso, dans la localité de Bama. La commune de Bama est localisée à environ trente kilomètres au nord-ouest de Bobo Dioulasso. C'est une commune rurale de la région du Guiriko, chef-lieu de province du Houet. La position géographique de la commune se situe à 11° 22' 00" de latitude Nord et 4° 25' 00" de longitude Ouest. Elle s'étend sur 1 300 km² avec une population estimée à 85 834 habitants [11]. La commune rurale de Bama est soumise à un climat de type sub-soudanien caractérisé par une pluviométrie qui peut atteindre 1 000 mm et une saison pluvieuse qui dure de Juin à Octobre.

2-2. Échantillonnage et collecte des données

L'étude s'est déroulée en saison sèche chaude dans dix (10) villages dans la commune de Bama. Ces villages ont été retenus en raison de la concentration des élevages de ruminants et de leur proximité avec la ville de Bobo-Dioulasso. L'enquête a porté sur cent-vingt (120) éleveurs, avec une marge d'erreur de 8,9 % pour un niveau de confiance de 95 % (*Tableau 1*). Après la sélection des villages, la liste des éleveurs a été établie avec l'appui des responsables villageois et des services techniques en charge de l'élevage. Les données ont été collectées à l'aide d'un questionnaire administré sur smartphone via l'application Kobocollect. Les entretiens ont été semi-directifs et menés auprès du chef de ménage et/ou du bouvier. Le questionnaire a porté sur plusieurs thématiques à savoir l'identité de l'éleveur ; les caractéristiques du système d'élevage pratiqué ; les modes d'exploitation des ressources en eau, selon les saisons et les contraintes et difficultés liées à l'abreuvement du bétail.

Tableau 1 : Taille de l'échantillon

Village	Population totale	Poids de la population (%)	Effectif à enquêter
Badara	5192	20,0	24
Bama	1837	7,1	8
Banakélédaga	3136	12,1	14
Sandimisso	522	2,0	2
Sangoulema	2202	8,5	10
Natema	1143	4,4	5
Souroukoudougou	1361	5,2	6
Yirwal	626	2,4	3
Kouroukan	2319	8,9	11
Samandeni	7646	29,4	35
Total	25984	100	120

2-3. Donnée de télédétection

Pour spatialiser l'eau de surface dans la zone d'étude, les données de télédétctions ont été utilisées. En effet, ces données ont été acquises sur le site <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Après l'acquisition des bandes satellitaires, des prétraitements de correction radiométrique et atmosphérique ont été appliqués. Par la suite, les bandes spectrales spécifiques nécessaires au calcul de l'indice ont été extraites. Le choix de ces bandes a été déterminé en fonction du type de capteur satellitaire utilisé. L'indice MNDWI (Modification of Normalized Difference Water Index / Modification de l'indice d'eau par différence normalisée) développé par [12] a été utilisé pour spatialisation de l'eau de surface. En effet, le MNDWI s'est sont révélés plus efficaces pour identifier les plans d'eau par rapport à d'autres indices testés [13]. La *Formule* de l'indice est :

$$MNDWI = \frac{GREEN-SWIR1}{GREEN-SWIR1} \quad (1)$$

Pour les satellites Landsat 8 et 9, les canaux spectraux correspondant au visible (bande du Vert) et à l'infrarouge à ondes courtes (SWIR1) utilisés pour le calcul du MNDWI sont respectivement les bandes 3 (Green) et 6 (SWIR1).

Tableau 2 : Caractéristique des images téléchargées

Localité	Date	Type d'image	Path / Row	Résolution
Commune de BAMA	2024	Landsat 9	197 / 052	30 m
	2019	Landsat 8		30 m
	2014	Landsat 8		30 m

2-4. Analyses statistiques

Les données d'enquête, extraites de la plateforme KoboToolbox, ont été importées dans l'environnement R en vue de leur analyse statistique. L'évaluation de la distance parcourue pour l'abreuvement a reposé sur la comparaison de trois modèles statistiques distincts, prenant en compte l'effectif du troupeau bovin et la localité comme variables explicatives. Parallèlement, les données de télédétection ont été traitées avec le logiciel QGIS. Celui-ci a permis le calcul de l'indice MNDWI et la production des cartes thématiques correspondantes.

3. Résultats

3-1. Performance des modèles de prédiction

La **Figure 1** présente la relation entre les effectifs moyens de troupeau bovins en fonction de la distance journalière parcourue. La distance parcourue pour l'eau a varié entre 1 à 11,8 km. La relation entre les variables a été positive. La variabilité a été croissante après un effectif moyen de 50 têtes de bovin. La tendance révèle une augmentation progressive de la distance avec la taille du troupeau. La dispersion des valeurs, en particulier pour les effectifs situés entre 100 et 200 têtes, indique une variabilité importante.

