

Variabilités climatiques et occupation des sols dans le bassin versant du barrage de Yakouta (Sahel Burkinabè)

[Climate variability and land use in the catchment area of the Yakouta dam (Burkinabe Sahel)]

Blaise Ouédraogo¹, Kaboré Oumar¹, Dama-balima Mariam Myriam¹, and Gansaonre Raogo Noel²

¹Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Ouagadougou, Burkina Faso

² Centre Universitaire de Gaoua, Université Nazi Boni, Bobo Dioulasso, Burkina Faso

Copyright © 2020 ISSR Journals. 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.

ABSTRACT: Changes in land use are an indicator of human action on the environment. Several factors influence agropastoralists in the Yakouta watershed in land use and occupation. Climatic extremes are real catalysts for the degradation of the biophysical environment, which is reflected, among other things, in the reduction of plant resources and the drying up of arable land. The needs of rural societies materialize through the use of space and resources, according to techniques and spatial logic that depend on a more or less complex social organization. The pressures exerted on space determine the adaptation responses developed by populations in order to maintain or improve the productivity of the environment. The objective of this study is to establish the link between climate change and land-use strategies in the Yakouta watershed. The methodology consisted in linking remote sensing through the processing of multi-date satellite images (2002, 2010 and 2018) and the analysis of climate data from 1961 to 2018. The results obtained show that more than 35 per cent of the space under consideration has undergone a change of occupation. In terms of climate, the IPS index has made it possible to highlight not only the dry and wet periods recorded since 1961, but also to establish a link between changes in vegetation cover and drought. In the light of these results, the investigations also looked at the adaptation strategies deployed by local populations.

KEYWORDS: Climate variability, land use, watershed, Yakouta, Burkina Faso.

RESUME: Les changements d'occupation du sol constituent un indicateur de l'action de l'homme sur le milieu. Plusieurs facteurs influencent les agropasteurs du bassin versant de Yakouta dans l'utilisation et dans l'occupation des terres. Les extrêmes climatiques sont de véritables catalyseurs de la dégradation du milieu biophysique qui se traduit entre autres par la diminution des ressources végétales et l'assèchement des terres cultivables. Les besoins des sociétés rurales se matérialisent par une utilisation de l'espace et des ressources, selon des techniques et une logique spatiale dépendant d'une organisation sociale plus ou moins complexe. Les pressions exercées sur l'espace déterminent les réponses d'adaptation développées par les populations en vue de maintenir ou d'améliorer la productivité du milieu. L'objectif de cette étude est d'établir le lien entre le changement climatique et les stratégies d'occupation des terres dans le bassin versant de Yakouta. La méthodologie a consisté à lier la télédétection à travers le traitement des images satellites multi dates (2002, 2010 et 2018) et à l'analyse des données climatiques de 1961 à 2018. Les résultats obtenus montrent que plus de 35 % de l'espace considéré a connu un changement d'occupation. Sur le plan du climat l'indice IPS a permis de mettre en évidence non seulement les périodes sèches et les périodes humides enregistrés depuis 1961, mais aussi de faire le lien entre l'évolution du couvert végétal et la sécheresse. Au regard de ces résultats les investigations se sont penchées également sur les stratégies d'adaptation déployées par les populations locales.

MOTS-CLEFS: Variabilité climatique, occupation des sols, bassin versant, Yakouta, Burkina Faso.

1 INTRODUCTION

Les changements climatiques sont au centre des préoccupations aussi bien des acteurs scientifiques que des décideurs politiques au niveau mondial [1], [2]. Ils constituent de nos jours une menace sans précédent pour la sécurité alimentaire et les moyens d'existence de plusieurs millions de personnes dans le monde [3]. Au Sahel en particulier, la menace du changement climatique est plus préoccupante car la capacité d'adaptation des populations est très faible. Elles sont majoritairement pauvres et leurs moyens d'existence sont tributaires de ressources naturelles en constante dégradation [4]. L'agriculture et l'élevage sont les secteurs les plus affectés par les effets de la variabilité et du changement climatiques. Dans les pays en développement où l'agriculture est pluviale marquée par des alternatives d'irrigation très limitées les impacts sont ressentis sur la sécurité alimentaire, l'accès à l'eau et la dégradation des écosystèmes. La maîtrise des ressources en eau par la construction de barrages constitue une forme d'adaptation qui émerge aujourd'hui comme une dimension incontournable à la réponse au changement et à la variabilité climatiques. Ainsi pour faire face aux effets néfastes du changement climatique, le barrage de Yakouta construit en 2005 avait pour principal objectif l'alimentation de la ville de Dori en eau potable et le développement des activités agropastorales. La présence du barrage a créé un dynamisme agricole et pastoral dans le sous bassin versant avec des conséquences sur les ressources naturelles et sur l'occupation des terres. L'agriculture sahélienne a connu de nombreuses mutations et bouleversements, notamment la sédentarisation de pasteurs convertis à l'agriculture. Ce qui a conduit à une extension des terres de culture au détriment de terres marginales, de zones à vocation forestière et pastorale [5], [6]. Au regard du caractère dominant de l'agropastoralisme, la question de la gestion des ressources naturelles est devenue une question importante pour l'amélioration de la production et de la préservation des écosystèmes. Les conséquences de la variabilité climatique sont perceptibles et dictent l'orientation des activités des populations rurales à la recherche de bonnes terres agricoles et de pâturages pour le bétail. Les changements d'affectation du sol ont des conséquences importantes sur l'exploitation des ressources naturelles, Comment comprendre les changements d'occupation des terres dans le contexte de la variabilité du climat dans le bassin de Yakouta? L'objectif de cet article est d'évaluer l'impact de la variabilité climatique sur les changements d'utilisation et d'occupation des terres dans le bassin versant de Yakouta. En d'autres termes, cet article ambitionne de faire le point sur les rapports entre changement climatique et occupation des sols dans la zone d'étude.

2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

2.1 LA LOCALISATION DU SECTEUR DE L'ÉTUDE

Situé dans le Sahel à 300 km de Ouagadougou, l'exutoire de la rivière Goudébo est le site du barrage de Yakouta. La rivière vient traverser le village de Yakouta par une dune d'allongement Est-Ouest. Ce site présente un encaissement d'une vingtaine de mètres, exceptionnel pour cette région, qui a permis la création d'une retenue de plus de 26 millions de m³. C'est dire l'importance de l'ouvrage dans son contexte climatique et socio-économique. La digue du barrage est à 10 km environ de la ville de Dori, chef-lieu de la région du Sahel. Le bassin versant est compris entre 13°49'18,12" et 14°12'45,36" de latitude Nord et entre 0°36'30,96" et 0°4'55,2" de longitude Ouest (Fig. 1) et couvre une superficie d'environ 1800 km². Le lac du barrage s'étend sur 21 km et draine 11 villages riverains que sont: Yakouta, Katchari, Dani Djigo, Oulo, Bombofa, Dangadé, Péoukoye, Yirga, Hoggo Samboel et Nobiol. Ces villages profitent de la disponibilité de l'eau pour développer des activités de subsistance en culture pluviale et du maraîchage de contre saison. Il y a également l'installation d'autres activités de grande envergure notamment la ferme semencière de 44 ha à Oulo.

