



Occupation du sol et risques de dégradation par l'érosion hydrique du site de la communauté urbaine de Gamboma dans le département des Plateaux (république du Congo)

Yam Moye HOKILI¹ et Léonard SITOU²

¹ Doctorant à l'Université Marien Ngouabi, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Parcours-type se géographie, Brazzaville, République du Congo

² Enseignant-Chercheur à l'Université Marien Ngouabi, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Parcours-type se géographie, Brazzaville, République du Congo

Résumé : Le site de la communauté urbaine de Gamboma fait l'objet d'une occupation anthropique accélérée très préoccupante en raison des risques de dégradation par l'érosion hydrique qui pèsent sur celui-ci. Les observations de terrain et l'étude diachronique de deux images satellitaires Landsat (ETM+ 2000 et 2020) ont permis de faire la cartographie et l'analyse de cette occupation. Les résultats montrent que l'espace occupé par l'homme et ses activités est passée de 23,14 % à 32,74 %, soit une progression de près de 10%. Celui de la forêt galerie a régressé de plus de 50% et des savanes de près de 20% en moyenne. Cette occupation se fait sur un site très ondulé dont l'inclinaison de certaines surfaces atteignent 30% de pente. Ce qui favorise les ruissellements qui sont responsables d'un ravinement déjà remarquable sur les voiries urbaines de la zone habitée et surtout sur les zones encore non occupées situées en aval. Ce ravinement des sections hautes engendre une sédimentation du fond de la vallée du cours d'eau principal qui draine la ville au sud. Cette sédimentation est responsable d'un rétrécissement de plus de 23% du lit mineur. La solution à cette situation est la sensibilisation de la population sur les méfaits de cette occupation sans précaution et sur les méthodes antiérosives. L'étude de la perception de ce phénomène par la population afin d'élaborer la meilleure stratégie pour cette sensibilisation est la perspective de cette étude.

Mots clés : Gamboma, cartographie, occupation anarchique, ravinement, sédimentation

Abstract: The site of the urban community of Gamboma is the subject of accelerated anthropogenic occupation which is very worrying due to the risks of degradation by water erosion which weigh on it. Field observations and the diachronic study of two Landsat satellite images (ETM+ 2000 and 2020) made it possible to map and analyze this occupation. The results show that the space occupied by man and his activities increased from 23.14% to 32.74%, an increase of almost 10%. That of the gallery forest has declined by more than 50% and the savannahs by almost 20% on average. This occupation takes place on a very

undulating site whose inclination of certain surfaces reaches 30% slope. This promotes runoff which is responsible for an already remarkable washout on urban roads in the inhabited area and especially in the still unoccupied areas located downstream. This ravinement of the upper sections causes sedimentation of the bottom of the valley of the main watercourse which drains the city to the south. This sedimentation is responsible for a shrinkage of more than 23% of the minor bed. The solution to this situation is to raise awareness among the population about the harmful effects of this occupation without precaution and about anti-erosion methods. The study of the perception of this phenomenon by the population in order to develop the best strategy for this awareness is the perspective of this study.

Keywords: Gamboma, cartography, anarchic occupation, gullying, sedimentation.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.11691668>

Introduction

Dans les pays en voie de développement en général et dans les villes africaines en particulier, l'urbanisation incontrôlée est la principale cause de la dégradation de l'environnement urbain (M. Tchotsoua, 1992). Au Congo, suite à une occupation accélérée et sans précautions de l'espace, presque toutes les grandes villes sont affectées par les phénomènes de l'érosion hydrique des sols (G. U. Batola, 2011 ; M. Mpiendo, 1998 ; Andongui, 2007 ; L. Sitou, 2008). Tel est le cas de la communauté urbaine de Gamboma dont l'évolution spatiale s'accompagne d'une augmentation des risques de dégradation du site par l'érosion hydrique. En effet, la ville est aujourd'hui affectée par plusieurs formes d'érosion qui se manifeste surtout dans les quartiers périphériques installés sur les versants. Cette situation expose la ville au risque d'une dégradation plus importante pouvant s'étendre jusqu'aux quartiers d'occupation ancienne. Ce qui constituerait, à terme, un frein pour le développement durable de cette communauté urbaine, l'une des plus peuplées du département des Plateaux.

La présente étude cartographie et analyse l'évolution de l'occupation du sol dans le périmètre de cette ville Gamboma et ses environs, entre 2000 et 2020. L'objectif étant de visualiser et quantifier la dynamique de cette occupation afin d'évaluer les risques d'érosion qu'elle engendre. Ceci en vue d'envisager des mesures de réduction de ces risques et de conservation des sols. Deux questions résument donc la problématique de cette étude à savoir comment a évolué l'occupation du sol dans la commune urbaine de Gamboma et quels facteurs d'érosion sont rattachés à cette évolution. La description du cadre général de la zone d'étude, la présentation de la méthodologie d'approche et l'analyse des principaux résultats de cette étude constituent les principales articulations de cet article qui se termine par une conclusion précédée de la discussion des résultats.

1. Présentation du milieu physique et humain de Gamboma

La communauté urbaine de Gamboma est située au nord du département des Plateaux. Elle couvre une superficie de 6628 km² qui s'étend entre les latitudes 1°32' et 2°20' S, et les longitudes 15° 13' et 16°23' E. Le site est limité au nord par le village Ondaba, à l'est par le village Andounou, à l'ouest par le village Ngapourou et au sud par le village Ossio (figure 1). La zone d'étude est localisée sur le plateau de N'Sah Ngo au relief dans l'ensemble moins accidenté que les autres plateaux tékés. Les altitudes sont comprises entre 255- 473 m. La surface de ce plateau est dans l'ensemble faiblement ondulée et découpée par des vallées sèches

très encaissées avec 350 m environ de profondeur moyenne. A certains endroits le plateau un modelé de collines polyconvexes (P. Vennetier, 2001, p.8).

Ce relief assez varié est taillé dans les formations géologiques de la série sableuse des plateaux Batékés. C'est une série d'origine continentale datant de l'ère Tertiaire et du Pléistocène. Elle est constituée de deux étages à savoir les sables ocres (Ba2) d'une puissance d'environ 90 mètres, qualifiés de limon-sableux à cause de leur granulométrie fine, en position supérieure et, à la base, les grès polymorphes (Ba1) d'une puissance variant entre 50 et 300 mètres, avec une stratification entrecroisée, se terminant au sommet par des niveaux silicifiés, quartzitiques en banc lenticulaires discontinus (A. LE MARECHAL, 1966, p7). La série des plateaux Batékés repose en discordance sur celle du Stanley datant du secondaire et constituée de grès tendres, des argiles et des marnes (A. LE MARECHAL 1966, p 10).