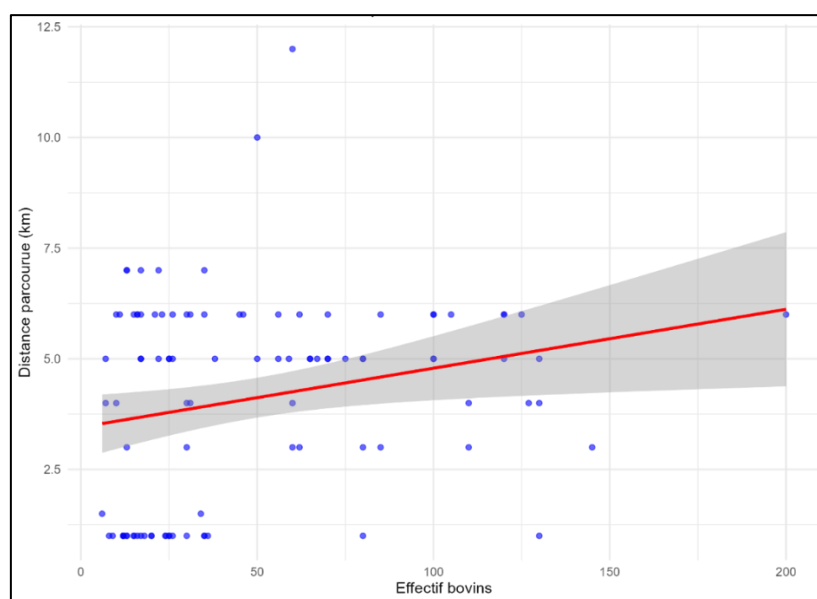


Figure 1 : Relation effectif bovin et distance parcourue

La **Figure 2** présente les performances comparées des modèles XGBoost, Random Forest et de la Régression Linéaire à travers quatre métriques principales. Les métriques comparées ont été le coefficient de détermination (R^2), l'erreur quadratique moyenne (RMSE), l'erreur absolue moyenne (MAE) et le pourcentage d'erreur absolue moyenne (MAPE). Les performances des trois modèles testés révèlent des capacités prédictives distinctes. Le modèle XGBoost présente une performance modérée ($R^2 = 0,30$), avec une erreur absolue moyenne de 0,85 (RMSE = 1,10 ; MAE = 0,85) ; toutefois, l'erreur en pourcentage très élevée (MAPE = 500 %). Le modèle Random Forest présente une meilleure performance globale ($R^2 = 0,40$), combinant une erreur quadratique (RMSE = 0,80) et erreur absolue (MAE = 0,75) faible. Son MAPE reste solide (175 %). La régression linéaire présente une capacité explicative limitée ($R^2 = 0,10$), avec des métriques d'erreur similaires aux autres modèles (RMSE = 0,93 ; MAE = 0,80) et un MAPE élevé (300 %).