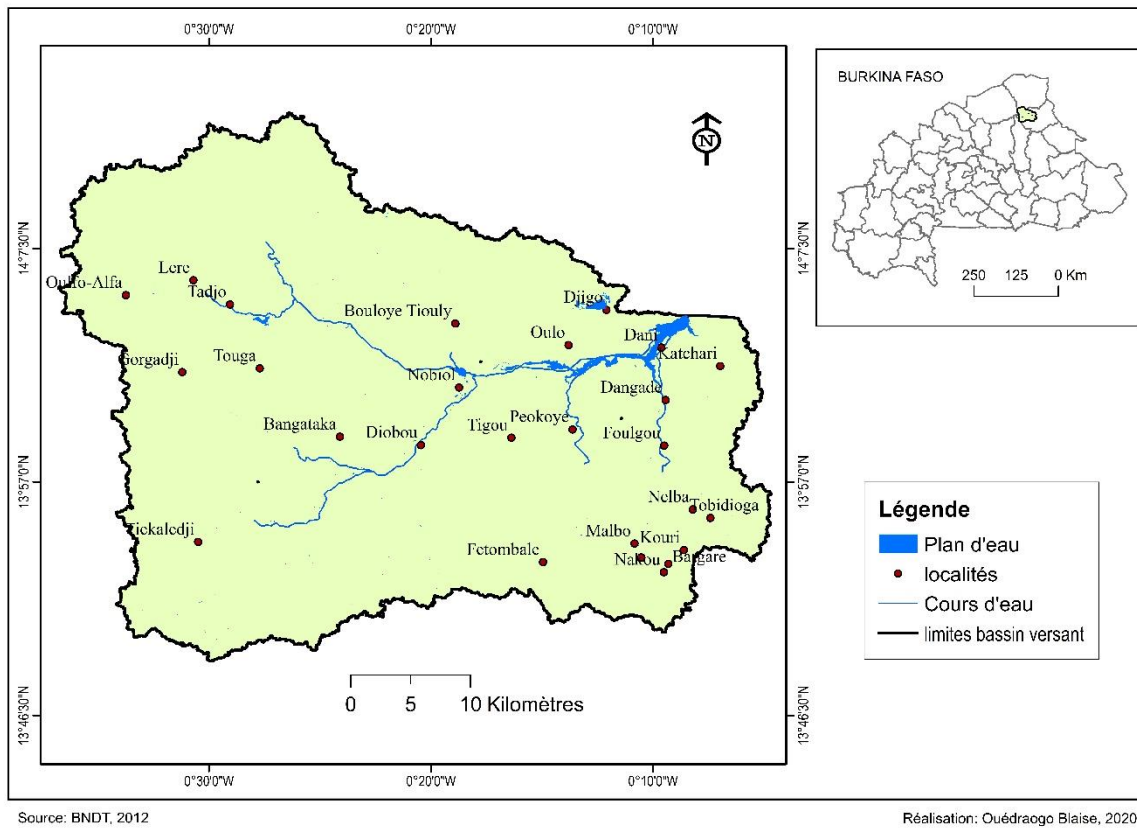


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

2.2 LES CARACTERISTIQUES BIOPHYSIQUES DU MILIEU

2.2.1 LE RELIEF

Le Paysage D'ensemble Du Sahel Burkinabè Présente L'allure D'une Pénéplaine Faiblement Ondulée Où Se Distinguent Principalement Quatre Compartiments Constitués De Cordons Dunaires, De Glacis, De Mares Et Cours D'eau Et De Quelques Buttes Rocheuses Ou Lambeaux De Cuirasses Résiduelles [7]. Le Bassin Versant Du Barrage De Yakouta Présente Dans L'ensemble Un Paysage Plat. Il Appartient Au Modelé Dunaire Composé De Cordons Dunaires D'origine Éolienne (Ergs Anciens). On Y Rencontre Des Talwegs Et Des Dépressions Qui Forment Un Système Rassemblant Des Zones De Concentration Des Écoulements D'eau De Surface Et Donnant Lieu À La Formation De Bas-Fonds. Le Barrage Est Implanté Sur Un Relief Au Modelé Dunaire Qui Comporte Des Formes De Détails Et Des Constructions Liées À L'activité Du Vent: Pavages Gravillonnaires, Barkhanes, Cratères De Déflation, Dunes. La Dénivelée Entre Les Crêtes Dunaires Et La Dépression Inter-Dunaire Ne Dépasse Guère 4 M Au Niveau Du Versant Raide Sous Le Vent.

2.2.2 LE CLIMAT

Il Est De Type Sahélien, Avec Un Régime Pluviométrique Uni Modal S'inscrivant Entre Les Isohyètes 400 Et 500 Mm (Déterminées Sur La Période 1961-2018). La Saison Des Pluies S'étend De Mai-Juin À Septembre-Octobre.). Les Températures Sont Très Élevées Avec Une Moyenne Toujours Supérieure À 30°C. L'évaporation Est Très Importante Et Estimée À Plus De 2 M D'eau Évaporée Chaque Année [8]. De Nos Jours, Les Effets Des Changements Climatiques Sont Une Réalité Dans La Région Du Sahel, Les Précipitations Sont Irrégulières Avec Une Inégale Répartition Spatio-Temporelle Dans La Même Campagne Et D'une Campagne À L'autre. L'inégale Répartition Des Pluies Se Caractérise Par Des Poches De Sécheresses Pendant La Saison Pluvieuse Et Des Inondations. Cette Irrégularité Des Précipitations Cause De Nombreuses Difficultés Dans La Pratique Des Activités Agro-Sylvo-Pastorales.

2.2.3 LES SOLS

Ils Sont Dans L'ensemble Dégradés Et Sont Sous L'influence De Conditions Climatiques Peu Favorables. Ces Dernières Années, Sous L'effet De L'érosion Éolienne Et Hydrique, La Dégradation Des Sols S'est Accélérée, Rendant La Gestion Des Ressources En Eau Encore Plus Difficile, Dans Un Environnement Où Elles Constituent Un Élément Précieux.

2.2.4 LA VÉGÉTATION

Le Type De Végétation Est Caractéristique Des Formations Sahéliennes, Les Formations Végétales Vont De La Steppe Arbustive À La Steppe Herbeuse. Elles Sont Remplacées Aux Abords Des Cours D'eau, Par La Forêt Galerie À Hallea Inermis. Ces Formations Végétales Sont Très Dégradées À Cause Des Actions Anthropiques Notamment Le Surpâturage [9]. De Ce Fait, Une Grande Partie Des Eaux De Pluie S'écoule En Surface, Faute De Végétation Pour La Retenir.

2.3 LES CARACTERISTIQUES SOCIO-ECONOMIQUES

La population du bassin versant est évaluée à 43151 habitants [10] avec une densité de 23 habitants au km². La population est composée d'une mosaïque de peuplements que sont les Fulbé, les Rimaïbé, les Bella, les Sonraï, les Gourmantché, les Mossé, les Fulsé et les Bissa. Les principales activités économiques pratiquées dans le bassin versant sont l'agriculture, l'élevage et l'orpaillage qui est devenu depuis quelques années l'une des occupations de la jeunesse. D'autres activités tiennent une place secondaire comme les cultures maraîchères, l'artisanat et la pêche.

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 LES DONNEES UTILISEES

3.1.1 LES DONNÉES SOCIO-ÉCONOMIQUES

La recherche documentaire a permis de faire une synthèse des informations sur les types et systèmes de production dans le bassin versant. Les données issues d'études récentes des services déconcentrés de l'Etat et des ONG agissant dans la province du Séno ont été utilisées dans les analyses socioéconomiques. Il s'agit des données de population issues du recensement 2006, des données de la production agricole de la Direction régionale de l'Agriculture du Séno et des données sur les effectifs du cheptel de la Direction régionale des ressources animales du Séno.

3.1.2 LES DONNÉES CLIMATIQUES

L'analyse de l'évolution du climat a été faite avec les données de pluviométrie et de température de la période 1961 à 2018.