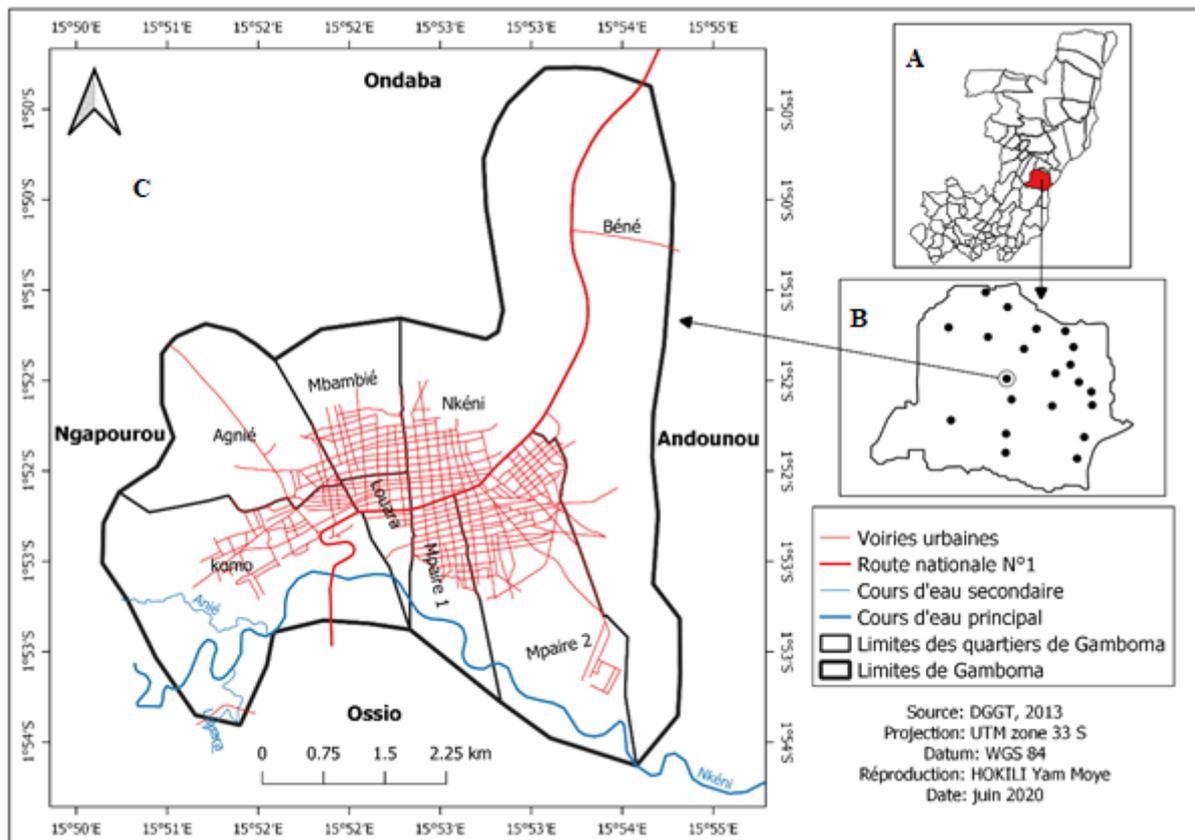


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

A : Le plateau de Nsah Ngo dans le Congo ; **B** : Localisation de la communauté urbaine de Ngamboma dans le plateau de N'Sah Ngo ;

Sur ce substratum géologique se sont développés respectivement des pseudo-podzols de nappe localisés au fond des vallées humides, les sols hydromorphes occupant les surfaces importantes des vastes vallées de la Nkéni et, enfin les sols ferrallitiques fortement désaturés occupent la quasi-totalité du plateau. Gamboma et ses environs jouissent d'un climat de type subéquatorial (M.J. Samba Kimbata, 1991, p.102). Ce climat est sous l'influence prépondérante des basses pressions intertropicales d'octobre à mai et des hautes pressions subtropicales australes de juin à septembre (M.J.Samba Kimbata et M. Mpounza, 2001, p.14-18). Les températures moyennes

annuelles se situent entre 24 et 26 °C. Il tombe en moyenne 1800 mm d'eau par an. La végétation naturelle de ce plateau est constituée essentiellement d'une mosaïque de forêts et de savanes.

2. Les données et la méthodologie d'approche

Deux paramètres importants ont été évalués au cours de cette étude. Il s'agit de l'occupation durant la période allant de 2000 à 2020 et de la sensibilité des pentes.

2.1. Choix et acquisition des images

Les images satellitaires constituent un outil important dans la cartographie de l'occupation du sol. L'approche temporelle que nous avons adoptée nous a conduit à privilégier les capteurs de la série Landsat (ETM+ et OLI) qui ont l'avantage d'avoir une chronique d'archives gratuites et d'une bonne résolution spatiale qui permet de bien identifier les objets à une échelle correspondante aux objectifs de l'étude. En effet, nous avons pu obtenir et travaillé sur des images provenant de 2 capteurs de la série Landsat : ETM+7 (Enhanced Thematic Mapper Plus) pour les années 2000 et 2010 et OLI pour l'année 2020 dont les caractéristiques sont résumées dans le Tableau 1. Le choix de ces images fournies gratuitement par l'USGS Earth Explorer est basé sur leur disponibilité, leur qualité ainsi que sur leur bonne résolution spectrale (7 bandes pour le capteur ETM+ contre 10 pour le capteur OLI) permettant de caractériser les paysages au sol de 1200 m² et 900 m².

Tableau 1 : Caractéristiques des capteurs Landsat et bandes utilisés

Satellites	Capteurs	Référence	Date d'acquisition	Résolution spatiale	Bandes
Landsat 7	EMT +	Path190W50	06/05/2000	30 m	2,3,4
Landsat 8	OLI/TIRS	Path16,Row37	24/07/2020	30 m	2,3,4

2.2. Modèles Numériques de Terrain de type SRTM

La scène SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 2010 géo référencée, téléchargée dans le logiciel Google Earth explore avec une résolution de 30 m, est générée en MNT (Modèle Numérique de Terrain) dont le traitement numérique a permis d'obtenir les classes de pentes.

2.3. Traitement des images

2.3.1. Prétraitement

Les opérations de prétraitement ont consisté à préparer les images pour les principales analyses thématiques et l'extraction des informations utiles à l'atteinte des objectifs de l'étude.