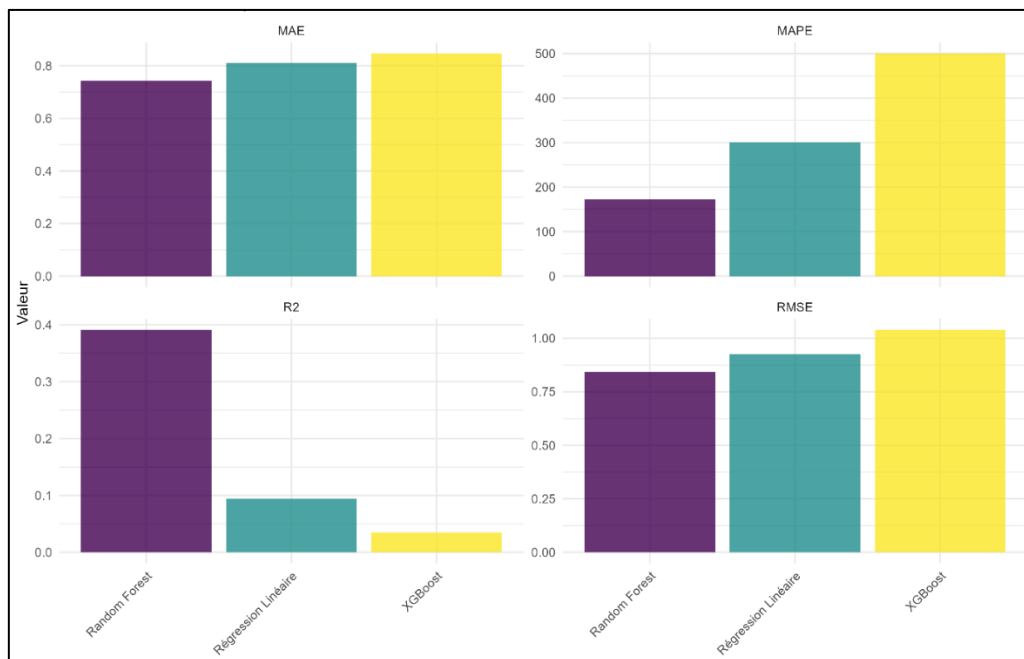


Figure 2 : Comparaison des métriques de performance des Modèles (RMSE, R^2 , MAP, MAPE)

La **Figure 3** présente la distribution des résidus pour les trois modèles XGBoost, Random Forest et Régression Linéaire. L'analyse révèle des profils distincts. Le modèle XGBoost présente la distribution des résidus plus centrée autour de zéro, avec la plus faible dispersion. Ce modèle présente une médiane légèrement supérieure à zéro, impliquant une légère sous-estimation moyenne des valeurs cibles. La boîte principale des résidus est positionnée au-dessus de l'axe neutre. La distribution des résidus du modèle Random Forest présente une médiane positionnée en dessous de zéro. Une tendance de surestimation. L'étendue interquartile a été compacte. La distribution des résidus de la Régression Linéaire est plus étalée, couvrant une amplitude d'environ -1,0 à +1,5 et semble présenter une asymétrie, avec une queue de distribution plus longue vers les valeurs résiduelles positives. La médiane est inférieure à zéro. Cette position médiane indique une tendance centrale des erreurs à être légèrement négatives.

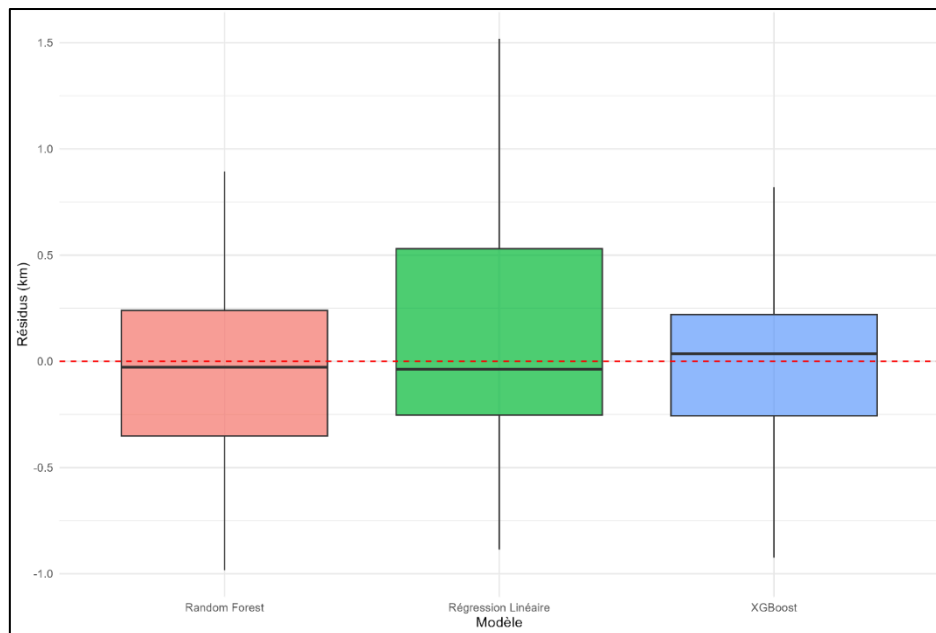


Figure 3 : Distribution des résidus par modèle

La **Figure 4** montre les résidus en fonction des valeurs prédites des 3 modèles de prédiction. Elle a permis d'évaluer l'hétéroscédasticité et la qualité d'ajustement de chacun des modèles. Le modèle de Régression Linéaire présente un étalement important des résidus, avec une amplitude allant approximativement de -1,5 à +2,0 sur l'ensemble des valeurs prédites. Ce schéma révèle une forte hétéroscédasticité. Les résidus des deux modèles d'apprentissage automatique, Random Forest et XGBoost, se concentrent autour de zéro, avec une amplitude beaucoup plus restreinte respectivement -1,0 à +1,5 et -0,5 à +0,5.