3.1.3 LES DONNÉES PLANIMÉTRIQUES

Les informations provenant de l'imagerie de télédétection offrent de grandes capacités pour surveiller la couverture des terres et le changement spatial et temporel à différentes échelles. L'imagerie satellitaire LANDSAT a été choisie pour la cartographie de l'occupation du sol, elle offre un niveau de détail suffisant pour repérer les caractéristiques de la couverture terrestre. La résolution spatiale des images utilisées est de 30 m. Les images Landsat TM et Oli_TIRS des années 2000, 2010 et 2018 ont permis d'analyser en détail certaines caractéristiques biophysiques comme la couverture végétale et la texture de l'activité humaine dans la zone. L'envergure du bassin versant a été déterminée à partir de l'image SRTM de 30 m. La base nationale de données topographique de l'Institut Géographique du Burkina de 2012, a été utilisée pour les données ancillaires et routières.

3.2 METHODES DE TRAITEMENT ET D'ANALYSE DES DONNEES

3.2.1 LE TRAITEMENT DES DONNEES CLIMATIQUES:

Les données climatiques sont essentiellement composées de données de pluviométrie (P), de température (T). L'évaluation de l'impact climatique (SPI) a été calculée et l'évolution des tendances climatiques a été constatée par la construction de graphiques.

3.2.2 LE TRAITEMENT DES IMAGES

L'approche méthodologique utilisée pour élaborer les cartes d'occupation des terres et celle de changements (entre 2000, 2010 et 2018) s'articule sur les points suivants:

LE CHOIX DES IMAGES

Le choix des images pour une étude diachronique est fondamental et est dicté d'une part par la disponibilité des images satellitaires et d'autre part, par la période optimum d'enregistrement par les capteurs. Dans ce cas précis la période choisie est celles où le contraste entre les formations végétales permet une assez bonne typologie des unités (sécheresse). La date de la mise en eau du barrage justifie aussi le choix des images.

Le choix des images se porte sur les périodes retenues sur la chronique 2002, 2010 et 2018 (tableau 1)

Tableau 1. *Caractéristiques des données satellitaires*

Types de données	Capteurs/WRS	Date
Landsat TM	TM 194050	14 octobre 2002
Landsat ETM	ETM+ 194050	05 novembre 2010
Landsat 8 (Operational Land Imager)	OLI TIRS 194050	11 novembre 2018

LE PRÉTRAITEMENT

Après le téléchargement des images satellitaires, nous avons procédé à l'étalement dynamique de chaque image en sélectionnant deux valeurs de seuil (entre 0 et 225) et aux calculs des composantes principales (les images étant corrigées géométriquement).

La délimitation des zones d'étude s'est faite par la représentation des limites du bassin versant sur l'image et le masquage des zones situées à l'extérieur du contour de la limite du bassin versant. C'est sur cette dernière image que la classification dirigée a été faite.

LA CLASSIFICATION DES IMAGES

Pour la classification des images nous avons utilisé la démarche supervisée qui consiste à extrapoler à un ensemble plus grand, des résultats obtenus sur de petites étendues. Cela suppose l'intervention de connaissances externes à l'image et l'identification des sites d'expérimentation et de validation. Une interprétation visuelle de la composition colorée a permis la définition de la typologie des unités d'occupation des terres. La méthode de classification dirigée "par maximum de vraisemblance" a été appliquée et a permis de retenir 7 classes d'occupation. À partir d'une image satellitaire, la densité du couvert végétal est le critère de différenciation des unités d'occupation. La distinction des formations végétales s'appuie sur la classification de Yagambi [11] ainsi les classes d'occupation suivantes ont été retenues: le Plan d'eau, la formation ripicole, la steppe arborée, la steppe arbustive, la steppe herbeuse, les champs et les sols érodés. Les classes thématiques retenues ont été vectorisées et exportées sur arcgis pour les analyses spatiales.

3.2.3 ANALYSE DES CHANGEMENTS

La dynamique de l'occupation du sol entre 2002, 2010 et 2018 a été appréciée par analyse multi dates. L'analyse des changements qui ont affecté les classes d'occupation des terres du secteur d'étude a été faite dans un premier temps, à travers la cartographie des états de l'occupation des terres suivant les trois dates (2002; 2010; 2018) et à comparer les superficies des classes définies pour ces trois années. L'outil de l'analyse spatiale "Spatial Analyst/Zonal/Tabulate Area" du logiciel arcgis a permis ensuite de déduire un tableau croisé et de générer la matrice de transition qui est ensuite formatée sous Excel et qui indique pour chaque classe, la superficie pour l'année la plus ancienne qui est restée dans la même classe ou qui est passée dans une autre classe.

Ainsi, trois cas de changement ont été observés:

- Les classes sans changement ou l'état initial (où le type d'occupation du sol reste le même entre les deux années comparées),
- Les classes de modification (où la classe est passée d'un type d'occupation des terres à un autre mais en restant dans la même catégorie) et les classes de conversion (où la classe est passée d'un type d'occupation des terres à un autre en changeant de catégorie).
- Les classes de conversion (où la classe est passée d'un type d'occupation des terres à un autre en changeant de catégorie).

3.2.4 ANALYSE DE LA MORPHOMÉTRIE DE L'ESPACE

La structure générale du paysage est caractérisée par beaucoup de petits polygones dont la taille est variable. Cela dénote d'une fragmentation du couvert végétal de la zone d'étude qui est élevée [12], [13]. Ainsi, on a déterminé le nombre de taches ou d'îlots en une période donnée, la densité de taches, les gains ou les pertes des unités d'occupation sur les périodes de l'étude.

4 LES RESULTATS

4.1 CARACTERISTIQUES ET ELEMENTS DU CLIMAT

La zone sahélienne: dont la pluviométrie est inférieure à 500 mm est caractérisée par une courte saison des pluies de 3 à 4 mois; une grande variabilité dans la répartition des pluies, une forte évapotranspiration et des amplitudes thermiques diurnes élevées.

4.1.1 EVOLUTION DES PRÉCIPITATIONS

Les précipitations constituent un des éléments fondamentaux du climat dont la variabilité temporelle permet d'apprécier les notions d'aridité et de sécheresse. Et l'une des caractéristiques essentielles des précipitations des climats arides et semi-arides est leur grande variabilité spatio- temporelle. Le régime climatique de la zone d'étude se caractérise par une forte irrégularité liée aux fluctuations de la circulation atmosphérique. Le total pluviométrique moyen annuel de la station de Dori est de 484 mm entre 1961 et 2018.

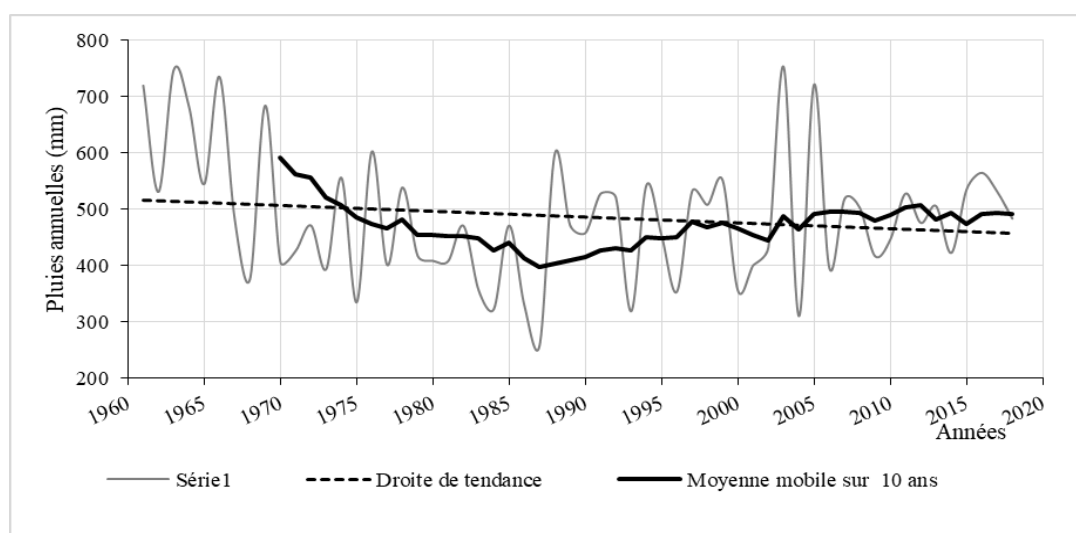


Fig. 2. Irrégularité interannuelle des précipitations de 1961 à 2018, à la station synoptique de Dori