Toutes les images utilisées dans le cadre de cette étude ont été ainsi préalablement géoréférencées (Projection UTM, Zone 33 S correspondant à la Sous-préfecture de Gamboma). En outre pour avoir une image multi spectrale unique, les images Landsat acquises sous forme de bandes individuelles en niveau de gris au format Géotiff de l'USGS (*United States Geological Survey*), ont été compilées. Une composition RVB (Rouge-Vert-Bleu) en fausses

couleurs a ainsi été réalisée à partir de trois bandes (bande 4 ou Proche Infra Rouge, bande 3 ou Rouge et bande 2 ou Verte) pour chacune des quatre années de référence dans l'ordre 4-3-2, suivie d'un rehaussement linéaire à 2% du contraste pour améliorer la qualité visuelle de l'image à l'écran.

Pour s'assurer d'une certaine homogénéité dans le traitement, un nettoyage de l'image de 2000 et 2020 à 30 m de résolution spectrale a été appliqué en utilisant l'algorithme du plus proche voisin « *Fill gaps* » sous ENVI 4.7.

2.3.2. Détermination des zones d'entraînement ROI

La définition des zones d'entraînement ou régions d'intérêt (ROI) a été effectuée sur le logiciel QGIS. L'observation des différences implique la comparaison entre différentes images en se basant sur une combinaison des caractéristiques suivantes : ton, forme, taille et texture (H. B. Goma Boumba, 2020, p. 48). Les informations spectrales et spatiales ont permis de définir les classes d'occupation du sol.

Cependant, cinq (5) classes d'occupation du sol ont été définies : la forêt galerie, la savane herbeuse, la savane arbustive, l'eau et le sol nu. C'est à l'issue de cette identification que les ROI correspondantes à l'occupation du sol ont été extraites.

2.3.3. Classification des images Landsat

Après l'obtention des données d'entraînement, nous avons procédé à la classification qui est un processus de reconnaissance des formes des éléments. En télédétection, elle consiste à effectuer la correspondance entre une scène de l'image matérialisée généralement par ses valeurs radiométriques et des classes connues a priori ou non par l'utilisateur (classes d'information) (A. Diouf, 2012, p. 40). La correspondance est réalisée par des fonctions discriminantes sous forme de règles de décision ou des distances géométriques. Le résultat est une image univariable (représentation thématique) représentant des classes distinctes correspondantes aux différents thèmes au sol (A. Diouf, 2012, p. 46).

La méthode de classification employée pour analyser les changements de milieu est la classification supervisée ou dirigée. Ce dernier, utilisée dans la présente étude du fait de sa robustesse et de son aspect beaucoup plus pratique, consiste à affecter les pixels à des classes thématiques sur la base d'une connaissance préalable de la zone à étudier. La nature et le nombre des classes souhaitées sont définis par l'opérateur à travers le tracé de zones d'apprentissage, c'est à dire des échantillons représentatifs des classes. L'algorithme retenu pour cette classification supervisée est celui du « maximum de vraisemblance ». Cette méthode est très satisfaisante mathématiquement car elle repose sur les caractéristiques statistiques des échantillons représentatifs des classes précédemment identifiées sur l'image. Elle calcule la probabilité d'appartenance d'un pixel à une classe donnée et affecte ce pixel à la classe qui offre la probabilité maximale (A. Diouf, 2012, p. 46).

3. Evaluation des variations spatiotemporelles des classes d'occupation des sols (OS)

Pour évaluer les variations spatiotemporelles des classes d'OS, une quantification a été effectuée à partir de l'approche statistique. La fiabilité statistique des classifications a été

obtenue directement sous le logiciel OTB incorporé dans le logiciel QGIS et les changements ont été appréciés selon trois cas : la progression (gain des surfaces), la régression (perte de surfaces), et la stagnation (classes n'ayant connu aucune modification). En effet, la détection des changements dans l'OS s'effectue ensuite à partir de la formule ci-après :

$$S = S_2 - S_1 \quad (1)$$

S : superficie du changement, S_1 : superficie année initiale (1) et S_2 : superficie année suivante (2).

La variable considérée ici est la superficie de changement (S). Les valeurs positives représentent une progression de la superficie de la classe durant la période analysée et les valeurs négatives indiquent la perte de superficie entre les deux dates. Les valeurs proches de zéro indiquent que la classe reste relativement stable entre les deux dates.

Quant au taux de changement (Tc) de l'OS, il a été calculé selon la formule proposée par (TOYI MS, Barima YSS, Mama A, André M, Bastin J-F. et al., 2013, p. 64) :

$$Tc = \frac{(S_{n+1} - S_n)}{S_n} \times 100 \quad (2)$$

Tc : taux de changement OS, S_{n+1} : superficie année suivante et S_n : superficie année initiale

3. Résultats et discussions

3.1. Dynamique de l'occupation du sol

Les cartes (fig. 2 et 3) et le tableau 2 montrent les changements intervenus sur le site entre les années 2000 et 2020, sur une période de 20 ans. Ces changements indiquent une augmentation des zones occupées par l'homme et ses activités et un recul du couvert végétal représentée par la forêt galerie, les savanes arbustives et herbeuses, ainsi que les zones occupées et les cours d'eau. En effet, l'évolution de l'occupation du sol montre qu'en 2000 (fig.2 et tableau 2), la zone occupée par l'homme et ses activités (ZOC) était de 915 ha soit 23,14 % contre 3039 ha soit 76.83 % de surface occupée par le couvert végétal et les cours d'eaux. Par contre, en 2020 (Figure 3 tableau 2) soit 20 ans après, la ZOC a atteint 32,74 % avec 1121 ha, soit près de 10 % de taux d'augmentation par rapport à 2000, alors que la végétation et les plans d'eau ont régressé à 2353 ha soit 67.26 %.

