

Evolution de l'occupation du sol dans les bassins versants fortement urbanisés et leurs impacts sur les ruissellements de surface: Cas de Bonoumin et du Gourou (Abidjan, Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest)

[Evolution in land use in highly urbanised watersheds and their impacts on surface runoff: Case of Bonoumin and Gourou (Abidjan, Ivory Coast, West Africa)]

Kouadio Prudence Aka¹, Yao Blaise Koffi², Anzoumanan Kamagate³, Kouassi Ernest Ahoussi⁴, and Amani Michel Kouassi⁵

¹Laboratoire des sciences du sol, de l'eau et des géomatériaux, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Laboratoire des sciences du sol, de l'eau et des géomatériaux, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

³Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Mer, Université de San-Pedro, Ville: San Pedro, Côte d'Ivoire

⁴Laboratoire des sciences du sol, de l'eau et des géomatériaux, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

⁵Stermi, Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The spatio-temporal dynamic of land use in the Bonoumin and Gourou watersheds, over the last three decades (1990 to 2020), were analysed using Landsat images (1990, 2005 and 2020), remote sensing and a geographic information system (GIS). The main objective of this study was to analyse the impact of changes in land use in these two watersheds on stormwater runoff, which is responsible for flooding in the study area. The methodology adopted consisted of first downloading the Landsat images, which were then pre-processed, before undergoing several processes, leading to the classification and analysis of land cover dynamic. Maximum likelihood supervised classification was applied. Thus, the results of this classification showed that over the last three (03) decades, the impermeabilised surfaces in the two watersheds, represented by the medium and highly densified urban areas, have increased significantly, unlike the vegetated surfaces, which have decreased significantly. The increase in impermeable surfaces reduces the capacity for water to infiltrate the soil and increases the amount of runoff. The results also showed that in recent years, the upper reaches of the Bonoumin watershed have come under considerable anthropogenic pressure. This means that in a few years time, there will be a sharp increase in the amount of runoff water in the lowlying areas of this basin, and therefore an increase in the risk of flooding.

KEYWORDS: Land use, Landsat images, sealed surfaces, Bonoumin watershed, Gourou watershed.

RESUME: La dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol des bassins versants de Bonoumin et du Gourou, au cours de ces trois dernières décennies (de 1990 à 2020), a été analysée à partir des images Landsat (de 1990, de 2005 et de 2020), de la télédétection et d'un système d'information géographique (SIG). L'objectif de cette étude était d'analyser l'impact des modifications de l'occupation du sol de ces deux bassins versants, sur les eaux de ruissellement pluvial, responsables des inondations dans la zone d'étude. La méthodologie adoptée a consisté à télécharger premièrement les images Landsat, qui ont par suite été prétraitées, avant de subir plusieurs traitements, pour aboutir à la classification et à l'analyse de la dynamique de l'occupation du sol. La classification supervisée par maximum de vraisemblance a été appliquée. Ainsi, les résultats de cette classification ont montré qu'au cours de ces trois (03) dernières décennies, les surfaces imperméabilisées sur les deux bassins versants, représentées par les zones urbaines moyennement et fortement densifiées, ont significativement progressées, contrairement aux surfaces végétalisées, qui ont beaucoup régressées. La progression de ces surfaces imperméabilisées entraîne la diminution de la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol et l'augmentation des eaux de ruissellement pluvial. Aussi, les résultats ont-ils montré que depuis quelques

années, l'amont du bassin versant de Bonoumin subit une forte pression anthropique. Ce qui signifie que d'ici quelques années, il y aura une forte augmentation de la quantité d'eau de ruissellement dans les zones basses de ce bassin et donc l'augmentation du risque d'inondation.

MOTS-CLEFS: Occupation du sol, images Landsat, surfaces imperméabilisées, Bassin versant de Bonoumin, Bassin versant de Gourou.

1 INTRODUCTION

La plupart des grandes métropoles Ouest africaines connaissent de nos jours une forte croissance démographique due en partie à la grande sécheresse, qu'a connue cette partie de l'Afrique pendant la deuxième moitié du XXème siècle. Selon le RGPH, la population de la ville d'Abidjan est estimée à environ 500000 habitants en 1970 et est passée à 5616633 habitants en 20121 [1], [2], soit une augmentation de 100 326 habitants par an au cours de ces 51 dernières années. Cette urbanisation galopante n'est pas sans conséquence sur l'espace urbain, car elle a conduit à une forte imperméabilisation des bassins versants de Bonoumin et du Gourou, objet de cette étude. Elle a également provoqué l'augmentation de la vulnérabilité des populations, qui habitent les zones basses de ces bassins, face aux inondations à la suite des pluies intenses. Or, selon le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), les pluies intenses vont se multiplier dans les prochaines années, [3]. Et selon plusieurs études, l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes liés au réchauffement du climat, combinée à l'anthropisation de plus en plus marquée des bassins fluviaux (imperméabilisation des surfaces, déforestation, disparition des terrains marécageux, etc.), entraînera une augmentation importante des phénomènes d'inondations [4], [5]. Dans la ville d'Abidjan, de façon générale et dans les bassins versants de Bonoumin et du Gourou, en particulier, entre les années 2009 et 2020, l'on a enregistré neuf (09) années où les inondations ont endeuillé plusieurs familles et provoqué d'importants dégâts matériels. Une première étude réalisée par [6], a montré l'impact des caractéristiques morphométriques de chaque bassin sur la recrudescence des inondations, en vue de la compréhension du fonctionnement hydrologique de ces deux bassins. Ainsi, l'objectif de ce présent article est d'analyser l'impact des modifications de l'occupation du sol de ces deux bassins versants, sur les eaux de ruissellement pluvial, responsables des inondations dans la zone d'étude. Ainsi, il sera question, dans cette étude, d'analyser la dynamique de l'occupation du sol sur ces deux bassins versants, au cours de ces trente (30) dernières années, en mettant un accent particulier sur l'évolution des zones urbaines moyennement et fortement densifiées, qui peuvent avoir un rôle déterminant dans la genèse des eaux de ruissellement pluvial.

2 MATERIEL ET METHODE

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Localisés dans la ville d'Abidjan entre les latitudes 4°02'30" et 3°56'15"N et les longitudes 5°20' et 5°25' W, les bassins versants de Bonoumin et du Gourou (Fig. 1) couvrent respectivement les superficies de 47,8 km² et de 28,7 km². Le bassin versant de Bonoumin est localisé dans deux communes de la ville d'Abidjan: Abobo et Cocody. Tandis que le bassin du Gourou, s'étend sur quatre communes de ladite ville: Cocody, Abobo, Adjamé et Plateau [6]. Les rivières de ces deux bassins versants sont des rivières intermittentes qui drainent principalement les eaux de ruissellement pluvial [6]. Sur le plan climatique, il règne sur ces deux bassins versants, un climat de type équatorial de transition ou encore climat attiéen [7], [8], caractérisé par deux saisons des pluies et deux saisons sèches. La saison des pluies comprend une grande saison (d'avril à juillet avec un pic pluviométrique en juin) et une petite saison (d'octobre à novembre). Egalement, la saison sèche se compose d'une longue saison (décembre à mars) et d'une courte saison (août à septembre), [6]. La géologie de la zone d'étude est constituée de sables, d'argiles et de grès ferrugineux des Hauts-Plateaux [8]. Sur le plan hydrogéologique, l'on rencontre principalement sur les deux bassins versants, la nappe du Continental Terminal [8].