Source des données: Agence Nationale de la Météorologie, 2019

L'Indice Standardisé des Précipitations, ou en anglais Standardized Precipitation Index (SPI) créé par mckee et al. (1993) répond à la formule suivante: $SPI = (X_i - X_m) / S_i$

Où, X_i est le cumul des pluies pour une année i ;

X_m et S_i , sont respectivement la moyenne et l'écart type des pluies annuelles observées pour une série de données. Cet indice définit la sévérité de la sécheresse en différentes classes. Les valeurs annuelles négatives indiquent une sècheresse par rapport à la période de référence choisie et les positives une situation humide. Des alternances de périodes humides et sèches sont par conséquent constatées sur le graphique (Figure 3)

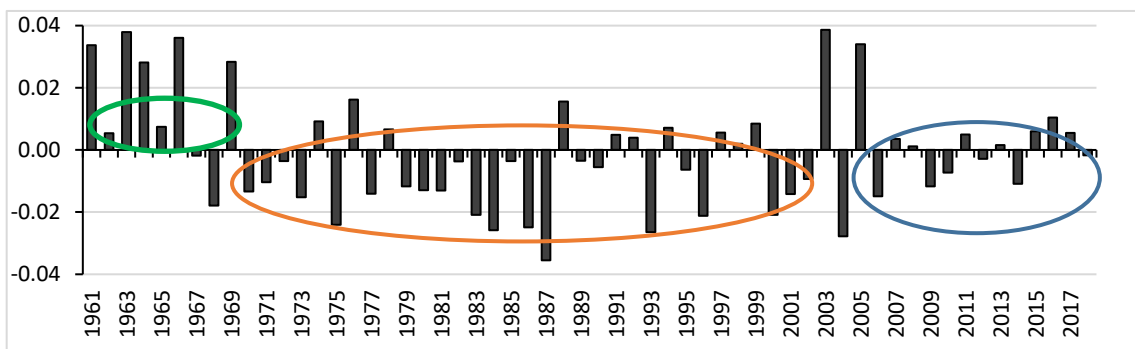


Fig. 3. Variation de l'indice SPI de 1961 à 2018

Source des données: Agence Nationale de la Météorologie

L'analyse des SPI montre trois situations (figure 3):

- • Une persistance de la période humide avant 1969
- • Une longue période sèche de 1970 à 2003; Cette période est marquée par 2 grandes sécheresses 1973-1974 et 1983-1984.
- • Et une période de timide reprise de la pluviométrie à partir de 2006, avec une alternance d'années humides et sèches.

Tableau 2. Classification de la sécheresse en fonction des valeurs de l'indice de précipitation standardisé (SPI) selon Mckee (1993)

Valeurs de SPI	< -2.0	-1,5 à -1,99	-1.0 à -1,49	-0,99 à +0,99	+1,0 à +1,49	+1,5 à +1,99	> +2
Classes ou degré de sécheresse	Extrêmement Sèche	Sévèrement sèche	Modérément sèche	Proche de la normale	Modérément humide	Très humide	Extrêmement humide

L'analyse de séries pluviométriques suffisamment longues (+de 50 ans) permet de repérer des périodes de sécheresse. Lorsqu'une période sèche s'étend sur plusieurs décennies, comme c'est le cas dans les régions sahéliennes (1970 à 2003) et qui a englobé deux (2) grandes périodes de sécheresses. Elle peut engendrer la dégradation de la couverture végétale exposant, par conséquent, les sols à une érosion hydrique et éolienne plus intense. L'étude de la variabilité climatique implique non seulement l'analyse de l'évolution des précipitations, mais également celles des autres paramètres comme les températures.

4.1.2 L'ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES

Les températures sont élevées et les moyennes journalières toujours supérieures à 30°C avec des variations diurnes importantes. L'évaporation y est très importante et le total interannuel calculé sur la période 1961 à 2017 est de 3016 mm soit plus de 3 mètres d'eau évaporée par an. Les mois de mars, avril et mai sont les mois où l'évaporation est importante et dépasse les 300 mm. La tendance générale de la température est à la hausse avec une augmentation de près de plus d'un degré entre 1961 et 2018.

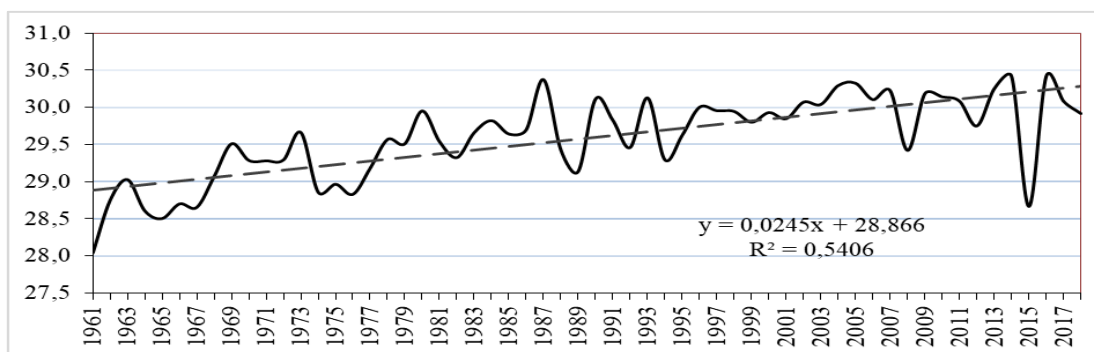


Fig. 4. Evolution des températures de la station synoptique de Dori

Source: Agence Nationale Aéronautique et de la Météorologie, 2019

4.2 L'OCCUPATION DES TERRES DANS LE BASSIN VERSANT DE YAKOUTA

Dans le bassin versant de Yakouta, la mise en place du barrage a rétréci la zone humide autrefois dédiée aux pâturages. Depuis 2005, on constate une modification notable du paysage avec une délocalisation de villages pour faire place au lac du barrage.

4.2.1 ETAT DES OCCUPATIONS DES TERRES EN 2002, 2010 ET 2018

Les cartes d'occupation des terres de 2002, 2010 et 2018 (figure 5) sont issues de la vectorisation des images classifiées. Celles-ci illustrent spatialement et quantitativement les unités d'occupation pour lesdites périodes dans le bassin versant de Yakouta.