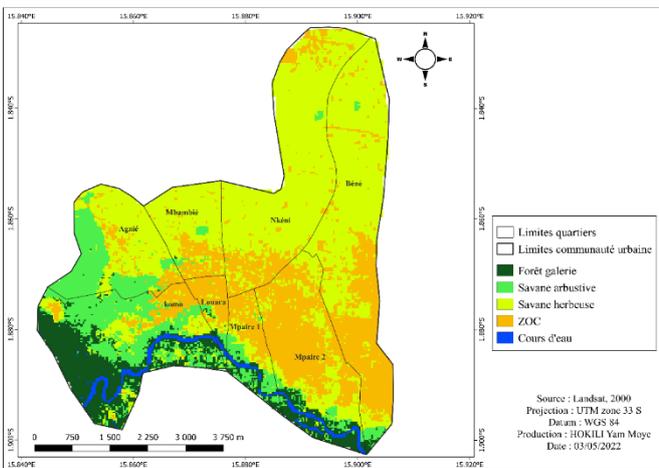


Figure 2 : Occupation du sol dans la Communauté urbaine de Gamboma en 2000

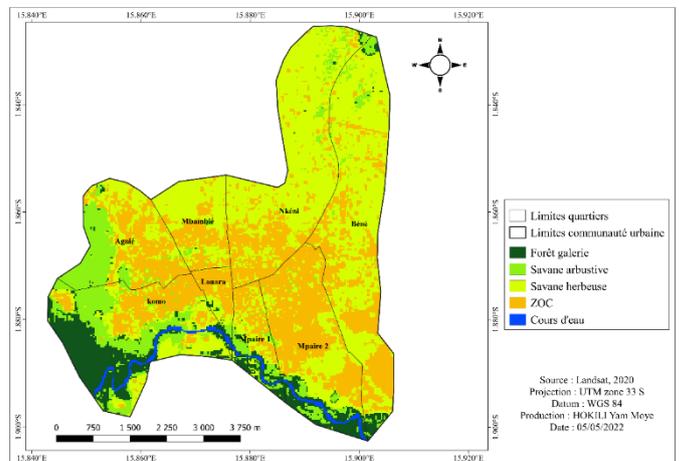


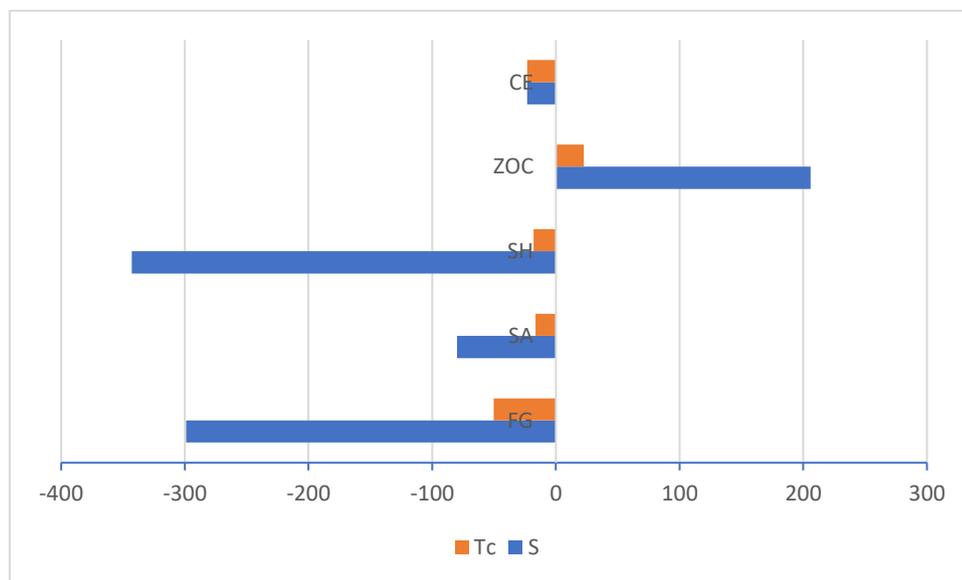
Figure 3 : Occupation du sol dans la Communauté urbaine de Gamboma en 2020

Tableau 2 : Superficies des aires occupées par l'homme et la couverture végétale

Année	Superficie	2000			2020		
		Ha	Km ²	%	ha	Km ²	%
Type d'occupation	FG	594	5,94	15,02	295	2,95	8,62
	SA	486	4,86	12,29	406	4,06	11,86
	SH	1899	18,99	48,03	1556	15,56	45,44
	ZOC	915	9,15	23,14	1121	11,21	32,74
	CE	60	0,6	1,52	46	0,46	1,34
Totaux		3954	39,54	100	3424	34,24	100

Notes : FG : Forêt galerie, SA : Savane arbustive, SH : Savane herbeuse, ZOC : Zone occupée par l'homme et ses activités, CE : Cours d'eau. **Source :** Mesures effectuées par les auteurs.

Ainsi, la dynamique de l'occupation du sol montre une augmentation des zones occupées par l'homme et ses activités (ZOC) et un recul du couvert végétal représentée par la forêt galerie (FG), les savanes arbustives (SA) et herbeuses (SH), ainsi que les plans d'eau ou cours d'eaux (CE). En effet, comme le montrent la figure 4 et le tableau 3 ci-dessous, la ZOC a connu une évolution positive alors que tous les types de végétation et les plans d'eau ont connu une évolution négative (fig. 4). Cette évolution de l'occupation humaine s'est faite beaucoup plus vers l'ouest, l'est ayant connu un léger abandon au profit de la savane qui y a connu une légère progression. Les ZOC ont même atteint le fond de la vallée de la Nkéni qu'elles ont traversé (fig.3)



1.

Figure 4 : Bilan des changements OS observé dans la communauté urbaine de Gamboma pendant la période 2000 – 2020

Tableau 3 : Évolution (S) et taux de changement (Tc) OS (2000 et 2020)

Classe OS	Année (ha)		Evolution (ha) 2000 - 2020	Taux de changement Tc (%)
	2000	2020		
FG	594	295	-299	-50,34
SA	486	406	-80	-16,46
SH	1899	1556	-343	-18,06
ZOC	915	1121	+206	22,51
CE	60	46	-14	-23,33

L'existence, en 2000, d'une couverture végétale (forêt et savane) et des plans d'eau plus importants du point de vue de l'occupation spatiale, indique une faible emprise de l'homme sur les ressources naturelles. Par contre, la réduction de la végétation (forêt et savane) en 2020, s'explique par l'augmentation de la pression anthropique sur ces ressources naturelles qui ne peut s'expliquer que par une augmentation de la population. En effet, la démographie de la Sous-Préfecture de Gamboma a connu une nette augmentation entre 1974 où la population n'était que de 8506 habitants avec une densité de 1,28 hab./ km² et 2020 où elle était estimée à 93985 habitants avec une densité de 14,17 hab./ km² (Y. M. HOKILI, 2018, p. 42).