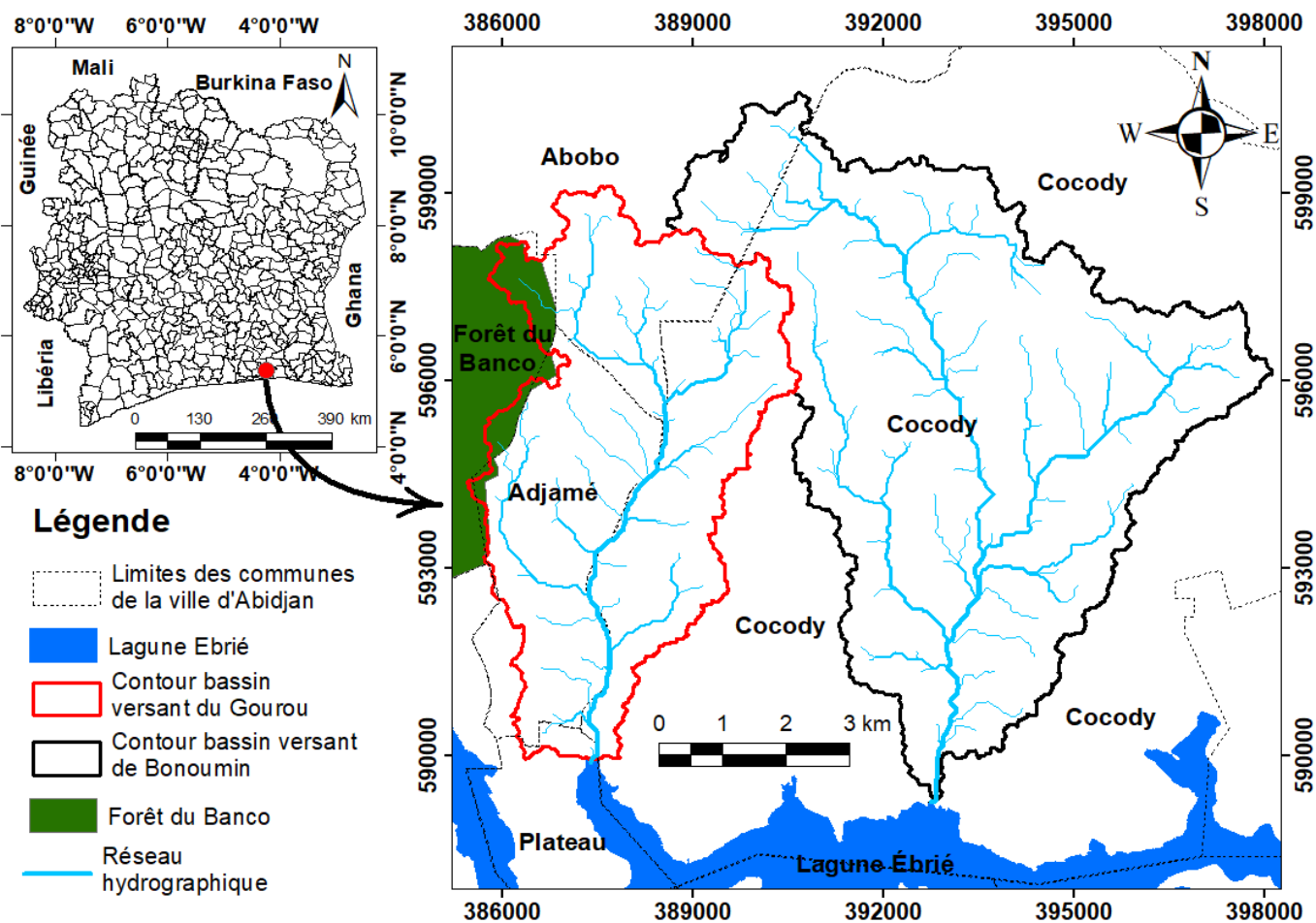


Fig. 1. Aperçu des bassins versants de Bonoumin et du Gourou

2.2 MATÉRIEL ET DONNÉES

Dans le but d'étudier la dynamique de l'occupation du sol dans la zone d'étude, l'on a opté pour l'utilisation des images satellitaires qui couvrent une superficie plus grande et donc qui ont la capacité de représenter un grand nombre de processus à la fois. Ces images proviennent du capteur Landsat. Les raisons de l'utilisation des images de ce capteur sont liées à leur accès gratuit, mais aussi à cause de leur disponibilité sur toute la période d'étude.

2.3 MÉTHODES

2.3.1 ACQUISITION DES IMAGES POUR L'ÉTUDE DE LA CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL

Trois (03) images Landsat, acquises à des dates différentes, ont été utilisées pour étudier la dynamique de l'occupation du sol sur les bassins versants de Bonoumin et du Gourou. Il s'agit des images Landsat TM (Thematic Mapper) pour celle de 1990, ETM+ (Enhance Thematic Mapper) pour celle de 2005 et OLI (Operational Land Imager) pour celle de 2020. Compte tenu de l'abondance de nuage dans le ciel abidjanais pendant les deux saisons pluvieuses et la petite saison sèche, les images Landsat utilisées dans cette étude ont été acquises pendant la grande saison sèche, principalement dans les mois de décembre à mars. C'est seulement dans cette période que les images sont de bonne qualité avec moins ou pas de nuage. Ces données Landsat ont été obtenues par téléchargement à partir du site web de l'USGS (United States Geological Survey), à partir de l'adresse <http://earthexplorer.usgs.gov>. Une fois les images acquises, elles ont été traitées et puis classifiées afin d'extraire des informations sur l'occupation du sol à l'aide de logiciels tels que ENVI 5.1 et ArcGIS 10.5.

2.3.2 PRÉTRAITEMENTS DES IMAGES

Les prétraitements appliqués aux différentes images Landsat, utilisées dans cette étude, concernent les corrections atmosphériques et radiométriques. Pour la correction radiométrique, la procédure suivie a consisté à passer les valeurs des pixels de compte numérique en valeur

de réflectance au sommet de l'atmosphère. Ensuite, une correction atmosphérique a été appliquée en vue de convertir la réflectance au sommet de l'atmosphère en valeur de réflectance de la surface du sol. Pour ces différentes corrections, nous avons utilisé respectivement les outils du logiciel ENVI 5.1 « Radiometric Calibration », pour la correction radiométrique et « Dark Subtraction », pour la correction atmosphérique.

2.3.3 TRAITEMENTS DES IMAGES SATELLITAIRES

2.3.3.1 COMPOSITION COLORÉE

Les corrections radiométriques et atmosphériques appliquées sur chacune des images Landsat a permis d'obtenir de nouvelles images de meilleure qualité. Ensuite, il a été question de faire une composition colorée de chaque nouvelle image obtenue. Elle consiste à combiner des informations que contiennent trois bandes en les affichant simultanément dans les trois couleurs primaires (rouge, vert et bleu). La composition colorée permet donc de faire une synthèse d'informations en vue de faire une bonne discrimination des types de formations végétales et aussi des différentes zones urbaines [9]. Ainsi, deux types de composition colorée ont été effectués dans cette étude. Ce sont les compositions 6/5/4, qui ont été utilisées pour discriminer les différentes zones urbaines et les compositions 4/3/2, utilisées pour la discrimination des formations végétales [10].

2.3.3.2 CHOIX DES SITES D'ENTRAÎNEMENTS

Les sites d'entraînement sont des polygones qui ont été délimités sur Google earth, pour la période correspondante sur chaque image téléchargée, en vue de faire la classification de l'occupation du sol. Ce sont des portions d'images qui sont sélectionnés par l'utilisateur et elles sont souvent de forme irrégulière et généralement utilisées pour extraire des données statistiques dans la classification [11]. La délimitation de ces polygones, a été faite en fonction des objectifs de l'étude et donc des classes de l'occupation du sol que nous avons retenues. Il s'agit notamment des classes forêt, herbacée, eau, urbain faiblement et moyennement densifié (URFMD) et urbain fortement densifié (URHD). Ainsi, pour chaque image, plusieurs sites d'entraînement ont été délimités puis scinder en deux groupes. Le premier a servi à faire la classification, tandis que le deuxième a été utilisé pour son évaluation.

2.3.3.3 CLASSIFICATION DE L'OCCUPATION DU SOL

La classification de l'occupation du sol, à partir des images Landsat des années 1990, 2005 et 2020, des bassins versants de Bonoumin et du Gourou, a été faite à l'aide de la méthode classification supervisée à partir de l'algorithme de maximum de vraisemblance. Il s'agit d'un algorithme qui utilise des échantillons pour déterminer les caractéristiques des catégories de l'occupation du sol [11]. Le principe de cette méthode consiste à comparer la signature spectrale de chaque pixel dans chacun des trois canaux (5, 4 et 2) à celle des parcelles d'entraînement ou régions d'intérêt [9]. Les pixels sont alors affectés dans la classe dont ils sont le plus proche. Par ailleurs, dans le souci d'améliorer la classification des images brutes sorties, les pixels isolés ont été réassociés à une classe. Cette opération a consisté à filtrer l'image classifiée en utilisant un filtre de convolution, précisément un filtre médian de taille 3x3. A la suite de la classification de l'occupation du sol, l'on est passé, à son évaluation et à sa validation.

2.3.3.4 EVALUATION ET VALIDATION DES RÉSULTATS DE LA CLASSIFICATION DE L'OCCUPATION DES SOLS

L'évaluation de la précision d'une classification de l'occupation du sol, en vue d'une utilisation, est basée sur l'interprétation de la matrice de confusion [11]. Cette matrice permet de déterminer la précision globale des résultats obtenus (nombre total de pixels correctement classifiés, coefficient Kappa) et la précision de chaque catégorie classifiée (précision individuelle). Le résultat de la classification est considéré comme acceptable si le nombre total de pixels correctement classifiés est supérieure à 85%, les précisions individuelles des catégories sont du même ordre [12], et le coefficient Kappa est supérieur à 0.80 [13], [14], [15].

2.3.3.5 ETUDE DE LA DYNAMIQUE DES CLASSES DE L'OCCUPATION DU SOL

Une fois la classification terminée et les cartes validées, les superficies de différentes classes d'occupation du sol ont été calculées à partir du croisement des cartes d'occupation du sol des différentes années à l'aide de la fonction *Intersect* de la boîte à outils Arctoolbox du logiciel ArcGIS 10.5. Le taux de changement (T_c) d'une classe de l'occupation du sol entre deux dates a été calculé pour chaque classe sur la base de l'équation 23 [18]:

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

Où S_1 et S_2 sont respectivement les superficies initiale et finale de la classe d'occupation du sol.