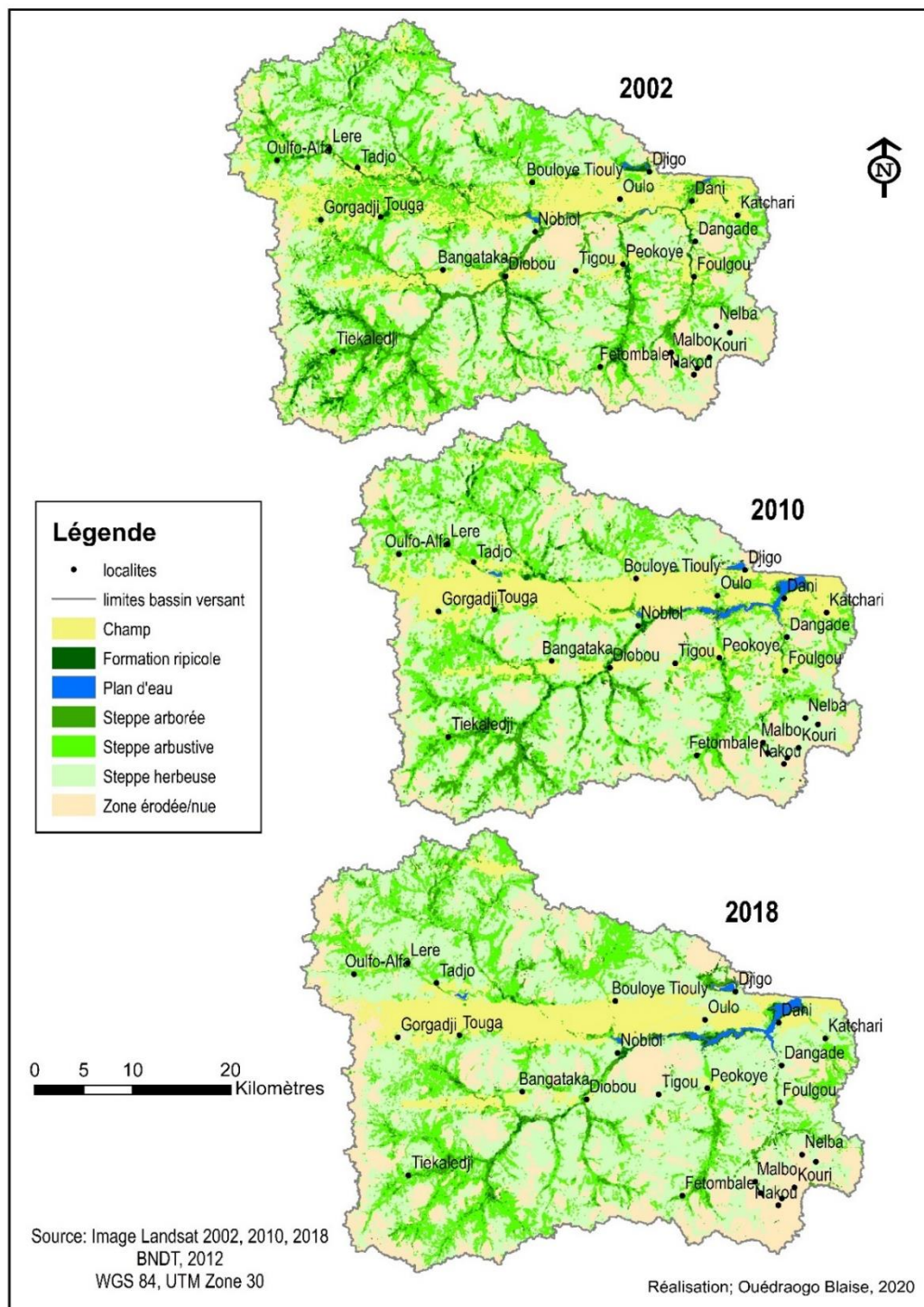


Fig. 5. Occupation des terres en 2002, 2010 et 2018

4.2.2 EVOLUTION DES UNITÉS D'OCCUPATION

En 2002, c'est à dire avant l'installation du barrage, l'occupation des terres était marquée par la présence d'une plaine de steppe herbeuse et humide qui accueillait le bétail toute l'année. Les formations ripicoles occupaient une superficie de 2500 ha en 2002 et de 1509 ha en 2010 et de seulement 803 ha en 2018. Les steppes arborées et arbustives représentaient respectivement 10743 ha et 41559,78 ha en 2002 et sont passées à 5933 ha pour la steppe arborée et à 31336 ha pour la steppe arbustive en 2018 (figure 6).

L'occupation par les activités agricoles (champs) ont connu une évolution de 6000 ha entre 2002 et 2010; en 2018 cette occupation a perdu environ 8000 ha par rapport à 2010. En plus des conditions climatiques défavorables, la question de l'insécurité liée au terrorisme a freiné énormément les activités agropastorales dans le bassin versant de Yakouta.

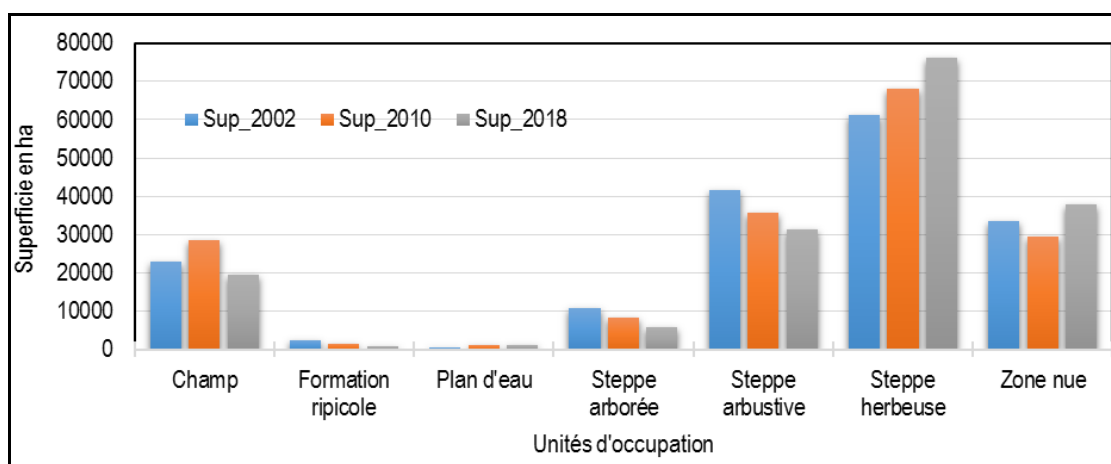


Fig. 6. Evolution des superficies d'occupation

De l'examen de la figure 6, il ressort que les régressions ont concerné les formations ripicoles, les champs, les steppes arborées et arbustives. Par contre, le plan d'eau, les steppes herbeuses et les zones nues ont connu une évolution à la hausse de leurs superficies.

Tableau 3. Caractéristiques de l'occupation des terres en 2002, 2010, 2018

Unités d'occupation	Superficie 2018	Périmètre 2018	Nombre d'ilots_2018	Superficie 2010	Périmètre 2010	Nombre d'ilots 2010	Superficie 2002	Périmètre 2002	Nombre d'ilots 2002
Champs	19424,96	1256,32	1782	28590,40	1738,84	1333	22839,96	2171,57	1417
Formation ripicole	803,49	258,94	498	1509,00	325,58	445	2500,11	611,34	792
Plan d'eau	1279,52	177,03	490	1195,38	75,54	9	382,11	85,26	110
Steppe arborée	5933,04	1480,16	2096	8286,07	1426,19	4090	10743,94	2213,03	2027
Steppe arbustive	31336,20	5832,31	6807	35621,13	4991,47	1260	41559,78	6926,99	4592
Steppe herbeuse	76297,05	7302,41	7457	68073,04	6164,03	2831	61346,60	6544,40	4376
Zone nue	37779,74	3843,13	5287	29578,98	2586,93	1369	33481,51	3167,59	1822
Total général	172854,00	20150,30	24417	172854,00	17308,57	11337	172854,00	21720,17	15136

L'appréciation du processus de modification de l'espace fait intervenir le nombre, les périmètres et les superficies des ilots dans un territoire. La taille et le nombre des ilots permettent d'évaluer le degré d'effritement de l'espace dont dépend le maintien des animaux dans le terroir. L'arrangement spatial des taches détermine les possibilités de mobilité des troupeaux à la recherche de pâturages et de points d'eau.

4.2.3 L'EXPANSION DES UNITÉS D'OCCUPATION (FIGURE 7)

Le taux d'expansion spatiale moyen annuel T , est évalué à partir de la formule suivante:

$$T = (1/t_2 - t_1) \times \ln(S_2 / S_1)$$

Le taux moyen annuel d'expansion exprime la proportion de chaque unité d'occupation qui change annuellement.