Il importe de relever que le département des Plateaux a connu la « *municipalisation accélérée* » en 2013. Il s'agit d'une politique mise au point par le gouvernement congolais qui a consisté à célébrer, de façon tournante, dans tous les départements, la fête de l'indépendance et surtout à doter le département choisi à cet effet, d'infrastructures et services de base (édifices publics, hôpitaux, écoles, voiries urbaines modernes et routes départementales et nationales, etc.). Cette politique a permis d'améliorer la circulation des populations et des biens dans le pays. Elle explique sans doute l'accélération de la double croissance spatiale et démographique de la communauté urbaine de Gamboma. En effet, grâce aux effets de cette municipalisation accélérée de 2013, la communauté urbaine de Gamboma a connu une accélération de la dynamique de l'occupation du sol par les populations venues de plusieurs horizons. Les observations faites sur le terrain montrent plusieurs habitations récentes situées surtout à la périphérie de la ville et les témoignages recueillis stipulent qu'il s'agit pour la plupart d'habitants venus de Brazzaville et d'ailleurs. Cette dynamique spatiale qui s'est traduite par une nette régression des savanes (figure 4 et tableau 3) et la croissance démographique ont largement influencé les besoins des populations en terre pour l'agriculture, mais également en bois de chauffe, en bois pour la fabrication du charbon de bois et pour les activités diverses parmi lesquelles la construction des cases. C'est pourquoi, la forêt a connu le taux de recul le plus important, soit plus de 50 % (tableau 3). La régression spatiale des plans d'eau n'est en

fait que le rétrécissement de la Nkény qui est le cours d'eau principal qui draine la ville au sud. Elle s'explique par l'ensablement de la rivière par les produits de l'érosion qui prend de plus en plus corps le long des voiries urbaines. Les observations faites sur le terrain nous ont permis de noter que ce cours d'eau subit un ensablement surtout sur sa rive gauche qui se trouve à la base du versant aujourd'hui en pleine colonisation par la population suite à l'expansion de la ville. Les populations interrogées nous ont aussi affirmé qu'il y a quelques années, le cours d'eau était plus large et plus libre, les ensablements observés aujourd'hui n'existaient quasiment pas et que l'érosion actuellement perceptible le long des voiries urbaines est la pourvoyeuse des produits responsables de ces épandages.

Cette situation nous a amené à analyser l'un des facteurs naturels de cette érosion, les pentes des surfaces occupées.

3.2. La sensibilité des pentes des surfaces occupées

L'évolution spatiale de la ville de Gamboma se fait sans tenir compte des zones à risques d'érosion. Parmi les espaces occupés sans précaution il y a les versants dont la pente constitue un facteur de risques aux phénomènes d'érosion. En effet la pente intervient dans les phénomènes d'érosion du fait de son inclinaison, de sa longueur et de sa forme (E. Roose., 1977, P. 41).

La carte des pentes réalisée à partir du modèle numérique de terrain (MNT) subdivise la zone d'étude en quatre classes de pentes (fig. 5, tableau 4).

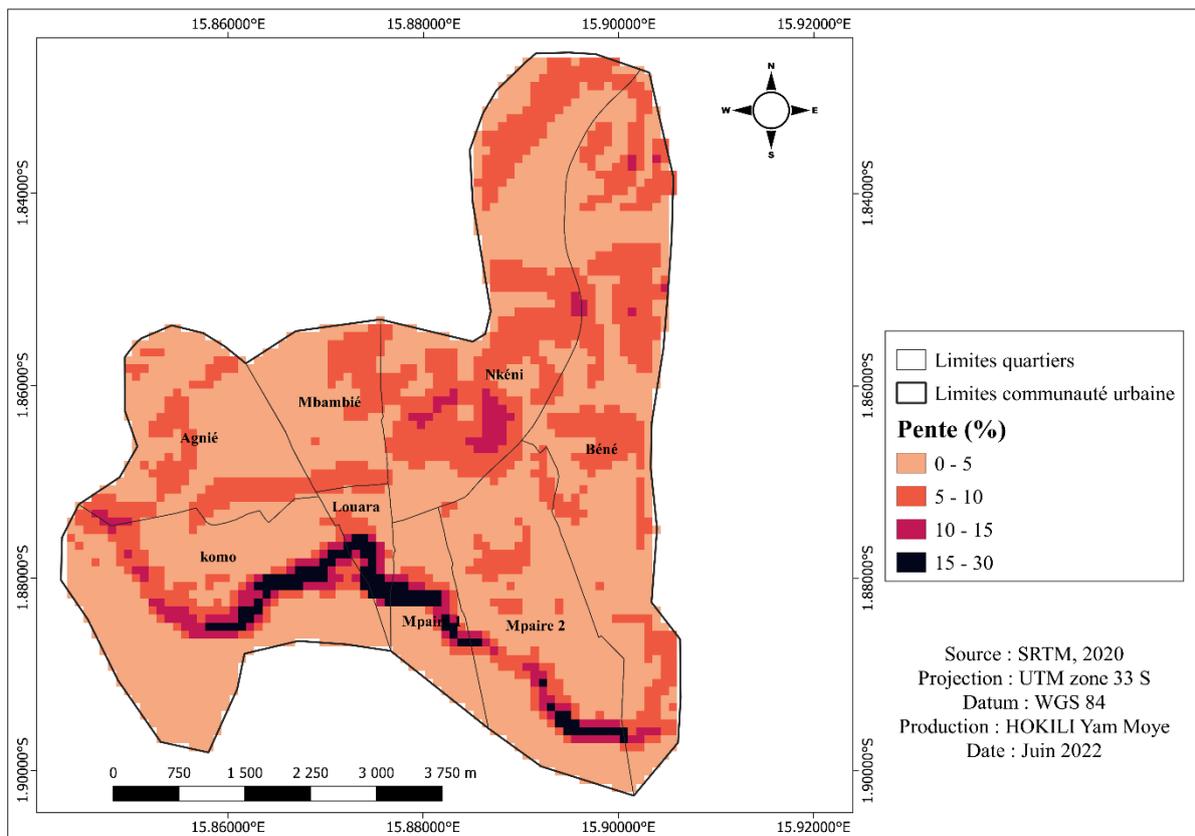


Figure 5 : carte des pentes de la communauté urbaine de Gamboma

La première est représentée par des pentes de 0 à 5%. Elle est la plus représentative avec 220806,31 ha (220,81 km²) soit près de 95% de l'espace en étude (tableau 4). On les trouve dans presque tous les quartiers (fig. 5). Bien que faibles ces pentes majoritaires concernent des espaces très étendus qui représentent des longs versants dont les effets sont aussi dommageables. En effet, lorsque la pente est faible, la vitesse de ruissellement l'est aussi, ses capacités d'ablation du sol sont réduites, mais dans ces conditions, les particules arrachées par l'érosion pluviale, sont redistribuées sur de courtes distances et colmatent les pores du sol ; ce qui réduit les infiltrations. Sur les pentes faibles, la longueur du versant peut favoriser l'érosion car plus l'eau ruisselle, plus elle prend de la vitesse et ses capacités d'ablation augmentent aussi. Les pentes de 5 à 10 % qui représentent la classe intermédiaire, occupent environ 98212,45 ha, soit un peu plus de 4% de la superficie totale de la communauté urbaine de Gamboma et celles de 10 à 15 % puis de 15 à 30 % occupent au total près de 1% de la superficie totale. Ces deux classes représentent les pentes les plus dangereuses malgré leur faible représentativité. En effet, les ruissellements croissent de façon rapide avec l'inclinaison du terrain. Plus la pente est forte, plus le ruissellement est rapide et plus ses capacités de décapage ou de ravinement sont élevées.

