

Evolution Spatio-Temporelle Et Les Conséquences Environnementales Du Barrage De l'Okpara A Tchaourou Au Bénin

HOUNTON Coômlan Charles¹, FATY Abdoulaye², Imorou Ouorou Barre Foussemi¹

¹Département de Géographie et de l'Aménagement du Territoire (DGAT/ FLASH/ UP), Université de Parakou, Bénin.

²Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar Fann, BP 5005-SENEGAL, UMI 0236 Résiliences, Campus international IRD/UCAD BP 1386, Dakar Hann, Sénégal

¹Laboratoire d'hydraulique et de Modélisation Environnementale (HydroModE-Lab), Université de Parakou, Bénin



Résumé – Le barrage de l'Okpara fait partie des barrages du Nord-Bénin. Installé dans un sous bassin versant du fleuve Okpara dans la commune de Tchaourou, il est d'une grande utilité non seulement pour les populations autochtones mais surtout constitue la réserve d'eau potable pour la commune de Parakou.

L'objectif de cette recherche est d'étudier l'évolution spatio-temporelle et les conséquences environnementales du barrage de l'Okpara dans la commune de Tchaourou. La méthodologie a consisté à une collecte des données de terrain, aux MNT, aux relevés GPS et à l'analyse diachronique des images satellites des missions 2000, 2010 et 2020 de landsat par la classification supervisée et au traitement de ces données au moyen des SIG.

De l'analyse des résultats, il ressort que dans l'espace de vingt ans (2000 à 2020), le sous bassin du barrage de l'Okpara a connu une dégradation due aux activités humaines, qui se traduit par une évolution des champs et jachères (333ha : 9%), habitats et sols nus (136ha : 4%) avec une nette régression des forêts claires et savanes (196ha : 5%), des formations marécageuses (174ha : 5%) et des cours d'eau (99ha : 3%) du sous bassin versant.

L'intensification des activités agricoles due à la forte pression humaine autour du barrage va générer le dénudement des sols déjà soumis à une forte pente, facilitant ainsi leur exposition au phénomène d'érosion. Le barrage s'envase avec une accumulation de sédiments et des produits chimiques provenant de l'agriculture. La retenue s'élargit en surface envahie par la jacinthe d'eau et sa profondeur devient faible. Des mesures de conservation des sols et de gestion rationnelle du barrage sont donc nécessaires pour répondre durablement à la fourniture en eau des populations de Parakou.

Mots clés – Le barrage de l'Okpara, spatio-temporelle, activités humaines, accumulation de sédiments, SIG, populations de Parakou.

Abstract – The Okpara dam is one of the dams in northern Benin. Installed in a sub-catchment area of the Okpara River in the commune of Tchaourou, it is of great use not only to the indigenous populations but also constitutes the drinking water reserve for the commune of Parakou.

The objective of this research is to study the spatio-temporal evolution and the environmental consequences of the Okpara dam in the commune of Tchaourou. The methodology consisted of field data collection, DTMs, GPS surveys and diachronic analysis of satellite images from the 2000, 2010 and 2020 landsat missions through supervised classification and processing of these data using GIS.

From the analysis of the results, it appears that in the space of twenty years (2000 to 2020), the sub-basin of the Okpara dam has experienced a degradation due to human activities, which is reflected in the evolution of fields and fallow lands (333ha: 9%), habitats and bare soils (136ha: 4%) with a clear regression of open forests and savannahs (196ha: 5%), swamp formations (174ha: 5%) and watercourses (99ha: 3%) of the sub-watershed. The intensification of agricultural activities due to the strong human pressure around the dam will generate the denudation of soils already subject to a strong slope, thus facilitating their exposure to the phenomenon of erosion. The dam silted up with an accumulation of sediments and chemicals from agriculture. The reservoir widens at the surface, invaded by water hyacinth, and its

¹ Corresponding author: chacoli2001@yahoo.fr

depth becomes shallow. Soil conservation measures and rational management of the dam are therefore necessary to sustainably meet the water supply of the populations of Parakou.

Keywords – Okpara dam, spatio-temporal, human activities, sediment accumulation, GIS, populations of Parakou.

I. INTRODUCTION

Les barrages, grands ou petits, pourvoyeurs d'eau ou d'énergie, furent reconnus depuis longtemps comme des vecteurs de progrès et de développement dans le monde (N. Blanc et S. Bonin, 2008, p. 24). Ils sont construits pour répondre à des objectifs divers tels que le contrôle des débits (contrôle des crues et soutien des étiages), la constitution des réserves en eau, la production de l'énergie, l'élevage des poissons, facilite la navigation, et plus récemment créer des espaces de loisirs (B. Chocat, 2004, p. 07). De par ses multiples services tant économiques qu'écologique, une attention particulière mérite d'être portée aux ressources en eaux. Ces dernières sont sources de problème lorsqu'elles sont abondantes, causant les inondations qui en résultent tandis que leur rareté crée une situation de pénurie, de sécheresse, voire de désertification (Afrique de l'est) dont les extrémums sont néfastes (E. W. Vissin et al. 2007, p. 568). Sur ce plan l'Afrique de l'ouest, où la plupart des pays ont une économie fondée sur le secteur primaire, en particulier sur l'agriculture pluviale, apparaît comme une région particulièrement sensible (IPCC, 2007, p. 21). Un cours d'eau naturel est en constante évolution au fil des saisons et des années, il est soumis aux étiages (période des basses eaux), aux crues et aux inondations (D. Vivian, 2012, p. 03).

Au Bénin, plusieurs barrages sont dénombrés au nord comme au sud présentant une utilité pour les populations (A. Ago et al. 2013, p. 11). Le sous-bassin de l'Okpara à Tchaourou fait partie d'un des cours d'eaux du Bénin. Il est devenu au fil des ans et du fait de sa disponibilité permanente en eau, un pôle d'attraction de divers usagers qui, en fonction de leurs professions et de leurs besoins, exploitent les ressources naturelles (PNE-Bénin, 2010, p. 09). Cependant, son évolution n'est pas sans conséquences sur la société et l'environnement. Le but de cette étude est d'apporter des informations à l'évolution spatio-temporelle et de ces conséquences socio-environnementales.

Le barrage de l'Okpara est situé à l'intérieur d'un sous bassin versant dans de la commune de Tchaourou plus précisément dans l'arrondissement de Kika. Entre les coordonnées 2°43'20'' et 2° 44' 40'' de longitude est et entre 9°17' 20'' et 9° 18' 00'' de latitude nord, il est délimité au sud par une station de pompage d'eau qui alimente la commune de Parakou en eau potable, à l'est par le village Kika, à l'ouest par le village Kpassa. Ce barrage est contourné par la route Parakou – Kabo et au nord par le cours d'eau. Le barrage de l'Okpara est caractérisé par une zone de savane avec quelques forêts semi-décidues et galeries forestières. La zone de savane est de type arborée et arbustive. (K. Ousmane, 2006, p. 12). Le réseau hydrographique est essentiellement dominé par les affluents des fleuves Ouémé et Okpara. (K. Ousmane, 2006, p. 12)

La figure 1 présente la situation géographique du sous bassin du barrage de l'Okpara.