S1 et S2: superficie de l'unité d'occupation respectivement à la date t_1 et t_2

T_2-t_1 = nombre d'année d'évolution

Ln : logarithme népérien avec e comme base d'une valeur de 2,71828

Cette expansion se caractérise par une augmentation du plan d'eau d'environ 20 %, de la steppe herbeuse (3,71%) et des sols nus (2%). Les régressions concernent les formations ripicoles (19,29%), les steppes arborées et arbustives (15%) et les champs (2%)

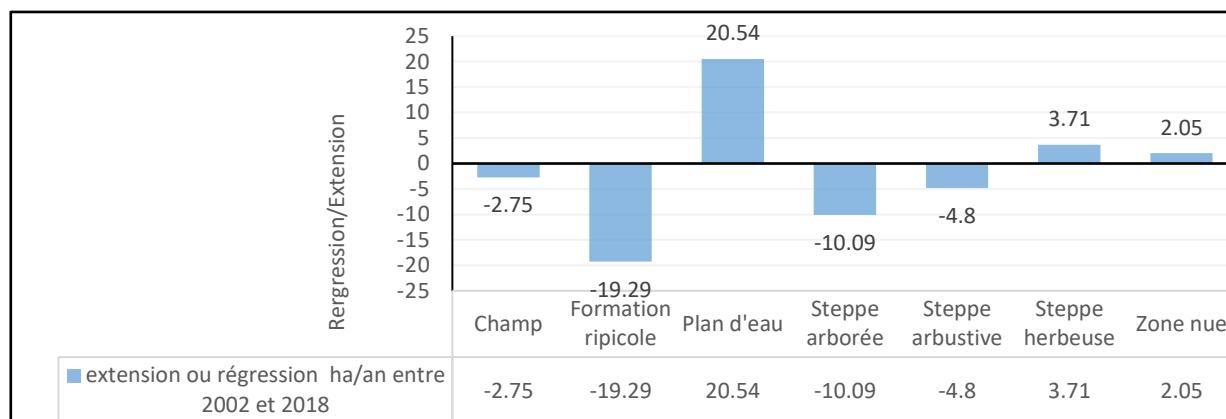


Fig. 7. Expansion spatiale des unités d'occupation 2002 et 2018

4.2.4 LA MODIFICATION DE L'ESPACE

La distribution spatiale des îlots d'occupation permet d'appréhender la dynamique de fragmentation de l'espace entre 2002 et 2018. Les îlots sont les unités qui composent un type d'occupation.

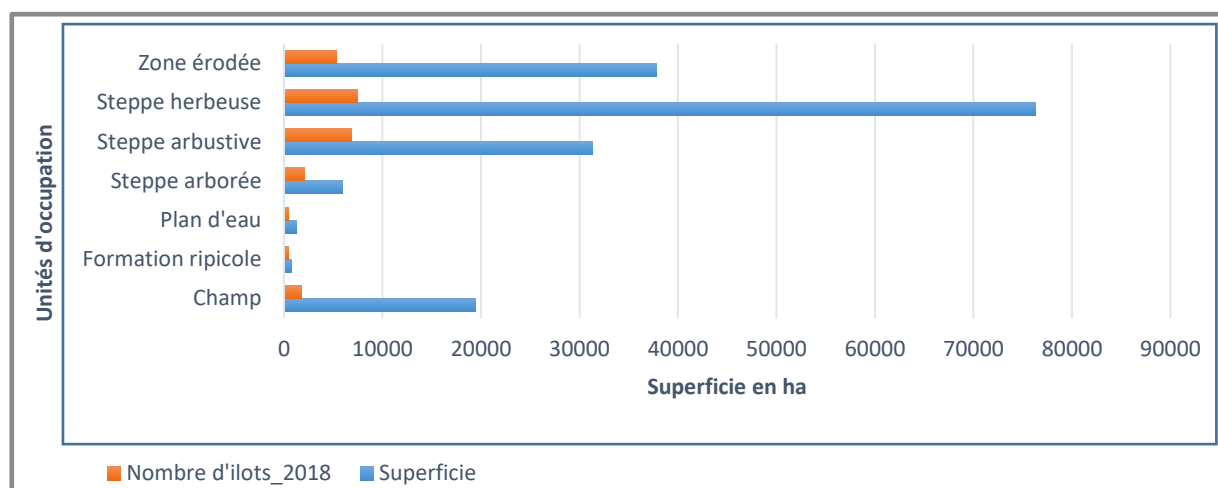


Fig. 8. Proportion de fragmentation de chaque unité d'occupation

La figure 8 montre que la steppe herbeuse a connu une plus forte fragmentation suivie de la steppe arbustive respectivement de 4,31% et 138,43% entre 2002 et 2018. L'apparition de nouvelles taches d'érosion pourrait donc s'expliquer par une exploitation minière du milieu et surtout des conditions climatiques dégradantes.

4.3 DETECTION DES CHANGEMENTS: LE TABLEAU CROISE DE L'OCCUPATION DES SOLS DE 2002 ET 2018

La matrice de transition de 2002 et 2018 a permis de mettre en évidence les différentes formes de conversion des unités d'occupation entre les deux périodes étudiées. Elle représente la valeur de la superficie des unités qui ont changé de classe ou non entre 2002 et 2018; et est constituée de x lignes et de y colonnes. Le nombre x de lignes de la matrice indique le nombre

d'unités d'occupation présentes en 2002 tandis que le nombre y de colonnes de la matrice indique le nombre d'unités converties en 2018. Quant à la diagonale, elle contient les superficies des unités paysagères restées inchangées. Dans cette matrice, les transformations se font des lignes vers les colonnes. L'examen de la matrice de transition (tableau 4) révèle que toutes les unités d'occupation des terres observées en 2002 sont également présentes en 2018.

Tableau 4. Matrice de transitions 2002 et 2018

Unités d'occupation		Occupation en 2018							
		Champs	Formation ripicole	Plan d'eau	Steppe arborée	Steppe arbustive	Steppe herbeuse	Zone érodée ou nue	Total général
2002	Champs	13029,88	141,38	153,92	173,62	751,28	7328,86	1261,01	22839,96
	Formation ripicole	84,80	66,89	132,75	925,97	1060,85	161,55	67,30	2500,11
	Plan d'eau	4,50	22,18	248,14	34,34	47,39	10,66	14,89	382,11
	Steppe arborée	380,10	318,98	480,40	3142,16	4925,14	1070,56	426,60	10743,94
	Steppe arbustive	4635,94	157,51	184,16	1315,95	18853,08	12592,84	3820,30	41559,78
	Steppe herbeuse	1287,48	74,72	39,76	236,53	5013,00	47634,40	7060,61	61346,51
	Zone érodée ou nue	2,26	21,94	40,39	104,48	685,46	7498,17	25128,81	33481,51
	Total général	19424,96	803,61	1279,52	5933,04	31336,20	76297,05	37779,53	172854
Changement		-3415	-1696,5	897,41	-4810,9	-10223,58	14950,54	4298,02	

Source: Matrice issue du croisement des classes d'occupation des terres de 2002 et 2018

La diagonale du tableau représente la surface en hectare de chaque classe d'occupation des terres qui est restée stable en 16 ans, soit 62,53 % de l'espace d'étude. Autrement dit, c'est moins de la moitié de l'espace d'étude qui a connu une mutation (35%). Les unités d'occupations en champs, en formation ripicole et en steppe arbustives ont connu une régression. Cependant les plans d'eau, les steppes herbeuses et les sols nus ont connu des augmentations.

