

Variabilité spatio-temporelle des ressources fourragères dans le bassin versant du Zou à l'exutoire de Domé au Bénin: Implications pour la gestion durable des terres

Luc ADETONA¹, Norbert AGOÏNON¹, Bio OROU KPERA², J.B.K. VODOUNOU¹

(Reçu le 05/11/2024; Accepté le 25/12/2024)

Résumé

La diminution des étendues propices au pâturage dans le Bassin Versant du Zou compromet la disponibilité des ressources fourragères et la mobilité des troupeaux. Cette étude vise à analyser la variabilité spatio-temporelle des ressources fourragères dans le Bassin Versant du Zou à l'exutoire de Domé (BVZD). La méthodologie de l'étude comprend l'utilisation d'images satellites Landsat de 1991, 2003 et 2020, avec une résolution spatiale de 30 mètres. Les données de biomasse sont obtenues via le Bureau de la coordination des affaires humanitaires des Nations Unies (OCHA), analysées avec l'Analyse Factorielle des Correspondances pour évaluer la disponibilité de fourrage. Les résultats de la classification des images entre la période de 1991 et 2020 révèlent une régression significative avec un taux moyen de conversion supérieur à 50% des formations naturelles comme les forêts et savanes, remplacées par des champs, jachères et plantations. Cette évolution a été caractérisée par une régression significative de la biomasse disponible de 2 901 kg/ha entre 2003 et 2020, particulièrement dans les zones forestières et marécageuses, avec des implications potentielles sur la disponibilité future de fourrage pour le bétail. La modélisation prédictive suggère une poursuite de cette tendance de dégradation des ressources naturelles jusqu'en 2050, soulignant ainsi l'importance de gérer durablement les ressources pastorales dans le BVZD.

Mots clés: Variabilité spatio-temporelle, Ressources fourragères, Gestion durable des terres, Bassin versant, Zou

Spatiotemporal variability of forage resources in the Zou watershed at Domé (Benin): Implications for sustainable land management

Abstract

The reduction of areas suitable for grazing in the Zou Watershed Basin compromises forage resource availability and herd mobility. This study aims to analyze the spatiotemporal variability of forage resources in the Zou Watershed Basin at the Domé outlet (BVZD). The study methodology involves the use of Landsat satellite images from 1991, 2003 and 2020, with a spatial resolution of 30 meters. Biomass data, obtained via Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA), are analyzed using Correspondence Factor Analysis to assess forage availability. The classification results of images from 1991 to 2020 reveal a significant regression, with an average conversion rate exceeding 50% of natural formations such as forests and savannas, replaced by fields, fallows and plantations. This change was marked by a significant regression in available biomass of 2,901 kg/ha between 2003 and 2020, especially in forest and marsh areas, with potential implications for the future availability of forage for livestock. Predictive modeling suggests a continued trend of natural resource degradation until 2050, emphasizing the importance of sustainable management of pastoral resources in the BVZD.

Keywords: Spatiotemporal variability, Forage resources, Sustainable land management, Watershed, Zou

INTRODUCTION

Le développement de l'élevage pastorale au Bénin comme partout ailleurs en Afrique nécessite une bonne connaissance de la diversité végétale nécessaire pour l'alimentation du bétail. En effet, les animaux de ce système se nourrissent principalement du fourrage constitué de la végétation présente dans les pâturages naturels et des restes de récoltes. Toutefois, il est constaté une diminution des étendues propices au pâturage, ce qui compromet la disponibilité des ressources fourragères ainsi que la mobilité des troupeaux (Razafinarivo *et al.*, 2021; Honvou *et al.*, 2022). Ainsi, les exigences croissantes en alimentation animale dépassent parfois les capacités de production, mettant en lumière les limites des systèmes agricoles actuels (FAO, 2014).

Au Bénin, en tant que pays en développement, cette tendance est également observée, notamment dans l'élevage, un sous-secteur de l'activité agricole qui contribue à hauteur de 13,8 % au Produit Intérieur Brut (MAEP, 2017). Le système d'élevage, essentiellement composé de bovin avec un cheptel estimé à 2 111 000 têtes en 2012, se caractérise par son caractère extensif (Sounon Kon'de *et al.*, 2019; FAO, 2016). Le cheptel bovin, qui connaît un taux d'accroissement annuel d'environ 3,6 % est composé de taurins de races

lagunaire, Borgou et Somba (31 %), de zebus M'bororo, Goudali et Foulani blanc (7,7 %), ainsi que des sujets issus de leur croisement (61,3 %) (Alkoiret *et al.*, 2007). En effet, l'importance des ressources fourragères est cruciale pour l'amélioration et le développement de l'élevage, ce qui contribue significativement au développement socio-économique du pays (Traore *et al.*, 2020). Ces ressources, qui comprennent les parcours naturels tels que les savanes arborées et arbustives, les savanes herbeuses et les forêts, dictent le mode d'exploitation guidé par la disponibilité de fourrage et les besoins des troupeaux (Honvou *et al.*, 2022). La région centrale du Bénin est devenue aujourd'hui une destination première des éleveurs et agriculteurs venant du Nord Bénin et des pays voisins, notamment le Niger, le Burkina-Faso, le Togo et le Nigéria (Azalou *et al.*, 2017). L'augmentation significative des transhumants dans la partie Sud du Bénin n'est liée qu'à la disponibilité en pâturage, qui commande les mouvements de troupeaux et définit les modes de production nomades (CSAO-OCDE/CEDEAO, 2008).

La région du bassin versant du Zou est également touchée par cette tendance, notamment dans les secteurs de l'élevage bovin et de l'agriculture. Ainsi, cette étude vise à analyser la variabilité spatio-temporelle des ressources

¹ Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université de Parakou, Bénin

² École Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau, Université de Parakou, Bénin

fourragères dans le Bassin Versant du Zou à l'exutoire de Domé. Cette recherche s'appuie sur une approche multidisciplinaire, combinant des méthodes de télédétection et des analyses statistiques pour obtenir une image complète de la dynamique des ressources fourragères. Les résultats de cette étude pourraient servir comme outil de prise de décision pour une gestion plus efficace et durable des terres dans le Bassin Versant du Zou et l'optimisation de la production animale.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Description du milieu d'étude

La zone d'étude concerne le bassin versant du Zou à l'exutoire de Domé (BVZD) situé dans la partie Centre-Ouest du Bénin et s'étend entre 1° 37'23" et 2° 27'30" de longitude Est, et entre 6°54'48" et 8° 34'23" de latitude Nord (Figure 1). Il est traversé par un cours d'eau permanent et plusieurs

affluents. Le BVZD repose sur une pénélaine avec des dômes isolés appelés inselbergs et des chaînes de collines, isolées et dénudées, c'est le cas des collines de Savalou et de Dassa (Aplogan *et al.*, 2020). Le relief culmine une altitude variante entre 14 et 550 m. Les points les plus hauts du bassin se trouvent au nord-est, ce qui donne l'orientation du relief et des cours d'eau qui est globalement du Nord vers le Sud. Dans la partie Sud du bassin, et plus précisément au niveau de l'exutoire, l'altitude est basse et atteint 14 m. La figure 1 présente la situation géographique du BVZD.

Les caractéristiques géographiques du BVZD influencent la disponibilité des ressources fourragères, favorisant ainsi l'élevage bovin, une pratique prédominante parmi les agropasteurs sédentarisés et transhumants, principalement de l'ethnie peulh, pour qui l'élevage demeure l'activité principale (ANOPER, 2014). Le système pastoral y est donc largement adopté, impliquant un déplacement continu à la recherche de pâturages (Photo 1).