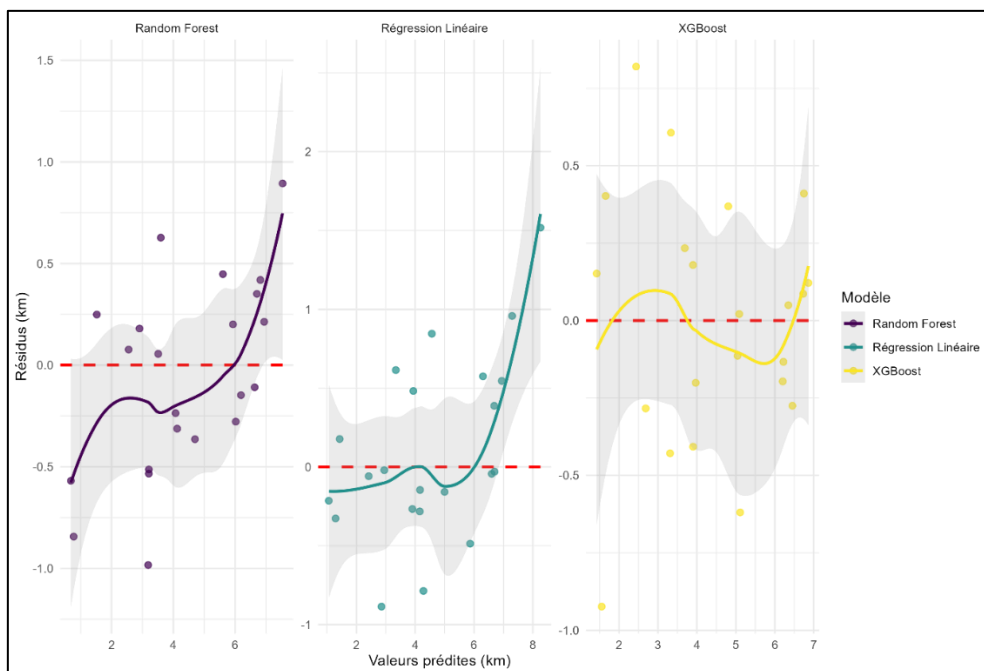


Figure 4 : Résidus en fonction des valeurs prédites

3-2. Caractérisation des contraintes liées aux ressources en eau

Le **Tableau 3** suivant montre la hiérarchisation des principales difficultés liées à l'abreuvement du bétail, leurs causes perçues et les solutions proposées par les éleveurs. La difficulté la plus citée (Rang 1, 26,6 %) a été la combinaison Tariessement + Conflit + Obstruction des pistes, principalement due à l'évaporation et aux usages multiples, avec comme solution privilégiée l'aménagement de boulis. L'évaporation et les multi-usages sont les causes les plus fréquentes, souvent couplées à la baisse de la pluviométrie. L'analyse des contraintes d'accès à l'eau a révélé que le tariessement des points d'eau constituait la difficulté la plus systématiquement rapportée (100 % des cas). Cette contrainte est principalement attribuée au multi-usage de la ressource hydrique, identifiée comme facteur causal prédominant dans 90 % des cas. Les acteurs pastoraux ont privilégié majoritairement l'augmentation du nombre de forages pastoraux, une solution proposée dans 40 % des cas.

Tableau 3 : Relation difficultés- cause - solution

Rang	Difficultés	Cause	Solution	Nombre	Pourcentage (%)
1	Tariessement + Conflit + Obstruct.pistes.accès.eau	Évaporation + Multi usages eau	Aménagement.boulis	96	26,6
2	Tariessement + Conflit + Obstruct.pistes.accès.eau	Évaporation + Multi usages eau	Augmentation nombre de Forages pastoraux	78	21,6
3	Tariessement + Conflit + Obstruct.pistes.accès.eau	Baisse.pluviométrie + Évaporation + Multi usages eau	Augmentation nombre de Forages pastoraux	45	12,5
4	Tariessement + Conflit + Obstruct.pistes.accès.eau	Baisse.pluviométrie + Évaporation + Multi usages eau	Aménagement des boulis	36	10,0
5	Tariessement + Conflit + Obstruct.pistes.accès.eau	Baisse.pluviométrie + Évaporation + Multi usages eau	Utilisation des Plaques solaires	27	7,5
6	Tariessement + Conflit + Obstruct.pistes.accès.eau	Évaporation + Multi usages eau	Utilisation des Plaques solaires	24	6,6
7	Tariessement + Conflit + Obstruct.pistes.accès.eau	Baisse.pluviométrie + Multi usages eau + Transhumance	Aménagement des points d'abreuvements	18	5,0
8	Tariessement + Conflit	Évaporation + Multi usages eau	Aménagement des boulis	16	4,4
9	Tariessement + Obstruct.pistes.accès.eau	Baisse de la pluviométrie + Évaporation + Multi usages eau	Augmentation nombre de Forages pastoraux	12	3,3
10	Tariessement + Conflit + Obstruct.pistes.accès.eau	Baisse.pluviométrie + Évaporation + Obstruction des pistes	Augmentation nombre de Forages pastoraux	9	2,5