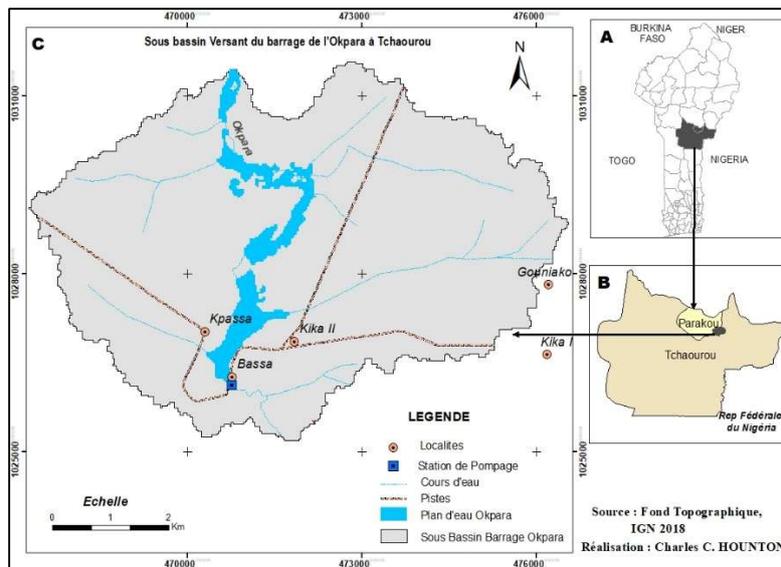


Figure 1 : Situation géographique du Sous Bassin Versant du Barrage de l'Okpara

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Matériels et données

- Carte topographique au 1/200 000, fond topographique IGN-Bénin ;
- image Aster Dem pour la délimitation du sous bassin versant du barrage de l'Okpara ;
- cartes d'occupation du sol obtenues par photo-interprétation des images landsat 192/53 (TM 2000, ETM 2010 et OLI 2020) de 30m de résolution téléchargées sur le site earthexplorer ;
- logiciels ENVI 5.1, Qgis 3.16, ArcGIS 10.5 pour le traitement numérique des images satellitaires et pour les travaux de cartographie et les analyses SIG ; le tableur Excel pour le traitement des données statistiques.
- (Global Positioning System) pour le contrôle-terrain.
- les données climatiques et d'enquête de terrain.

2.2. Méthodes de traitement des données

Pour l'élaboration de cartes d'occupation des sols du sous-bassin versant du barrage de l'Okpara, les opérations réalisées sont les suivantes : assemblage des bandes, extraction de la zone d'étude et les compositions colorées pour la photo-interprétation, la classification et la rédaction cartographique. La figure 2 présente la Méthodologie de traitement des images satellitaires. La détermination des classes d'occupation des sols a été basée sur deux critères : le type d'occupation et le recouvrement. Les différentes classes sont identifiées après avoir analysé la texture, la structure et la tonalité.

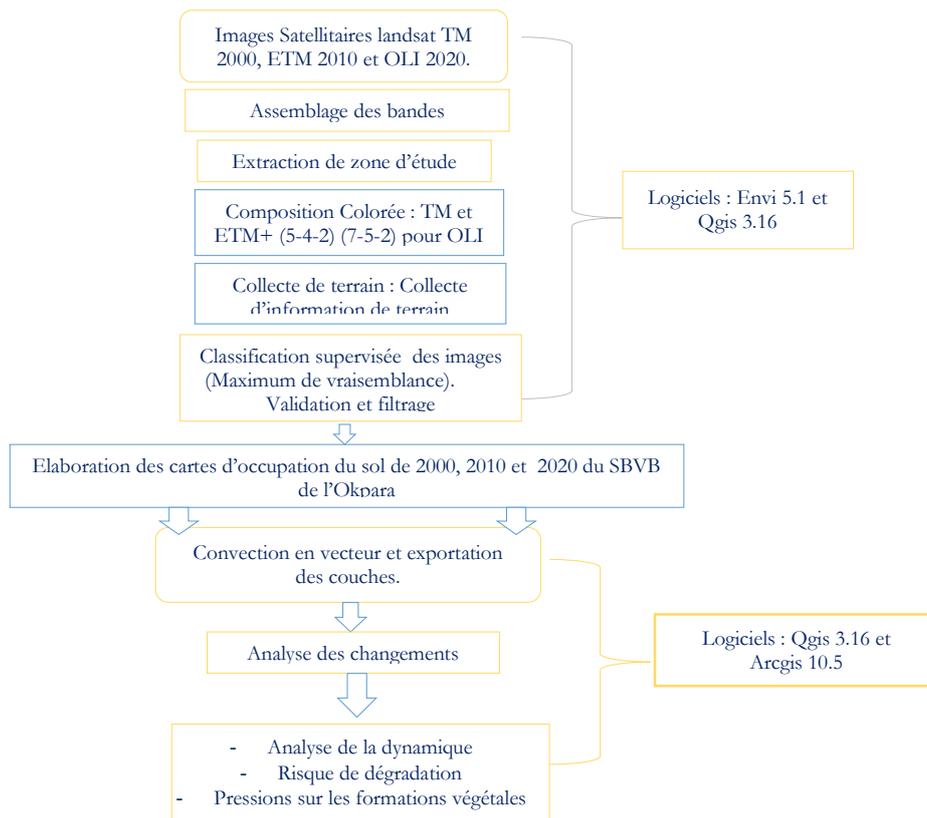


Figure 2 : Méthodologie de traitements des images satellitaires de 2000, 2010 et 2020 du sous bassin versant du barrage de l'Okpara (Traitement des images satellitaires, Septembre 2021)

Pour caractériser la dynamique de l'occupation des sols ainsi que les changements intervenus entre les différentes classes d'une année à l'autre, il a été effectué une analyse qualitative et une analyse quantitative.

L'analyse qualitative a porté sur l'identification des différentes classes d'occupation et d'utilisation du sol tandis que l'analyse quantitative a consisté à détecter les transitions survenues sur toute la période d'étude à travers une comparaison d'images de différentes dates d'une même scène.

Elle a permis de produire une matrice de changement issue de la comparaison entre les pixels des classifications entre deux dates (Girard, 1999).

Cette analyse se fait par le calcul du taux moyen annuel d'expansion spatiale (T) couramment utilisé dans les études sur le changement d'occupation du sol (Hadjadj, 2011). Ce taux de changement s'évalue à partir de la formule suivante :

$$T = \frac{(\ln S_2 - \ln S_1)}{t \ln e} \times 100$$

Où :

T = taux de changement (%) ; ln : le logarithme népérien ;

t est le nombre d'années d'évolution;

e la base des logarithmes népériens (e= 2,71828)

La variable considérée ici est la superficie (S). Ainsi, S1 et S2 correspondent respectivement à la superficie d'une catégorie d'occupation des sols en 2000, 2010 et en 2020.

Rappelons que dans le calcul du taux moyen annuel d'expansion spatiale, les valeurs positives indiquent une progression de la classe et les valeurs négatives, une régression. Les valeurs proches de zéro indiquent que la classe est relativement stable.

