

MODIFICATIONS DU PAYSAGE ET CARACTÉRISTIQUES DES EAUX DE SURFACE DE LA HAUTE VALLÉE DE L'OUÉMÉ SUPÉRIEUR SUR LA PÉRIODE DE 1994 À 2023

**Mahugnon Joseph KIKI^{1*}, Adoté Hervé Gildas AKUESON^{1,2}
et Arcadius Yves Justin AKOSSOU¹**

¹ Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Laboratoire d'Etudes et de Recherches Forestières (LERF), Unité de Statistiques Appliquées et d'Informatique (USIA), BP 123, Parakou, Bénin

² Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire Valéry Giscard d'Estaing de Faranah (ISAV-VGE/F), BP131, Faranah, République de Guinée

(reçu le 20 Mars 2026; accepté le 11 Mai 2026)

* Correspondance, e-mail : kmahugnon@gmail.com

RÉSUMÉ

Cette étude a pour objectif d'apprécier les modifications du paysage et les caractéristiques des eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur sur la période de 1994 à 2023. La méthode des enquêtes semi structurée a été utilisée auprès des agriculteurs, exploitants forestiers et éleveurs pour recueillir les informations suivant le gradient principal dans les communes de Copargo, Djougou, Tchaourou et Parakou. Au total, 335 acteurs ont été questionnés. Le test exact de Fisher, le test de Kruskal au seuil de significativité ($p < 0,05$) puis les histogrammes ont été réalisés avec le logiciel R version 4.4.2. L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et la Classification Ascendante Hiérarchisée (CAH) ont été réalisées. Une étude diachronique sur les modifications du paysage et les caractéristiques des eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur sur la période de 1994, 2003, 2013 et 2023 a été réalisée. Les résultats sur les caractéristiques sociodémographiques des acteurs concernés montrent que les changements du paysage agricole ($p = 0,0361$), la dégradation de la végétation ($p = 0,0168$), la qualité des eaux de surface ($p = 0,0050$), l'inondation ($p = 0,0001$), les espèces aquatiques ($p = 0,0128$) et l'acidité ($p = 6.8.10^{-9}$) sont significatives le long du bassin. La savane arborée et arbustive (576397,61 ha à 193299,31 ha) puis la forêt claire et savane boisée (199427,16 ha à 11423,66 ha) ont des tendances régressives très significatives. Par conséquent, le bassin versant de l'Ouémé supérieur à l'exutoire de Bétérou est soumis à une forte pression humaine.

Mots-clés : *modification du paysage, dynamique, occupation de sol, Ouémé supérieur, Bétérou.*

ABSTRACT

Changes in the landscape and characteristics of surface waters in the upper Ouémé valley from 1994 to 2023

The objective of this study is to examine changes in the landscape and the characteristics of surface water in the upper Ouémé Valley over the period from 1994 to 2023. Semi-structured interviews with stakeholders-including farmers, foresters, and livestock breeders-were conducted to collect data along the main gradient in the municipalities of Copargo, Djougou, Tchaourou, and Parakou. A total of 335 stakeholders were interviewed. Fisher's exact test, Kruskal test at a significance level ($p < 0.05$), and histograms were performed using R software version 4.4.2. Canonical Correspondence Analysis (CCA) and Ascending Hierarchical Classification (AHC) were conducted. A diachronic study on landscape changes and the characteristics of surface waters in the upper Ouémé Valley over the period 1994, 2003, 2013, and 2023 was conducted. Results regarding the sociodemographic characteristics of the stakeholders involved changes in the agricultural landscape ($p = 0.0361$), vegetation degradation ($p = 0.0168$), surface water quality ($p = 0.0050$), flooding ($p = 0.0001$), aquatic species ($p = 0.0128$) and acidity ($p = 6.8 \times 10^{-9}$) are significant along the basin. The tree and shrub savanna (576,397.61 ha to 193,299.31 ha) and the open forest and wooded savanna (199,427.16 ha to 11,423.66 ha) show very significant declining trends. Consequently, the Upper Ouémé watershed at the Bétérou outlet is subject to intense human pressure.

Keywords : *Landscape modification, dynamics, land use, Upper Ouémé, Bétérou.*

I - INTRODUCTION

L'influence des modes d'utilisation des terres sur la qualité de l'eau et des cours d'eau dépendent de l'échelle dans l'espace et dans le temps [1, 2]. Les facteurs naturels et anthropogéniques interagissent pour influencer la qualité de l'eau des cours d'eau, notamment le changement climatique, les caractéristiques de la végétation, la texture du sol, l'utilisation des terres et les rejets de polluants [3 - 5]. Au Bénin, la dégradation du paysage par les actes de l'homme provoque des changements dans la structure du paysage [6, 7]. Effectivement, les changements démographiques exercent d'importantes contraintes sur les formations naturelles qui se détériorent considérablement [8]. Les gestionnaires des zones humides et les décideurs politiques doivent prendre des décisions fondées sur une bonne compréhension scientifique des fonctions hydrologiques et écologiques des zones humides [9, 10]. En outre, le Bénin, dont la couverture est seulement de 0,40 %, connaît une déforestation annuelle

de 1,06 % [11]. L'agriculture, surtout dans le nord du Bénin, a des conséquences directes sur l'utilisation du sol et la structure du paysage [12]. Les modes d'utilisation des sols influencent la qualité de l'eau des cours d'eau en affectant le processus de pollution diffuse [13]. Les visions paysannes du changement climatique varient considérablement dans les communautés rurales et prennent en considération les convictions de chaque individu, bien que certaines apparaissent comme la majorité des points de vue [14, 15]. Par ailleurs, l'imagerie par satellite est essentielle pour la caractérisation et la planification des écosystèmes [16]. Dans le cadre de la politique de gestion durable des ressources hydriques, il est primordial d'anticiper les dangers liés à la pollution et de préserver ces ressources [17, 18]. Cette recherche a pour but d'analyser les changements de paysage et les caractéristiques des eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur sur la période de 1994 à 2023. Cela permettra d'appréhender en premier temps les diverses activités et leurs effets sur l'environnement à travers les caractéristiques sociodémographiques des acteurs concernés puis de dresser une cartographie basée sur des images satellitaires des transformations du paysage végétal au fil du temps dans une étude diachronique.

II - MÉTHODOLOGIE

II-1. Zone d'étude

Située entre les parallèles 9°11' et 10°13' latitude Nord et les méridiens 1°31' et 2°48' longitude Est, le bassin versant de Bétérou dont l'exutoire à Bétérou est encore appelé la haute vallée de l'Ouémé supérieur. Les inondations et les sécheresses sont les risques majeurs qui affectent la quasi-totalité population du pays [19]. Il convient de retenir que depuis la fin des années 1960, la haute vallée de l'Ouémé supérieur a connu des perturbations notamment climatiques qui se sont traduites par une diminution de l'amplitude annuelle [20]. Par ailleurs, des observations ponctuelles montrent des aggravations de sécheresse qui ont eu lieu durant cette même période, en particulier dans les années 1970 et 1980. La **Figure 1** montre la situation géographique de l'exutoire de Bétérou et ses affluents.

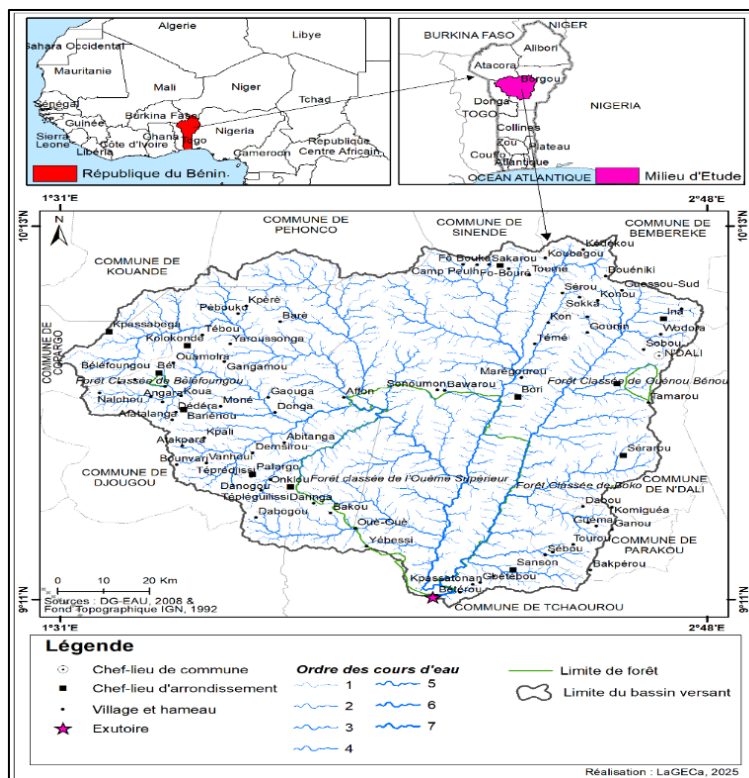


Figure 1 : Situation géographique de l'exutoire de la haute vallée de l'Ouémé supérieur et ses affluents

II-2. Taille de l'échantillonnage

La **Formule** de [21] a servi à déterminer la taille des acteurs concernés qui ont été interrogés au sein des communes le long du gradient principal de la haute vallée de l'Ouémé supérieur. Le gradient principal a été pris en compte à travers les communes de Copargo, Djougou, Tchaourou et Parakou.

$$n = z^2 * p (1 - p) / m^2 \quad (1)$$

n = Taille de la population ; $z = 1,96$: Valeur critique pour un intervalle de confiance de 95% ; $p = 0,68\%$: Proportion estimée ; $m = 0,05$: Marge d'erreur **$n = 335$**

Par conséquent, la taille minimale des acteurs enquêtés est 335. Le **Tableau 1** montre l'effectif des enquêtés par commune.