Ainsi, les valeurs positives de T_c ($T_c > 0$) indiquent une progression de la surface de la catégorie pendant la période analysée et les valeurs négatives T_c ($T_c < 0$) traduisent la perte de surface d'une catégorie entre les deux dates. Les valeurs proches de zéro nous indiquent que la catégorie reste relativement stable entre les deux dates.

2.3.3.6 CALCUL DU RYTHME D'ÉVOLUTION DES UNITÉS D'OCCUPATION DU SOL

La connaissance du rythme d'évolution d'une classe de l'occupation du sol permet d'apprécier sa dynamique à différentes périodes. Ainsi, dans cette étude, nous avons appelé S_1 , la superficie d'une unité d'occupation du sol en 1990, S_2 sa superficie en 2005, S_3 sa superficie en 2020 et ΔS , la variation de la superficie de cette unité d'occupation entre deux années. Par la suite, les interprétations suivantes sont faites:

- Si $\Delta S = 0$, on conclut qu'il y a stabilité;
- Si $\Delta S < 0$, on conclut qu'il y a diminution de cette unité;
- Si $\Delta S > 0$, il y a extension de cette unité.

Ainsi, les différentes étapes de la cartographie de la dynamique de l'occupation du sol peuvent être résumées par le diagramme de la figure ci-dessous (Fig. 2).

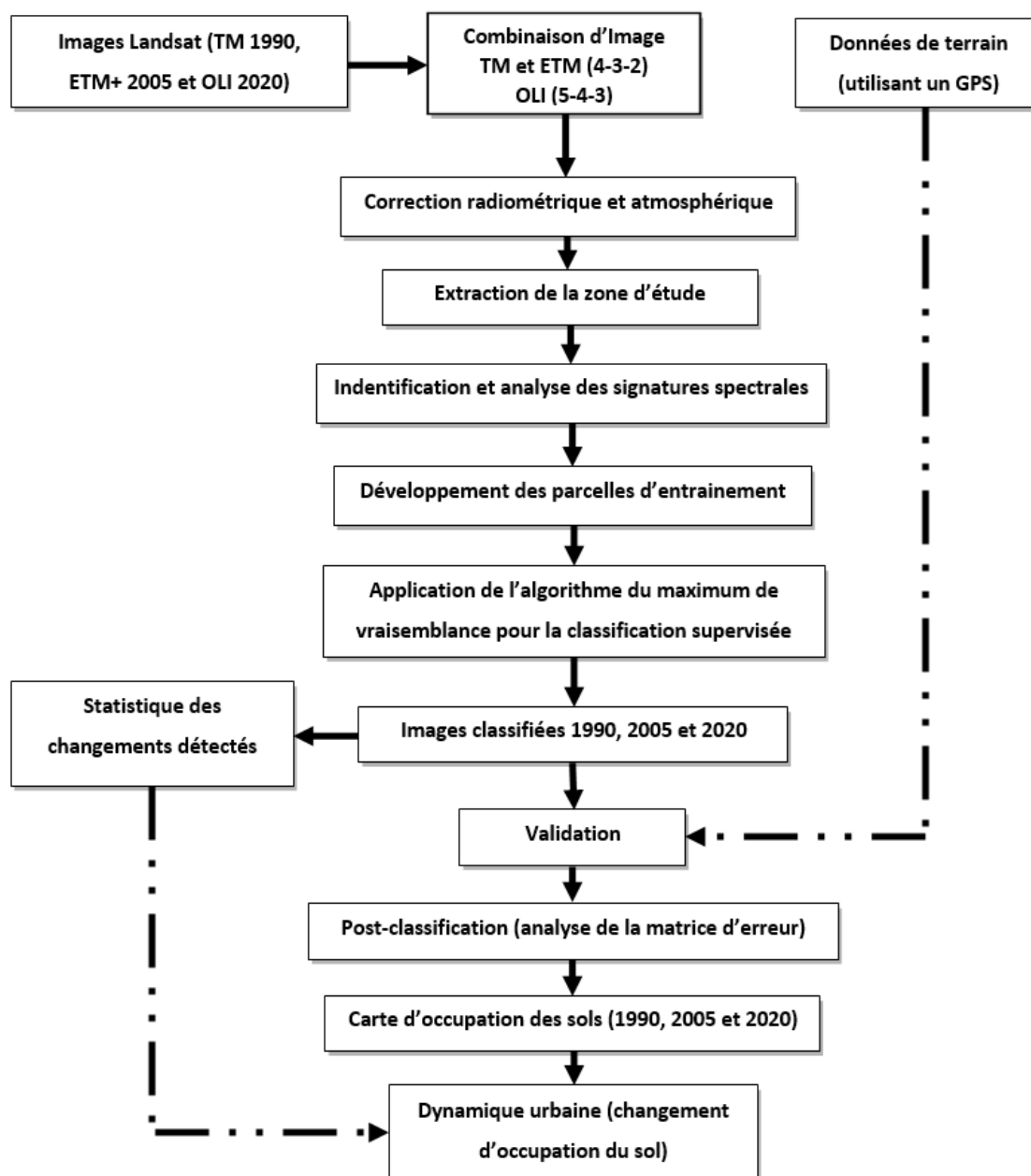


Fig. 2. Diagramme résumant la cartographie de la dynamique urbaine des bassins versants de Bonoumin et du Gourou

3 RESULTATS

Le prétraitement et le traitement des images Landsat de 1990, 2005 et 2020, ont permis d'obtenir les résultats sur la dynamique de l'occupation du sol des bassins versants de Bonoumin et du Gourou. Par ailleurs, notons que la connaissance des dynamiques récentes des différentes classes de l'occupation du sol des deux bassins versants, est essentielle pour appréhender leur évolution future et leur modélisation.

3.1 DESCRIPTION DES CLASSES DE L'OCCUPATION DE SOL RETENUES

La définition des classes de l'occupation du sol, pour une étude de sa dynamique spatio temporelle est une étape très importante. Ainsi, à la suite des travaux de reconnaissance et d'observation sur le terrain combinés aux objectifs de l'étude, cinq (05) classes d'occupation du sol, ont été définies pour étudier leur dynamique spatio-temporelle sur les bassins versants de Bonoumin et du Gourou. Ces classes sont décrites dans le tableau 1.

Tableau 1. Classes de l'occupation du sol des bassins versants de Bonoumin et du Gourou

Classes	Description
Forêt	Cette classe comprend les forêts du Banco, de l'Université Nangui Abrogoua, d'Agban gendarmerie ainsi que de tous autres espaces forestiers répertoriés sur l'étendue des deux bassins versants d'étude.
Herbacé	Elle comprend les espaces engazonnés, les végétations présentes dans les cours d'eau naturels de la zone d'étude, la broussaille des zones non encore habitées ainsi que les arbres isolées et plantés par les riverains.
Urbain faiblement et moyennement densifié (URFMD)	Cette classe caractérise les zones urbaines présentant une faible imperméabilisation. Ces zones, dépendant des types de construction, sont fonction des quartiers et donc du niveau de vie des populations. Elles caractérisent majoritairement certains quartiers d'Abobo, d'Adjamé et aussi les zones dénudées et non encore construites ou construites mais non encore habitées.
Urbain fortement densifié (URHD)	Cette classe caractérise les zones urbaines présentant un taux d'imperméabilisation élevé et très élevé. Également fonction du niveau de vie, elle caractérise plusieurs quartiers de la commune de Cocody, mais aussi certains quartiers des communes d'Abobo et d'Adjamé.
Eau	Compte tenu du fait que les images ont été acquises pendant la saison sèche, les plans d'eau classifiés sur les cartes d'occupation du sol concernent seulement la Lagune Ebrié. Cette classe a été principalement définie à l'exutoire du bassin du Gourou. Cependant, elle est absente à l'exutoire du bassin de Bonoumin à cause de la morphologie particulière de son exutoire (recul du niveau de la lagune pendant la grande saison sèche).

3.2 ÉVALUATION DE LA PRÉCISION DE LA CLASSIFICATION DANS LES BASSINS VERSANTS DE BONOUMIN ET DU GOUROU

3.2.1 MATRICE DE CONFUSION DE L'OCCUPATION DU SOL DU BASSIN VERSANT DE BONOUMIN

Les tableaux 2 à 4 présentent respectivement les matrices de confusion de la classification supervisée des images Landsat des années 1990, 2005 et 2020 pour le bassin versant de Bonoumin.

Tableau 2. Matrice de confusion de la classification de l'image de 1990

Classes	Forêt	Herbage	Eau	URFMD	URHD	Total
Forêt	100	0	0	0	0	36,98
Herbage	0	100	0	0	0	27,53
Eau	0	0	100	0	0	5,12
URFMD	0	0	0	98,85	3,37	23,62
URHD	0	0	0	1,15	96,63	11,88
Total	100	100	100	100	100	100

Précision globale: 99,33 %; Coefficient Kappa: 0,99

La matrice de confusion montre une bonne classification de l'image comme en témoignent les valeurs de la précision globale de la classification et du coefficient Kappa qui sont respectivement de 99,33% et 0,99. Cependant, quelques confusions se sont produites entre les zones urbaines. Ces confusions sont détaillées comme suit:

- 3,37 % des zones urbaines faiblement et moyennement densifiées (URFMD), ont été confondues aux zones urbaines fortement densifiées (URHD);
- 1,15 % des zones urbaines fortement densifiées, ont été confondues aux zones urbaines faiblement et moyennement densifiées.