Les cartes présentent la distribution d'indice MNDWI en fonction des saisons et de l'année (**Figure 5**). Elle a permis de discriminer les différentes composantes de l'occupation du sol liées à l'eau. Elle fait clairement apparaître la répartition spatiale des plans d'eau et des eaux libres / claires, qui se distinguent par leurs valeurs spectrales élevées. Ces surfaces en eau sont nettement circonscrites et contrastent avec les zones humides avoisinantes. L'ensemble de ces formations aquatiques et humides se détache du fond de la carte. En 2024 et 2019, la disponibilité de l'eau de surface a été constatée au Sud-Ouest, au Centre-Sud durant la SSC et SSF. En fin SP, l'ensemble du territoire est caractérisé par une présence d'eau. En 2014, le nord-est et le centre Sud sont les principales zones de présence de l'eau de surface.

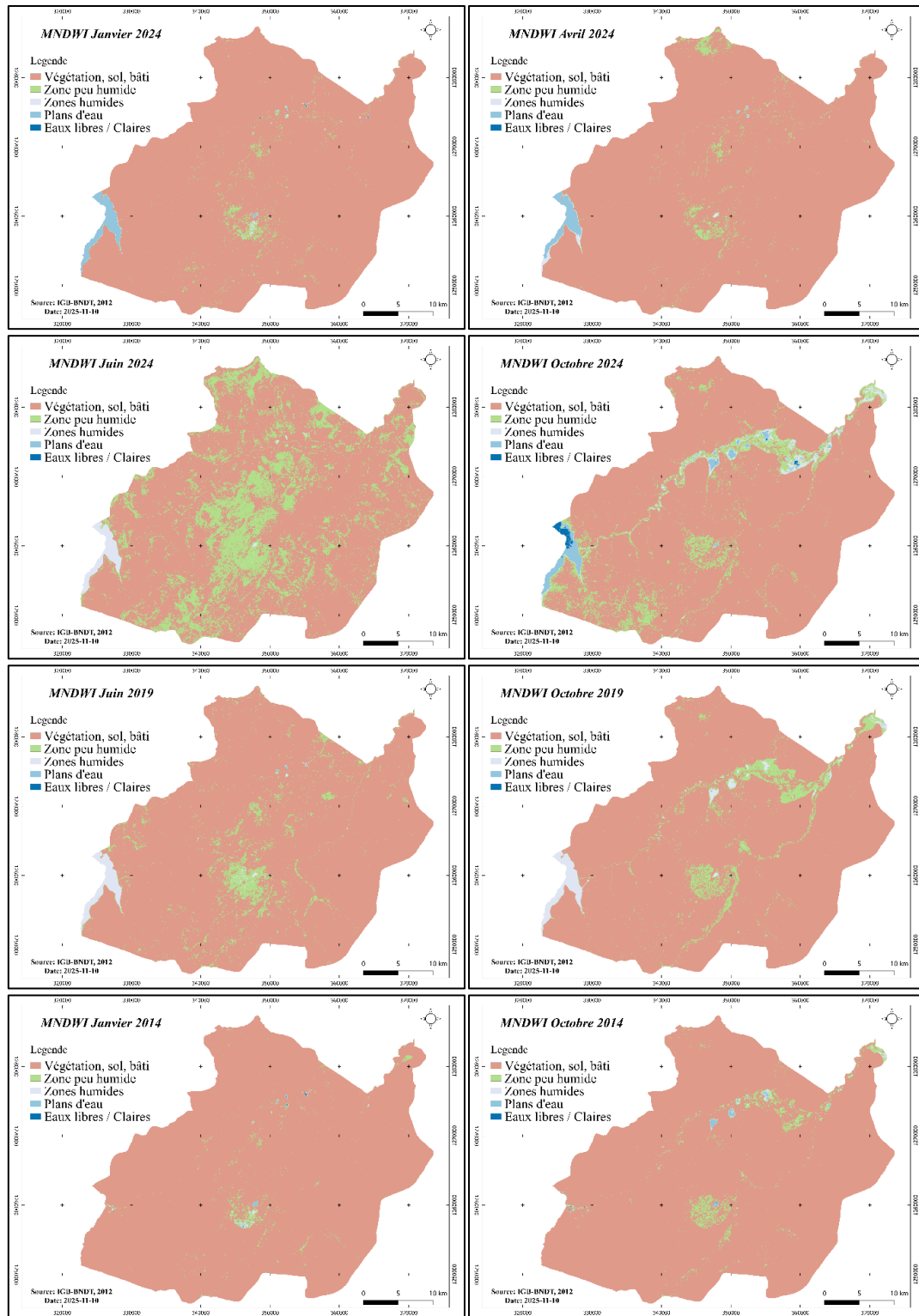


Figure 5 : Indice temporel de MNDWI

4. Discussion

4-1. Performance des modèles de prédiction

La performance globalement modeste des trois modèles laisse entrevoir une multitude de facteurs non capturés. En effet, le R^2 a été relativement faible pour les trois modèles. Ce résultat pourrait expliquer que la taille du troupeau n'explique qu'une faible partie de la variabilité observée dans les distances parcourues pour l'eau. Cette interprétation corrobore la description initiale d'une variabilité croissante, surtout pour les grands troupeaux (100-200 têtes), révélant ainsi l'hétérogénéité des stratégies d'accès à l'eau. Certains facteurs tels que le lieu, la disponibilité, les pratiques de gestion et les conflits pourraient être des facteurs déterminants pour la recherche de l'eau. Le modèle Random Forest est apparu comme le plus performant, une observation qui pourrait s'expliquer par la nature non linéaire et les interactions complexes entre les variables étudiées. Nos résultats vont dans le même sens que ceux de [14]. En effet, les points d'eau ne sont pas des infrastructures exclusivement destinées aux éleveurs ; ils font intervenir plusieurs acteurs, ce qui génère d'autres conditions d'accessibilité. L'examen des distributions de résidus a fourni des informations essentielles sur le biais et la précision des modèles. La distribution des résidus de la Régression Linéaire, la plus étalée et montrant des signes d'hétéroscédasticité, confirme son inadéquation. Les