Tableau 1 : Effectif des enquêtes par commune d'étude

N°	Communes	Exploitations agricoles	Tailles des acteurs	Nombres d'enquêtés
1	Copargo	38 097	9,8	107
2	Djougou	140 265	7,9	87
3	Tchaourou	109 365	7,4	81
4	Parakou	150 323	5,5	60
Total		438 050	30,6	335

Source : [22] et prospection du terrain

II-3. Méthodes d'analyses

La méthode des enquêtes semi structurée auprès des acteurs [23] a été utilisée pour recueillir les informations dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur suivant le gradient principal (Copargo, Djougou, Tchaourou et Parakou). L'enquête comprend des questions ouvertes, des questions semi-ouvertes et des questions fermées. Certaines réponses ont été vérifiées par une observation directe sur le processus d'exploitation. En somme, il a été interrogé 335 acteurs à raison de 107 dans la commune de Copargo, 87 dans la commune de Djougou, 81 dans la commune de Tchaourou et 60 dans la commune de Parakou. La statistique descriptive a été réalisée pour les caractéristiques sociodémographiques des acteurs enquêtés. Le test exact de Fisher et le test de Kruskal au seuil de significativité ($p < 0,05$) ont été réalisés dans le logiciel R version 4.4.2. Les histogrammes ont été réalisés dans le logiciel R version 4.4.2. pour l'occupation des terres agricoles dans la basse vallée de l'Ouémé supérieur, les principales sources d'eau et les superficies agricoles emblavées. Une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été réalisée dans le logiciel R version 4.4.2. afin d'établir la relation entre les types de cultures pratiquées et les changements paysagers. Enfin, la Classification Ascendante Hiérarchisée (CAH) a été réalisée pour la qualité des eaux de surface et la dégradation du couvert végétale.

II-4. Technique de réalisation des différentes cartes d'état de surface

Pour cette étude, quatre cartes d'occupation du sol (1994, 2003, 2013 et 2023) ont été réalisées à partir de l'interprétation des photographies aériennes de la mission ASTER GDEM de 1994, 2003, 2013 et 2023 à l'échelle de 1/100 000.

II-5. Détermination des types d'occupation du sol

La détermination des types d'occupation du sol du bassin de l'Ouémé à l'exutoire de Bétérou est faite par extraction des valeurs des NDVI de la base des NDVI du Bénin. Le processus d'extraction comprend les étapes suivantes : la

superposition des différentes cartes d'occupation du sol (1994, 2003, 2013 et 2023), l'identification par des carrés des types d'occupation du sol et leur évolution dans le temps, et la prise des coordonnées (UTM) des différents carrés identifiés sur la carte de 1994.

II-6. Cartographie des minutes d'interprétation

Les minutes d'interprétation, obtenues à l'issue des travaux d'interprétation des photographies aériennes et des images satellites, ont fait l'objet de numérisation et de digitalisation après leur insertion dans le référentiel mondial (WGS 84, zone 31N).

II-7. Calcul du rythme d'évolution des unités d'occupation des terres

Il permet d'apprécier l'évolution des unités d'occupation du sol à différentes périodes. Soit :

- U-1994 la superficie d'une unité d'occupation des terres en 1994 (U1)
- U-2003 la superficie de la même unité en 2003 (U2) et ΔU , la variation de la superficie de cette unité d'occupation des terres entre 1994 et 2003. $\Delta U = U2 - U1$
- U-2013 la superficie de la même unité en 2013 (U3) et ΔU , la variation de la superficie de cette unité d'occupation des terres entre 2003 et 2013. $\Delta U = U3 - U2$
- U-2023 la superficie de la même unité en 2023 (U4) et ΔU , la variation de la superficie de cette unité d'occupation des terres entre 2013 et 2023. $\Delta U = U4 - U3$

Si $\Delta U = 0$, on conclut ainsi qu'il y a stabilité ;

Si $\Delta U < 0$, on conclut qu'il y a alors une diminution de cette unité ;

Si $\Delta U > 0$, il y a donc extension de cette unité.

Pour la végétation naturelle, il faut retenir que l'évolution sera considérée comme régressive en cas de diminution et progressive en cas d'extension.

II-8. Analyse et l'interprétation des données

Elles portent sur la dynamique spatio-temporelle. Elles cherchent à identifier les impacts positifs et négatifs découlant des différentes utilisations des ressources naturelles. On se sert des images aériennes, des photos satellites et des cartes d'usage du sol comme produits de télédétection. Le GPS est employé pour la collecte de données de localisation et le logiciel Arc-View 10.1 est utilisé en tant que système d'information géographique (SIG).

II-9. Méthode de traitement des données planimétriques

Le CENATEL a effectué le traitement des images. L'intégration des informations obtenues à partir des documents planimétriques et du terrain a donné lieu à l'élaboration des cartes d'utilisation des sols pour les années 1994, 2003, 2013 et 2023. Le **Tableau 2** fournit la légende pour l'interprétation des images.

Tableau 2 : Clé d'interprétation des images

Code	Forme	Tonalité	Identification
1	Irrégulière	Rouge vif	Forêt claire
2	Sinueuse	Rouge vif	Galerie forestière
3	Régulière	Rouge modéré	Savane boisée
4	Irrégulière	Rouge pâle	Savane arborée
5	Régulière	Vert parcouru de fines traces rouges	Savane arbustive
6	Effilée	Bleue	Cours d'eau

III - RÉSULTATS

III-1. Caractéristiques sociodémographiques des acteurs

Les deux sexes (masculin et féminin) ont été identifiés comme composantes de la population des différents acteurs (agriculteurs, exploitants forestiers et éleveurs) à Copargo, Djougou, Parakou et Tchaourou avec une forte significativité ($p = 1.10^{-9}$) entre les deux variables. La majorité des acteurs ont une classe d'âge comprise entre 30 et 39 ans. Les variables sont indépendantes l'une de l'autre et non significatives ($p = 0,406$). Par ailleurs, le niveau d'instruction et la profession principale montrent que la majorité des acteurs impliqués ont le niveau primaire, dont les variables sont indépendantes l'une de l'autre et non significatives ($p = 0,391$). Enfin, pour la disponibilité de l'eau, il y a une différence significative ($p = 0,0006$) au niveau des différents acteurs enquêtés. Le **Tableau 3** montre les caractéristiques sociodémographiques des acteurs enquêtés.

Tableau 3 : Caractéristiques sociodémographiques des acteurs enquêtés

Variables	Caractéristiques sociodémographiques (en%)					Tests statistiques	
	Modalités	Copargo	Djoungou	Parakou	Tchaourou	Pr > F	Kruskal-Wallis
Sexe	Homme	49,5	83,9	48,3	81,5	1.10⁻⁹	-
	Femme	50,5	14,9	51,7	18,5		
	Total	100,0	100,0	100,0	100,0		
Classe d'âge	Moins de 20 ans	2,9	1,1	0,0	0,0	0,406	
	20-29 ans	28,0	19,8	45,0	9,8		
	30-39 ans	51,4	56,2	28,3	56,8		
	40-49 ans	16,8	19,5	21,7	27,2		
	50 ans et plus	0,9	3,4	5,0	6,2		
	Total	100,0	100,0	100,0	100,0		
Niveau d'instruction	Aucun	47,7	42,5	25	14,8	0,391	
	Primaire	33,6	28,8	45	51,9		
	Secondaire	18,7	19,5	26,7	21,0		
	Universitaire	0,0	9,2	3,3	12,3		
	Total	100,0	100,0	100,0	100,0		
Profession principale	Agriculteurs	81,3	82,8	58,3	80,2	0.391	
	Eleveurs	10,3	6,9	20	8,6		
	Exploitants	1,9	6,9	3,3	3,8		
	forestiers	5,6	3,4	18,4	7,4		
	Autres	100,0	100,0	100,0	100,0		
	Total	100,0	100,0	100,0	100,0		
Disponibilité de l'eau	Oui	96,3	100,0	91,7	85,2	6.10⁻⁴	-
	Non	3,7	0,0	8,3	14,8		
	Total	100,0	100,0	100,0	100,0		

III-2. Occupations des terres agricoles dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur

Dans le bassin versant à l'exutoire de Bétérou, plus de 83,88 % des acteurs impliqués vivent dans ses milieux depuis plus de 10 ans pour des raisons des terres cultivables et fertiles. Environ 11,34 % occupent ses terres entre 5 ans à 10 ans et 4,18 % pour des occupations des terres de moins de 5 ans. La **Figure 2** montre les occupations des différents acteurs impliqués dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur.