Tableau 3. Matrice de confusion de la classification de l'image de 2005

Classes	Forêt	Herbage	Eau	URFMD	URHD	Total
Forêt	100	0	0	0	0	14,03
Herbage	0	100	0	0	0	27,93
Eau	0	0	100	0	0	1,79
URFMD	0	0	0	97,6	0	41,45
URHD	0	0	0	2,4	100	56,76
Total	100	100	100	100	100	100

Précision globale: 99,27%; Coefficient Kappa: 0,99

L'analyse de la matrice de confusion issue de la classification de l'image de 2005 montre également une très bonne classification avec des valeurs respectives de la précision globale et du coefficient Kappa de 99,27% et 0,99. Cependant, comme dans le cas précédent, l'on note que 2,4 % des zones urbaines fortement densifiées ont été confondues aux zones urbaines faiblement et moyennement densifiées.

Tableau 4. Matrice de confusion de la classification de l'image de 2020

Classes	Forêt	Herbage	Eau	URFMD	URHD	Total
Forêt	81,32	2,99	0	1,27	0	6,23
Herbage	17,58	97,01	0	0	0	10,83
Eau	0	0	100	0	0	1,19
URFMD	1,10	0	0	88,77	7,56	34,72
URHD	0	0	0	9,96	92,44	47,03
Total	100	100	100	100	100	100

Précision globale: 89,55%; Coefficient Kappa: 0,89

L'analyse de ce tableau montre que des confusions se sont produites d'une part entre les classes urbaines et d'autre part entre les classes forêt et herbage. En effet:

- 9,96 % et 1,27 % des zones urbaines faiblement et moyenne densifiées (URFMD) ont été confondues respectivement aux zones urbaines fortement densifiées (URHD) et aux forêts;
- À l'opposé, il faut remarquer que 7,58 % des zones urbaines fortement densifiées été confondues aux zones urbaines faiblement et moyennement densifiées.
- Le constat est le même pour les forêts où 17,56 % et 1,10 % ont été confondues respectivement aux herbages et aux zones urbaines faiblement et moyennement densifiées;
- En ce qui concerne les herbages, l'on note une confusion de 2,99 % attribuée aux forêts.

3.2.2 MATRICE DE CONFUSION DE L'OCCUPATION DU SOL DU BASSIN VERSANT DU GOUROU

Les tableaux 5 à 7 présentent respectivement les matrices de confusions de la classification supervisée des différentes images Landsat des années 1990, 2005 et 2020, du bassin versant du Gourou.

Tableau 5. Matrice de confusion de la classification de l'image de 1990

Classes	Forêt	Herbage	Eau	URFMD	URHD	Total
Forêt	99,77	0	0	0	0	35,58
Herbage	0,23	99,69	0	3,92	0	26,97
Eau	0	0	100	0	0	1,87
URFMD	0	0,31	0	90,2	5,86	12,67
URHD	0	0	0	5,88	94,14	22,91
Total	100	100	100	100	100	100

Précision globale: 97,24 %; Coefficient Kappa: 0,96

L'analyse de la matrice de confusion issue de la classification supervisée de l'image de 1990, montre des confusions entre plusieurs classes de l'occupation du sol. En effet, l'on constate que parmi ces confusions, les plus importantes sont:

- 5,88 % et 3,92 % des zones urbaines faiblement et moyennement densifiées (URFMD) ont été confondues respectivement aux zones urbaines fortement densifiées (URHD) et aux herbages;
- 5,86 % des zones urbaines fortement densifiées ont été confondues aux zones urbaines faiblement et moyennement densifiées.

Tableau 6. Matrice de confusion de la classification de l'image de 2005

Class	Forêt	Herbage	Eau	URFMD	URHD	Total
Forêt	100	0,28	0	0	0	14,21
Herbage	0	99,72	0	0	0	26,84
Eau	0	0	100	0	0	3,98
URFMD	0	0	0	100	0,85	18,57
URHD	0	0	0	0	99,15	36,39
Total	100	100	100	100	100	100

Précision globale: 99,63 %; Coefficient Kappa: 0,99

L'analyse de la matrice de confusion issue de la classification supervisée de l'image de 2005, montre des confusions mineures entre certaines classes de l'occupation du sol. Ces confusions s'expriment seulement au niveau des herbages où 0,28 % se confond aux forêts et des zones urbaines fortement densifiées où l'on note que 0,82 % a été confondu aux zones urbaines faiblement et moyennement densifiées.

Tableau 7. Matrice de confusion de la classification de l'image de 2020

Classes	Forêt	Herbage	Eau	URFMD	URHD	Total
Forêt	99,61	0	0	0	0	20,40
Herbage	0,39	100	0	0	0	10,16
Eau	0	0	100	0	0	2,74
URFMD	0	0	0	96,63	0,51	37,26
URHD	0	0	0	3,37	99,49	29,44
Total	100	100	100	100	100	100

Précision globale: 98,64 %; Coefficient Kappa: 0,98

La précision globale et le coefficient Kappa de la matrice de confusion de l'image de 2020 sont respectivement de 98,64 % 0,98. L'analyse de ce tableau montre que des confusions se sont produites entre certaines classes de l'occupation du sol, mais les plus importantes sont celles qui se sont produites entre les deux classes urbaines moyennement et fortement densifiées. En effet, l'on note dans ce tableau que 3,37 % de ces zones urbaines faiblement et moyennement densifiées ont été confondues à celles fortement densifiées.

3.3 ANALYSE DES DYNAMIQUES DE L'OCCUPATION DU SOL DES BASSINS VERSANTS DE BONOUMIN ET DU GOUROU AU COURS DE CES 30 DERNIÈRES ANNÉES

3.3.1 ETAT DE L'OCCUPATION DE SOL DES DEUX BASSINS VERSANT EN 2020

La figure 3 présente la répartition des classes d'occupation du sol des bassins versants de Bonoumin et du Gourou, issue de la classification supervisée d'image Landsat 8 (OLI) pour le mois de décembre 2020.

CAS DU BASSIN VERSANT DE BONOUMIN

L'observation de la figure 3 montre que les zones urbaines fortement urbanisées couvrent 58,9 % de la surface totale du bassin, soit 2798,46 km². Cette première classe qui couvre plus de la moitié du bassin est suivie par les zones urbaines faiblement et moyennement densifiées, qui couvrent quant à elle 29,1 % de la surface totale du bassin, soit 1383,44 km². Ces deux classes urbaines représentent donc à elles seules 88 % de la surface du bassin. Les trois autres classes restantes, qui couvrent le reste du bassin (12 %) sont réparties comme suit. La classe herbage occupe 8,6 % de la superficie du bassin, soit 410,38 km²; vient ensuite la classe forêt qui couvre 3,3 % du territoire, soit 155,25 km² et le reste 0,1 % de la superficie du bassin représentant 2,9 km² est occupé par la classe eau.

CAS DU BASSIN VERSANT DU GOUROU

Pour ce qui concerne le bassin versant du Gourou, l'analyse de la figure ci-dessous (Fig. 3) montre également une dominance des classes urbaines qui couvrent 81,5 % de la surface totale du bassin, soit 2340,28 km². Dans les détails, l'on constate que les zones urbaines fortement densifiées couvrent 51,5 % de cette surface, soit 1477,73 km². Quant aux zones urbaines faiblement et moyenne densifiées, elles occupent 30 % de la superficie du bassin, soit 862,55 km². Par ailleurs, comme l'on a déjà signifié dans le cas du bassin versant de Bonoumin, il est à constater aussi une faible proportion des classes forêt, herbage et eau qui couvrent ensemble 18,5 % du bassin du Gourou, soit 533,53 km². En effet, dans les détails, l'on note que la classe herbage couvre 15,7 % de la superficie du bassin, soit 451,51 km². La classe forêt, quant à elle, couvre 2,7 % de la superficie du bassin, soit 78,45 km² et le reste 0,1 % de la surface du bassin, représentant 3,56 km² est occupé par la classe eau.