La matrice de transition (tableau 5) montre des transitions qui sont parvenues entre les deux dates, période à laquelle le barrage a été mis en eau.

Tableau 5. Matrice de transitions 2002 et 2010

Unité d'occupation		2010							
		Plan d'eau	Formation ripicole	Steppe arborée	Steppe arbustive	Steppe herbeuse	Champ	Zone nue	Total
2002	Plan d'eau	236,40	26,27	36,12	22,98	31,82	3,28	68,95	425,82
	Formation ripicole	105,07	292,22	1162,30	728,90	45,97	68,95	91,93	2495,34
	Steppe arborée	466,23	899,64	4215,81	3940,01	715,77	288,93	315,20	10841,60
	Steppe arbustive	193,72	98,50	2413,26	20225,40	11288,14	5440,50	1730,32	41389,83
	Steppe herbeuse	26,27	36,12	200,28	7860,33	46472,45	4534,30	2301,62	61431,37
	Champ	164,17	75,52	187,15	2485,49	1562,87	18137,19	295,50	22907,89
	Zone nue	13,13	45,97	55,82	512,20	7971,96	22,98	24740,00	33362,06
	Total	1204,99	1474,22	8270,74	35775,32	68088,97	28496,14	29543,53	172854
Changement		779,17	-1021,12	8270,74	35775,32	68088,97	28496,14	29543,53	

Source: Matrice issue du croisement des classes d'occupation des terres de 2002 et 2010

Les changements positifs concernent les plans d'eau (avec la mise en eau du barrage qui a eu lieu en 2005), les steppes, les champs et avec une augmentation des sols nus.

Le tableau de transition (Tableau 6) révèle une évolution des unités d'occupation entre 2010 vers 2018.

Tableau 6. Matrice de transitions 2010 et 2018

Unités d'occupation		2018							Total
		Plan d'eau	Formation ripicole	Steppe arborée	Steppe arbustive	Steppe herbeuse	Champ	Zone érodée	
2010	Plan d'eau	1090,07	52,53	0	0	6,57	0	55,82	1204,99
	Formation ripicole	32,83	394	751,89	170,73	49,25	9,85	65,67	1474,22
	Steppe arborée	13,13	128,05	3253,79	4199,4	492,5	85	105,07	8276,94
	Steppe arbustive	19,7	65,67	1395,42	19614,7	12072,86	1060,52	1543,17	35772,04
	Steppe Herbeuse	0	39,4	338,18	6681,61	50281,13	167,45	10546,1	68053,87
	Champ	0	3,28	29,55	416,98	8950,4	18120,78	970,87	28491,86
	Zone érodée ou nue	124,77	111,63	183,87	262,67	4242,08	53,13	24602,1	29580,08
	Total	1280,5	794,56	5952,7	31346,09	76094,79	19496,73	37888,8	172854
	Changement	75,51	-679,66	-2324,24	-4425,95	8040,92	-8995,13	8308,72	

La période entre 2010 et 2018 est marquée par la présence du lac du barrage de Yakouta avec une perte de la végétation ripicole pour des activités de maraichage. Des unités d'occupation comme la steppe arborée, la steppe arbustive et des champs de cultures ont également connu des régressions par contre on observe une augmentation de la steppe herbeuse et des sols nus.

5 DISCUSSIONS

5.1 PERCEPTION DES EFFETS DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES VÉGÉTALES

L'expansion des superficies cultivées en vue de compenser les pertes liées aux effets négatifs du climat sur les cultures, a certainement conduit à la diminution du couvert végétal. La forte corrélation négative entre la population et la végétation et la forte corrélation positive entre la population et la végétation sont imputables à un faible progrès en matière de technologies agricoles [14]. Il en ressort un défrichement progressif des surfaces en végétation pour augmenter la superficie cultivable afin d'augmenter la production. Cette situation est très commune des régions tropicales [15], [16], [17].

5.2 PERCEPTION DES EFFETS DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES EN SOL

Plusieurs modifications des sols mises en relation avec le changement des précipitations et des températures dans un contexte de pression anthropique, sont observées au niveau de cet écosystème particulier. La baisse de la couverture végétale liée à la variabilité climatique, (baisse de la pluviométrie, hausse des températures), constitue un des éléments de dégradation des sols. Cette observation a été aussi faite par [18] dans une étude au Nord du pays. L'analyse de l'occupation des terres révèle une augmentation continue des sols nus qui sont passés de 29578 ha 37779 ha soit une augmentation annuelle de plus 1500 ha. L'extension des sols dénudés, des sols gravillonnaires et des ravines d'érosion provoquent une diminution des superficies cultivables et des aires de pâturage.

5.3 LES FACTEURS DU CHANGEMENT D'OCCUPATION DES TERRES

La prise de décision du producteur dépend de plusieurs facteurs qui peuvent intervenir à l'échelle locale, régionale ou même globale. Les facteurs d'orientation de l'occupation des terres sont généralement exogènes aux agropasteurs qui n'exercent pas de contrôle sur ces facteurs. Le climat est l'un des facteurs qui influence les changements d'utilisation des sols. Ce postulat a été défendu par [19] qui affirment que dans l'impossibilité de prévoir le comportement de la saison, les paysans dispersent à dessein les parcelles d'exploitation dans l'intention de faire coïncider la carte des cultures à celle des aptitudes des sols.

Selon [20], plusieurs études récentes ont montré les relations complexes existant entre le changement climatique et les changements d'occupation des sols. La dégradation des ressources naturelles est corrélée à la diminution de la pluviométrie et à l'augmentation de la population [21], [22]. Ses conséquences sur les productions agricoles ont en outre contribué à accroître la pression anthropique sur les ressources naturelles [23] La tendance à l'augmentation des températures n'est pas non plus sans conséquences, car elles influencent la vie des plantes [24], [25]

Les phénomènes climatiques extrêmes sont de véritables catalyseurs de la dégradation du milieu biophysique qui s'exprime par l'extension des sols dénudés, la réduction des herbacées avec une réduction de la productivité agricole [26].

Elles mettent en évidence que ces changements apparaissent tour à tour comme un des facteurs explicatifs du changement climatique et comme une conséquence de ce dernier [27].

5.4 ADAPTATION À LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE PAR DES STRATÉGIES D'OCCUPATION DE L'ESPACE

Face à la modification des conditions climatiques, les producteurs du Sahel ajustent leurs activités en fonction de l'évolution des saisons.

Plusieurs pratiques d'adaptation sont observées dans le bassin versant. Les producteurs optent souvent pour l'occupation des bas-fonds pour bénéficier plus de l'humidité en cas de déficit pluviométrique et pour les sols en hauteur en cas d'inondation. Dans une économie dominée par l'autoconsommation, les ménages ont le souci de produire toutes les denrées dont elles ont besoin. Or la qualité et la distribution des sols ne permettent pas de satisfaire cette ambition. Certains producteurs augmentent délibérément les superficies cultivées pour combler le déficit céréalier (43 % des ménages). La pratique de la culture maraîchère pourrait réduire en partie cette incertitude climatique. L'augmentation de la population a créé un besoin d'espace de production et les terres marginales sont devenues des champs. La transhumance en saison sèche s'est accentuée ces dernières années avec le manque d'aliments du bétail. Cette activité représente une solution pour l'adaptation à la répartition spatio-temporelle inégale des ressources pastorales et hydrauliques.

6 CONCLUSION

Cette étude a eu pour ambition de rechercher l'influence de la variabilité climatique sur la dynamique de l'occupation du sol et les stratégies adoptées par les producteurs pour s'adapter. Les résultats montrent des tendances d'évolution comme la diminution des forêts ripicoles au détriment des steppes ou l'augmentation des sols nus particulièrement entre 2010 et 2018.