modèles XGBoost et Random Forest présentent des distributions de résidus beaucoup plus centrées et compactes, attestant d'une meilleure précision. Cependant, leurs biais systématiques diffèrent : XGBoost montre une légère tendance à sous-estimer (médiane > 0), tandis que Random Forest a tendance à surestimer (médiane < 0). Cette analyse souligne que l'optimisation de ces modèles repose sur un compromis biais-variance, et que le choix du meilleur algorithme dépend en réalité de l'objectif applicatif spécifique. Une étude similaire, menée par [15], corrobore cette affirmation. Les auteurs ont évalué et comparé quatre algorithmes Random Forest, XGBoost, SVM et KNN dans le but de prédire une variable cible à partir de caractéristiques physico-chimiques du sol. Le SVM a obtenu la meilleure précision globale, devant le Random Forest. L'analyse révèle un MAPE extrêmement élevé (entre 175 % et 500 %), un résultat significatif qui appelle à une interprétation nuancée. Cette inflation pourrait s'expliquer par une hétérogénéité fondamentale des comportements pastoraux, où pour une taille de troupeau identique, les distances observées varient considérablement sous l'effet d'autres facteurs. [16] ont suggéré que des indicateurs comme l'erreur absolue moyenne (MAE) ou la racine de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) sont des mesures de performance plus robustes et stables pour comparer les modèles. Sur le plan méthodologique, les résultats plaident en faveur de méthodes non paramétriques et non linéaires, telles que le Random Forest, pour modéliser des phénomènes socioécologiques aussi complexes que la mobilité pastorale. La régression linéaire, bien que facilement interprétable, s'avère ici insuffisante pour saisir les interactions et les relations non monotones, comme le démontrent fréquemment les études en écologie des systèmes complexes [17]. L'approche systémique est essentielle pour modéliser les décisions d'accès aux ressources [18]. Adoption d'approches de modélisation plus sophistiquées capables de tenir compte de la structure spatiale intrinsèque des données ou de la hiérarchie des décisions pastorales. La segmentation de l'analyse par type d'éleveur ou par zone agroécologique permettrait de réduire l'hétérogénéité intragroupe et de faire émerger des relations causales plus stables et spécifiques au contexte. [19].