Tableau 4 : Superficie par classes de pentes dans la communauté urbaine de Gamboma

Classe de pente %	Superficie			
	m ²	ha	km ²	%
0 – 5	22080631	220806,31	220,81	94,84
5 – 10	9821245	98212,45	9,82	4,22
10 – 15	1382186	13821,86	1,38	0,59
15 – 30	806990	8069,9	0,81	0,39

Source : résultats obtenus par les auteurs.

Ces pentes ont été aussi illustrées par une carte en courbes de niveau et des profils topographiques de certains versants de la zone d'étude.

3.3. Relief et profils topographiques des surfaces occupées

A l'aide du logiciel Surfer et Google Earth, nous avons réalisé une carte des courbes de niveau de la partie habitée de notre zone d'étude et les profils topographiques du versant sud de ladite zone (figure 6). Et comme le montre la figure 6, le site de la communauté urbaine de Gamboma présente un relief assez ondulé avec une élévation moyenne d'environ 365 m et une altitude maximale de plus de 420 mètres. Cette topographie est marquée par la présence au sud d'un versant très incliné ayant plusieurs types de profils dont deux (rectiligne et convexo-concave) ont été mis en évidence ici. En effet, le profil AB (fig.7) qui représente le site du quartier Mpaire, a une forme rectiligne du sommet à la base, avec une pente maximale de 12% et une pente moyenne de 2.4%. Le profil CD (fig.8) qui se trouve derrière le collège de Gamboma est, par contre, convexe au sommet et concave à la base avec une pente moyenne de 6.5% alors que l'inclinaison maximale dépasse 24%, notamment sur la partie inférieure de la section convexe. Ces deux profils sont propices aux ruissellements. La partie sommitale, convexe, est déjà entièrement occupée par la population avec tout ce que cela implique comme éléments et actions favorables aux ruissellements. Plusieurs voiries urbaines sont déjà en pleine dégradation

par le ravinement (photo 2 et 3). En aval de cette partie habitée le versant est déjà affecté par les phénomènes d'érosion engendrés par les ruissellements provenant du haut du versant.

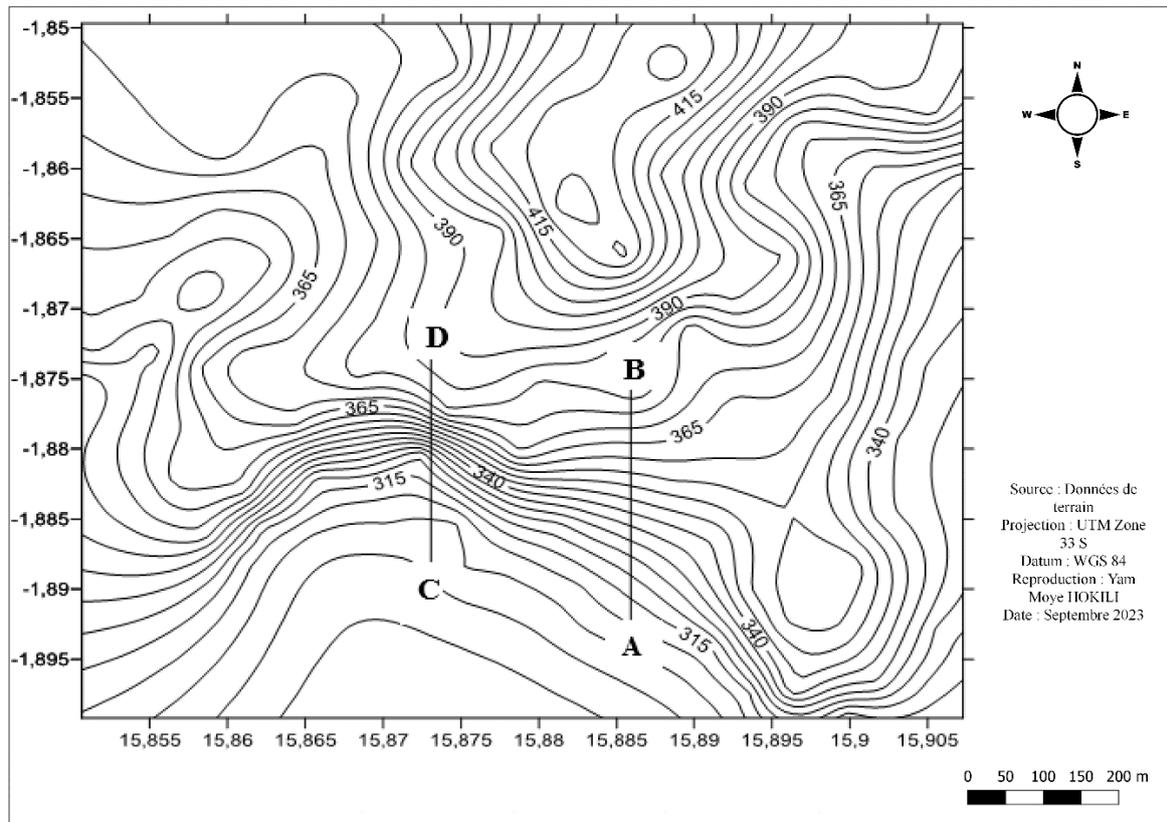


Figure 6 : Carte en courbes de niveau de la zone habitée de la communauté urbaine de Gamboma
(Source : Google Earth, réalisé par Hokili Yam Moye, 2022)