A travers cette étude, nous avons montré le potentiel d'utilisation de la télédétection et du système d'information géographique pour la caractérisation de l'état de l'occupation du sol et son évolution spatio-temporelle à partir des traitements effectués sur une série d'images satellitaires de Landsat de différentes dates (2002, 2010, 2018).

L'analyse de l'occupation actuelle du bassin versant et de sa dynamique a permis d'appréhender les différentes contraintes appliquées à ces écosystèmes et de mesurer les incidences environnementales et sociales de la variabilité climatique. La réduction de la pluviométrie a en effet provoqué de profondes modifications de l'espace et orienté les stratégies d'occupation des terres par les agropasteurs.

Le constat est que l'étude de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol ne se limite pas seulement à l'analyse de la classification à partir des images multi-dates mais elle peut être complétée et enrichie par l'analyse des formes des unités spatiales pour quantifier et qualifier les formes du paysage qui traduisent l'empreinte de l'homme sur la nature.

REFERENCES

- [1] A. ALI- La variabilité et les changements climatiques au Sahel. Comprendre la situation actuelle de par l'observation. In: Le Sahel face aux changements climatiques. Enjeux pour un développement durable, Bulletin Mensuel du Centre Régional AGRHYMET, n° spécial, p. 17-20, 2010.
- [2] N. A. Niang. Dynamique socio-environnementale et développement local des régions côtières du Sénégal: l'exemple de la pêche artisanale. Géographie. Université de Rouen, 2009.
- [3] FAO, FIDA, OMS, PAM et UNICEF. 2018. L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2018. Renforcer la résilience face aux changements climatiques pour la sécurité alimentaire et la nutrition. Rome, FAO.
- [4] B. Ouédraogo. Stratégies d'adaptation des agropasteurs à la variabilité climatique dans le bassin versant de Yakouta, Burkina Faso. Thèse de doctorat en Géographie. Université de Ouagadougou, 258 p., 2015.
- [5] I. Touré, Stratégies d'adaptation traditionnelles au Sahel: le secteur de l'élevage.. Milan: CSAO, Résumé, 2 p. Semaine du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, Milan, Italie, 26 Octobre 2015/30 Octobre, 2015.
<http://www.oecd.org/fr/csao-expo-milano/presentationsetdocuments>.
- [6] F. John. May et J.-P. Guengant., 2014. Les défis démographiques des pays sahéliens. Études - n°4206, 2014.
http://sites.clas.ufl.edu/sahelresearch/files/sahel_etvdes_juin-may-
- [7] J. Delfour et M. Jeambrun, 1970. Notice explicative de la carte géologique au 1/200000 (Oudalan). Éd. Bureau de Rech. Géolog. Et minière
- [8] B. Ouédraogo., L. Ouédraogo. Et O. Kaboré. Fragmentation de l'espace et conflits d'usage au sahel: cas du bassin versant de Yakouta (Burkina Faso). Int. J. Biol. Chem. Sci. 9 (6): 2727-2739, 2015.
- [9] A. Diallo, M. Ngom Faye, O. Ndiaye A. Guisse. Variations de la composition de la végétation herbacée des plantations de Acacia senegal (L.) Willd de la zone de Dahra (Ferlo). Int. J. Biol. Chem. Sci., 5 (3): 1250-1264, 2011
<http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i3.72273>

- [10] INSD, Recensement General de la Population et de l'Habitation (RGPH) de 2006 analyse des résultats définitifs; thème 2: état et structure de la population. Ouagadougou, Burkina Faso., 181 p. 2009
- [11] A..Aubreville, « Accord à Yangambi sur la nomenclature des types africains de végétation ». Bois et Forêts des Tropiques, vol. 51, p. 23-27, 1957.
- [12] B. Ouédraogo, L. Ouedraogo, O. Kaboré, Vulnérabilité d'un espace sous pression agropastorale dans le bassin versant de Yakouta., Burkina Faso. Revue de Géographie de l'Université Ouaga I Pr Joseph Ki zerbo, Numero 05, Vol 2, 2026
- [13] D.A. Saunders., R.J. Hobbs, C.R Margules., "Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review", Conservation Biology, No.5, 18-32, 1991,
- [14] DOI: 10.1111/j.1523-1739.1991.tb00384.x.
- [15] M., Ouédraogo, M., Y. Dembélé et L. Somé, 2010, Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations: cas des paysans du Burkina Faso, Sécheresse, 21, 2, pp. 87-96, 2010.
- [16] A. Reenberg, & C. Lund, 'Les Dynamiques d'utilisation du terre et du droit foncier face à la pression humaine', SEREIN Occasional Papers, vol. 7, pp. 41-70, 1998.
- [17] E. F. Lambin, J. Helmut Geist, and E. Lepers: Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions Annual Review of Environment and Resources, Volume 28, pp 205-241, 2003
- [18] T. Ningal, A.E. Harteminka,, A.K. Bregt, Land use change and population growth in the Morobe Province of Papua New Guinea between 1975 and 2000, Journal of Environmental Management 87 117–124, 2008.
- [19] P. N Kabore, B. Barbier,, P.Ouoba, A. Kiema, L. Some, L. & A. Ouedraogo,. Perceptions du changement climatique, impacts environnementaux et stratégies endogènes d'adaptation par les producteurs du Centre-nord du Burkina Faso. Vertigo, 19 (1). 2019
- [20] T. P. Zoungrana, « Les recompositions territoriales: une riposte des acteurs locaux aux aléas climatiques dans le bassin du lac Bazèga » Rev. Sc. Env. Univ., Lomé (Togo), 2009, n° 005. ISSN 1812-1403; 2009.
- [21] G. Fischer, M. Shah, F.N. Tubiello, H. Van Velhuizen. Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990 2080.
- [22] Philosophical Transactions of the Royal Society B360: 2067-73., 2005.
- [23] Y.T. Brou, E. Servat et J.E. Paturel « Activités humaines et variabilité climatique: cas du Sud forestier ivoirien. » IAHS Publication, n° 252, (1998). Pp.365-373, 1998.
- [24] A. M. Kouassi, T. M. Nguessan B. K. F. Kouamé K.assi A. Kouamé J.ean-Claude Okaingni J. Biemic: Application de la méthode des simulations croisées à l'analyse de tendances dans la relation pluie-débit à partir du modèle GR2M: cas du bassin versant du n'zi-Bandama (Côte d'Ivoire). Hydrologie, environnement, Géo Science 344, 288-296, 2012
- [25] B. Solly, E. B. Dieye, Issa Mballo, Oumar Sy, Tidiane Sane et Mamadou Thior, « Dynamique spatio-temporelle des paysages forestiers dans le Sud du Sénégal: cas du département de Vélingara", Physio-Géo, Volume 15 | -1, 41-67
- [26] P. Sagna - Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l'Afrique occidentale. Thèse de doctorat d'État, Université Cheikh Anta Diop, Dakar (Sénégal), tome 1, 270 p., 2005
- [27] X. N. Gnoumou, J.T. Yaméogo, M. Traoré, G. Bazongo, and P. Bazongo: Adaptation aux changements climatiques en Afrique sub-saharienne: impact du zaï et des semences améliorées sur le rendement du sorgho dans les villages de Loaga et Sika (province du Bam), Burkina Faso International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 19 No. 1, pp. 166-174, 2017
- [28] R. Sootweg, J.C.J. Van Wetten et P.M. Sedogo, 1995, Identification d'indicateurs de durabilité environnementale et écologique pour la zone sahéenne aride et semi-aride d'Afrique de l'Ouest (en particulier pour les zones d'agriculture sèche), Direction générale de la coopération internationale, ministère des Affaires étrangères néerlandais, 87 p.
- [29] D. B. Lobell, C. B. Field, 2007. Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. Environmental Research Letters 2: 1-7, 2007.