4-2. Caractérisation des contraintes liées aux ressources naturelles

Le constat central des contraintes lié à l'abreuvement a été le tarissement des points d'eau. L'hypothèse du tarissement dépasse la seule observation des aléas climatiques et s'étend à des contraintes plus systémiques et chroniques pesant sur les infrastructures hydrauliques pastorales. Parmi celles-ci on peut nommer la forte charge animale de la commune de Bama étant une zone d'accueil et de transit pour les transhumants et disposant d'importants résidus de récolte, ce qui accroît sensiblement le nombre d'animaux pendant les

saisons sèches froide et chaude, la pression démographique ainsi que les pratiques agricoles. Plusieurs travaux ont été menés dans ce sens. Nos études corroborent ceux de [14] qui attestent non seulement le tarissement des points d'eau mais pointent du doigt les facteurs à la fois naturel et humain. Au Tchad, autour du Lac-FITRI, plusieurs types conflits ont été signalés notamment entre éleveurs - pêcheurs, éleveurs - éleveurs, éleveurs - agriculteurs [20]. Malgré que les satellites montrent la présence d'eau (MNDWI). Mais sur le terrain, cette eau reste souvent inaccessible, ou difficilement exploitables à cause des conflits et/ou des pistes obstrués. Nos études vont le même sens que celle de [21] qui a attesté que la mobilisation des ressources en eau de surface a été au centre des programmes de développement rural du pays. Cette divergence a été théorisée par des auteurs comme [22], confirme que dans le contexte pastoral étudié, la compétition pour la ressource est le moteur principal de la crise, le stress climatique n'en étant qu'un amplificateur. Ces résultats corroborent ceux de [23] au Sahel. Les travaux de ces auteurs ont montré que les déficits hydriques ont été la cause première des transhumances. Ces interprétations corroborent les modèles de vulnérabilité définis par [24], qui intègrent les dimensions d'accès et de mobilité. La récurrence de la combinaison Tarissement + Conflit + Obstruction des pistes illustre l'imbrication systémique des contraintes biophysiques, sociales et techniques qui caractérise les systèmes pastoraux vulnérables. [18] a décrit cette dynamique où la dégradation engendre des tensions sociales avec souvent des capacités d'adaptation des éleveurs. Cependant, le développement de points d'eau en milieu pastoral peut nuire au développement s'il ignore les réalités locales. Une solution technique ponctuelle peut aggraver, à long terme, la fragilité socio-environnementale qu'elle cherche à résoudre à court terme [25].

5. Conclusion

Cette étude a adopté une approche méthodologique intégrée pour analyser la problématique de l'abreuvement du bétail dans la commune de Bobo-Dioulasso. En croisant des données d'enquête, des modèles prédictifs avancés et des techniques de télédétection. En synthèse, cette recherche souligne que l'accès à l'eau pour le bétail ne relève pas d'un simple problème hydraulique, mais constitue un défi systémique de gouvernance socioécologique. Les modèles développés ici pourraient, à l'avenir, être enrichis par l'intégration de variables supplémentaires et étendus à d'autres zones agroécologiques. Une telle approche holistique et outillée est indispensable pour soutenir la transition vers des systèmes pastoraux durables, résilients aux changements climatiques et source de stabilité socio-économique pour les communautés rurales.