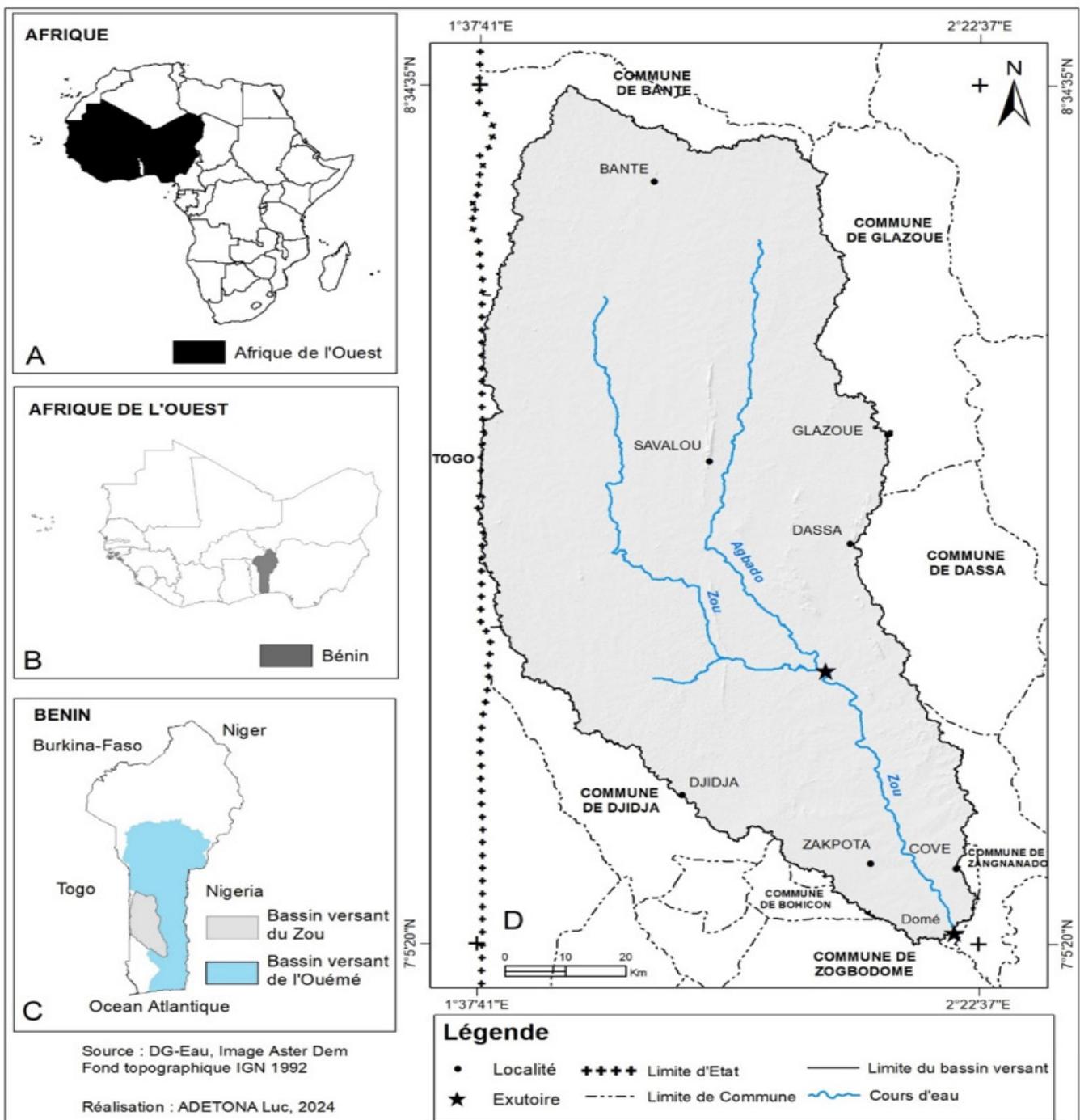


Figure 1: Situation géographique du bassin versant du Zou à l'exutoire de Domé

Collecte des données

Les données cartographiques provenant des images satellites Landsat, capturées par différents capteurs tels que le Thematic Mapper (TM), l'Enhanced Thematic Mapper (ETM+), et l'Operational Land Imager (OLI) respectivement en 1991, 2003 et 2020, ont été obtenues sur le site web de l'USGS (<http://earthexplore.usgs.gov/>). La résolution spatiale de ces images est de 30 mètres. Un intervalle de 15 ans a été choisi pour l'analyse, mais en raison de l'indisponibilité des données de 1990 et de 2005, celles de 1991 et de 2003 ont été utilisées à leur place. Le bassin versant est couvert par deux scènes (les scènes 196/054 et 196/053), pour chacune des périodes étudiées. Ces scènes téléchargées couvrent la période de décembre à février afin de minimiser la présence de nuages, ce qui pourrait altérer la qualité des images (Adetona et al., 2022), et faciliter ainsi la classification des différents types d'occupation du sol (Biga et al., 2020).

Les données sur la disponibilité de biomasse des différentes unités d'occupation du bassin versant parcourues par les éleveurs ont été obtenues sur le site de OCHA (<https://data.humdata.org/dataset/>). Les informations fournies sous forme raster avec une résolution de 1×1 km concernent la production annuelle de biomasse ainsi que les anomalies calculées par BioGenerator à partir des données satellites SPOT-VEGETATION, PROBA-V et SENTINEL-3 de l'Agence Spatiale Européenne (Fillol, 2020). La biomasse évaluée dans cette étude représente la quantité totale de matière végétale mesurée en kilogrammes de matière sèche par hectare (kg/ha). Le terme «matière sèche» est utilisé pour décrire toute forme de végétation au-dessus du sol, sans considérer sa teneur en eau (ACF, 2020). Pour évaluer la situation pastorale, la biomasse constitue un outil efficace pour évaluer la disponibilité des ressources fourragères.

Analyse des données

Les images Landsat téléchargées ont été d'abord prétraitées à travers une mosaïque des scènes, et ce par bande. Les bandes 543 ont été combinées pour les images de type TM et ETM+ et les bandes 654 pour les images OLI avec l'outil «*composite band*» du logiciel ArcGIS. Cet outil permet de produire des images en couleurs en fonction de la signature spectrale et de distinguer les différents objets présents sur les images afin de faciliter l'interprétation de celle-ci. Les aires d'entraînement, délimitées et calibrées à l'aide d'images Google Earth, sont stratégiquement positionnées pour représenter fidèlement chaque formation paysagère. Ces aires d'entraînements ont été délimitées sur les images et calibrées avec les images Google Earth. Elles sont placées de manière représentative sur chaque formation paysagère.

La classification par méthode supervisée appliquée à travers l'algorithme du maximum de vraisemblance est adoptée dans le cadre de cette étude. Cette méthode implique l'assignation des pixels aux échantillons les plus proches en utilisant une distance basée sur la probabilité bayésienne, offrant généralement des performances satisfaisantes dans la création de documents cartographiques (Soro et al., 2014; Honvou et al., 2022).

Pour évaluer la précision des classifications réalisées, la matrice de confusion a été générée afin de déterminer la précision globale et l'indice Kappa de la classification par arbre de décision. La précision globale permet d'évaluer la précision des pixels classés par rapport au nombre total de pixels des aires d'entraînement déterminées et est comprise entre 0 et 100 %. Quant à l'indice Kappa, il permet d'évaluer globalement la fiabilité des résultats de la classification par rapport aux données de référence et est compris entre 0 et 1 (Njeugeut Mbiafeu et al., 2021; Hountondji, 2008).