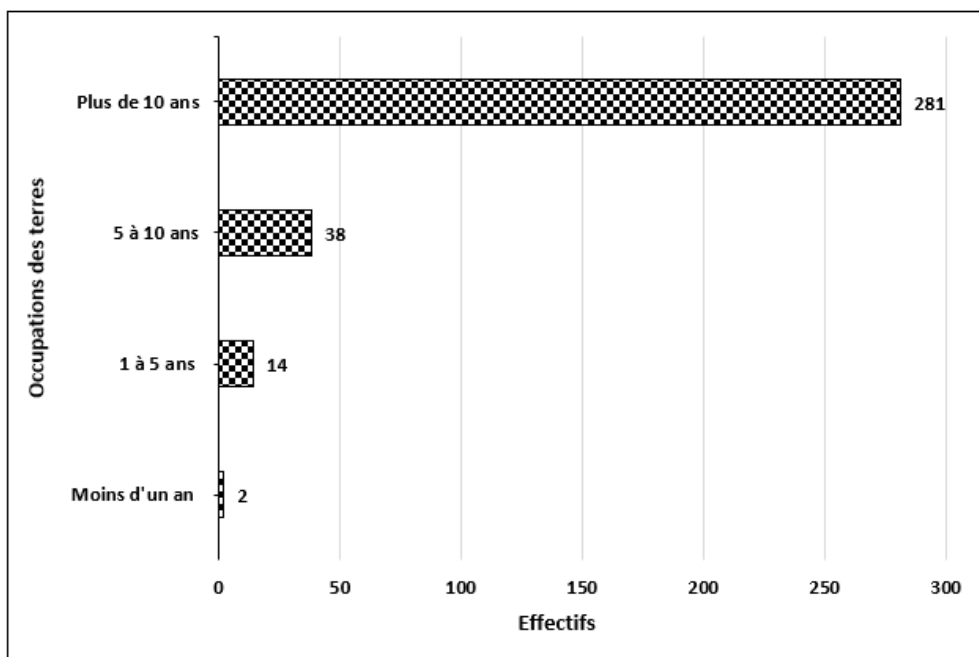


Figure 2 : *Occupations des terres agricoles dans le bassin versant de Bétérou*

III-3. Types de cultures et les changements paysagers

Afin de décrire les relations entre les types de cultures pratiquées et les changements paysagers, une analyse factorielle des correspondances simple a été réalisée dans le logiciel R .4.4.2. Les résultats de cette analyse indiquent que les deux premiers axes factoriels expliquent à 91,96 % les variations, ce qui garantit une excellente qualité d'interprétation. L'analyse de contribution, dont la qualité de représentation, montre que les cultures céréalières et les cultures pérennes provoquent la déforestation et l'expansion des surfaces cultivées. Par ailleurs, les cultures des légumineuses et des tubercules montrent une reconstitution du paysage à travers le reboisement. Les cultures maraîchères actionnent dans l'érosion des sols. Cela reflète ainsi, la modification du paysage à travers l'action des hommes sur l'environnement. La **Figure 3** montre les types des cultures pratiquées et les changements paysagers.

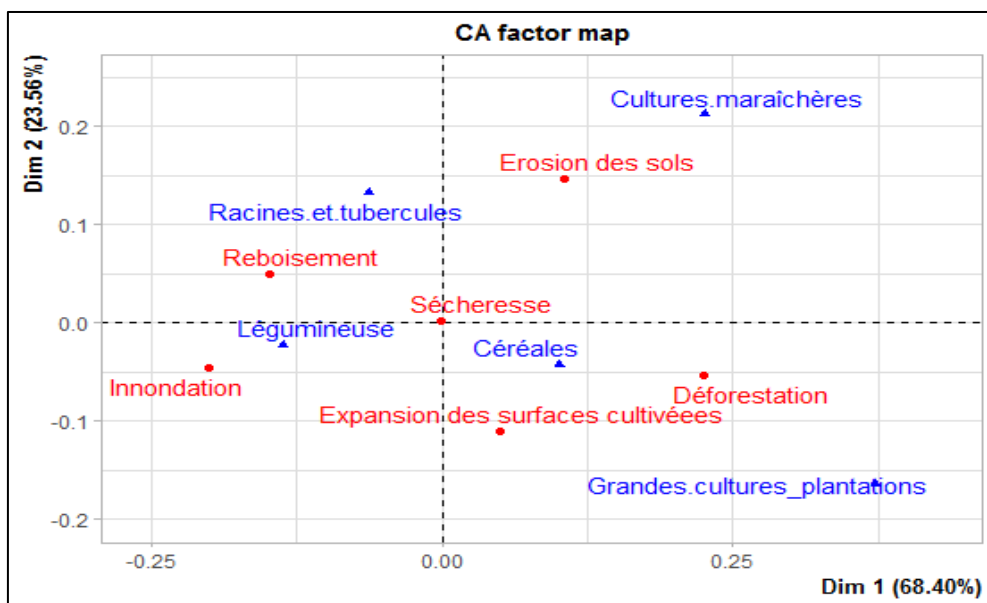


Figure 3 : *Les types des cultures et les changements paysagers*

III-4. Principales sources d'eau et les superficies agricoles emblavées

Les principales sources d'eau pour les acteurs sont les eaux de pluie (66,5%) dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur, ensuite les eaux de surface (29,0%) à travers les rivières et les retenues d'eau. Par ailleurs, les eaux souterraines (4,5%) dont les puits et les forages montrent un taux très faible au sein des acteurs impliqués. Indéniablement, les superficies agricoles emblavées sont à 79,0% pour 1 à 5 hectares, 19,1% pour moins de 1 hectare, 7,2% pour 5 à 10 hectares et 1,8% pour plus de 10 hectares. La **Figure 4** montre les principales sources d'eau et les superficies agricoles emblavées dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur.

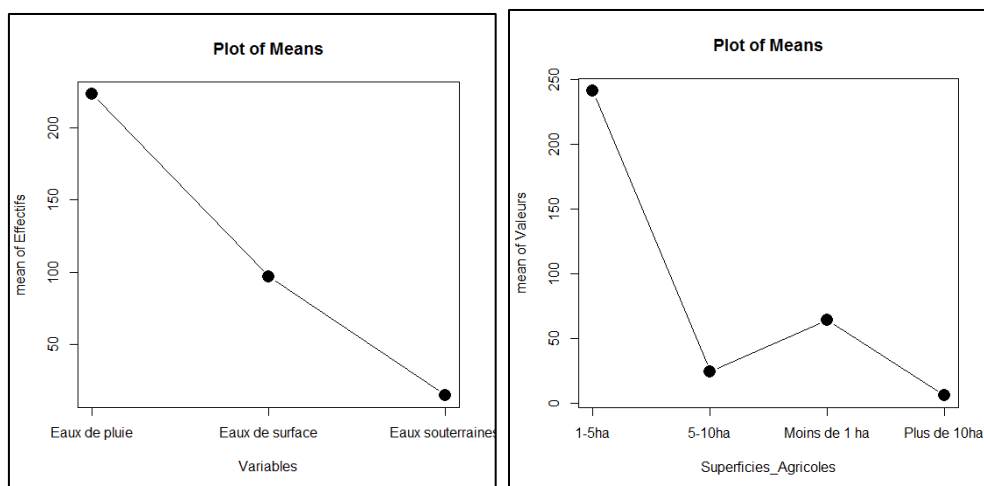


Figure 4 : Principales sources d'eau et les superficies agricoles emblavées

III-5. Perception sur la variation du paysage (éléments observables) entre 1994 à 2023

La haute vallée de l'Ouémé supérieur, dans son gradient longitudinale (communes de Copargo, Djougou, Parakou et Tchaourou), montre des changements du paysage agricole ($p = 0,0361$) au cours des 30 dernières années. La dégradation de la végétation ($p = 0,0168$) est très bien remarquable dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur. Relativement à la sécheresse ($p = 0,1183$), il n'y pas une différence significative sous l'effet du réchauffement climatique dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur. Par ailleurs, des changements visuels ont été observés au niveau de la qualité des eaux de surface ($p = 0,0050$) par les différents ménages agricoles. Aucun changement n'a été observé pour le débit ($p = 0,1102$) des différentes rivières dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur. De même, l'inondation ($p = 0,0001$) a fait l'objet d'un phénomène observable entre 1994 à 2023. Pour la température des eaux de surface ($p = 0,0928$), il a été constaté qu'il n'y a pas un grand changement tandis que les espèces aquatiques ($p = 0,0128$) présentes dans ses rivières font l'objet d'eutrophisation des eaux de surface. Bien que l'acidité (pH) des eaux de surface n'a pas été préalablement analysée par des appareils, les acteurs ont confirmé l'état acide de ses eaux de surface avec une forte différence significative ($p = 6.8.10^{-9}$) dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur. Le **Tableau 4** montre la perception sur la variation du paysage et propriété des eaux de surface entre 1994 à 2023.