La matrice de transition a permis de mettre en évidence les différentes formes de conversion qu'ont subies les unités paysagères entre deux dates instantanées. Elles sont constituées de x lignes et de y colonnes. Le nombre x de lignes de la matrice indique le nombre d'unités paysagères présentes à la date t1 tandis que le nombre y de colonnes de la matrice indique le nombre d'unités paysagères converties à la date t2. Quant à la diagonale, elle contient les superficies des unités paysagères restées inchangées. Dans ces matrices, les transformations se font des lignes vers les colonnes. Les superficies de ces différentes classes d'unités paysagères ont été calculées à partir du croisement des cartes de deux dates. Pour l'approche diachronique de cette étude, la matrice de transition a été utilisée pour représenter la quantité (ou la valeur de l'aire) des unités qui ont changé de classe ou non, entre 2000 et 2020. Les tableaux croisés sont une technique qui a permis l'obtention de toutes les combinaisons possibles des n classes des deux cartes de dates distinctes. Calcul du taux de conversion des unités d'occupation du sol Le taux de conversion a permis de mesurer le degré de conversion d'une unité donnée en d'autres unités d'occupation des terres. Il est obtenu à partir de la matrice de transition (Arouna, 2012) suivant la formule ci-dessous:

Calcul du taux de conversion des unités d'occupation du sol. Le taux de conversion a permis de mesurer le degré de conversion d'une unité donnée en d'autres unités d'occupation des terres. Il est obtenu à partir de la matrice de transition (Arouna, 2012) suivant la formule ci-dessous: $Tc = [(Sit - Sis) / Sit] \times 100$

Avec : Sit : Superficie de l'unité d'occupation des terres i à la date initiale t ;

Sis : Superficie de la même catégorie de cette unité i demeurée stable à la date t1.

Certains paramètres climatiques et des données monographiques permettent d'expliquer les modifications sur l'occupation du sol.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1- Compositions Colorées et photo-interprétation des images

Les compositions colorées ont permis d'affecter à chacune des trois couleurs primaires (rouge, vert bleu) trois bandes spectrales d'images acquises au-dessus d'une même région, au même moment mais dans des longueurs d'onde différentes (Kangah, 2005). Les compositions colorées obtenues dans ce travail ont pour objectif d'apprécier le niveau de dégradation du couvert végétal et sont donc basées sur les canaux qui mettent en évidence la végétation. Elles s'appuient sur les propriétés de la végétation qui réfléchit très fortement le rayonnement proche infrarouge et le vert. Quatre classes sont identifiées : FCSB : Forêt Claire et Savane Boisée, les Formations Marécageuses (FM), CJ : Culture et Jachère, PE : Plan d'eau et HSN : Habitats et Sols Nus (planche 1).

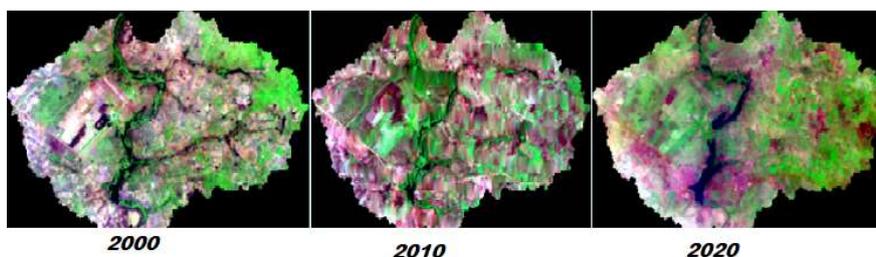


Planche 1 : Composition colorée des images satellitaires de 2000, 2010 et 2020

De l'analyse de la planche 1, on remarque dans le visible (0,4 - 0,7 μm) comme dans l'infrarouge (0,75-0,90 μm), le comportement spectral est le même pour tous les couverts végétaux. Il est lié à la composition en pigment foliaire avec un rôle prédominant des chlorophylles.

3.1.2- Evaluation et validation de la classification

Pour tester l'efficacité de la classification, il est calculé la matrice de confusion. A ce niveau, les travaux de terrain ont été des compléments indispensables pour la bonne interprétation et une analyse pertinente des résultats obtenus exclusivement au bureau (Hounton, 2017). Au total 70 points de contrôle ont été collectés sur l'étendue de la zone d'étude.

L'évaluation de la précision des classifications passent par la précision globale et l'indice de Kappa (Pontius, 2000). Cet indice incorpore tous les éléments de la matrice de confusion et est largement utilisé dans l'évaluation de la précision d'une classification d'image satellitaire et dans les méthodes de détection du changement (Foody, 1992). Signalons que l'indice traduit un niveau de concordance d'autant plus élevé que sa valeur est proche de 1.

Pour cette étude, on peut retenir que les précisions globales sont de l'ordre de 81% (2000), 71,60% (2010) et 95,70% (2020). Quant aux coefficients de Kappa ils varient de 0,77 en 2000, 0,70 en 2010 et 0,94% en 2020. Quelques confusions sont perceptibles à la lecture des matrices de confusion. Ces différents taux respectent les normes en la matière et ces critères indiquent également un assez bon résultat qui est acceptable au regard de la nature du milieu d'étude. Les confusions de classes entre les types de formations sont révélées par le calcul de la matrice de confusion (Tableau 1). Les forêts claires et savanes, les champs-jachères se confondent respectivement aux formations marécageuses, aux habitats et sols nus.

Tableau 1 : Matrice de confusion pour la classification de l'image landsat TM de 2000, 2010 et 2020.

2000						
	Champs et Jachères	Eau	Forêts claires et savanes	Formations marécageuses	Habitats et Sols nus	Total
Champs et Jachères	76.90	16.15	12.77	4.65	0.67	53.40
Eau	18.31	81.37	0.00	0.00	1.78	17.78
Forêts claires et savanes	2.13	0.00	58.51	10.85	0.00	4.16
Formations marécageuses	1.77	0.00	28.72	84.50	0.00	6.57
Habitats et Sols nus	0.89	2.48	0.00	0.00	97.55	18.09
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

2010						
	Champs et Jachères	Eau	Forêts claires et savanes	Formations marécageuses	Habitats et Sols nus	Total
Champs et Jachères	64.14	0.00	2.25	0.00	10.12	35.45
Eau	0.00	94.90	0.25	0.00	0.00	8.27
Forêts claires et savanes	9.49	3.18	67.25	17.31	0.39	20.62
Formations marécageuses	4.22	1.91	30.25	82.69	0.00	11.41
Habitats et Sols nus	22.15	0.00	0.00	0.00	89.49	24.26
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

2020						
	Champs et Jachères	Eau	Forêts claires et savanes	Formations marécageuses	Habitats et Sols nus	Total
Champs et Jachères	94.20	0.00	1.40	0.00	2.66	34.55
Eau	0.00	95.05	0.00	0.00	0.00	14.64
Forêts claires et savanes	3.21	1.06	96.92	0.00	0.61	20.29
Formations marécageuses	0.00	2.47	1.68	100.00	0.00	3.65
Habitats et Sols nus	2.60	1.41	0.00	0.00	96.73	26.88
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Source : Traitement d'images satellites landsat (2000, 2010 et 2020)

Il est remarquable que certaines catégories de classes semblent avoir des caractéristiques radiométriques plus proches d'autres. C'est le cas des formations moyennement boisées, les forêts claires et savanes, les formation marécageuses, les champs et jachères et les habitats et sols nus. Les pratiques culturales dans la région sont aussi des arguments en faveur de ces confusions. Les faibles taux des coefficients de kappa pourraient s'expliquer aussi par le fait que certains types de formations, bien qu'étant distincts du point de vue physiologique, présentent des valeurs propres assez proches.