Photo 1: Déplacement d'un troupeau de bétail sur l'axe Glazoué-Aklanpka (04/11/2023)

Les données rasters obtenus après l'interprétation et classification de chaque image sous le logiciel ENVI 5.1 ont été convertis en données vectorielles sous le logiciel ArcGIS. Elles ont été ensuite analysées et comparées à travers la matrice de transition et le calcul du taux de changement et le taux de conversion afin de dégager la dynamique des unités d'occupation des parcours des éleveurs du bétail.

Matrice de transition

La matrice de transition permet de mettre en évidence de façon condensée les formes de changement subies par les différentes unités d'occupation du sol. Elle a été obtenue par croisement des occupations de 1991-2003 et de 2003-2020 à l'aide de l'algorithme «intersect» de l'extension «Géoprocessing» du logiciel ArcGIS 10.2.

Taux de changement (Tch)

Le taux de changement, permet d'évaluer la part de gain (valeur positive) ou de perte (valeur négative) des unités d'occupation du sol (Njeugeut Mbiafeu *et al.*, 2021). Il s'obtient par l'équation:

$$T_{ch} = \left(\frac{S_{i+1}}{S_t} \times 100 \right) - \left(\frac{S_i}{S_t} \times 100 \right)$$

Avec T_{ch} : taux de changement annuel et S_i et S_{i+1} et correspondant respectivement à la superficie d'une unité d'occupation du sol à la date t_1 et t_2 et S_t correspond à la superficie totale des unités d'occupations.

T_{ch} est positif pour les unités d'occupations en progression et négatif pour celles en régression.

Taux de conversion (Tc)

Le taux de conversion d'une unité d'occupation du sol mesure le niveau de transformation de cette unité vers d'autres catégories (Honvou *et al.*, 2022). L'évolution de l'occupation du sol a été évaluée en comparant les surfaces des unités d'occupation du sol à différentes périodes. Ce calcul repose sur la matrice de transition, en utilisant une formule spécifique.

$$T_c = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \times 100$$

avec T_c : taux de conversion et S_1 et S_2 , correspondant respectivement à la superficie d'une unité d'occupation du sol à la date t_1 et t_2 .

Méthode liée à la modélisation prédictive en 2050

La modélisation prédictive des unités d'occupation du sol des parcours à l'horizon 2050 a été réalisée à l'aide du modèle Markov (CA_Markov) du logiciel Idrissi. Le module CA_Markov utilise des procédures d'automate cellulaire en combinaison avec l'analyse de chaîne de Markov pour produire la carte d'occupation du sol future (N'guessan Bi Vami *et al.*, 2022).

Analyse de la biomasse disponible du BVZD

Après l'identification des unités d'occupation parcourues par les éleveurs de bétails, une analyse de la biomasse disponible a été faite afin de pouvoir quantifier la disponibilité du fourrage dans le temps et dans l'espace du bassin.

Les images raster de la biomasse annuelle téléchargées de 2003 et 2020 ont été décompressées puis la zone du bassin est extraite à l'aide de l'outil «clip» de ArcGIS 10.2. Le test

statistique de l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC), très utilisé en écologie (Dolédec *et al.*, 1995), a été utilisé pour ressortir la corrélation entre les unités d'occupation du sol et les quantités de biomasse disponible. Pour ce faire deux hypothèses ont été émises:

- H0: les unités d'occupation du sol et la quantité de biomasse disponible sont indépendantes;
- Ha: il existe un lien entre les unités d'occupation du sol et la quantité de biomasse disponible.

L'ensemble de ces données a été complété par les données collectées auprès de la population et qui a été analysé afin de ressortir les zones de pâturage dans le BVZD. Le test d'Analyse des Composantes Multiples a été appliqué afin de déterminer les facteurs qui justifient le choix des parcours des éleveurs dans le bassin.

RÉSULTATS

Zone de pâturage dans le bassin versant du Zou à l'exutoire de Domé

Les éleveurs dans le bassin versant du Zou à l'exutoire de Domé pour alimenter leurs bétails, parcourent des zones géographiques telles que les plateaux, les bas-fond et vallées constitués des formations naturelles. La figure 2 présente l'analyse des composantes multiples entre les ZG, EP, PE et CM du bassin versant.

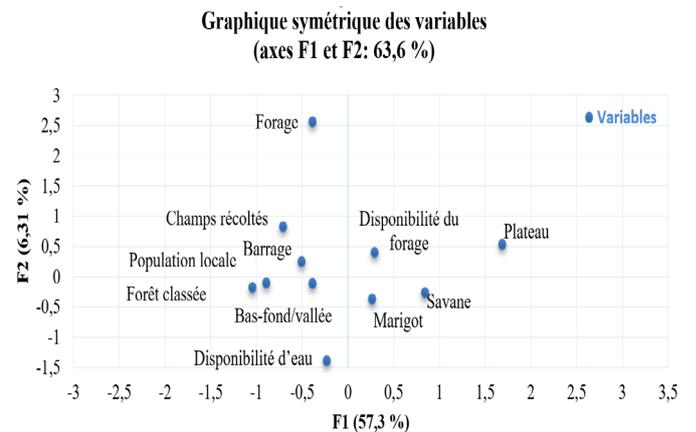


Figure 2: Analyse des composantes multiples entre les ZG, EP, PE et CM du bassin versant

L'analyse de la figure 2 révèle une répartition géographique des zones de pâturages influencée par la disponibilité des ressources naturelles et de l'eau. Les zones de plateaux, dominées par les formations naturelles telles que la savane, sont principalement exploitées par les éleveurs. Cette exploitation est favorisée par la présence de forages et de marigots, qui fournissent une source d'eau stable pour le bétail. Par ailleurs, les zones de bas-fonds ou vallées, composées de forêts classées et de champs récoltés, sont également exploitées par les éleveurs. Ces zones bénéficient de la disponibilité du fourrage et de l'eau, ce qui en fait des lieux propices pour l'élevage.

Cette répartition montre clairement que la disponibilité des ressources pastorales, notamment l'eau et le fourrage, joue un rôle crucial dans la localisation des activités d'élevage. Les éleveurs choisissent stratégiquement les zones où l'accès à l'eau est assuré. Cela met en évidence l'importance du fourrage et de l'eau dans la gestion des ressources pastorales.

Occupation du sol des parcours d'élevage du bassin versant du Zou des années 1991, 2003 et 2020

La classification des images 1991, 2003, 2020 de bassin versant du Zou a été réalisée avec précision car l'ensemble des indices de Kappa déterminé tend vers 1 et les précisions globales sont toutes supérieures à 70 %. Le tableau 1 présente les indices de kappa et la précision globale des classifications.

Tableau 1: Indice de kappa et précision globale des images classifiées

Image Landsat	Coefficient de Kappa en %	Précision globale en %
1991	0,75	79,8
2003	0,94	95,6
2020	0,82	87,8

Source: Images Landsat 1991, 2003 et 2020

Du tableau 1, on note que l'interprétation des images de 1991, 2003 et de 2020 a été bien faite, car les indices de kappa déterminés sont respectivement de 0,75 avec une précision globale de 79,8%, de 0,94 avec une précision globale de 95,6% et de 0,82 avec une précision globale de 87,8%. Ces différentes valeurs confirment que la classification est bonne. La figure 3 présente la carte d'occupation du sol de 1991, 2003, 2020 et la projection en 2050.