Tableau 4 : Perception sur la variation du paysage et les propriétés des eaux de surface entre 1994 à 2023

Variables	Perceptions sur les changements observés : Période de 1994 à 2023								
	Modalités	Copargo	Djougou	Parakou	Tchaourou	Total	Pr >	F	
Paysage agricole	Oui	0	0	0,3	0,9	1,2	0,0361		
	Non	32,2	26	17,6	23	98,8			
	Total	32,2	26	17,9	23,9	100			
Dégradation de végétation	Oui	6,9	1,8	1,5	3,6	13,7	0,0168		
	Non	25,4	24,2	16,4	20,3	86,3			
	Total	32,2	26	17,9	23,9	100			
Sécheresse	Oui	3,9	0,9	0,9	1,8	7,5	0,1183		
	Non	27,7	25,3	17,2	22,3	92,5			
	Total	31,6	26,2	18,1	24,1	100			
Qualité des eaux de surface	Oui	6	2,4	3,3	0,9	12,6	0,0050		
	Non	26,3	23,4	14,7	23,1	87,4			
	Total	32,3	25,7	18	24	100			
Débit des rivières	Oui	0,3	1,2	0,9	1,8	4,2	0,1102		
	Non	31,9	24,8	17	22,1	95,8			
	Total	32,2	26	17,9	23,9	100			
Inondations	Oui	24,3	18,9	17,4	16,8	77,5	0,0001		
	Non	7,5	7,2	0,6	7,2	22,5			
	Total	31,8	26,1	18	24	100			
Température des eaux de surface	Oui	19,9	15,7	7,9	14,2	57,7	0,0928		
	Non	11,8	10,3	10,3	10	42,3			
	Total	31,7	26	18,1	24,2	100			
Espèces aquatiques	Oui	6,6	5,1	0,9	2,4	14,9	0,0128		
	Non	25,7	20,9	17	21,5	85,1			
	Total	32,2	26	17,9	23,9	100			
Acidité (pH) des eaux de surface	Oui	26,2	23,8	10,2	13,6	73,8	6,8.10 ⁻⁹		
	Non	5,4	2,4	7,8	10,5	26,2			
	Total	31,6	26,2	18,1	24,1	100			

III-6. Liaison entre la qualité des eaux de surface et la dégradation du couvert végétale

Une classification hiérarchique ascendante a été réalisée pour établir la liaison entre la qualité des eaux de surface et la dégradation du couvert végétale. Trois classes distinctes font l'objet de cette classification. La première classe montre une augmentation des activités agricoles sous l'influence des changements climatiques pouvant détruire la qualité physico-chimique des eaux de surface. La deuxième classe montre que la pollution industrielle n'est pas la cause majeure de la pollution des eaux de surface, car elle rend légèrement trouble les eaux de surface dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur. La troisième

classe relative à la conservation de l'environnement, c'est-à-dire la protection du couvert végétale et la pratique de l'agriculture biologique, diminue la pollution et la contamination des eaux de surface. La **Figure 5** montre la liaison entre la qualité des eaux de surface et la dégradation du couvert végétale.

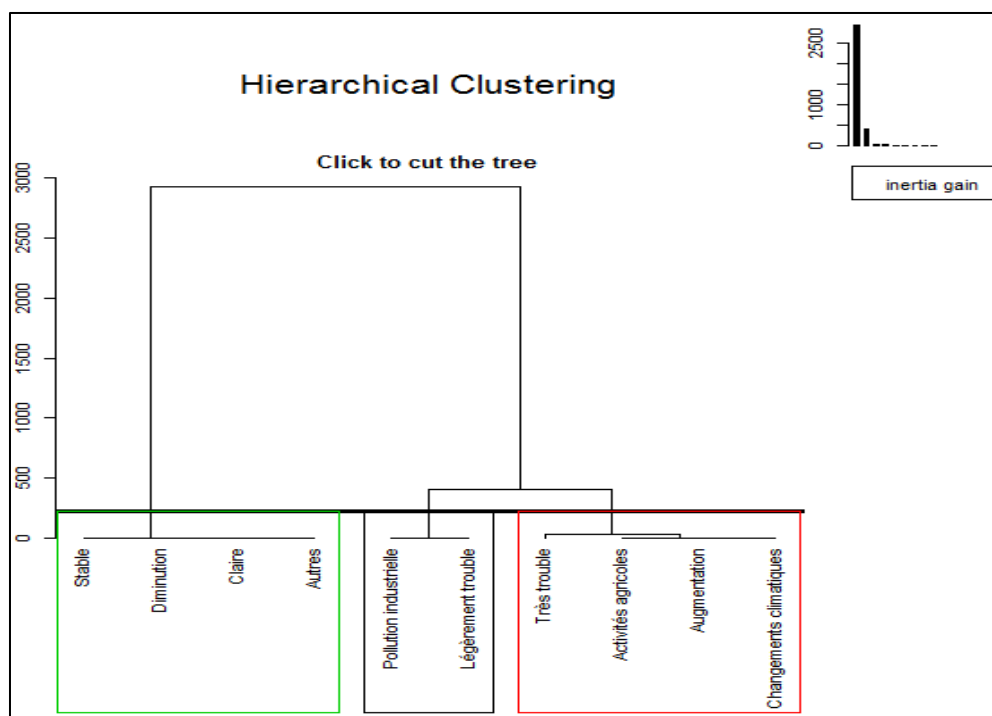


Figure 5 : *Qualité des eaux de surface et la dégradation du couvert végétale*

III-7. Unités d'occupation du sol entre 1994, 2003, 2013 et 2023

Le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bétérou est constamment soumis à une pression humaine. Les recherches indiquent que l'agriculture, l'élevage itinérant, les feux de végétation et le braconnage forestier sont les principales causes de la détérioration environnementale. En 1994, il est observé une prédominance de la savane arborée et arbustive (57,16 %) qui sont repartis dans le bassin. Viennent ensuite, la mosaïque de champ et de jachère (22,32 %), la forêt claire et la savane boisée (19,78 %). La forêt galerie (0,69 %) est aussi observable dans le bassin versant de Bétérou de même que les plans d'eau (0,50 %) et l'agglomération (0,01 %). De même, en 2003, la savane arborée et arbustive (50,04 %) est en prédominance. La mosaïque de champ et de jachère (29,63 %) vient en seconde position et est répandue également dans tout le bassin. Ensuite, la forêt claire et la savane boisée (20,19 %), la forêt galerie (0,11 %), l'agglomération (0,02 %) et les plans d'eau

(0,01 %) sont observables dans le bassin. Dans les années 2013, les étendues de la savane arborée et arbustive (58,82 %) prédominent également dans le bassin. La mosaïque de champ et jachère (37,10 %) vient en deuxième place. La forêt claire et savane boisée (3,57 %), la forêt galerie (0,31 %), les plans d'eau (0,02) et l'agglomération (0,17 %) sont observables. Par contre, en 2023, les étendues de la mosaïque de champ et jachère (78,22 %) prédominent dans le bassin versant de Bétérou au détriment de la savane arborée et arbustive (19,17 %). La forêt claire et savane boisée (1,13 %), la forêt galerie (0,98 %), l'agglomération (0,44 %) et les plans d'eau (0,06 %) sont observables dans le bassin. Ainsi, l'anthropisation dans le milieu naturel est très forte compte tenue de la proportion élevée de la mosaïque de champ et jachère. La **Figure 6** montre les unités d'occupation du sol entre 1994, 2003, 2013 et 2023.