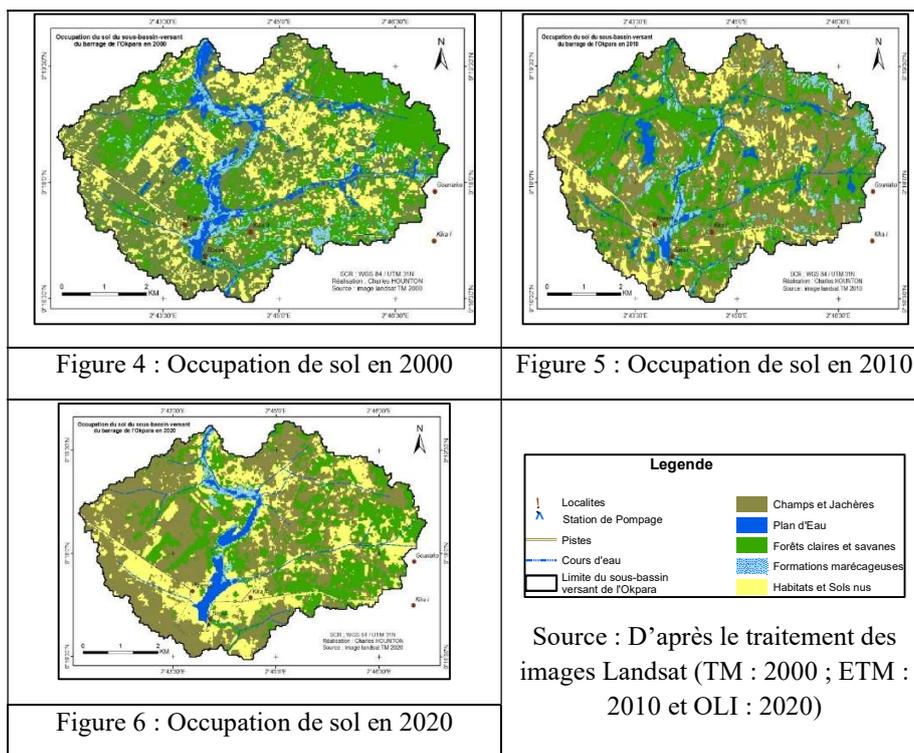
3.1.3- Dynamique de l'occupation des sols du sous-bassin versant du barrage de l'Okpara à Tchaourou en 2000, 2010 et 2020.

❖ Au niveau du sous-bassin versant du barrage de l'Okpara

Les figures 4, 5 et 6 présentent les cartes d'occupation du sol du sous bassin versant du barrage de l'Okpara entre 2000, 2010 et 2020.

Au regard de la physiologie des cartes d'occupation du sol, on observe de plus en plus une dégradation des forêts claires et savanes au profit des champs et jachères et des habitats et sols nus qui évoluent de façon drastique. Il est cependant à remarquer un recouvrement des espaces de forêts et savanes dans certaines parties de la zone d'étude. Les zones humides préalablement présentes sur les cartes de 2000 et 2010 ont complètement disparus en 2020.

Entre 2000 et 2020, on observe clairement, la disparition du couvert végétale aux alentours du barrage de l'Okpara laissant place aux zones dénudées occupées par les habitats et sols nus. Ce qui influence énormément la dynamique du barrage.



Ces constats sont appuyés par les statistiques présentées par le tableau 2 et la figure 7.

Tableau 2 : Evolution des superficies

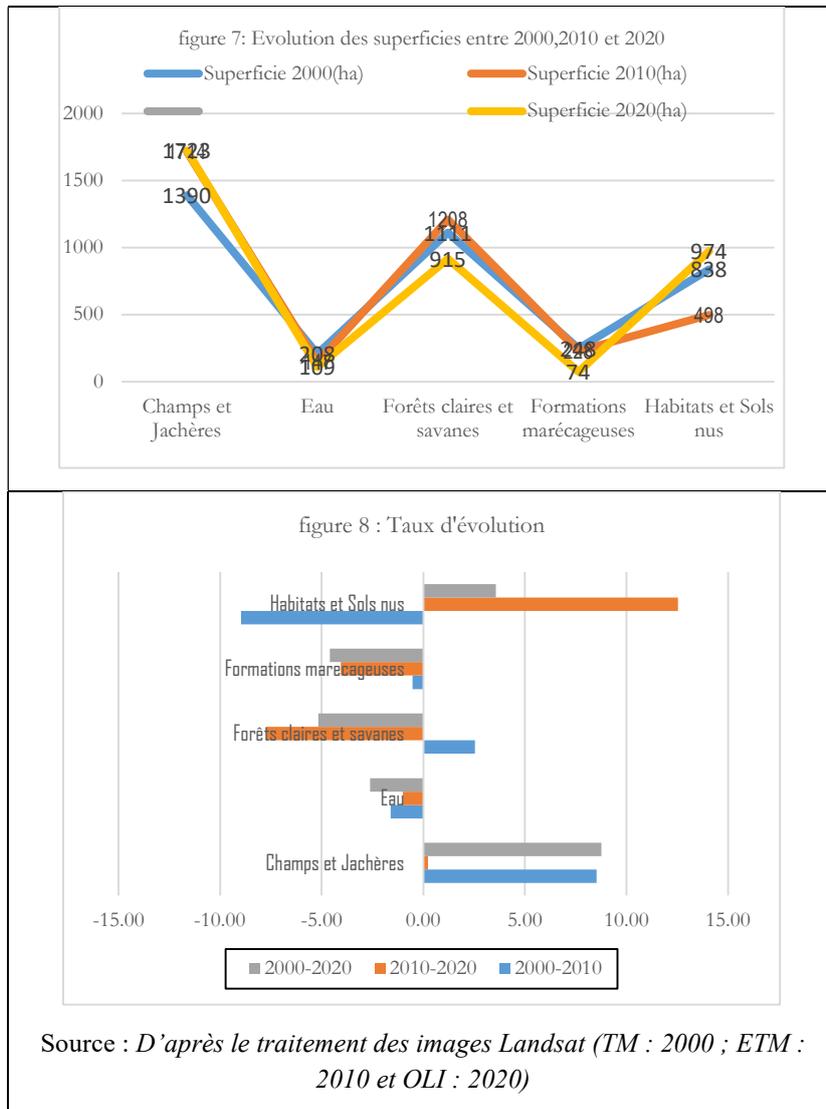
Classes	Superficie	Superficie	Superficie
Champs et	1390	1714	1723
Eau	208	147	109
Forêts claires	1111	1208	915
Formations	248	228	74
Habitats et Sols	838	498	974
Total	3795	3795	3795