L'occupation du sol des parcours d'élevage du bassin versant du Zou est dominée en 1991 par les savanes arborées et arbustives (74,7 %), les forêts claires et savanes boisées (11,2%), les champs et jachères (6,5 %) et les formations

savanicoles marécageuses (4,70 %). Pour la même année, la forêt galerie, les plantations et les agglomérations occupent respectivement 1,54 %, 1,14 % et 0,21% de la superficie totale du BVZD (Figure 3A).

En 2003, les savanes arborées et arbustives (79,8 %) et les champs et jachères (7,77 %) ont dominé la surface du BVZ. La superficie des forêts claires et savanes boisées (4,97 %), les plantations (3,95 %), et les formations savanicoles marécageuses représentaient 2,38 % alors que celle des agglomérations faisait 0,36 % de la superficie totale du BVZD (Figure 3B).

En 2020, le bassin versant est dominé par les savanes arborées et arbustives (50,7 %), les champs et jachères (26,7 %) et les plantations (18,5 %). La proportion des forêts galeries était de 1,24 %, les forêts claires et savanes boisées 1,22 %, les formations savanicoles et marécageuses 0,71 %, les agglomérations 0,86 % et les plans d'eau 0,02 % (Figure 3C).

La prédiction des unités d'occupation en 2050 a indiqué une dominance des savanes arborées et arbustive, des plantations et des champs et jachères soit respectivement 40 %, 33 % et 23% de la superficie totale du BVZD en 2050 (Figure 3D).

On constate physionomiquement que durant la période de 1991, 2003 et 2020, les superficies des formations naturelles (forêts et savanes) ont diminué, alors que celle des champs et jachères ainsi que les plantations ont augmenté.

Changements spatio-temporels des unités d'occupation du sol des parcours d'élevage du bassin versant entre 1991, 2003 et 2020

L'évolution des différentes unités d'occupation entre 1991-2003 et entre 2003-2020 a été obtenue à travers le taux de conversion et le taux de changement (Tableau 2).

De l'analyse du tableau 2, on note que durant la période de 1991 à 2003, seules les formations naturelles ont subi des régressions avec un taux de conversion supérieur à 70 %. La forêt galerie, la forêt claire et savane boisée et la forêt et savane marécageuse ont connu respectivement une régression de 0,83 %, 6,21 %, 2,32 % avec un taux de conversion respectivement de 70,3 %, 83,0 % et 59,1%. Cependant, la savane arborée et arbustive a connu une progression de l'ordre de 5,03 % de leur superficie avec un taux de conversion de 15,8 %.

Tableau 2: Taux de conversion (%) et taux de changement des unités d'occupations (%)

Unité d'occupation	Taux de conversion (%)		Taux de changement (%)	
	1991-2003	2003-2020	1991-2003	2003-2020
FG	82,5	70,3	-0,83	0,53
FCSB	83,0	93,7	-6,21	-3,75
SASA	15,8	47,0	5,03	-29,1
FSM	59,1	80,8	-2,32	-1,68
PT	58,6	25,8	2,82	14,5
CJ	72,3	59,8	1,26	18,9
PE	100,0	100,0	0,00	0,02
AGGLO	0,00	0,00	0,24	0,52

Source: Images Landsat 1991, 2003 et 2020

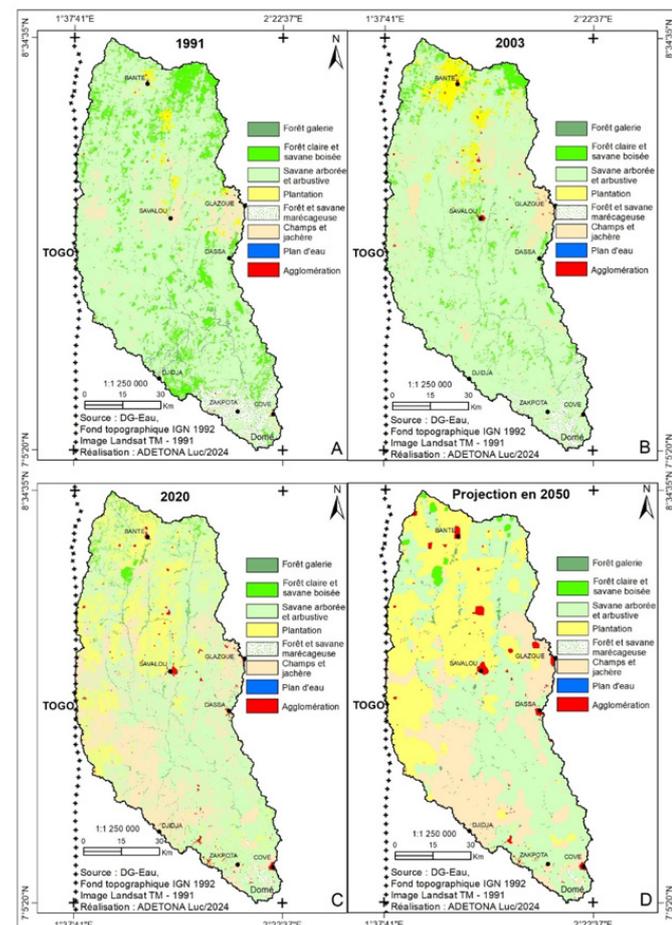


Figure 3: Unité d'occupation du sol des parcours d'élevage du BVZ à l'exutoire de Domé en 1991, 2003, 2020 et 2050

Quant à la période 2003 à 2024, on note que les formations naturelles: forêt claire et savane boisée, savane arborée et arbustive et la forêt et savane marécageuse ont connu une régression respectivement de 3,75 %, 29,1 % et 1,68 % avec un taux de conversion compris entre 45 à 94 %. Par contre, les formations telles que: la forêt galerie, les plantations, et les champs et jachères ont connu une progression respectivement de 0,53 %, 14,5 % et 18,9 % avec un taux de conversion compris entre 25 à 70 %.

La modélisation prédictive des parcours d'élevage du bassin versant à l'horizon 2050 a montré une régression continue des formations naturelles telles que les forêts galeries, les forêts claires et savanes boisées, les savanes arborées et arbustives et les forêt et savanes marécageuses au profit des plantations, des champs et jachères et des agglomérations (Figure 4).

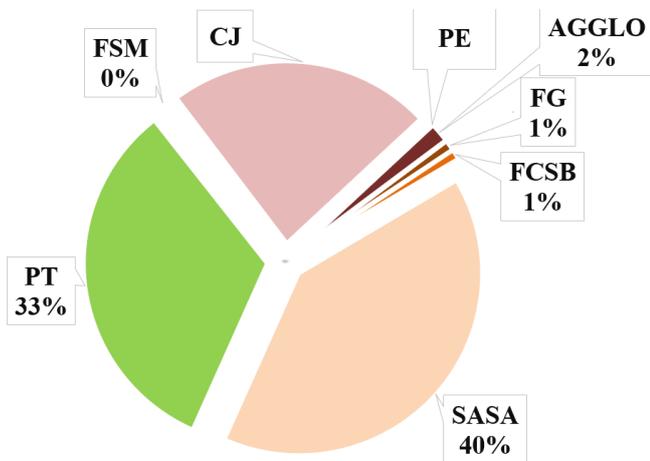


Figure 4: Pourcentage de différentes unités occupation du sol

L'analyse de la dynamique des unités d'occupation du bassin versant durant la période de 1991 à 2020 et à l'horizon 2050 ont montré une diminution des formations naturelles par conséquent des ressources pastorales. Les formations naturelles comme les savanes boisées et les savanes arborées fournissent des pâturages essentiels pour le bétail. Leur régression signifie moins de surfaces disponibles pour le pâturage, ce qui pourrait entraîner une baisse de la disponibilité de fourrage pour le bétail. Avec la diminution des zones naturelles, les éleveurs devront concentrer leurs troupeaux sur des zones plus petites, augmentant ainsi la pression sur ces ressources. Cela peut entraîner un surpâturage, la dégradation des sols et la diminution de la productivité des pâturages restants. Il est alors important d'évaluer la quantité de biomasse disponible pour les éleveurs de bétail dans le bassin versant du Zou.