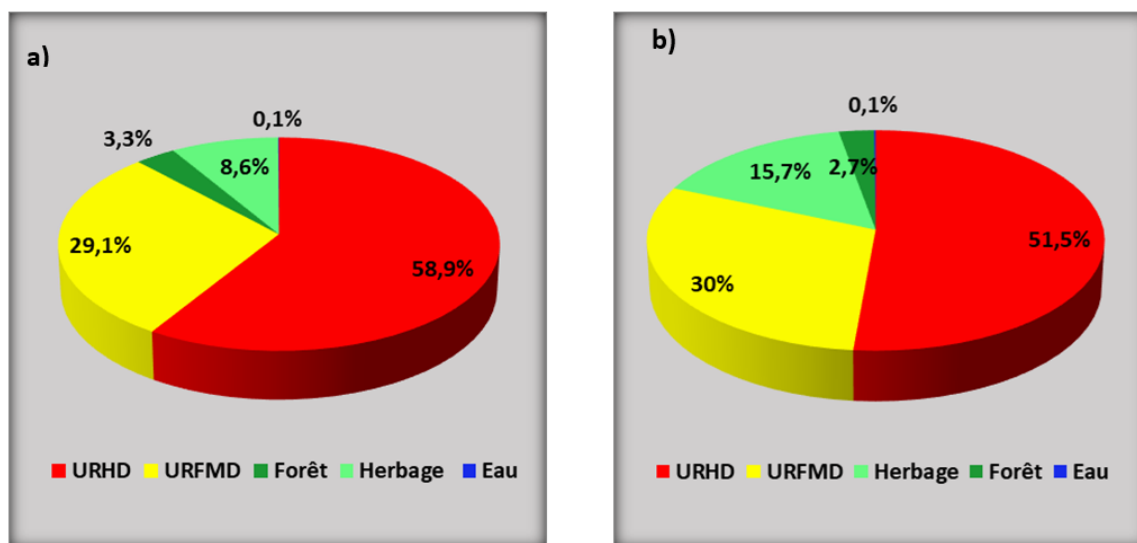


Fig. 3. Répartition de l'occupation du sol des bassins versants de Bonoumin (a) et du Gourou (b) de 2020

URFMD = Zones Urbaines Faiblement et Moyennement Densifiées; URHD = Zones Urbaines Hautement ou fortement Densifiées

3.3.2 ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DE BONOUMIN

Dans cette partie, l'analyse diachronique de l'occupation du sol est utilisée pour l'évaluation quantitative de cette dynamique de 1990 à 2020. Afin de montrer l'évolution de chaque catégorie de l'occupation du sol au cours du temps, une série de transformations ensemblistes est utilisée. Ainsi, la relation entre la même classe à deux dates nous permet de différencier les zones stables, les zones de régression et les zones de progression de cette classe. La figure 4 présente les cartes d'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin pour les années 1990, 2005 et 2020.

3.3.2.1 ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DE BONOUMIN SUR LA PÉRIODE 1990 - 2005

Le tableau 8 présente les superficies des différentes classes de l'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin au cours de la période 1990 - 2005.

Tableau 8. Caractéristiques des classes de l'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin entre 1990 et 2005

Classes	Surfaces des classes en 1990 (en ha)	Surfaces des classes en 2005 (en ha)	Changements 1990 - 2005	
			Surface (en ha)	Surface (en %)
Forêt	225.13	127.99	-97.14	-43.15
Herbage	2926.74	1354.89	-1571.85	-53.71
Eau	1.74	2.05	0.31	18.00
URFMD	1103.51	1274.41	170.90	15.49
URHD	493.33	1991.11	1497.78	303.61

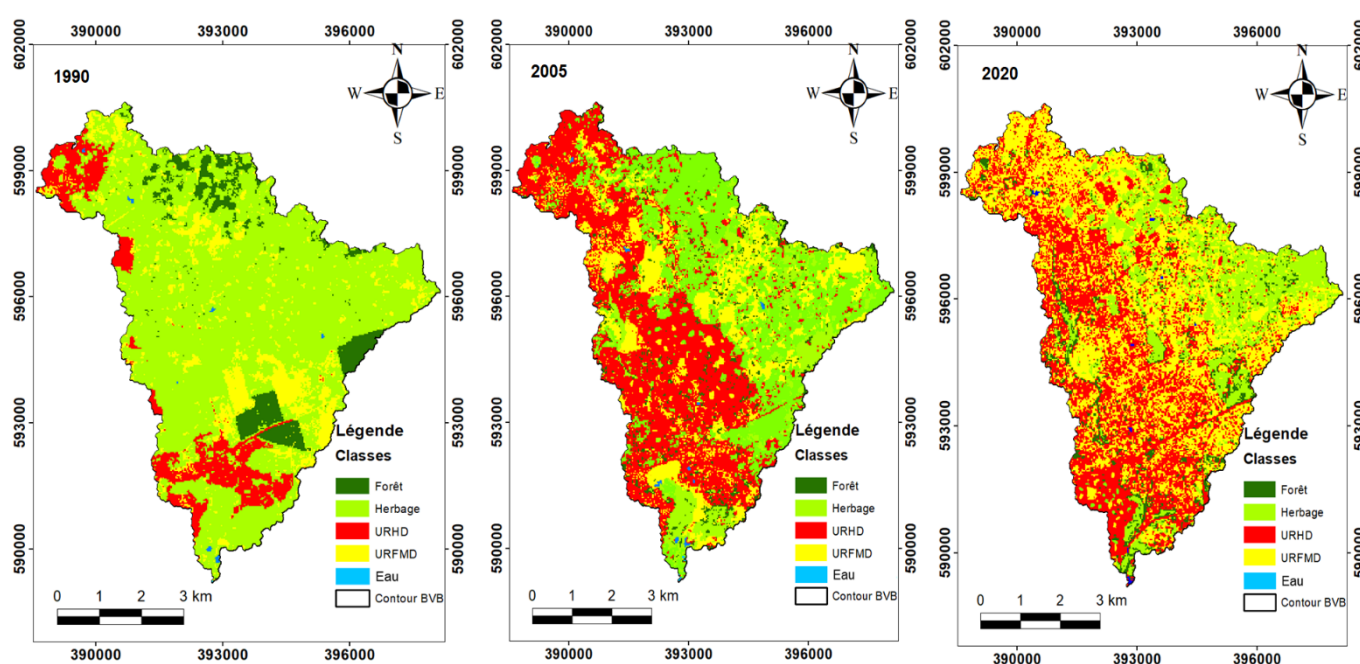


Fig. 4. Cartes d'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin de 1990, 2005 et 2020

L'analyse de la figure 4 et du tableau 8, montre que sur les cinq (05) classes d'occupation du sol, deux (02) ont subi une régression de leurs surfaces, tandis que les trois (03) autres ont vu leurs surfaces respectives progresser. Les classes dont les surfaces ont diminuées concernent les forêts et les herbages. En effet, au niveau des forêts, l'on note une régression de 97.14 ha, soit 43.15 %, en passant de 225.13 ha en 1990 à 127.99 ha en 2005. En ce qui concerne les herbages, il faut remarquer également une baisse 1571.85 ha, soit une réduction de 53.71 % de leur surface initiale, puisqu'elle est passée de 2926.74 ha en 1990 à 1354.89 ha en 2005. Contrairement à ces deux classes, l'on note que les zones urbaines moyennement et faiblement densifiées (URMFD) ainsi que celles fortement densifiées (URHD) et les plans d'eau, ont vu leurs surfaces augmenter. En effet, les zones urbaines fortement densifiées ont subies une forte progression de 303.61 %, en passant de 493.33 ha en 1990 à 1991.11 ha en 2005, soit une augmentation de 1497.78 ha. En ce qui concerne les zones urbaines moyennement et faiblement densifiées, l'on enregistre une augmentation de 15.49 % en passant de 1103.51 ha en 1990 à 1274.41 ha en 2005, soit une croissance de leur surface totale de 170.90 ha. Enfin, l'on note aussi la progression de la surface totale des plans d'eau de 18 %, car elle est passée de 1.74 ha en 1990, à 2.05 ha en 2005, soit une augmentation de 0.31 ha.

3.3.2.2 EVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DE BONOUMIN SUR LA PÉRIODE 2005 - 2020

Les valeurs des surfaces de chaque classe de l'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin pour les années 2005 et 2020, sont détaillées dans le tableau 9.

Tableau 9. Caractéristiques des classes de l'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin entre 2005 et 2020

Classes	Surfaces des classes en 2005 (en ha)	Surfaces occupation du sol 2020 (en ha)	Changements 2005-2020	
			Surface (en ha)	Surface (en %)
Forêt	127.99	115.25	-12.74	-9.95
Herbage	1354.89	450.38	-904.52	-66.76
Eau	2.05	2.93	0.87	42.53
URFMD	1274.41	1983.44	709.03	55.64
URHD	1991.11	2198.46	207.35	10.41

L'analyse de ces différentes cartes et du tableau permet de noter que:

- Les plans d'eau, les zones urbaines moyennement et faiblement densifiées ainsi que celles fortement densifiées ont vu, leurs superficies, augmenter respectivement de 42.53 %, 55.64 % et 10.41 %. En effet, la superficie des plans d'eau, qui était de 2.05 ha en 2005, est passée à 2.93 ha en 2020, soit une augmentation de 0.87 ha. En ce qui concerne les zones urbaines moyennement et faiblement densifiées, l'on remarque une augmentation de 709.03 ha de leur surface totale en passant de 1274.41 ha en 2005 à 1983.44 ha en 2020. Enfin, au niveau de la superficie totale des zones urbaines fortement densifiées, l'on note qu'en 2005, elle était de 1791.11 ha, alors qu'en 2020, elle était de 2198.46 ha, soit une progression de 207.35 ha.
- A l'opposé de ces classes, qui ont subies une progression au cours de la période 2005 – 2020, les classes herbage et forêt, quant à elles ont régressé respectivement de 66.76 % et 9.95 %. En effet, la superficie totale de la classe herbage est passée de 1354.89 ha en 2005 à 450.38 ha en 2020, soit une diminution 904.52 ha. De même, celle des forêts qui était de 127.99 ha en 2005, est passée à 115.25 ha en 2020, c'est-à-dire une croissance de 12.74 ha.