Source : D'après le traitement des images Landsat (TM : 2000 ; ETM : 2010 et OLI : 2020)

En effet,

- Entre 2000 et 2010,

Certaines formations ont évolué entre 2000 et 2010. Il s'agit des champs et jachères qui avaient en 2000 une superficie de 1390ha (37%) ont évolué pour atteindre une superficie de 1714ha (45,16%) soit une progression de 8,16% (324 ha) de zone de culture et Jachères. De même, les forêts et savanes ont connu une progression passant de 29% (1111ha) à 31,83% (1208ha) soit une légère augmentation de 2,83%. Par contre les cours d'eau du sous bassin ont connu une régression passant de 5% (208) ha à 3,87% (147ha) soit 1,13% de régression. Les formations marécageuses ont aussi régressé de 7% à 6,01% soit de 248ha à 228 ha. Les habitats et sols nus ont connu une importante régression passant de 838ha (22%) à 498ha (13,12%) soit une régression de 8,96%.



- Entre 2000 et 2020, il a été observé sur l'ensemble de la zone d'étude, une augmentation des zones de cultures et jachères (de 1714ha à 1723ha), des Habitats et sols nus (de 498ha à 974ha), soit respectivement une progression de 0,24 et 12,54%. Par contre on enregistre une diminution drastique des forêts claires et savanes (1208ha à 915ha), des formations marécageuses (228ha à 74ha), des cours d'eau du sous bassin (147 à 109ha) ce qui correspond aux proportions respectives de 1%, 7,72% et 4,06%.

- Dans l'espace de vingt ans (2000 à 2020), le sous bassin du barrage de l'Okpara a connu une dégradation due aux activités humaines, qui se traduit par une évolution des champs et jachères (333ha : 9%), habitats et sols nus (136ha : 4%) avec une nette régression des forêts claires et savanes (196ha : 5%), des formations marécageuses (174ha : 5%) et des cours d'eau (99ha : 3%) du sous bassin versant.

❖ **Autour du barrage**

La digitalisation d'un périmètre de 482 hectares d'emprise du barrage a permis d'évaluer la dynamique du barrage. Du point de vue physiologique et selon les statistiques de la figure 10, le barrage de l'Okpara a connu une régression de la superficie en eau entre 2000 et 2010 passant de 19,71% à 9,13%. Les forêts claires et savanes, les champs et jachères ont connu également une réduction de leur superficie qui passe respectivement de 23,24% à 18, 88% et de 26,97% à 19,92% pendant ce temps, les

habitats et sols, les formations marécageuses ont connu une augmentation de leur superficie ; de 7,26% à 41,08% pour l'un et de 7,26% à 11% pour l'autre.

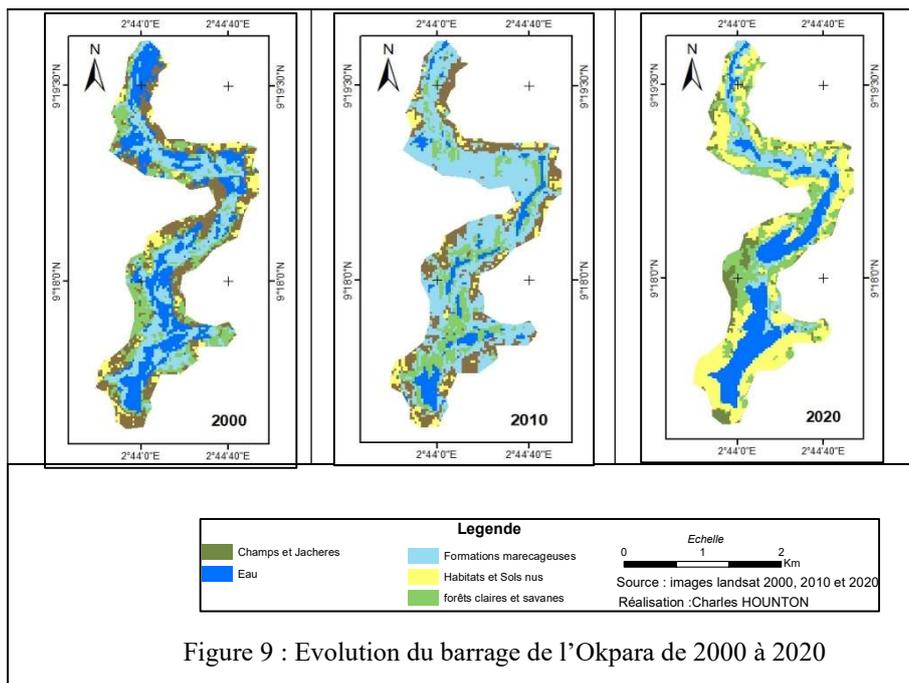


Figure 9 : Evolution du barrage de l'Okpara de 2000 à 2020

Entre 2010 et 2020, on assiste à une augmentation des habitats et sols nus (de 11% à 35,6%), de l'eau (9,13% à 22,61%) et une régression des forêts marécageuses (41,08% à 14,11%), des forêts et savanes boisées (18,88% à 16,60%) et des champs et jachères (19,92% à 11,62%).

Ces différentes statistiques montrent réellement une vraie dynamique de l'emprise du barrage de l'Okpara. Cette progression de l'eau du barrage est due à l'aménagement initié en 2019 par le gouvernement du Bénin afin d'augmenter le volume du barrage pour pouvoir alimenter la ville de Parakou en eau potable. Mais, le constat est qu'une forte pression humaine s'exerce autour du barrage. Les zones d'habitats et sols nus se sont développées et les exploitations agricoles à grande échelle se réalisent dans les environs du causant ainsi une dégradation avancée du couvert végétal et par conséquent un dénudement forcé des sols. L'un des principaux facteurs influençant donc le barrage est d'ordre anthropique. Ce que confirme les matrices de transition.

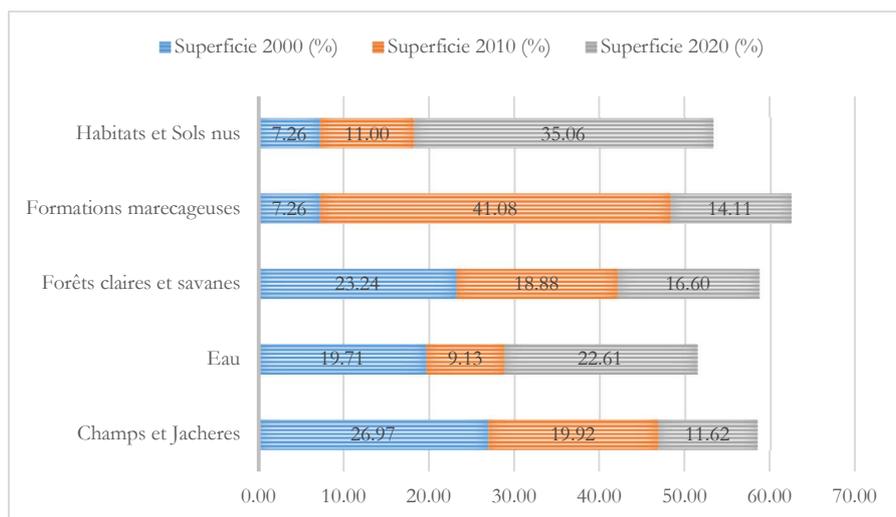


Figure 10 : Evolution du barrage

Source : D'après le traitement des images Landsat (TM : 2000 ; ETM : 2010 et OLI : 2020)

3.1.4- Matrices de transition

Le tableau 3 représente les matrices de transition des unités d'occupation du sol dans le sous bassin versant de l'Okpara de 2000 à 2010, 2010 à 2020 et sur l'ensemble de la période 2000-2020.