Productivité de matière sèche DMP dans le BVZD

L'estimation de la quantité de production annuelle de biomasse sèche exprimée en kg/an disponible pour les éleveurs de bétail dans le BVZD a été déterminée sur la période de 2003 à 2020 (Figure 5).

D'après l'analyse de la figure 5A, la production annuelle moyenne de biomasse en 2003 était de 14 224 kg/ha, avec une production minimale de 6 000 kg/ha et une production maximale de 222 449 kg/ha. Il est observé que les zones éloignées des agglomérations produisent davantage de biomasse que celles situées à proximité. De plus, la partie nord du bassin ainsi que les zones centrales, notamment Banté,

Savalou, et Domè, dominant en termes de production de biomasse, ce qui peut être attribué à la présence de formations forestières et de savanes marécageuses dans ces régions.

En 2010, la production annuelle moyenne de biomasse dans le bassin a chuté à 12 162 kg/ha, soit une régression de 2 062 kg/ha (Figure 5B). Cette tendance régressive de la productivité de la biomasse s'est accentuée en 2015 (Figure 5C), avec une baisse de 5 642 kg/ha, la production moyenne étant de 8 582 kg/ha par rapport à 2003.

L'analyse de la figure 5D révèle qu'en 2020, la production minimale de biomasse était de 3 000 kg/ha, avec une production moyenne de 11 323 kg/ha et une production maximale de 19 647 kg/ha. La distribution spatiale de la production de biomasse montre que les parties nord et sud du bassin restent productives. Cette situation s'explique par la présence de formations forestières dans la partie nord et de savanes marécageuses dans la partie sud du bassin versant du Zou à l'exutoire de Domè (BVZD).

Analyse spatio-temporelle de la production de biomasse du BVZD durant la période de 2003 à 2020

La production annuelle maximale de biomasse durant la période de 2003 à 2020 a baissé de 2802 kg/ha pour l'ensemble du bassin versant (Tableau 3 et 4).

Du tableau 3 on note que la classe de biomasse 15 000 -18 000 kg/ha est la plus représentative couvrant une superficie de 4 348 km² du bassin versant. Elle est suivie des classes 12 000-15 000 kg/ha, 18 000-21 000 kg/ha, 9 000-12 000 kg/ha, 21 000-22 449 kg/ha et 6 000-9 000 kg/ha couvrant respectivement une superficie de 2 434 km², 1 195,39 km², 15,3 km² et 13,3 km². On note également que la production de biomasse est liée aux unités d'occupation du sol.

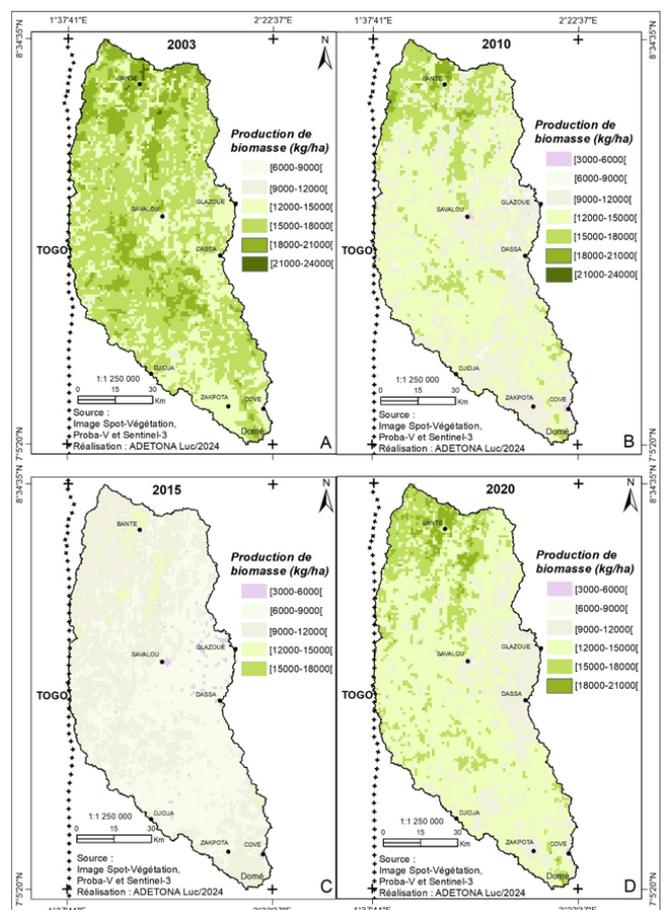


Figure 5: Production annuelle de biomasse dans le BVZD en 2003, 2010, 2015 et 2020

D'après le test d'indépendance entre les unités d'occupation (UO) et les classes de biomasse (CB), il est révélé que la p-value ($< 0,0001$) calculée est inférieure au niveau de signification $\alpha=0,05$, on doit alors rejeter l'hypothèse nulle H_0 , et retenir l'hypothèse alternative H_a qui stipule qu'il existe un lien entre les UO et les CB. Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à $0,01\%$. La figure 6 présente l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) entre l'UO et CB du BVZD. L'analyse de la figure 6 révèle que la production de biomasse varie considérablement en fonction des types de

formations végétales. Les formations forestières et les savanes marécageuses affichent une production de biomasse élevée, allant de 12 000 à 22 449 kg/ha. En revanche, la production est moyenne dans les savanes et les champs et jachères, se situant entre 6 000 et 12 000 kg/ha. Le tableau 4 présente la répartition de la production de biomasse en kg/ha selon différentes classes de biomasse et les unités d'occupation du sol en 2020.

La production de biomasse élevée est principalement concentrée dans les classes [12 000-15 000], [9 000-12 000] et [15 000-18 000] couvrant respectivement 5 183 km²,

Tableau 3: Production de biomasse par unité d'occupation du sol du BVZD en 2003

		Classe de biomasse en kg/ha						Total
		[6000-9000[	[9000-12000[	[12000-15000[	[15000-18000[	[18000-21000[	[21000-22449[
Unité d'occupation du sol	FG	0,01	1,08	9,97	39,3	8,14	0,02	58,5
	FCSB	0,57	4,30	79,3	194,1	125,6	1,42	405,3
	SASA	11	97	1957	3601	835,9	3,03	6511
	FSM	0,29	0,58	90,5	86,95	15,98	0,00	194,3
	PT	0,33	0,21	53,6	67,96	189,6	10,8	322,4
	CJ	1,00	16,29	243,6	352,8	20,19	0,02	633,9
	Total	13,3	119	2434	4348	1195	15,3	8125