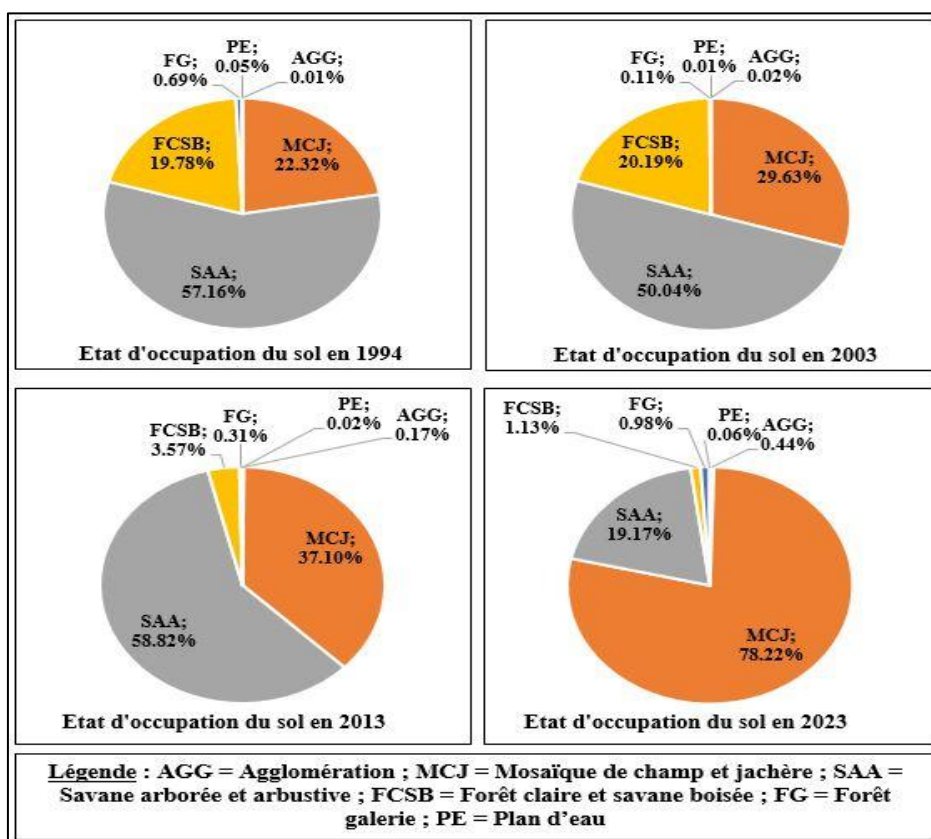


Figure 6 : Unités d'occupation du sol entre 1994, 2003, 2013 et 2023

III-8. Dynamique de l'occupation du sol entre 1994 et 2003

Les unités d'occupation du sol telles que l'agglomération, la mosaïque de champ et jachère puis la forêt claire et savane boisée ont connu une progression

estimée à 77919,81 ha soit 7,72 % de la superficie totale du bassin versant de Bétérou. Il y a donc extension de ces unités. Ainsi, les activités anthropiques augmentent aux dépens des formations naturelles. Par contre, la savane arborée et arbustive, la forêt galerie puis les plans d'eau ont connu une régression. Il y a donc une diminution de ces unités. Le **Tableau 5** montre l'évolution des unités de l'occupation du sol entre 1994 et 2003 puis la **Figure 7** montre la modification des unités d'occupation du sol entre 1994 et 2003.

Tableau 5 : Évolution des unités de l'occupation du sol entre 1994 et 2003

Unités de l'occupation du sol	1994		2003		Progression (1994-2003)	Régression (1994-2003)
	ha	%	ha	%	ha	ha
Agglomération	103,02	0,01	152,87	0,02	49,86	-
Mosaïque de champ et jachère	225105,77	22,32	298817,78	29,63	73712,01	-
Savane arborée et arbustive	576397,61	57,16	504642,30	50,04	-	-71755,31
Forêt claire et savane boisée	199427,16	19,78	203585,10	20,19	4157,94	-
Forêt galerie	6966,18	0,69	1135,16	0,11	-	-5831,01
Plan d'eau	463,97	0,05	130,48	0,01	-	-333,48
Total	1008463,70	100,00	1008463,70	100,00		

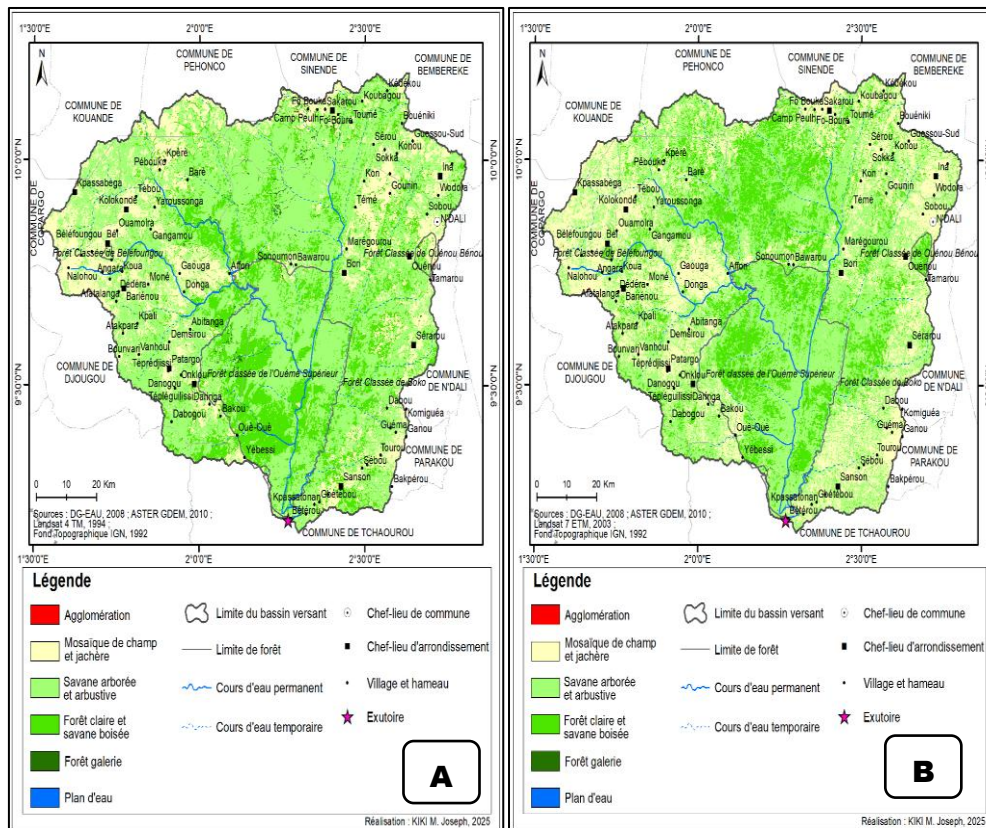


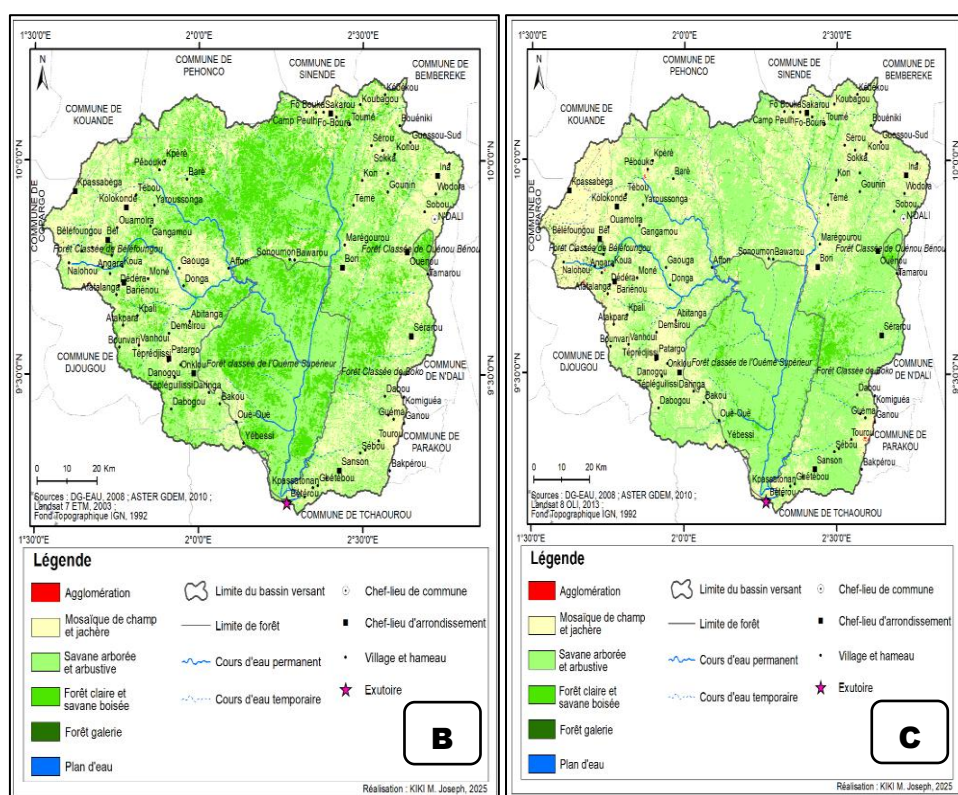
Figure 7 : Modification des unités d'occupation du sol entre 1994 et 2003

III-9. Dynamique de l'occupation du sol entre 2003 et 2013

Les unités d'occupation du sol, telles que l'agglomération, la mosaïque de champ et jachère, la savane arborée et arbustive, la forêt galerie et les plans d'eau ont connu une progression estimée à 167574,8 ha, soit 16,61 % de la superficie totale du bassin versant de Bétérou. Il y a donc extension de ces unités. Ainsi, les activités anthropiques augmentent aux dépens des formations naturelles. Contrairement à la forêt claire et savane boisée, une régression a été enregistrée. Il y a donc une diminution de ces unités. Le **Tableau 6** montre l'évolution des unités de l'occupation du sol entre 2003 et 2013 puis la **Figure 8** montre la modification des unités d'occupation du sol entre 2003 et 2013.