Tableau 3 : Matrice de transition

		2000			
2010	Habitats et Sols nus	Eau	Forêts claires et Savanes	Formations marécageuses	Champs et Jachères
Habitats et Sols nus	23,364	1,762	6,655	3,301	17,128
Eau	3,105	17,008	2,33	5,237	2,942
Forêts claires et savanes	19,496	55,196	40,981	50,982	24,109
Formations marécageuses	2,285	12,154	8,08	18,385	1,845
Champs et Jachères	51,75	13,88	41,954	22,095	53,975
Total	100	100	100	100	100
Changements	76,636	82,992	59,019	81,615	46,025
		2010			
2020	Habitats et Sols nus	Eau	Forêts claires et savanes	Formations marécageuses	Champs et Jachères
Habitats et Sols nus	27,827	23,405	25,612	12,294	22,586
Eau	0	14,871	1,8	14,837	0,029
forêts claires et Savanes	9,376	11,25	25,379	51,451	21,708
Formations marécageuses	0,011	2,155	3,145	5,923	0,046
Champs et Jachères	62,786	48,319	44,064	15,495	55,631
Total	100	100	100	100	100
Changements	72,173	85,129	74,621	94,077	44,369
		2000			
2020	Habitats et Sols nus	Eau	Forêts claires et Savanes	Formations marécageuses	Champs et Jachères
Habitats et Sols nus	24,767	28,012	23,347	21,113	23,421
Eau	0	20,029	0,324	16,203	0,008
forêts claires et Savanes	17,252	19,238	34,624	32,924	14,916
Formations marécageuses	0,049	12,19	0,75	10,366	0,122
Champs et Jachères	57,932	20,532	40,954	19,394	61,533
Total	100	100	100	100	100
Changements	75,233	79,971	65,376	89,634	38,467

Source : Traitement d'images satellites landsat (2000, 2010 et 2020)

La matrice de transition des classes d'occupation du sol permet de répondre à la question relative au changement de catégorie des cellules d'occupation des terres mise en exergue par l'étude. Cette matrice, aussi appelée matrice des changements de l'occupation des terres montre les conversions qui se font des lignes vers les colonnes. Les superficies des unités sans changement sont inscrites dans les cellules colorées dans la diagonale.

Il résulte de l'analyse de ce tableau les informations suivantes :

- **Entre 2000 et 2010**

23,36% des superficies des habitats/sols nus de 2000 sont demeurés dans cette catégorie en 2010, alors que 76,636% ont été convertis en d'autres catégories : eau (3,105 %), forêts claires et savanes (19,496 %), la formations marécageuses (2,285%) et 51,75% pour les champs et jachères ;

17,008% des superficies d'eau de 2000 sont demeurés dans cette catégorie en 2010, alors que 82,992 % ont été convertis en d'autres catégories : habitats/sols nus (1,762 %), forêts claires et savanes (55,196 %), la formations marécageuses (12,154 %) et 13,88 % pour les champs et jachères;

40,981 des superficies des forêts claires et savanes de 2000 sont demeurés dans cette catégorie en 2010, alors que 59,019 % ont été convertis en d'autres catégories : habitats/sols nus (6,655 %), eau (2,33) %, la formations marécageuses (8,08 %) et 41,954 % pour les champs et jachères;

18,385 des superficies des formations marécageuses de 2000 sont demeurés dans cette catégorie en 2010, alors que 81,615 % ont été convertis en d'autres catégories : habitats/sols nus (3,301 %), eau (5,237) %, forêts claires et savanes (50,982 %) et 22,095 % pour les champs et jachères;

53,875 des superficies des champs et jachères de 2000 sont demeurés dans cette catégorie en 2010, alors que 46,024 % ont été convertis en d'autres catégories : habitats/sols nus (17,128 %), eau (2,942) %, forêts claires et savanes (24,109 %) et 1,845 % pour formations marécageuses.

• **Entre 2010 et 2020**

27,827% des superficies des habitats/sols nus de 2010 sont demeurés dans cette catégorie en 2020, alors que 72,173% ont été convertis en d'autres catégories : eau (0 %), forêts claires et savanes (9,376 %), les formations marécageuses (0,011%) et 62,786% pour les champs et jachères ;

14,871% des superficies d'eau de 2010 sont demeurés dans cette catégorie en 2020, alors que 85,129 % ont été convertis en d'autres catégories : habitats/sols nus (23,405 %), forêts claires et savanes (11,25%), la formations marécageuses (2,155 %) et 48,319 % pour les champs et jachères;

25,379 des superficies des forêts claires et savanes de 2010 sont demeurés dans cette catégorie en 2020, alors que 74,621 % ont été convertis en d'autres catégories : habitats/sols nus (25,612 %), eau (1,8) %, la formations marécageuses (3,145%) et 44,064 % pour les champs et jachères;

5,923 des superficies des formations marécageuses de 2010 sont demeurés dans cette catégorie en 2020, alors que 94,077 % ont été convertis en d'autres catégories : habitats/sols nus (12,294 %), eau (14,837) %, forêts claires et savanes (51,451%) et 15,495 % pour les champs et jachères;

55,631 des superficies des champs et jachères de 2010 sont demeurés dans cette catégorie en 2020, alors que 44,369 % ont été convertis en d'autres catégories : habitats/sols nus (22,586 %), eau (0,029) %, forêts claires et savanes (21,708 %) et 0,046 % pour formations marécageuses.

Entre 2000 et 2020

24,767% des superficies des habitats/sols nus de 2000 sont demeurés dans cette catégorie en 2020, alors que 75,233% ont été convertis en d'autres catégories : eau (0 %), forêts claires et savanes (17,252%), la formations marécageuses (0,049%) et 57,932% pour les champs et jachères ;

20,029% des superficies d'eau de 2000 sont demeurés dans cette catégorie en 2020, alors que 79,971 % ont été convertis en d'autres catégories : habitats/sols nus (28,012%), forêts claires et savanes (19,238%), la formations marécageuses (12,19 %) et 20,532% pour les champs et jachères;

34,624% des superficies des forêts claires et savanes de 2000 sont demeurés dans cette catégorie en 2020, alors que 65,376% ont été convertis en d'autres catégories : habitats/sols nus (23,347%), eau (0,324) %, la formations marécageuses (0,75%) et 40,954 % pour les champs et jachères;

10,366% des superficies des formations marécageuses de 2000 sont demeurés dans cette catégorie en 2020, alors que 89,634% ont été convertis en d'autres catégories : habitats/sols nus (21,113%), eau (16,203) %, forêts claires et savanes (32,924%) et 19,394 % pour les champs et jachères;

61,533% des superficies des champs et jachères de 2000 sont demeurés dans cette catégorie en 2020, alors que 38,467% ont été convertis en d'autres catégories : habitats/sols nus (23,421%), eau (0,008) %, forêts claires et savanes (14,916%) et 0,122% pour formations marécageuses.