Tableau 4: Production de biomasse par unité d'occupation du sol du BVZD en 2020

		Classe de biomasse						Total
		[3000-6000[	[6000-9000[	[9000-12000[	[12000-15000[	[15000-18000[	[18000-21000[
Unité d'occupation du sol	FG	0,00	0,00	5,76	72,6	20,7	2,33	101,5
	FCSB	0,00	0,00	0,30	25,0	63,0	11,0	99,4
	SASA	0,51	10,6	822	2689	550,8	60,7	4135
	FSM	0,01	0,08	6,44	36,6	10,7	3,67	57,5
	PT	0,00	0,94	99,6	819,2	446,1	142,6	1508
	CJ	0,29	10,0	512	1540	117,1	1,73	2182
	Total	0,81	21,6	1447	5183	1208	222	8083

Légende: FG: Forêt galerie, FCSB: Forêt claire et savane boisée, SASA: Savane arborée et arbustive, FSM: Formation savanicole marécageuse, PT: Plantation, CJ: Champs et Jachères

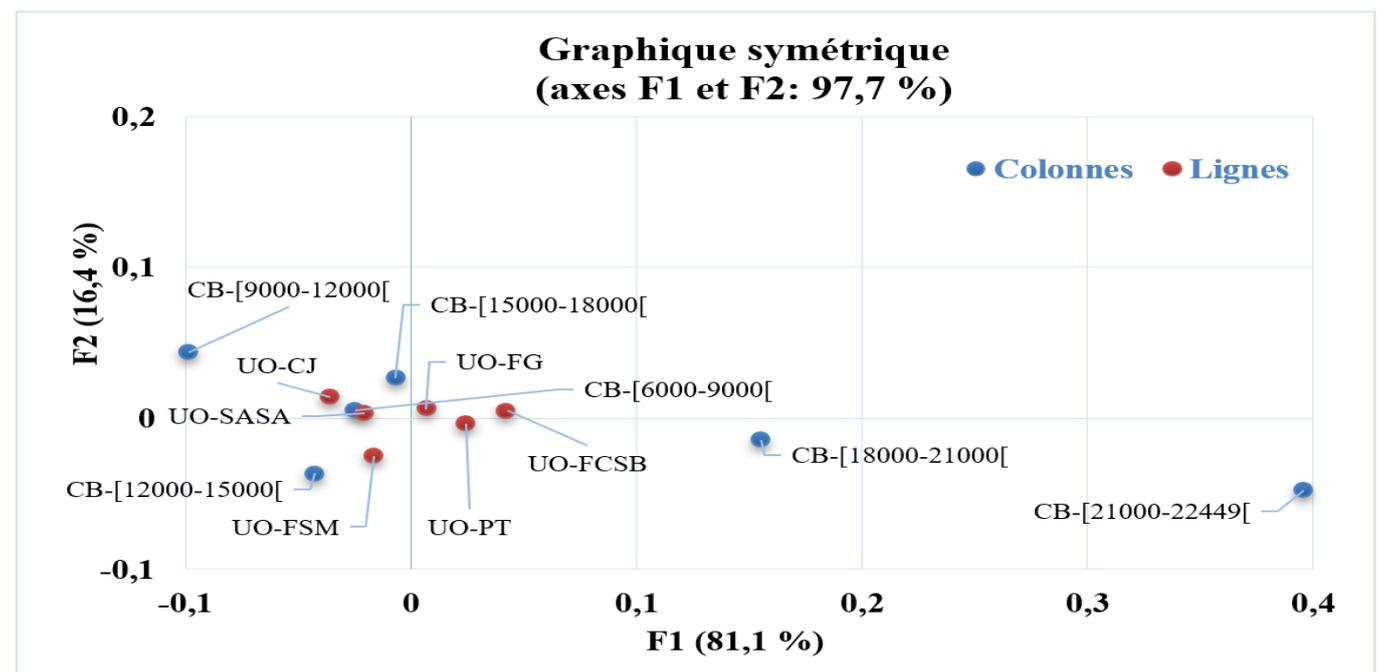


Figure 6: Analyse Factorielle des Correspondances entre l'UO et CB du BVZD en 2003

Légende: FG: Forêt galerie, FCSB: Forêt claire et savane boisée, SASA: Savane arborée et arbustive, FSM: Formation savanicole marécageuse, PT: Plantation, CJ: Champs et Jachères, CB: Classe de biomasse, UO: Unité d'Occupation

1447 km² et 1 208 km² de la superficie totale du BVZD. Les classes [18 000-21 000[, [6 000 - 9 000[et [3 000-6 000[ont les plus faibles superficies de production du biomasse avec une superficie respective de 222 km², 21,6 km² et 0,81 km². On observe également que la production de biomasse est fortement liée aux unités d'occupation du sol (UO). Selon le test d'indépendance entre les unités d'occupation et les classes de biomasse (CB), la p-value obtenue (< 0,0001) est bien inférieure au niveau de signification alpha de 0,05. Par conséquent, l'hypothèse nulle (H0) est rejetée et l'hypothèse alternative (Ha), qui stipule qu'il existe un lien significatif entre les unités d'occupation du sol et les classes de biomasse est acceptée. La figure 7 présente l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) entre l'UO et CB du BVZD en 2020.

De la figure 7, on note également que les formations forestières, les savanes marécageuses et les plantations sont les plus productives en termes de biomasse, avec une production variant de 15 000 à 19 647 kg/ha. Au niveau des champs et jachères, la production de biomasse est modérée, variant entre 3 000 à 15 000 kg/ha.

Cette disparité dans la production de biomasse peut être attribuée à plusieurs facteurs. Les formations forestières, par leur densité et diversité végétale, offrent un environnement favorable à une production élevée de biomasse. La canopée dense et les sols riches en matière organique de ces forêts contribuent à une croissance végétale accrue. De même, les savanes marécageuses, grâce à leur humidité constante et à la présence de sols gorgés d'eau, fournissent des conditions idéales pour la production de biomasse élevée. En revanche, les savanes et les champs et jachère montrent une production de biomasse moyenne. Les champs en jachère, qui sont des terres agricoles temporairement abandonnées, ont une productivité réduite en raison de la déplétion des nutriments dans le sol et de l'absence de gestion agricole active.

DISCUSSION

L'analyse des résultats de cette étude montre que les zones géographiques les plus exploitées par les éleveurs du BVZD sont les zones de plateau et de vallée ou bas-fonds. Ces zones offrent une disponibilité en ressources fourragères et l'eau dont le bétail a besoin pour son alimentation. Cependant, la dynamique de l'occupation du sol des parcours du BVZD de 1991 à 2020 a été évaluée à travers la télédétection. Les images Landsat de 1991, 2003 et 2020 ont été utilisées pour évaluer l'évolution des formations naturelles et la quantité de biomasse annuelle disponibles durant la période de 2003 à 2020 au niveau de chaque unité d'occupation du sol. Ces résultats, bien que basés sur les images Landsat, corroborent les travaux de Adetona *et al.* (2020), Adetona *et al.* (2022), Zakari *et al.* (2018) et Djibri et Toko Imorou (2015). Ces études ont mis en évidence l'importance des images satellitaires de haute résolution actuelles dans l'évaluation des unités d'occupation des sols et de la biomasse sur de vaste territoire et dans le temps. Contrairement aux études de Sib *et al.* (2020) et Amegnaglo *et al.* (2018) qui ont évalué les banques fourragères arbustives pour l'alimentation du bétail avec une méthode expérimentale sur de petites parcelles.