Tableau 6 : Évolution des unités de l'occupation du sol entre 2003 et 2013

Unités de l'occupation du sol	2003		2013		Progression (2003-2013)	Régression (2003-2013)
	ha	%	ha	%	ha	ha
Agglomération	152,87	0,02	1760,63	0,17	1607,75	-
Mosaïque de champ et jachère	298817,78	29,63	374180,65	37,10	75362,88	-
Savane arborée et arbustive	504642,30	50,04	593201,34	58,82	88559,04	-
Forêt claire et savane boisée	203585,10	20,19	36010,30	3,57	-	-167574,80
Forêt galerie	1135,16	0,11	3090,02	0,31	1954,86	-
Plan d'eau	130,48	0,01	220,75	0,02	90,27	-
Total	1008463,70	100,00	1008463,70	100,00		

**Figure 8 : Modification des unités d'occupation du sol entre 2003 et 2013**

III-10. Dynamique de l'occupation du sol entre 2013 et 2023

Les unités d'occupation du sol, telles que l'agglomération, la mosaïque de champ et jachère, la forêt galerie et les plans d'eau ont connu une progression

estimée à 424488,69 ha, soit 42,09 % de la superficie totale du bassin versant de Bétérou. Il y a donc extension de ces unités. Ainsi, les activités anthropiques augmentent aux dépens des formations naturelles. Pourtant, la savane arborée et arbustive et puis la forêt claire et savane boisée ont connu une régression. Ainsi, il y a une diminution de ces unités. Le **Tableau 7** montre l'évolution des unités de l'occupation du sol entre 2013 et 2023 puis la **Figure 9** montre la modification des unités d'occupation du sol entre 2013 et 2023.

Tableau 7 : Évolution des unités de l'occupation du sol entre 2013 et 2023

Unités de l'occupation du sol	2013		2023		Progression (2013-2023)	Régression (2013-2023)
	ha	%	ha	%	ha	ha
Agglomération	1760,63	0,17	4407,59	0,44	2646,97	-
Mosaïque de champ et jachère	374180,65	37,10	788846,98	78,22	414666,33	-
Savane arborée et arbustive	593201,34	58,82	193299,31	19,17	-	-399902,04
Forêt claire et savane boisée	36010,30	3,57	11423,66	1,13	-	-24586,64
Forêt galerie	3090,02	0,31	9927,55	0,98	6837,53	-
Plan d'eau	220,75	0,02	558,61	0,06	337,86	-
Total	1008463,70	100,00	1008463,70	100,00		

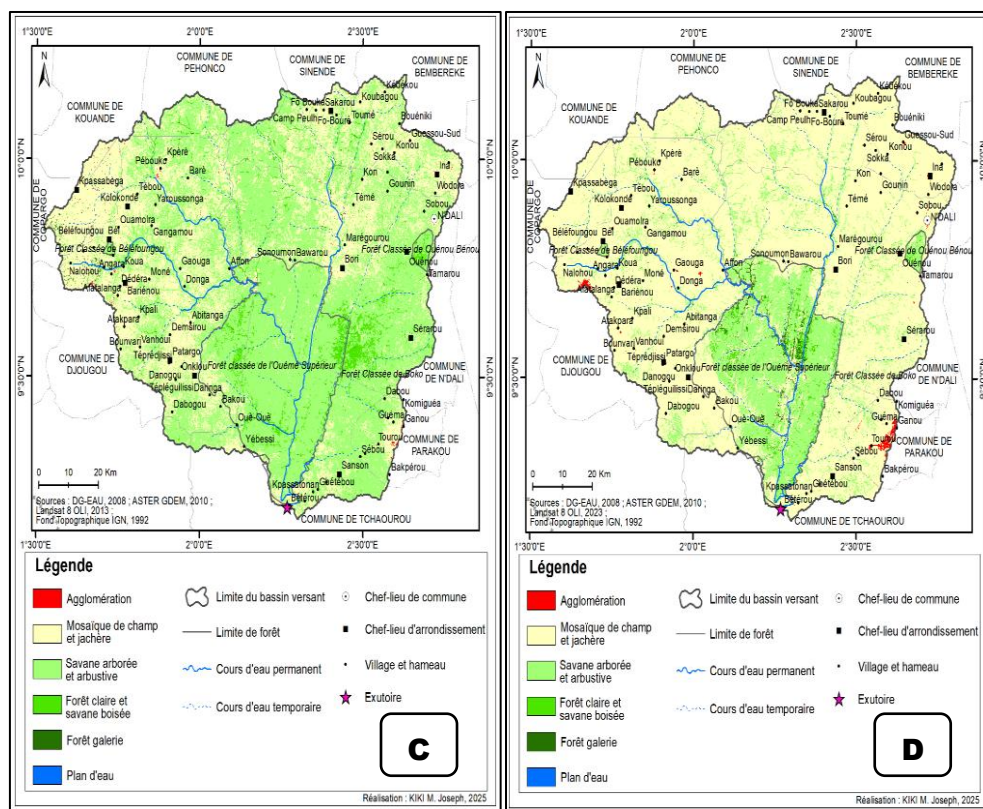


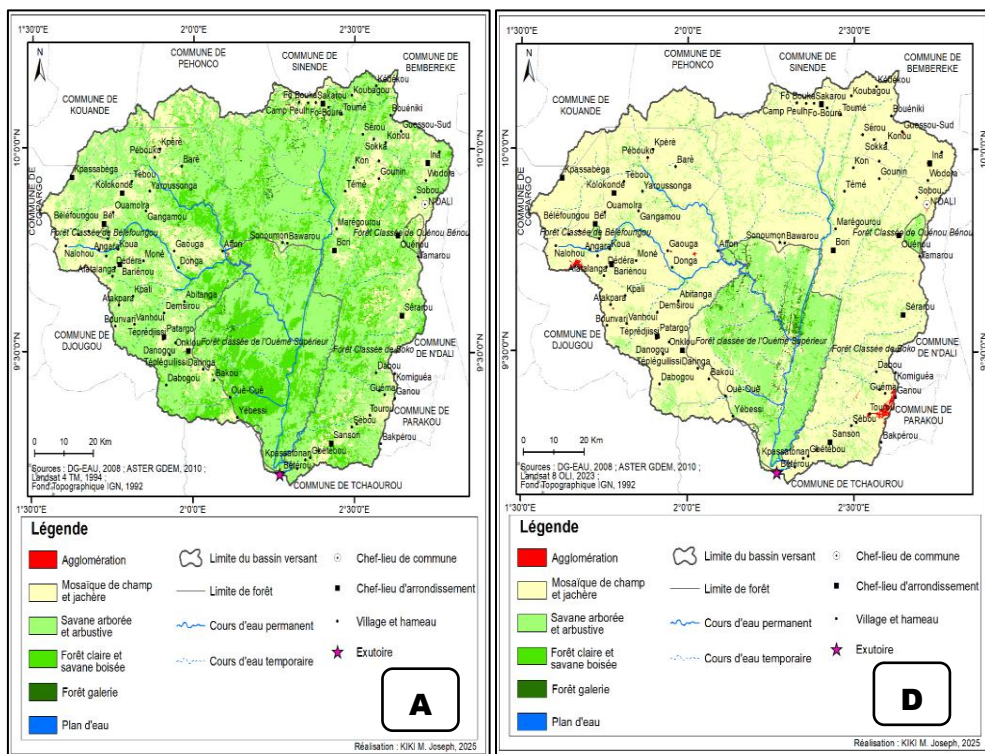
Figure 9 : Modification des unités d'occupation du sol entre 2013 et 2023

III-11. Dynamique de l'occupation du sol entre 1994 et 2023

L'analyse diachronique des unités de l'occupation du sol entre 1994 et 2023, montre une grande variation. L'observation révèle que les unités telles que l'agglomération, la mosaïque de champ et jachère, la forêt galerie puis les plans d'eau ont connu une progression estimée à 571007,16 ha soit 56,62 % de la superficie totale du bassin versant de Bétérou. On conclut qu'il y a extension de ces unités. Les activités anthropiques augmentent fortement aux dépens des formations naturelles. Au rebours, la savane arborée et arbustive et puis la forêt claire et la savane boisée ont connu une régression. Il y a alors une diminution de ces unités. Le **Tableau 8** montre l'évolution des unités de l'occupation du sol entre 1994 et 2023 puis la **Figure 10** montre la modification des unités d'occupation du sol entre 1994 et 2023.

Tableau 8 : Évolution des unités de l'occupation du sol entre 1994 et 2023

Unités de l'occupation du sol	1994		2023		Progression (1994-2023)	Régression (1994-2023)
	ha	%	ha	%	ha	ha
Agglomération	103,02	0,01	4407,59	0,44	4304,58	-
Mosaïque de champ et jachère	225105,77	22,32	788846,98	78,22	563741,21	-
Savane arborée et arbustive	576397,61	57,16	193299,31	19,17	-	-383098,30
Forêt claire et savane boisée	199427,16	19,78	11423,66	1,13	-	-188003,50
Forêt galerie	6966,18	0,69	9927,55	0,98	2961,37	-
Plan d'eau	463,97	0,05	558,61	0,06	94,64	-
Total	1008463,70	100,00	1008463,70	100,00		

**Figure 10 : Modification des unités d'occupation du sol entre 1994 et 2023**

III-12. Synthèse de la dynamique du sol de 1994 à 2023

La savane arborée et arbustive (383098,30 ha) puis la forêt claire et savane boisée (188003,50 ha) ont des tendances régressives très significatives de 1994 à 2023. Par contre, la mosaïque de champ et jachère (563741,21 ha) présente

une tendance progressive très significative. De même, il est constaté une tendance progressive au niveau de l'agglomération (4304,58 ha), la forêt galerie (2961,37 ha) et les plan d'eau (94,64 ha). Ce qui montre que la dégradation des différentes formations végétales naturelles a été faite au profit des activités anthropiques. La **Figure 11** montre l'évolution spatiale des unités d'occupation de sol dans le bassin versant de Bétérou.