La dynamique du barrage a des conséquences tant sur le plan environnemental que social.

3.1.5- Conséquences environnementales

La destruction du sol et du couvert végétal a des conséquences sur la dynamique du barrage de l'Okpara. L'occupation du sol et son exploitation à des fins agricoles dans le barrage de l'Okpara entraîne la dégradation de ces sols et de la qualité de l'eau du barrage. Ainsi la régression du couvert végétal associé à la progression des sols sont à l'origine des comblements observés dans le barrage de l'Okpara. Ce comblement du barrage est dû à l'érosion hydrique favorisée par l'écoulement grâce à la pente moyenne.

La régression du couvert végétal et la forte pente (> 15 %) tout autour du barrage a créé un écoulement rapide et une faible infiltration des eaux de surfaces. La figure 11 présente les différentes pentes dans le barrage de l'Okpara.

De l'analyse de la figure 11, le barrage de l'Okpara est sous l'influence de 03 différents niveaux de pente à savoir les pentes faibles, moyennes et fortes. Le long du barrage est caractérisé par la domination des pentes faibles [0 % - 5 %] et les pentes moyennes [5 % - 15 %]. Les fortes pentes sont très faiblement représentées [15 % - 29,66 %] et se situent au niveau des sommets entourant le barrage.

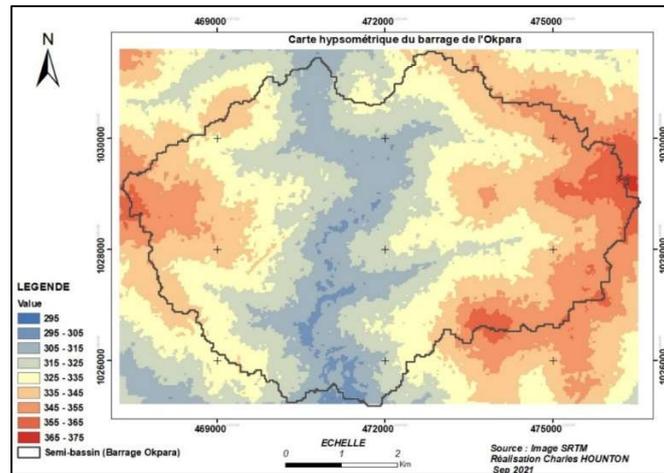


Figure 11 : carte de pente du sous bassin-versant de l'Okpara

On retient donc que la forte pression des eaux du barrage se traduit par une moyenne pente [5-15] tout au long du barrage. C'est donc cette pente moyenne qui occasionne la forte vitesse des eaux responsable de l'érosion et par conséquent du comblement.

Le barrage de l'Okpara est aussi caractérisé par la domination d'un fort comblement en jacente d'eau. Cette plante invasive occupe une grande partie de la surface du barrage. Elle constitue un facteur de comblement de ce barrage.

La planche 2 présente les différents complements observés dans le barrage de l'Okpara.

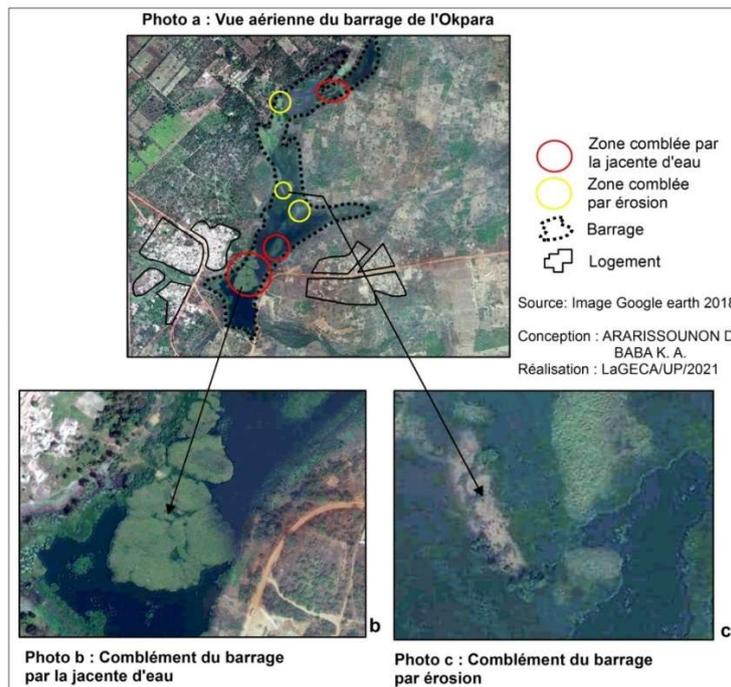


Planche 2 : Complément du barrage de l'Okpara

D'après la planche 2 deux comblements caractérisent le barrage de l'Okpara. Il s'agit du comblement par jacinthe d'eau et du comblement par érosion. La partie sud du barrage est caractérisée par un comblement par la jacinthe d'eau, le centre et le nord du barrage sont comblés par les sédiments issus de l'érosion. La photo 1 présente la jacinthe d'eau présente dans le barrage.



Photo 1: Jacinthe d'eau du barrage de l'Okpara

Prise de vue : Baba Tobou mars 2021

A cela s'ajoute le déversement des déchets (planche 2) dans le barrage ainsi que l'utilisation des produits chimiques dans l'agriculture. Toutes ces pratiques engendrent non seulement le comblement du barrage mais aussi la disparition de certaines espèces aquatiques.



Planche 3 : Activités menées autour du barrage de l'Okpara

Prise de vue : D. Ararissounon, mars 2021

Pour accroître leur rendement, les producteurs utilisent les engrais chimiques. L'utilisation de ces engrais pollue l'eau du barrage. Les populations habitant près du barrage mènent des activités domestiques (lessive, vaisselle, lavage de moto, approvisionnement en eau pour d'autres besoins) qui affectent ce dernier à travers la pollution de cette eau. A cela s'ajoutent certaines pratiques malsaines dans le barrage. Il s'agit des populations qui après avoir fait des sacrifices jettent des déchets dans le barrage.