Le traitement des images Landsat téléchargés a donné une précision globale de 79,8 % pour la classification de l'image TM 1991, 95,6 % pour ETM+ 2003 et 87,8 % pour OLI 2020. Le coefficient de Kappa obtenu est de 0,75 pour 1991; 0,94 pour 2003 et 0,82 pour 2020. Cela montre que les résultats obtenus sont acceptables et permet d'évaluer la dynamique d'occupation des parcours d'élevage. D'après l'étude de Mbiafeu *et al.* (2021), les résultats d'analyse d'image avec une valeur de Kappa supérieure à 0,50 sont considérés comme bons et exploitables.

Au niveau de la méthodologie, la classification supervisée basée sur le maximum de vraisemblance nécessitant une collecte préalable de données d'entraînement représenta-

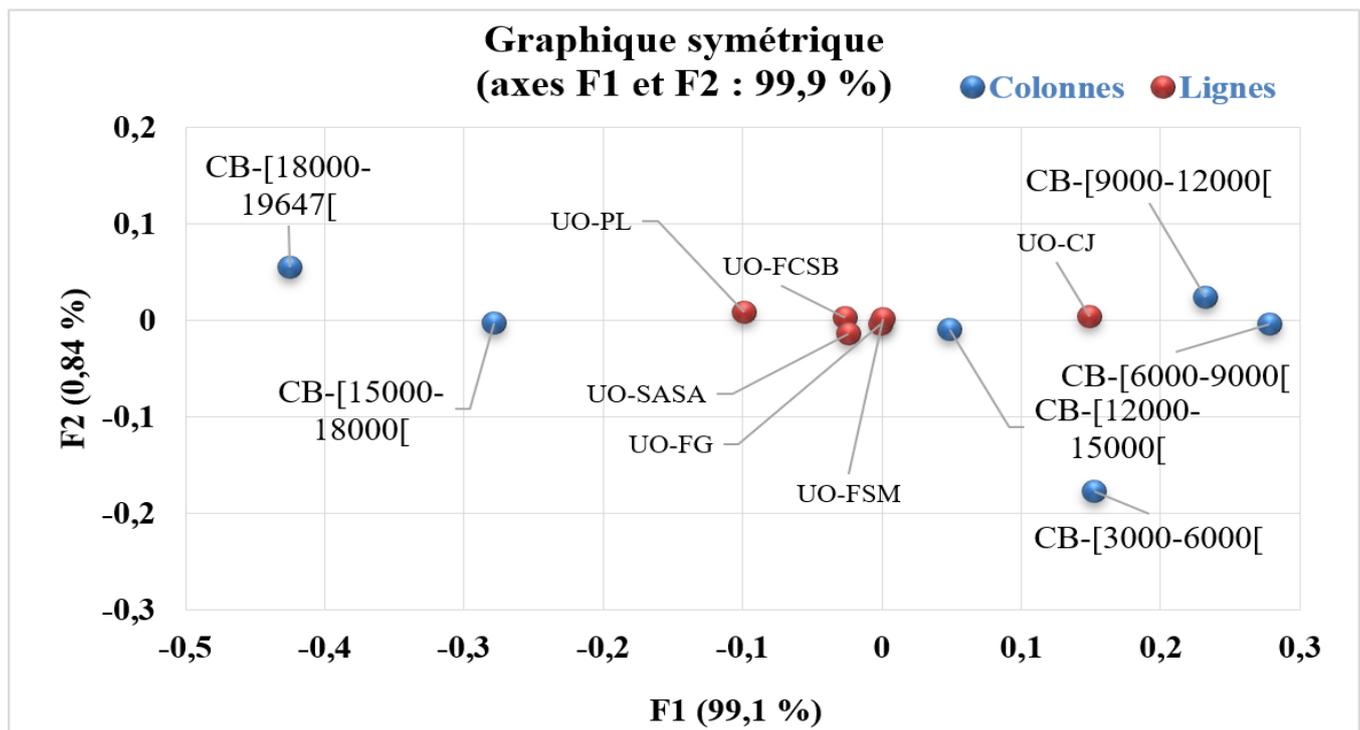


Figure 7: l'Analyse Factorielle des Correspondances entre l'UO et CB du BVZD en 2020
 Légende: FG: Forêt galerie, FCSB: Forêt claire et savane boisée, SASA: Savane arborée et arbustive, FSM: Formation savanicole marécageuse, PT: Plantation, CJ: Champs et Jachères, CB: Classe de biomasse, UO: Unité d'Occupation

tives et précises, a montré des avantages significatifs en termes de précision et de fiabilité des résultats. En effet, la classification supervisée maximise l'utilisation des informations statistiques sur les classes d'objets, réduisant ainsi les erreurs de classification observées avec les arbres de décision. Les travaux de Soro *et al.* (2020) ont souligné l'efficacité de la classification supervisée dans des contextes similaires. De plus, des études comme celles de Hountondji (2008) dans la zone sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest ont montré que cette approche permet de surmonter les limitations associées aux méthodes non supervisées ou semi-supervisées. En combinant des données de terrain précises avec des techniques avancées de classification supervisée, il est possible de produire des cartes d'occupation des sols fiables et utiles pour la gestion environnementale et la planification territoriale.

La dynamique de l'occupation du sol dans le BVZD entre 1991 et 2003 montre une régression des formations naturelles telles que: la forêt galerie, la forêt claire et savane boisée, ainsi que la forêt et savane marécageuse respectivement de 0,83 %, 6,21 % et 2,32 %. Entre 2003 et 2020, on observe que les formations naturelles, telles que la forêt claire et savane boisée, la savane arborée et arbustive, et la forêt et savane marécageuse, ont respectivement régressées de 3,75 %, 29,1 % et 1,68 %. Cette régression de la couverture végétale est la base de la baisse moyenne de 2 901 kg/ha de la biomasse annuelle disponible dans le BVZ. On note une régression de la biomasse annuelle disponible au niveau des unités d'occupation de forêt claire et savane arborée, savane arborée et arbustive et les forêt et savane marécageuses respectivement de 306 kg/ha, 2 376 kg/ha et 137 kg/ha. Ces résultats sont similaires à ceux de Zakari *et al.* (2018) dans la forêt classée des Trois Rivières au nord-est du Bénin. Pour Razafinarivo *et al.* (2016), la baisse de biomasse dépend également de la période de l'année et cela intervient après le mois de mai.

Comprendre la production de biomasse des parcelles sur un vaste territoire permet d'optimiser la gestion des pâturages en tenant compte de la disponibilité en fourrage ainsi que de la localisation et du nombre des animaux. En réponse à la dégradation des pâturages et aux variations spatio-temporelles, la création d'une carte de la biodisponibilité du fourrage fournirait aux acteurs du développement rural des outils pour conseiller les éleveurs face aux pénuries alimentaires.

CONCLUSION

Les résultats montrent que les éleveurs exploitent principalement les zones de plateaux et de vallées, où la disponibilité en eau et en fourrage est assurée. La présence de forages, marigots et barrages joue un rôle crucial dans la localisation des activités d'élevage. Cependant, la réduction des formations naturelles a entraîné une baisse de la productivité de la biomasse, avec une diminution moyenne de 2 901 kg/ha entre 2003 et 2020.

Les prévisions pour 2050 indiquent une dominance continue des savanes arborées et arbustives, des plantations et des champs et jachères, représentant respectivement 40%, 33% et 23% de l'espace du bassin versant. Cette projection souligne la nécessité d'adopter des stratégies de gestion durable des ressources pastorales pour éviter une dégradation supplémentaire des terres et garantir une production suffisante de biomasse pour le bétail.