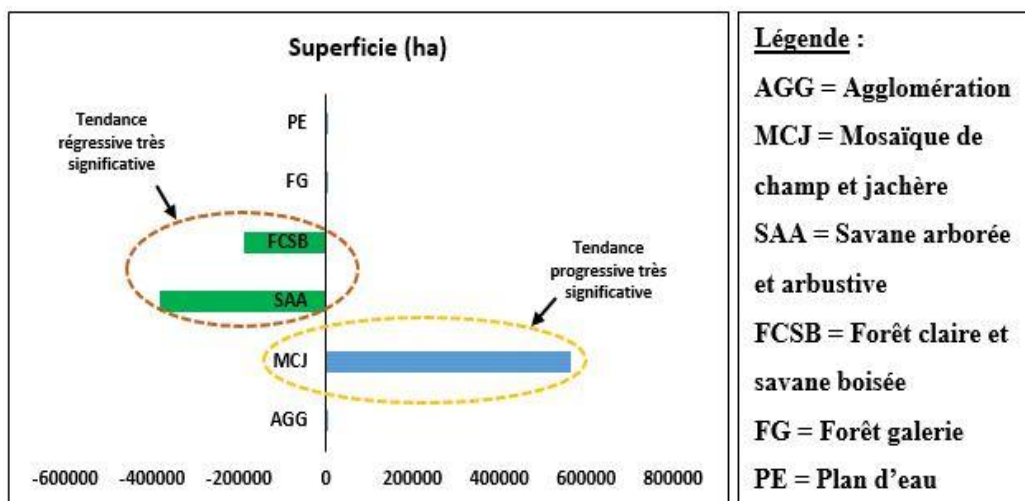


Figure 11 : Évolution spatiale des unités d'occupation de sol dans le bassin versant de Bétérou

III-13. Évolution des unités d'occupation du sol entre 1994, 2003, 2013 et 2023

En 1994, la superficie de l'agglomération (4304,58 ha) soit 0,01 % dans le bassin versant de Bétérou a subi une faible progression des unités d'occupation du sol de 0,02 % en 2003 à 0,17 % en 2013 et de 0,44 % en 2023. Pour la superficie de la mosaïque de champ et jachère (225105,77 ha) en 1994, soit 22,32 %, il est observé une forte progression des unités d'occupation du sol de 29,63 % en 2003 à 37,10 % en 2013 et de 78,22 % en 2023. Relativement à la superficie de la savane arborée et arbustive (576397,61 ha) en 1994, soit 57,16 % dans le bassin versant de Bétérou, il a été constaté une forte régression à 50,04 % en 2003 et de 19,17 % en 2023. Cette unité a connu une progression des unités d'occupation de sol en 2013, soit 58,82 %. S'agissant de la superficie de la forêt claire et savane boisée (199427,16 ha) en 1994, soit 19,78 % des unités d'occupation du sol, nous constatons également une forte régression à 3,57 % en 2013 et de 1,13 % en 2023. Il a une progression des unités d'occupation du sol de la forêt claire et savane boisée à 20,19 % en 2003. Les unités d'occupation de la forêt galerie (6966,18 ha) en 1994, soit 0,69 % de la superficie dans le bassin versant de Bétérou, ont subi une faible régression de

0,11 % en 2003 et de 0,31 % en 2013. Par contre, pour cette unité d'occupation de la forêt galerie, il a été enregistré une faible progression de 0,98 % en 2023. Enfin, la superficie de plan d'eau (463,97 ha), soit 0,05 % dans le bassin versant de Bétérou a connu une faible régression de 0,01 en 2003 et de 0,02 en 2013. Une faible progression des unités d'occupation de plan d'eau a été enregistré en 2023 soit 0,06%. La **Figure 12** montre les différentes évolutions des unités d'occupation du sol en 1994, 2003, 2013 et 2023.

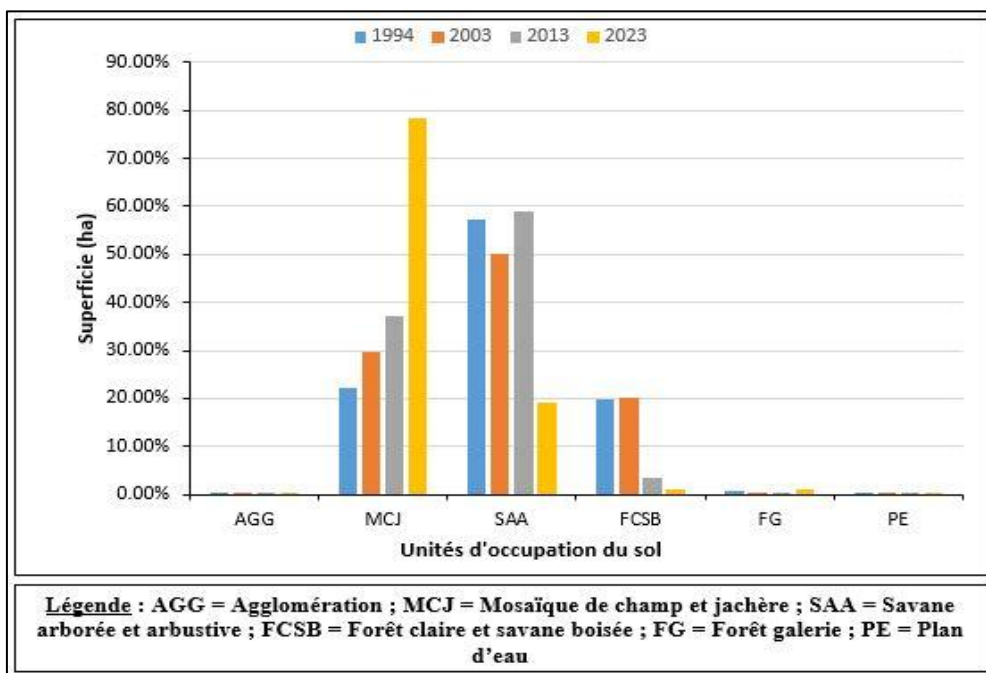


Figure 12 : Évolution des unités d'occupation du sol en 1994, 2003, 2013 et 2023

IV - DISCUSSION

Cette étude sur les modifications du paysage et les caractéristiques des eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur sur la période de 1994 à 2023 a permis d'analyser l'évolution spatio-temporelle paysagère dans le bassin. Les acteurs tels que les agriculteurs, les exploitants forestiers et les éleveurs, mettent en œuvre des pratiques qui contribuent à la détérioration de l'environnement. Ces derniers, migrent vers d'autres espaces agricoles pour une nouvelle exploitation après l'épuisement des ressources disponibles. Ces résultats corroborent aux travaux [24] montrant la dynamique des zones rurales africaines, qui ne sont pas statiques, mais surtout en perpétuelle évolution. Suivant le gradient longitudinale (communes de Copargo, Djougou, Parakou

et Tchaourou), il y a auprès des différents acteurs des changements paysagers ($p = 0,0361$) au cours des 30 dernières années. L'étude de l'occupation des sols dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur révèle différentes tendances de transformation du paysage entre 1994 et 2023, une détérioration rapide du paysage, qui se manifeste à la fois par des régressions et des avancées est observable, de même que les modifications et les transformations. Par exemple, il a été enregistré deux grandes périodes de régression des unités végétales entre 1994 et 2023. La savane arborée et arbustive (576397,61 ha à 193299,31 ha) puis la forêt claire et savane boisée (199427,16 ha à 11423,66 ha) ont des tendances régressives très significatives. En revanche, les mosaïques de cultures et jachères (225105,77 ha à 788846,98 ha), les zones d'habitation (103,02 ha à 4407,59 ha), la forêt galerie (6966,18 ha à 9927,55 ha) et les plans d'eau (463,97 ha à 558,61 ha) ont vu leur superficie s'étendre respectivement. Ces résultats sont similaires à [25] qui a confirmé le déclin de la végétation au profit des zones anthropisées au Bénin, spécifiquement dans les communes de Dassa-Zoumè et de Glazoué, puis [26] dans la dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bétérou au Bénin. Ainsi, l'évolution de l'occupation du sol se distingue par une augmentation des terres cultivées. Force est de constater que les grandes formations végétales naturelles présentent une tendance régressive tandis que les formations anthropiques montrent une tendance progressive.