3.3.3 ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DU GOUROU

L'analyse diachronique de l'occupation du sol est également utilisée, dans le bassin versant du Gourou, pour l'évaluation quantitative de sa dynamique de 1990 à 2020. De plus, dans le but de montrer l'évolution de chaque catégorie de l'occupation du sol au cours de cette période, une série de transformations ensemblistes est également utilisée. Pour se faire, la relation entre la même classe à deux dates permet de différencier les zones stables, les zones de régression et les zones de progression de cette classe. Les cartes d'occupation du sol du bassin versant du Gourou des années 1990, 2005 et 2020, sont présentées sur la figure 5.

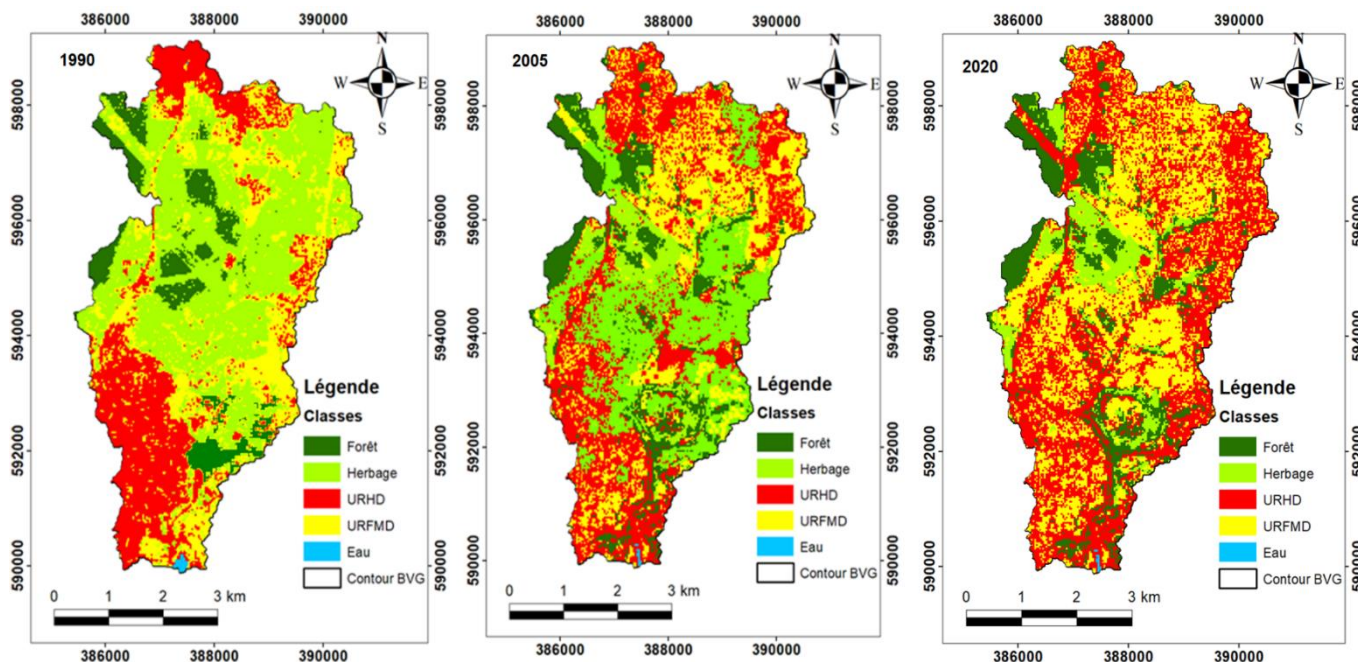


Fig. 5. Cartes d'occupation du sol du bassin versant du Gourou de 1990, 2005 et 2020

3.3.3.1 EVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DU GOUROU SUR LA PÉRIODE 1990 - 2005

Le tableau 10, présente les caractéristiques de chaque classe de l'occupation du sol du bassin versant du Gourou au cours des années 1990 et 2005.

Tableau 10. Caractéristiques des classes de l'occupation du sol du bassin versant de Gourou entre 1990 et 2005

Classes	Surfaces des classes en 1990 (en ha)	Surfaces des classes en 2005 (en ha)	Changements 1990-2005	
			Surface (en ha)	Surface (en %)
Forêt	219.24	150.26	-68.98	-31.46
Herbage	1083.46	646.73	-436.73	-40.31
Eau	2.21	2.29	0.08	3.42
URFMD	757.41	896.23	138.82	18.33
URHD	811.49	1178.31	366.82	45.20

Pendant cette période, l'on enregistre également, une augmentation des surfaces des zones urbaines moyennement et faiblement densifiées (URFMD) ainsi que celles fortement densifiées (URHD) et les plans d'eau, tandis que les herbages et les forêts ont connu une diminution de leurs surfaces respectives. Sur la figure 5, nous pouvons observer la forte densification de l'espace urbain. En effet, les zones urbaines fortement densifiées ont progressé de 45.20 %, soit un ajout de 366.82 ha en passant de 811.49 ha en 1990 à 1178.31 ha en 2005. Dans la même dynamique, l'on note une augmentation de 18.33 % de la surface totale des zones urbaines moyennement et faiblement densifiées, passant de 757.41 ha en 1990, à 896.23 ha en 2005, soit une croissance de 138.82 ha. Aussi, pouvons-nous observer la progression des plans d'eau dont leur surface totale est passée de 2.21 ha en 1990 à 2.29 ha en 2005, soit une progression de 3.42 %. L'observation du tableau montre également que pendant la période de 1990 à 2005, plusieurs classes de l'occupation du sol ont connu une régression de leurs surfaces totales respectives. Ces changements sont observés avec les herbages et les forêts. En effet, la surface totale des herbages a régressé de 40.31 % car elle a évolué de 1083.46 ha en 1990 à 646.73 ha en 2005, soit une diminution de 436.73 ha. Concernant les forêts, l'on note une régression de 31.46 % de leur surface totale passant de 219.24 ha en 1990 à 150.26 ha en 2005.

3.3.3.2 EVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DU GOUROU SUR LA PÉRIODE 2005-2020

Les caractéristiques des classes de l'occupation du sol du bassin versant du Gourou des années 2005 et 2020 sont détaillées dans le tableau 11.

Tableau 11. Caractéristiques des classes de l'occupation du sol du bassin versant du Gourou entre 2005 et 2020

Classes	Surfaces des classes en 2005 (en ha)	Surfaces des classes en 2020 (en ha)	Changements 2005-2020	
			Surface (en ha)	Surface (en %)
Forêt	150.26	78.45	-71.81	-47.79
Herbage	646.73	452.75	-193.98	-30
Eau	2.29	2.08	-0.21	-8.99
URFMD	896.23	962.80	66.57	7.43
URHD	1178.31	1377.73	199.43	16.92

En analysant les taux de changement des différentes classes de l'occupation du sol du bassin versant du Gourou au cours de la période 2005 à 2020, l'on remarque que:

- Ce bassin a subi des changements importants qui se manifestent par une progression des zones urbaines fortement densifiées de l'ordre de 16.92 %. En effet, ces zones urbaines ont connu une extension de 199.43 ha en passant de 1178.31 ha en 2005 à 1377.73 ha en 2020.
- De même, les zones urbaines moyennement et faiblement densifiées, ont connu une croissance de leur surface totale de l'ordre de 7.43 % en passant de 896.23 ha en 2005 à 962.80 ha en 2020, soit une augmentation de 66.57 ha.
- La superficie de forêt a très fortement diminué de 47.79 % en passant de 150.26 ha en 2005 à 78.45 ha en 2020, soit une baisse de 71.81 ha.
- Au niveau des plans d'eau, l'on également une diminution de 0.21 ha, car leur surface totale qui était de 2.29 ha en 2005 est passée à 2.08 ha en 2020.
- Enfin, la surface des herbages a également baissé. Cette baisse est estimée à 30 %. En effet, la surface de cette classe est passée de 646.73 ha en 2005 à 452.75 ha en 2020, soit une baisse de 193.98 ha.

3.3.4 BILAN DE L'ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DE BONOUMIN SUR LA PÉRIODE 1990-2020

La figure ci-dessous (Fig. 6), résume la dynamique de chaque classe de l'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin au cours de la période d'étude (1990 à 2020). Par contre le tableau 12 résume les calculs du taux de changements (en ha/an) pour les deux périodes sur lesquelles nous avons étudié la dynamique de l'occupation du sol: 1990 - 2005 (15 ans); et 2005-2020 (15 ans).