Références

- [1] - E. BERNUS, « Possibilités et limites de la politique d'hydraulique pastorale dans le sahel nigérien », *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum*, Vol. 11, N°2 (1974) 119 - 26 p.
- [2] - E. BERNUS, « Hydraulique pastorale et gestion des parcours », *L'Aridité : une contrainte au développement. Caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés*, Paris, *ORSTOM*, (1992) 555 - 563 p.
- [3] - P. MERLIN, « L'hydraulique pastoral en AOF », *Bulletin des Services de l'Élevage et des Industries*, Bamako/Mali, Rapport présenté à la Conférence des Chefs de Service de l'Élevage de l'AOF, (janv. 1951)
- [4] - B. THEBAUD, « Politiques d'hydraulique pastorale et gestion de l'espace au Sahel », *Cah. Sci. Hum*, Vol. 26, N° 1-2 (1990) 13 - 31 p.
- [5] - B. BONNET, A. MARTY et M. J. DEMANTE, « Hydraulique et sécurisation des systèmes pastoraux au Sahel appui à la gestion locale ». IRAM Paris, (2005). [En ligne]. Disponible sur : <https://www.iram-fr.org/ouverturepdf.php?file=154.pdf>
- [6] - MEA, « Rapport bilan sur le programme de valorisation des ressources en eau de l'Ouest », VREO, Bobo Dioulasso (Burkina Faso), (2009)
- [7] - MRAH, « Enquête de Profilage des Personnes Déplacées Internes (PDI) sur la base de leurs moyens d'existence dans la branche d'activité de l'élevage au Burkina Faso », (2021)
- [8] - S. OUOBA-IMA, « Caractéristiques socio-démographiques et dynamique de la transhumance des bouviers peuls de la Nouhao au Burkina Faso », *VertigO : la revue électronique en sciences de l'environnement*, Vol. 18, N°2 (2018) DOI : 10.4000/vertigo.20698
- [9] - H. KAGONE, « Profil fourrager », (2001) 28 p.
- [10] - H. P. YARGA, S. OUEDRAOGO, L. OUEDRAOGO et A. KIEMA, « problématique de l'hydraulique pastorale dans un contexte de variabilité climatique au Burkina Faso », Consulté le : 21 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur : <https://revues.acaref.net/wp-content/uploads/sites/3/2023/12/4-Hahadouboug-Paul-YARGA.pdf>
- [11] - MEFP/INSD, « Monographie de la région des HAUTS BASSINS », (Décembre 2022)
- [12] - H. XU, « A Study on Information Extraction of Water Body with the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) », *Journal of Remote Sensing*, (2005) 589 - 595 p.
- [13] - S. SZABO, Z. GÁCSI et B. BALÁZS, « Specific features of NDVI, NDWI and MNDWI as reflected in land cover categories », (2016) Consulté le: 1 Decembre 2025. [En ligne]. Disponible sur : <https://dea.lib.unideb.hu/bitstreams/a93e541d-8e1f-4756-a604-0ca556776d42/download>
- [14] - G. DJOHY, PIERRE OZER et YVON HOUNTONDJI, « Enjeux et défis de l'installation et de la gestion des barrages agro-pastoraux dans la commune de Tchaourou au centre du Bénin (Afrique de l'Ouest) », *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, Vol. 84, (juin 2025) 1 - 21 p.
- [15] - M. NDIAYE, R. BOISSY, M. FAYE et N. S. R. KOUAO, « Évaluation comparative des algorithmes d'apprentissage automatique pour la classification des types de sols à partir de caractéristiques physico-chimiques : application de Random Forest, XGBoost, SVM et KNN », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, (avr. 2025), DOI : 10.4000/13raq.
- [16] - S. KIM et H. KIM, « A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts », *International Journal of Forecasting*, Vol. 32, (Juillet. 2016) 669 - 679 p., Doi: 10.1016/j.ijforecast.2015.12.003
- [17] - D. R. CUTLER et al., « Random forests for classification in ecology », *Ecology*, Vol. 88, N° 11 (2007) 2783 - 2792 p., Doi: <https://doi.org/10.1890/07-0539.1>
- [18] - M. D. TURNER et E. SCHLECHT, « Livestock mobility in sub-Saharan Africa: A critical review »,

- Pastoralism*, Vol. 9, N°1 (Août 2019) 1 - 15 p., DOI: 10.1186/s13570-019-0150-z
- [19] - L. W. ROBINSON et al., « The importance of context in achieving sustainable pastoralism : Insights from Ethiopia, Kenya and Uganda », *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Vol. 6, (2022) 1 - 14 p.
 - [20] - D. K. DJIBRINE et M. D. DJEKO, « Variabilité climatique et gestion des conflits autour du lac-Fitri en zone sahélienne du Tchad », (2025) 96 - 107 p.
 - [21] - F. SANOGO, F. KABORE, O. BAGAYA, Y. BADOLO et A. KEKELE, « Gouvernance participative des ressources en eau des ouvrages hydrauliques : cas écoles de l'allocation de l'eau dans trois sous bassins versants au Burkina Faso », *Sciences Naturelles et Appliquées*, Vol. 42, N° 1 (juin 2023) 191 - 209 p.
 - [22] - N. A. MARSHALL, C. J. STOKES, N. P. WEBB, P. A. MARSHALL et A. J. LANKESTER, « Social vulnerability to climate change in primary producers: A typology approach », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 186, (2014) 86 - 93 p.
 - [23] - A. KIEMA, G. B. TONTIBOMMA et N. ZAMPALIGRE, « Transhumance et gestion des ressources naturelles au Sahel : contraintes et perspectives face aux mutations des systèmes de productions pastorales », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Vol. 14, N° 3 (2015), DOI : 10.4000/vertigo.15404
 - [24] - E. FILLLOL, F. HAM et A. ORENSTEIN, « Système d'information et de modélisation de la vulnérabilité pastorale pour la gestion et la prévention des crises au Sahel », *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, Vol. 73, N° 3 (2020) 169 - 177 p., DOI : <https://doi.org/10.19182/remvt.31903>
 - [25] - M. NASSEF et M. BELAYHUN, « Water Development in Ethiopia's Pastoral Areas: A Synthesis of Existing Knowledge and Experience », Save the Children, Londres (Royaume-Uni), 2012. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.celep.info/wp-content/uploads/2016/11/Water-Development-in-Pastoral-Areas-of-Ethiopia2012-2.pdf>