Ces résultats corroborent [24] montrant la dynamique des zones rurales africaines, dont la forêt conserve sa tendance à régresser sur toute la durée de l'étude tandis que les agglomérations et d'autres formations d'origine humaine ne cessent de se développer. Il en est de même pour les travaux [27] qui a étudié la dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant du Zou entre 1978 et 2006 et qui aboutissent à la conclusion d'une détérioration des éléments naturels. Par conséquent, les forêts galerie et les forêts denses sont menacées d'extinction. Ces changements des unités paysagères pourraient être attribués à des événements issus des activités agricoles visant à répondre aux besoins croissants de la population en expansion et également aux projets d'aménagement [7, 26]. Pour [28], la détérioration de la couverture végétale provoque des modifications à l'échelle mondiale car la végétation constitue un des composants essentiels du système environnemental qui préserve les sols de toutes sortes d'érosion et les espèces fauniques. Les conclusions tirées [29, 30] montrent que la diminution de la couverture végétale s'accompagne d'une perte de biodiversité et de dégradation des sols. Tout cela conduit à la réduction des ressources naturelles et représente par conséquent un risque pour les générations présente et à venir, mais aussi sur la qualité des ressources qu'elles utilisent pour satisfaire leurs divers besoins.

V - CONCLUSION

En somme, l'état d'occupation du sol dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur montre une forte modification marquée des unités paysagères entre 1994 et 2023. Les régressions dites sensibles des formations végétales naturelles ont été observées dans les unités de la forêt claire et savane boisée et au niveau de la savane arbustive et arborée. Les progressions des différentes formations anthropisées telles que la mosaïque de champ et jachère, l'agglomération, la forêt galerie et le plan d'eau sont liées à la croissance démographique impliquant entre autres des pressions foncières. Le bassin versant de l'Ouémé supérieur à Bétérou est alors soumis à une pression humaine. Les recherches montrent que l'agriculture, l'élevage itinérant, les feux de végétation et le braconnage forestier sont les causes de la détérioration environnementale.

RÉFÉRENCES

- [1] - P. SHI, Y. ZHANG, Z. LI, P. LI & G. XU, Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. *Catena*, 151 (2017) 182 - 190.
- [2] - L. DENG, W. LI, X. LIU, Y. WANG & L. WANG, Landscape patterns and topographic features affect seasonal river water quality at catchment and buffer scales. *Remote Sensing*, 15 (5) (2023) 1438.
- [3] - A. IGUE, C. HOUNDAGBA, A. CHABI & P. ASSIGBE, Impact de l'aménagement du bas-fond de Gankpétin sur la fertilité des sols et la production du riz et du gombo au centre du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 1 (2011) 1 - 11.
- [4] - P. TIAN, J. LI, L. CAO, R. PU & H. GONG, Correlation analysis of landscape patterns with surface water quality in Yancheng Coastal Wetland, Jiangsu, China. *Pol. J. Environ. Stud*, 30 (2021) 4731 - 4746.
- [5] - M. XU, G. XU, Z. LI, Y. DANG, Q. LI, Z. MIN, F. GU, B. WANG, S. LIU & Y. ZHANG, Effects of comprehensive landscape patterns on water quality and identification of key metrics thresholds causing its abrupt changes. *Environmental Pollution*, 333 (2023) 122097.
- [6] - O. TENTE, J. OLOUKOI & I. TOKO, Dynamique spatiale et structure du paysage dans la commune de Zè, Bénin. Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des Territoires en Afrique. *Open Science*, (2019) 1 - 25.
- [7] - G. G. GUEDEGBE, L. D. AHOMADIKPOHOU, T. TOUSSAINT VIGNINOUE & E. F. HETCHELI, Dynamique Spatio-Temporelle De L'occupation du Sol Dans la Commune de Tori-Bossito au Sud-Bénin. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*

- (*IJAERS*), 9 (2) (2022) 165 - 175.
- [8] - E. AZANDEGBE & I. T. IMOROU, Dynamiques spatio-temporelles de l'occupation des terres dans le bassin versant du Lomon au Sud-Ouest du Bénin. Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique. *Open Science*, (2019) 1 - 25.
 - [9] - M. HAYASHI, G. VAN DER KAMP & D. O. ROSENBERRY, Hydrology of Prairie Wetlands : Understanding the Integrated Surface-Water and Groundwater Processes. *Wetlands*, 36 (S2) (2016) 237 - 254.
 - [10] - S. D. WILLETT, S.W. MCCOY & H. W. BEESON, Transience of the North American High Plains landscape and its impact on surface water. *Nature*, 561 (7724) (2018) 528 - 532.
 - [11] - FAO, Evaluation des ressources forestières mondiale. Rapport principal., (2010) 377 p.
 - [12] - A. MAMA, B. SINSIN, C. DE CANNIÈRE & J. BOGAERT, Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. *Tropicultura*, 31 (1) (2013) 78 - 88.
 - [13] - J. WU & J. LU, Spatial scale effects of landscape metrics on stream water quality and their seasonal changes. *Water research*, 191 (2021) 116811.
 - [14] - S. M. D. AGOSSOU, Adaptation aux changements climatiques : Perceptions, savoirs locaux et stratégies d'adaptation des producteurs des communes de Glazoué et de Savalou au centre du Bénin [PhD Thesis, UAC], (2008) 197 p.
 - [15] - M. DJAUGA, O. AROUNA, S. ZAKARI, S. KOUTA, Y. I. MOUMOUNI, B. MERTENS, I. T. IMOROU & O. THOMAS, Cartographie de la déforestation dans le département de l'Alibori (nord du Bénin) grâce aux images satellitaires SPOT. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 223 (1) (2021) 200 - 216.
 - [16] - S. MAMAN, L. ORLOVSKY, D. G. BLUMBERG, P. BERLINER & B. MAMEDOV, A landcover change study of takyr surfaces in Turkmenistan. *Journal of arid environments*, 75 (9) (2011) 842 - 850.
 - [17] - J. HUANG, Q. LI, R. G. PONTIUS, V. KLEMAS & H. HONG, Detecting the Dynamic Linkage between Landscape Characteristics and Water Quality in a Subtropical Coastal Watershed, Southeast China. *Environmental Management*, 51 (1) (2013) 32 - 44.
 - [18] - N. M. FASSINOU, F. M. GOUISSI, W. B. YESSOUFOU, S. O. GOURA & T. S. BIAOU, Évaluation des modalités de contamination agricole des eaux de surface de l'Ouémé supérieur au Bénin. *Afrique SCIENCE*, 22 (5) (2023) 31 - 42.
 - [19] - MEPN, *Programme d'action national aux fins de l'adaptation aux changements climatiques (PANA)*. Cotonou, (2008) 81 p.
 - [20] - A. B. Y. ZANNOU, *Analyse et modélisation du cycle hydrologique*

continental pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau au Bénin. Cas du Bassin de L'ouémé à Bétérou. Thèse de doctorat. Cotonou, Bénin : Université d'Abomey-Calavi, (2011) 286 p.

- [21] - P. DAGNELIE, *Statistiques théoriques et appliquées. De Boeck et Larcier. Belgique, (1998) 82 p.*
- [22] - INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique), "Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Benin (RGPH-4)". *Cotonou, Benin, (2016) 85 p.*
- [23] - A. DIOP, Diagnostic des pratiques d'utilisation et quantification des pesticides dans la zone des Niayes de Dakar (Sénégal). Mémoire de doctorat Université du Littoral Côte d'Opale, (2013) 241 p.
- [24] - M. GUIBERT & Y. JEAN, *Dynamique des espaces ruraux dans le monde. Paris, Edition Armand Colin, (2011), 407p.*
- [25] - T. R. G. KADJEBIN, Production agricole et sécurité alimentaire dans les communes de Dassa-Zoumè et de Glazoué au Bénin, Thèse pour l'obtention du Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi, (2014) 329 p.
- [26] - A. AKOGNONGBÉ, D. DJAFAROU ABDOULAYE, E.W. VISSIN & M. BOKO, Dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Oueme à l'exutoire de Bétérou (Bénin). *Afrique SCIENCE*, 10 (2), (2014) 228 - 242.
- [27] - C. G. WOKOU, Agriculture et environnement sur le plateau d'Agonlin : systèmes cultureux et tendances environnementales, *Mémoire de DEA, FLASH/UAC, (2009) 85 p.*
- [28] - J. B. B. GNANHO, Dynamique de l'environnement sur le plateau d'Allada au Bénin : tendances, facteurs et scénarii de gestion, Thèse de Doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi, (2016) 263 p.
- [29] - J. B. K. VODONOU, Les systèmes d'exploitation des ressources naturelles et leurs impacts sur les écosystèmes dans la vallée de la Sô, mémoire de DEA, UAC/ FLASH, (2002) 85 p.
- [30] - I. ALASSANE, M. B. AGASSOUNON, A. A. WEDJANGNON, Y. Y. AKIN & C. OUINSAVI, Dynamiques de l'occupation du sol des forêts classées et forêts sacrées de la Commune de Djougou au nord-ouest du Bénin de 2002 à 2022. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, 33 (02) (2023) 85 - 102.