Tableau 12. Dynamique de l'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin de 1990 à 2020

Classes	Taux de changement (ha/an)	
	1990 - 2005	2005 - 2020
Forêt	-6.48	-0.85
Herbage	-104.79	-60.30
Eau	0.02	0.06
URFMD	11.39	47.27
URHD	99.85	13.82

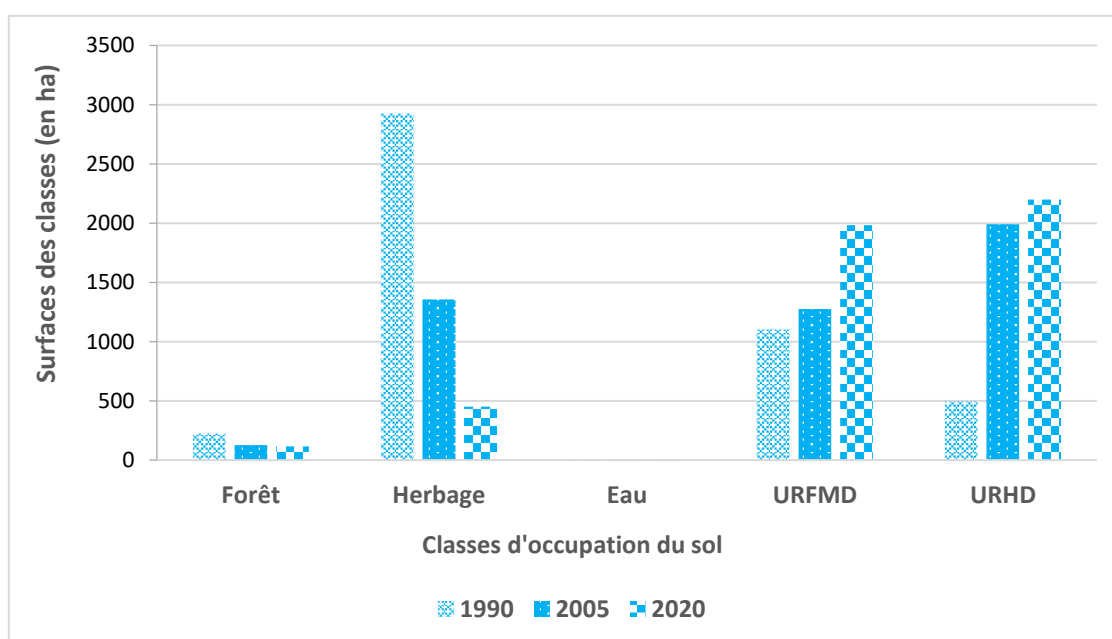


Fig. 6. Evolution des classes d'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin au cours de la période 1990 - 2020

L'analyse de la figure 6 et la lecture des taux de changement de chaque classe de l'occupation du sol, détaillés dans le tableau 12, permet de noter les observations suivantes:

- La diminution progressive de la surface des forêts sur toute la période d'étude. En effet, l'on remarque une forte dégradation de la surface totale des forêts, avec un taux de changement de 6.48 ha/an au cours des quinze (15) premières années. Par contre, au cours de la deuxième période (2005 – 2020), l'on observe une tendance à la stabilisation de cette dégradation car le taux de changement, au cours de cette période était estimé à -0.85 ha/an.
- Le taux de changement des herbages, qui était de -104.79 ha/an au cours de la période 1990 – 2005, a évolué progressivement pour atteindre un taux de changement de -60.30 ha/an au cours de la période 2005 – 2020.
- Au niveau des plans d'eau, le taux de changement est passé de 0.02 ha/an pendant les quinze (15) premières années de la période d'étude, à 0.06 ha/an au cours de la seconde période.
- Le taux de changement des zones urbaines moyennement et faiblement densifiées a connu une croissance sur les deux périodes d'étude. En effet, au cours de la première, l'on note une croissance de 11.39 ha/an, alors que sur la deuxième période d'étude, cette croissance a été estimée à 47.27 ha/an.
- Les zones urbaines fortement densifiées, ont connu un fort taux de changement, au cours de la période 1990 – 2005, estimé à 99.85 ha/an. Mais sur la période 2005 – 2020, l'on constate que la croissance du taux de changement s'est effectuée de façon modérée, car elle a été estimée à 13.82 ha/an.

3.3.5 BILAN DE L'ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DU GOUROU SUR LA PÉRIODE 1990-2020

La figure 7 renseigne sur la dynamique des différentes classes de l'occupation du sol du bassin versant du Gourou, au cours de la période 1990–2020. Tandis que, le tableau 13 résume les calculs du taux de changements (en ha/an) pour les deux périodes sur lesquelles l'on a étudié la dynamique de l'occupation du sol: 1990 - 2005 (15 ans); et 2005-2020 (15 ans).

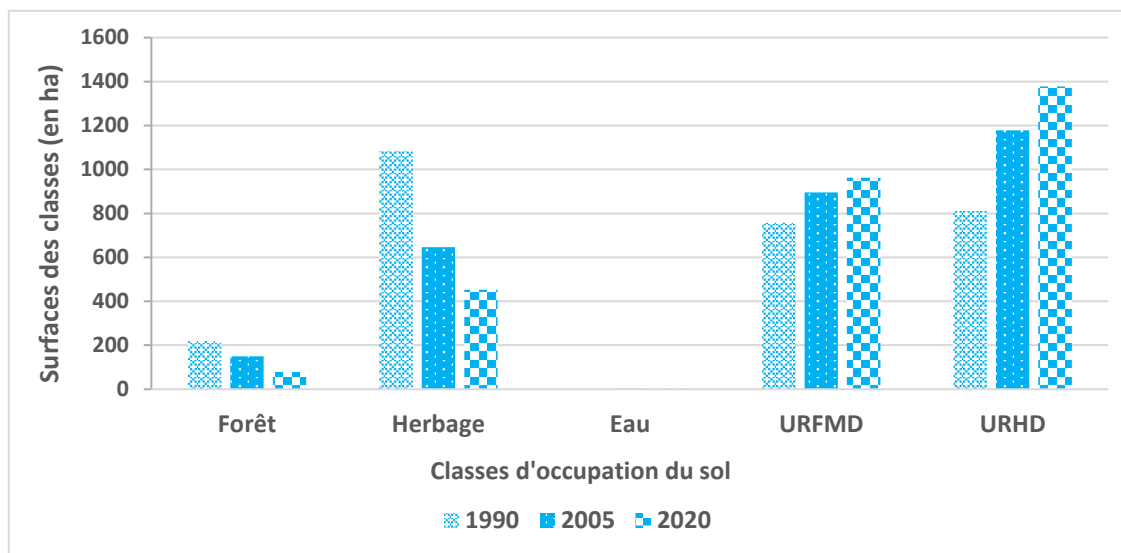


Fig. 7. Evolution des classes d'occupation du sol du bassin versant du Gourou au cours de la période 1990–2020

Tableau 13. Dynamique de l'occupation du sol du bassin versant du Gourou de 1990 à 2020

Classes	Taux de changement (ha/an)	
	1990 - 2005	2005 - 2020
Forêt	-4.60	-4.79
Herbage	-29.12	-12.93
Eau	0.01	-0.01
URFMD	9.25	4.44
URHD	24.45	13.30

L'observation de la figure 7 et l'analyse du tableau 13, permettent de connaître la dynamique de chaque classe de l'occupation du sol du bassin versant du Gourou au cours de la période 1990–2020. Ainsi, au cours de cette période, l'on fait les remarques suivantes:

- Une dégradation progressive de la surface de forêt tout au long de la période d'étude (de 1990 à 2020). En effet, au cours de la première période (1990–2005), l'on note un taux de changement de -4.6 ha/an, tandis que pendant la deuxième période (2005 à 2020), le taux de changement est de -4.79 ha/an.
- Au niveau des herbages, l'on note également une forte dégradation de leur surface pendant la période 1990 - 2005, avec un taux de changement de -29.12 ha/an. Par ailleurs, notons que cette dégradation de la surface des herbages a continué au cours de la période 2005–2020, où le taux de changement a été estimé à -12.93 ha/an.
- Au niveau des plans d'eau, l'on enregistre une faible augmentation de leur surface sur la période 1990 à 2005 avec un taux de changement de 0.01 ha/an. Cependant, au cours de la période 2005–2020, l'on note une faible diminution de leur surface avec un taux de changement de -0.01 ha/an.
- Contrairement aux trois (03) premières classes, l'on note que la surface totale des zones urbaines moyennement et faiblement densifiées a évolué positivement tout au long de la période d'étude (1990–2020). Ainsi, au cours de la première période, c'est-à-dire de 1990–2005, l'on constate que cette croissance était plus forte avec des taux de changement de 9.25 ha/an, alors que pendant la deuxième période (2005–2020), l'on a enregistré un taux de changement de 4.44 ha/an.
- En ce qui concerne les zones urbaines fortement densifiées, l'on remarque que leur surface totale n'a pas cessé de croître pendant toute la période d'étude. Cependant, notons que le taux de changement a été plus fort au cours des quinze (15) première années avec un taux de changement moyen estimé à 24.45 ha/an. Alors que, pendant les quinze dernières années de la période d'étude, le taux de changement a baissé avec une valeur estimée à 13.30 ha/an.