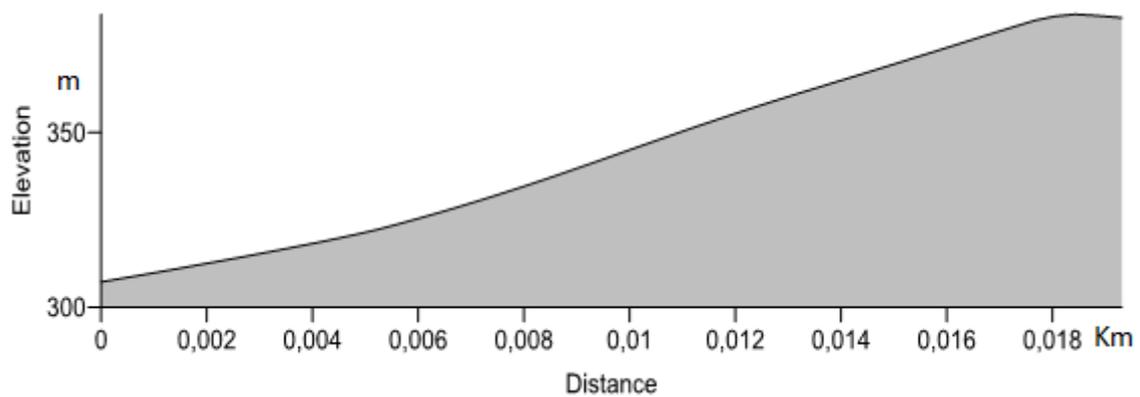


Figure 7 : Profil topographique de la parcelle d'érosion du quartier Mpaire

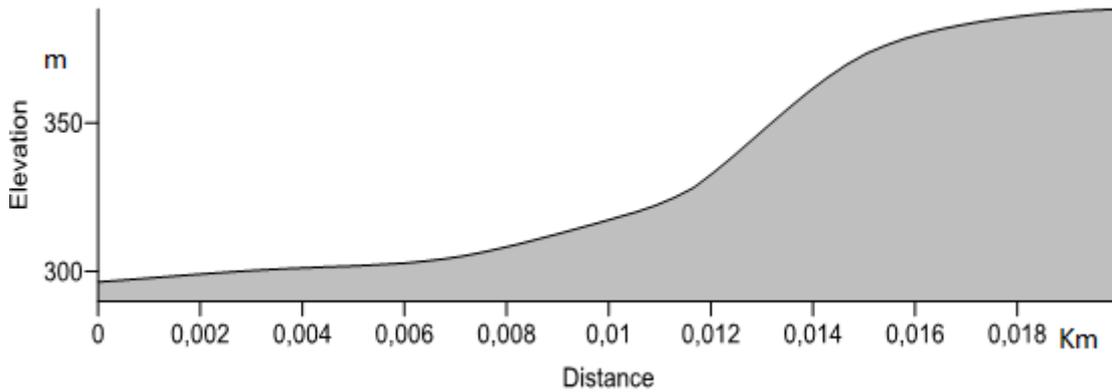


Figure 8 : Profil topographique du versant trouvant derrière le C.E.G de Gamboma

En effet, cette section intermédiaire encore non occupée par l'homme est déjà l'objet d'un ravinement intense (Photo 1). La base du versant qui limite le fond de la vallée de la Nkéni est affectée par des épandages de sables qui contribuent au rétrécissement du lit mineur du cours d'eau, comme indiqué plus haut.

La présence quasi généralisée de ces surfaces inclinées est aggravée par l'occupation humaine qui se fait presque systématiquement dans le sens de la pente (photos 2 et 3).

Planche unique : Dégradation du site de Gamboma par l'érosion hydrique



Photo 1 : ravinement du versant au sud du quartier Mpair ; **Photo 2** : ravinement d'une voirie urbaine placée dans le sens de la pente dans le quartier Anié ; **Photo 3** : Déchaussement des racines d'un arbre sur une voirie urbaine tracée dans le sens de la pente à l'entrée de l'hôpital de base de Gamboma (clichés Yam HOKILI, 2021).

Les pentes et leur occupation constituent de ce fait des facteurs de vulnérabilité du site de la communauté urbaine de Gamboma.

3.4. Discussion

La discussion des résultats porte d'abord sur la méthodologie qui a consisté en un traitement numérique de l'information géographique, notamment des données. L'étude de la dynamique de l'occupation du sol a été réalisée à travers une analyse diachronique de deux images Landsat datant de 2000 et 2020. Elle est basée sur la classification supervisée des images, à partir de l'algorithme de « maximum de vraisemblance ». Les résultats obtenus ici présentent un niveau

« bon à excellent » avec une précision globale de plus de 90 %. Cette précision est acceptable car selon R.G. Congalton (1991, p. 36-37), une classification est jugée acceptable lorsque la précision globale avoisine 80 %. Tenant compte des échelles de R. G. J. Pontius (2000, pp1012-1013), dont les valeurs sont comprises entre 95% et 99% on peut conclure que les résultats de cette analyse sont statistiquement bons. Ces précisions corroborent avec celles obtenues dans la réserve de la Léfini (plateaux Téké) par H.B. Goma Boumba (2020, p. 155-156). De même, selon cette même échelle de R. G. J. Pontius (2000, pp1012-1013) les indices de Kappa des deux images sont aussi satisfaisants. En effet, d'après l'auteur pour une analyse d'image dont la valeur de Kappa est supérieure à 50%, les résultats sont bons et par conséquent exploitables. Par ailleurs, la discussion porte aussi sur la dégradation de la végétation, la dynamique géomorphologique et ses facteurs. Un des faits marquants observé dans la dynamique de l'occupation du sol au niveau de la zone étudiée est la dégradation de la végétation naturelle (la forêt galerie et les savanes « arbustive et herbeuse »). Cette dégradation se manifeste par la disparition du couvert végétal au profit de l'emprise humaine. Les forêts galeries par exemple ont régressé de plus de 50%. La technique d'auto-construction de l'habitat avec le matériel prélevé dans les forêts, dans les villages environnants et dans certains quartiers de la communauté urbaine de Gamboma, et les autres activités ont créé une pression sur les forêts qui est responsable de leur dégradation. L'occupation anarchique de l'espace notamment dans les zones de fortes pentes non aménagées au préalable, la mise en place des voiries urbaines dans le sens de la pente ont créé les conditions idéales au déclenchement de l'érosion ravinante dans la ville. La même constatation a été faite dans la sous-région par Banakayi, 2010 et Tchotsoua & Bonvallot, 1997 dont les travaux ont été menés dans le même contexte que le nôtre respectivement à la cité Kindele dans la commune de Mont Ngafula à Kinshasa (R.D Congo) et à Yaoundé (Cameroun). Le recours aux images Landsat a permis à B. Enonzan Folohouncho (2010, p. 8) de mettre en place une méthode de suivi de l'occupation des terres et la gestion durable des forêts classées de Dogo-Ketou du Bénin. Son étude montre que la diminution, voire la disparition des forêts tropicales trouve son origine dans les feux de forêt, l'exploitation abusive et anarchique des ressources forestières. Ces résultats sont confirmés dans les travaux de O. Arouna (2012, p. 72) qui constate que les forêts denses sèches, dans la Commune de Djidja au Bénin, ont été complètement converties en d'autres unités d'occupation du sol. Les autres formations végétales comme les forêts galeries, les forêts claires et les savanes boisées sont devenues des formations végétales rares et s'observent le plus souvent au niveau des terres marginales inaptes à l'agriculture.