Les méthodes utilisées, notamment la télédétection et la classification supervisée des images satellitaires, ont montré une efficacité notable, corroborant les résultats d'études similaires et offrant des outils précieux pour la planification et la gestion environnementale.

La gestion durable des pâturages et des ressources en eau dans le bassin versant du Zou est essentielle pour assurer la viabilité des activités pastorales. Des mesures de conservation et de restauration des formations naturelles, ainsi que des pratiques agricoles durables, sont nécessaires pour maintenir et améliorer la production de biomasse, garantissant ainsi la sécurité alimentaire des troupeaux et la résilience des communautés locales face aux changements environnementaux.

RÉFÉRENCES

- Adetona L., Agoïnon N., Orou Kpera B., Vodounou J.B.K., Gnele J.E. (2022). Évolution spatiale de la forêt classée des Monts-Kouffé dans la commune de Bassila, Revue Scientifique. *Annales de l'Université de Parakou-Série Lettres, Arts et Sciences Humaines*, Numéro Spécial 6^{ème} Colloque Scientifique de l'Université de Parakou, pp. 87-102.
- Adetona L., Gbadamassi Fousséni., Vodounou J.B.K., Adigbegnon M. (2020). Apport de la télédétection dans le suivi du site Etoou de Yaoui à Kilibi au Centre-Bénin. *Cahiers du Sicy*, 1: 162-175.
- Amegnaglo K.B., Dourma M., Akpavi S., Diwediga B., Wala K., Batawila K., Djaneye-Boundjou G., Akpagana K. (2018). Biomasse des pâturages de la plaine du mono au Togo: Diversité, valeurs nutritionnelles et fourragère. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, 20: 47-64.
- ANOPER (2014). Situation actuelle de l'élevage et des éleveurs de ruminants au Bénin, 68 p.
- Aplogan C.G.M., Gnele J.E., Koudjega K.H., Vissin W.E. (2020). Dynamique locale et impact des besoins en eau des populations dans le bassin versant du zou à l'exutoire d'atchéribgé au Bénin. *Int. J. Sci. and High Technol.*, 22: 210-218.
- Azalou M., Alassan A.S., Ibrahim A.T. (2017). Typology of cattle herds in transhumance in the municipality of Djidja in Southern Benin. *The Saudi Journal of Life Sciences*, 2: 65-72.
- Biga I., Amani A., Soumana I., Bachir M., Mahamane A. (2020). Dynamique spatio-temporelle de l'occupation des sols des communes de Torodi, Gothèye et Tagazar de la région de Tillabéry au Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14: 949-965.
- CSAO-OCDE/CEDEAO (2008). Élevage et marché régional au Sahel et en Afrique de l'Ouest: Potentialités et défis. Édition: Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest/OCDE, 182 p.
- Diouf A.A., Sarr M.A., Ba T., Taugourdeau S., Dieye A.M., Sy I., Diop A.T. (2017). Évaluation intra-saisonnière de la production fourragère des parcours naturels du Sénégal. Pastoralisme dans le courant des changements globaux: Défis, enjeux, perspectives, CIRAD.
- Djibril H., Toko Imorou I. (2015). Dynamique des formations végétales riveraines et capacité de charge autour de la retenue d'hydraulique pastorale de Dunkassa au Nord-Est du Bénin, *Journal of Animal and Plant Sciences*, 27: 4170-4181.
- Dolédéc S., Chessel D., Olivier J.M. (1995). L'analyse des correspondances décentrée: Application aux peuplements ichtyologiques du Haut-Rhône, Écologie des Eaux Douces et des Grands Fleuves, France. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 336: 29-40.
- FAO (2014). La conduite d'évaluations nationales des aliments pour animaux, par Michael B. Coughenour et Harinder P.S. Makkar. Manuel de Production et de santé Animales FAO 214 p.
- FAO (2016). Revue des filières bétail/viande et lait et des politiques qui les influencent au Bénin, 58 p.
- Fillool E. (2020). Biohydrogenerator: Guide de l'utilisateur. 84 p.
- Honvou S.H.S., Boya Aboh A., Tèka O., Sèwadé C., Gandonou B.C., Oumorou M., Sinsin B. (2022). Modélisation de la dynamique de l'occupation du sol des parcours des transhumants dans la Basse et Moyenne Vallée de l'Ouémé (Bénin). *Sciences et Technologies pour l'Agriculture Durable*, 2: 18-29.

Hountondj Y-C.H. (2008). Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest: Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal. Université de Liège et l'Académie Universitaire Wallonie-Europe, Faculté des Sciences, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, 153 p.

Ibrahim A.T., Yetongnon G.A.D., Akossou A., Djenontin J.A. (2007). Typologie des systèmes d'élevage bovin de la commune de Gogounou au nord-est du Bénin. *Annales des Sciences Agronomiques*, 12: 77-98.

MAEP (2014). Cadre programmatique du secteur agricole, 153 p.

Njeugeut Mbiafeu A.C., Youan T.A.M., Sorokoby V.M., Assoma T.V., Adja M.G., Jourda J.P. (2021). Dynamique d'occupation du sol du bassin versant de la Volta, par la méthode de l'arbre de décision, à partir des images multispectrales de la génération Landsat de 1990 à 2020. *International Journal of Engineering Science Invention*, 10: 34-45.

N'guessan Bi V.H., Kouame A., Youan TA M., Alechy F., Saley M. B., Affian K. (2022). Apport des chaînes de Markov et la méthode Intensity Analysis à la détection et la prévision des changements de l'occupation du sol autour du barrage de Taabo (Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 35: 282-293.

Razafinarivo T.D., Rahetlah V.B., Rakotozandriny J-N., Salgado P., Degenne P. (2017). Développement d'un outil cartographique pour la gestion des ressources pastorales par une approche combinée de télédétection et de modélisation. *Livestock Research for Rural Development*, 29: 13 p.

Razafinarivo D.T., Rahetlah B.V., Rakotozandriny J-N., Salgado P., Lebourgeois V. (2021). L'utilisation de la télédétection pour la classification des zones de pâturage de Tsiroanomandidy (Madagascar) via l'algorithme «Random Forest». Actes du forum de la recherche 5^{ème} édition à Fianarantsoa, pp. 88-95.

Sib O., Gonzalez-Garcia E., Bougouma-Yameogo V.M.C., Blanchard M., Vall E. (2020). Co-conception, installation et évaluation de banques fourragères arbustives pour l'alimentation des vaches laitières dans l'ouest du Burkina Faso. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 73: 27-35.

Sounon Kon'de A.L.S., Lesse P., Ickowicz A., Messad S., Houinato M., Mensah G.A. (2019). Évolutions des systèmes d'élevage bovin au nord-ouest du Bénin. *Bulletin de la recherche Agronomique du Bénin*, Numéro spécial Interdisciplinaire, pp. 22-29.

Soro G., Ahoussi E.K., Kouadio E.K., Soro T.D., Oulare S., Saley M.B., Soro N., Biemi J. (2014). Apport de la télédétection à la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire). *Afrique Science*, 10:146-160.

Traore E.H., Fall C.A., Dia D., Barde D.J., Ndao S., Sall C. (2020). Ressources fourragères, affouragement et pâturage dans le Sud et à l'Est du Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14: 940-948.

Zakari S., Toko Imorou I. Omer A. B. T., Djaouga M., Arouna O., (2018). Application de la télédétection et du sig au suivi des formations végétales de la forêt classée des Trois Rivières Au Nord-Est Du Bénin. *European Scientific Journal*, 14: 450-469.