3.2. Discussion

Les résultats de traitement et d'analyse des informations et données recueillies sur le terrain ont montré qu'entre 2000 à 2010, le barrage a connu une régression de 12,9 ha soit (1,53 %) de sa superficie totale. Ce résultat est identique à celui du CRPA-BA (2015, p. 22) dans son étude sur l'impact environnemental et sociale du site de Fètèkou qui estime que le barrage de Fètèkou est entouré de cultures et jachères et d'une végétation arbustive dégradée. E. Amoussou et *al.*, (2010, p. 208) aborde dans le même sens et estime une réelle progression des mosaïques de cultures et jachères, au détriment des formations végétales naturelles. Ce changement spatial intervenu entre les trois périodes constitue alors un impact potentiel sur la dynamique hydrologique du sous bassin versant du complexe fluvio-lagunaire. Le barrage de l'Okpara est alimenté par une pluie moyenne 1190,49 mm. Les

mêmes résultats sont trouvés par E. Ago et *al.*, (2005, p. 04), le barrage de Nangbeto sur le fleuve Mono est caractérisée par une pluviométrie annuelle de l'ordre de 900 à 1100 mm. Pendant la période humide, la pluviométrie moyenne est supérieure à l'évapotranspiration alors que la saison sèche qui est la plus longue (octobre à mai) a une pluviométrie moyenne inférieure à l'évapotranspiration. Ce résultat est contraire à celui de E. Amoussou et *al.*, (2010, p. 41) qui stipule que de décembre à janvier, voire février, le bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire subit une saison sèche, dominée par l'alizé continental de nord-est (l'harmattan). Mais de mars à avril, la première saison des pluies dans le bassin se caractérise par un début des précipitations orageuses au sud de 8°N. En effet la forte pression des eaux se traduit par une moyenne pente [5-15] tout au long du barrage. Identiquement pour E. Amoussou et *al.*, (2010, p. 54), le bassin du Couffo, présente une pente beaucoup plus marquée (5 à 13 m/km) que le Mono (6 à 11 m/km) de direction nord-est. Ainsi la qualité des pentes est quelques fois synonyme du degré des dégâts causés par la pression des eaux. Plusieurs activités économiques telles que le maraîchage, l'agriculture et l'élevage sont menées tout au long du barrage. Ce résultat aborde dans le même sens que celui de CRPA-BA (2015, p. 25) qui trouve que l'élevage, l'agriculture sont des activités menées au niveau du plan d'eau de Fètèkou. En conséquence, ses activités sont menacées par le barrage notamment pendant les périodes de crue qui occasionne des inondations et de nombreuses cultures et habitat sont drainés par les eaux. Pour B. Chocat, (2004, p. 09) ses barrages permettent de limiter l'impact des crues moyennes mais ne constituent pas une méthode réellement efficace pour se protéger contre les crues les plus violentes. Selon T. B. Davidé (2015, p. 19), le phénomène d'inondation est ancien et fréquent, et à travers l'histoire, l'on compte par dizaine le nombre de fois où les quartiers sont inondés. Il poursuit en estimant que la ville de Cotonou se trouve confrontée à plusieurs problèmes, au nombre desquels la dégradation quasi-totale du milieu, la récurrence des inondations qui accroît l'insalubrité, l'occupation des marécages, des bas-fonds et parfois certains exécutoires naturels rendant difficile l'écoulement des eaux pluviales.

IV. CONCLUSION

Le barrage de l'Okpara est très important pour l'alimentation en eau potable à Parakou. Situé sur une altitude de 296 m à 306 m, ce barrage est dominé par des pentes faibles et moyennes orientées du nord vers le sud. Plusieurs facteurs expliquent cette variation qu'ils soient environnementaux ou socio-économiques. Sur le plan environnemental, le barrage a connu une forte pollution ces dernières années, dûe à la dégradation du sol, la destruction du couvert végétal en témoignent l'intensité des activités agricoles, l'occupation du sol et la présence des plantes envahissantes. Les inondations autour du barrage sont récurrentes surtout dans le mois de septembre avec une durée de deux semaines. Celle-ci engendre d'énorme dégât matériel (envahissement des biens et des cultures), qu'humain (perte en vie humaine). Aussi ces conséquences sont perceptibles sur le plan socio-économique, avec l'exode rural temporaire et la perte de vastes étendues de cultures. Les activités commerciales sont suspendues à cause de la traversée qui devient difficile. Sur le plan sanitaire il s'agit de la recrudescence des maladies hydriques surtout le choléra et le paludisme. Pour y remédier, un plan aménagement du barrage s'avère indispensable.

REFERENCES

- [1]. AGO Expédit Evariste, PETIT François, OZER Pierre, 2005, « Analyse des inondations en aval du barrage de Nangbeto sur le fleuve Mono (Togo et Bénin) » *Geo-Eco-Trop*, 29, pp. 1-14
- [2]. AMOUSSOU Ernest, TOTIN Henri, KAKI Christophe, HOUSSOU Sotelle, HOUNDENOU Constant, 2010, « Evolution sédimentologie et dynamique des charges solides dans l'hydrosystème fluvio-lagunaire du sud-ouest du Bénin ». Conférence Internationale sur l'Hydrologie des Grands Bassins Fluviaux de l'Afrique, Oct 2015, Hammamet, Tunisie. hal-02146325
- [3]. BLANC Nathalie & BONIN Sophie, 2008, « Grands barrages et habitants Les risques sociaux du développement », Éditions de la Maison des sciences de l'homme, Paris Éditions Quæ, Versailles, ISBN : 978 2 7592 0071 9 (INRA) ISBN : 978 2 7351 1171 8 (MSH), pp. 1-336
- [4]. Centre Régional pour la Promotion Agricole du Borgou et de l'Alibori, 2015, *Projet de développement des ressources en eau et de gestion durable des écosystèmes dans le bassin du Niger (pdregde/bn)* 102 p.
- [5]. CHOCAT Bernard, 2004, *Les barrages sont-ils un bien pour l'environnement ?* 24 p.
- [6]. CNRTL, 2012, Centre Nationale et Ressource textuelle et Lexicale, [www.cnrtl.fr/définition/ évolution](http://www.cnrtl.fr/définition/évolution), consulté 02/ 05/ 2021 à 23 h 24, 5 p.

- [7]. DANVIDÉ Taméon Benoît, 2015, Urbanisme et gestion de l'environnement, (Université d'Abomey-Calavi) Géographie humaine et régionale (Université Paris 8), École Doctorale Sciences Sociales N°401 Laboratoire de Recherche « LADYSS », UMR 7533, 261 p.
- [8]. Kora O. 2006, Monographie de la commune de Tchaourou, 45 p.
- [9]. Girard, M. C. & Girard, C. M., 1999, Traitement des données de télédétection. Dunod, Paris, 529 pages.
- [10]. Arouna O. (2012) : Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la commune de Djidja au Bénin: implications pour l'aménagement du territoire. Thèse de doctorat FLASH/UAC, 246 p.
- [11]. Robert, G. P, 2000, Quantification error versus location error in comparison of categorical maps, Photogrammetric engineering and remote sensing 66(8), 1011-1016
- [12]. Foody, G.M., 1992, Derivation and applications of probabilistic measures of class membership from the maximum-likelihood classification, Photogrammetric engineering and remote sensing 58(9), 1335-1341
- [13]. Hountondji Y., 2008, Dynamique environnementale en zone sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal, Université de Liège, 132 p.
- [14]. www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/cadre--spatio-temporel/ consulté 03/05/2021, 05h 33 min
- [15]. www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/cadre-spatio-temporel/, consulté 03/05/2021, 05h 33 min