Outre les facteurs anthropiques, la sensibilité du milieu naturel a été aussi stigmatisé comme cause de la fragilité du milieu. La pente est le principal facteur naturel qui a été étudié dans cet article. En effet, la plupart des manifestations de l'érosion s'observent sur le versant très incliné qui donnent vers la rivière Nkéni. Le rôle du facteur pente est reconnu par tous les physiciens du sol, à l'exemple de Duley & Hays (1933), Neal (1938), Zingg (1940), Borst & Woodburn (1940) cités par Roose (1977 p. 42). Ces derniers ont montré que les pertes en terre dues à l'érosion des sols croissent de façon exponentielle avec la variation de la pente. R.P.C Morgan (2005 p. 435) a aussi indiqué que l'inclinaison augmente la vitesse et la force des ruissellements et les transports solides croissent de façon exponentielle avec le pourcentage de la pente. Pour Sitou & Mayima (2013), qui ont réalisé une étude de l'érosion hydrique sur le plateau de

Makélékélé à Brazzaville (plateau des Cataractes), sans inclinaison du terrain, le ruissellement serait faible, les sédiments détachés par le splash resteraient sur place et l'érosion mécanique serait donc nulle.

Conclusion

La communauté urbaine de Gamboma et ses environs ont connu entre 2000 et 2020 une occupation accélérée de son espace. Cette occupation se caractérise par une augmentation de l'espace occupé par l'homme et ses activités qui est passée de 23,14 % à 32,74 %, soit une progression de près de 10%. Elle s'est faite au détriment du couvert végétal, notamment de la forêt galerie qui a régressé de plus de 50% et des savanes herbeuses et arbustives dont le taux de diminution est de près de 20% en moyenne. Le site de Gamboma est très ondulé et l'inclinaison, certes faible dans l'ensemble, atteint 30% à certains endroits. Cette occupation humaine favorise les ruissellements qui sont responsables du ravinement des versants et de la sédimentation des bas-fonds notamment de la vallée de la Nkéni qui est le cours d'eau qui traverse la ville au sud. L'ensablement du fond de cette vallée engendre le rétrécissement du cours d'eau.

Ainsi, le traitement numérique des images Landsat dans un environnement SIG constitue un outil important pour la cartographie des informations géographiques. La destruction du couvert végétal au profit des surfaces dénudées et l'occupation sans précaution des versants inclinés sont les principaux facteurs de la vulnérabilité de la communauté urbaine de Gamboma face aux risques de dégradation par l'érosion hydrique. La solution à cette préoccupation est la sensibilisation de la population sur les impacts de l'occupation sans précaution du site et les moyens de lutte contre ces risques de dégradation. L'étude de la perception du phénomène par la population afin de définir une meilleure stratégie pour cette sensibilisation est la principale perspective de cette étude.

Références bibliographiques

AROUNA Ousséni, 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 Unique, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 246 p.

BATOLA Ghislain Ulrich, 2011, *tentatives de lutte antiérosive dans les quartiers nord de Brazzaville : analyse de l'efficacité des méthodes et des techniques utilisées*, Mémoire de maîtrise, Université Marien Ngouabi, 120 p.

CONGALTON Russell G., 1991, « review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data », *RemoteSensing of Environment*, vol. 37, p.35-46.

DIOUF Abdoulaye., 2012, *Influence du régime des feux d'aménagement sur la structure ligneuse des savanes nord Soudaniennes dans le Parc du W (Sud-Ouest du Niger)*. Thèse de Doctorat (PHD) Faculté des sciences, Ecole Inter facultaire de Bioingénieurs, Service d'Ecologie et des Systèmes de production Végétale ; Université Libre de Bruxelles ; Université d'Europe, 207p.

GOMA BOUMBA Hugues Bruno, 2020, *Caractérisation et suivi du couvert végétal de la réserve de chasse de la Léfini*, Thèse de Doctorat unique, Université Marien Nguabi, Brazzaville, 272 p.

ENONZAN FOLOHOUNCHO Bibiane, 2010, *Utilisation de la télédétection et des SIG dans la gestion durable des aires protégées : cas des forêts classées de Dogo-Ketou au Bénin*, Mémoire de fin d'études, Obafemi Awolowo University Campus, 89 p.

HOKILI Yam, 2018, Etude de l'érosion hydrique sur le site de Gamboma dans le département des Plateaux, mémoire de master, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH), Université Marien NGOUABI, Brazzaville, pp 8-10.

LE BISSONNAIS Yves, 2000, « Analyse expérimentale des mécanismes d'érosion : la dégradation structurale superficielle et le détachement des particules des sols cultivés » Ingénieries – EAT N° 22, p. 27-36.

LE MARECHAL Alain, 1966, Contribution à l'étude des plateaux Batékés (géologie, géomorphologie et hydrologie). Rapport Orstom, Brazzaville, 78 p.

MORGAN R.P.C. (2005): « *Soil Erosion and Conservation, 3rd ed.*; Blackwell Publishing Ltd.: Oxford », UK. 57. p. 426–445.

PONTIUS Robert Gil, 2000, « *Quantification error versus location in comparison of categorical maps* ». Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 6, p. 1012-1013.

ROOSE Eric, 1977, « Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest, vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales », Travaux et Documents de l'O.R.S.T.O.M. n°70, Paris.

ROOSE Éric, 1977, Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest : vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales, Travaux et Documents de L'ORSTOM N° 78. 108 p, Paris.

SAMBA KIMBATA Marie-Joseph et MPOUNZA Marcel, 2001, Climat, in Atlas de l'Afrique, Congo, les éditions Jeune Afrique, Paris, pp. 14–18.

SAMBA-KIMBATA Marie-Joseph, 1991, Précipitations et bilans de l'eau dans le bassin forestier du Congo et ses marges, Thèse pour le Doctorat d'Etat, Université de Bourgogne, Centre de recherches de climatologie, Dijon, 241 p

SITOU Léonard., 1994, *les cirques d'érosion dans la région de Pointe-Noire (République du Congo), Etude morphologique*. Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur-Strasbourg I (France), 224 p.

TOYI M. S., BARIMA YSS, MAMA A, André M, BASTIN J-F, De CANNIERE C, SINSIN B & BOGAERT J., 2013. Tree plantation will not compensate natural woody vegetation cover loss in the Atlantic Department of Southern Benin. *Tropicult*. 31 : 62 - 70.