4 DISCUSSION

L'analyse de la dynamique de l'occupation du sol dans les bassins versants de Bonoumin et du Gourou a été faite à partir des images Landsat TM de 1990, ETM+ de 2005 et OLI de 2020. La méthode de classification supervisée par l'algorithme du maximum de vraisemblance appliquée à ces images a permis de différencier l'occupation du sol des deux bassins versants en cinq (05) classes telles que la forêt, l'herbage, l'eau, les zones urbaines faiblement et moyennement densifiées ainsi que celles fortement densifiées.

Les valeurs de précision globale obtenues à la suite de la classification des différentes images du bassin versant de Bonoumin, varient de 89.55 % en 2020 à 99.33 % en 1990. Tandis que pour le bassin versant du Gourou, les valeurs de la précision globale croissent de 97.24 % en 1990 à 99.63 % en 2005. Quant aux indices de Kappa, les valeurs obtenues évoluent de 0,89 en 2020 à 0,99 en 1990, pour les classifications des différentes images du bassin de Bonoumin, alors que dans le bassin du Gourou, elles fluctuent entre 0,96 en 1990 et 0,99 en 2005. Au regard de ces différentes valeurs de la précision globale et de l'indice de Kappa, on peut donc conclure que les résultats de la classification des trois images dont il est question dans cette étude, sont statistiquement meilleurs. Car, selon plusieurs auteurs, les résultats d'une classification, peuvent être considérés comme satisfaisants lorsque la valeur de la précision globale est supérieure ou égale à 80 % [17], [18], [19]. Par ailleurs, selon [20] cité par [9], une classification peut être acceptée et les résultats peuvent être judicieusement utilisés lorsque la valeur du coefficient de Kappa obtenue est comprise entre 0.50 et 0.75. Également selon [21], il y a un accord presque parfait entre les résultats cartographiques obtenus et la vérité sur le terrain si l'indice de Kappa est compris entre 0,81 et 1.

De plus, l'analyse des cartes d'occupation du sol de 1990, 2005 et 2020 dans les bassins versants de Bonoumin et du Gourou, a montré de façon générale une diminution des superficies des formations végétales (forêt et herbage) au profit de celles des formations imperméabilisées (zones urbaines moyennement et fortement densifiées) qui ont connues une augmentation au cours de ces trois (03) décennies prises en compte dans cette étude. En effet, en 1990 et 2005, les surfaces des zones imperméabilisées sur le bassin de Bonoumin (4,74 % et 26,9 % respectivement), était nettement inférieure à celles sur le bassin versant du Gourou qui présentait des proportions de surfaces imperméabilisées de 10,91 % et de 39,07 % respectivement pour ces deux années. Cela peut s'expliquer par le fait qu'au cours des années 1990 et le début des années 2000, l'urbanisation dans la ville d'Abidjan se faisait principalement dans les communes et quartiers situés dans le bassin du Gourou. C'est le cas de la commune d'Adjamé et de plusieurs quartiers des communes de Cocody et d'Abobo dont les Deux-Plateaux, Cocody Centre, Dokui, Samaké, Abobo Gare et Abobo Banco).

Cependant, à un moment donné, compte tenu du fait que la plupart de ces communes sont situées en centre-ville, l'on remarquera une tendance à la stabilisation des surfaces imperméabilisées. C'est ce qui explique la légère augmentation de la proportion de surface imperméabilisées dans le bassin du Gourou passant de 39,07 % en 2005 à 51,06 % en 2020. A l'opposé, il est notoire de constater une forte augmentation de la proportion de ces surfaces imperméabilisées sur le bassin de Bonoumin passant de 26,9 % en 2005 à 51,7 % en 2020. En effet, à la différence du bassin versant du Gourou (localisé maintenant en centre-ville), plusieurs endroits du bassin versant de Bonoumin se trouvent depuis quelques années confrontés à une forte pression anthropique. Car, les nouvelles terres à lotir se faisant de plus en plus rare sur le bassin versant du Gourou, l'urbanisation se fait majoritairement sur le bassin de Bonoumin, principalement dans la commune de Cocody et d'Abobo, en pleine extension spatiale. Par ailleurs, la crise socio-politique qu'a connue la Côte d'Ivoire de 2002 à 2011, a provoqué le déplacement d'un grand nombre de population, fuyant la guerre, pour se réinstaller dans la ville d'Abidjan. Cette vague de migration interne a contribué à l'accroissement des surfaces imperméabilisées dans les deux bassins versants. Mais elle s'est beaucoup fait sentir dans le bassin de Bonoumin que dans celui du Gourou.

Aussi, remarquons nous que, sur les différentes cartes d'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin, l'urbanisation s'est faite de l'aval vers l'amont. Ainsi, comme l'on peut le constater sur ces cartes, surtout celle de 2020, l'amont de ce bassin versant subit une urbanisation galopante ces dernières années. Or c'est bien sur ce bassin que les dégâts socio-économiques liés aux inondations, sont les plus importants, comme en témoignent ceux de 2018 et 2020. De ce faite, il est important de prêter une attention particulière à ce bassin en construisant d'avantages d'ouvrages de gestion et de drainage des eaux pluviales. Car, il se peut que d'ici quelques années, que l'on fasse face à de graves inondations par ruissellement pluvial.

5 CONCLUSION

L'analyse de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans les bassins versants de Bonoumin et du Gourou, a montré une dynamique impressionnante des surfaces imperméabilisées, représentées par les zones urbaines moyennement et fortement densifiées. Ces surfaces ont beaucoup augmentées au cours de ces trois (03) dernières décennies. Cependant, notons que contrairement aux surfaces imperméabilisées, les surfaces végétalisées quant à elles, ont beaucoup régressées. En effet, dans le bassin versant de Bonoumin, les surfaces imperméabilisées sont passées de 1596,84 ha en 1990 à 4181,55 ha en 2020, alors les surfaces végétalisées, quant à elles ont régressé de 3151,87 ha en 1990 à 565,63 ha en 2020. De même, dans le bassin versant du Gourou, l'on note une régression des surfaces végétalisées passant de 1302,7 ha en 1990 à 531,2 ha en 2020, alors que les surfaces imperméabilisées, quant à elles ont connu une croissance de leur superficie en évoluant de 1568,9 ha en 1990 à 2340,53 ha en 2020. L'augmentation de ces zones urbaines a eu pour conséquence, une diminution de l'infiltration et une augmentation des eaux de ruissellement à la suite des épisodes pluvieux. Aussi, faut-il remarquer que l'amont du bassin

versant de Bonoumin subit depuis quelques années une forte pression anthropique. Ce qui signifie que d'ici quelques années encore, il y aura une forte augmentation de la quantité d'eau de ruissellement et une diminution considérable des eaux d'infiltration. Pour cela, l'on doit prêter une attention particulière à la construction et à l'entretien des ouvrages de gestion et de drainage des eaux pluviales sur ce bassin. Il peut être aussi envisagé la création de zone tampon pour faciliter l'infiltration des eaux et diminuer le ruissellement.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à traduire leur gratitude à l'endroit de toutes les personnes qui ont contribué au financement de cette étude. Ils remercient également toutes les personnes physiques ou morales ayant contribué à l'amélioration de ce travail.

REFERENCES

- [1] Recensement général de la population d'avril 1975. Région FRAR sud-ouest: résultats définitifs, Côte d'Ivoire.
- [2] Institut National de la Statistique-Recensement général de la population et de l'habitation, Côte d'Ivoire, 2021.
- [3] GIEC, 2007, Bilan 2007 des changements climatiques: rapport de synthèse, Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, Genève, 103 p.
- [4] D. R. Easterling, A. M. Gerald, P. Camille, Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. *Science*, Vol. 289, No. 5487, pp. 2068 - 2074, 2000. <http://dx.doi.org/10.1126/science.289.5487.2068>.
- [5] GIEC: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Rapport de synthèse: changements climatiques, Copenhague, 184 pages, 2014.
- [6] K. P. Aka, Y. B. Koffi, A. Kamagaté, K. E. Ahoussi, A. M. Kouassi, Morphometric Analysis of Topographic Surfaces in Highly Urbanized Tropical Environments: Case of the Bonoumin and Gourou Watersheds (Abidjan, Ivory Coast, West Africa), *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, Vol. 8, ISSN No: -2456-2165, pp. 2183, September – 2023.
- [7] Y. M-S. Oga, Groundwater resources in the greater Abidjan region (Ivory Coast): Hydrochemical and isotopic Approaches, Doctoral thesis in Science, University of Paris-Sud, Orsay, France, 290p, 1998.
- [8] B. Adiaffi, Contribution of isotope geochemistry, hydrochemistry and remote sensing to the understanding of aquifers in the «basementsedimentary basin» contact zone of south-eastern Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat Unique Doctoral thesis in Science, University of Paris-Sud, Orsay, France, 230 p, 2008.
- [9] A. Kamagaté, Dynamique hydromorphologique des milieux lacustres anthropisés et de leurs bassins versants dans un contexte de variabilité climatique: approche par cartographie et modélisation prospective dans la région du Poro (Nord de la Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat Unique, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 237 p, 2021.
- [10] M. K. A. Kablan, Vulnérabilité et adaptation des populations urbaines aux effets des variations climatiques (température et pluviométrie): analyse de la situation dans la commune de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat Unique, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 172 p, 2017.
- [11] V.T. Nghiem, Impact du changement du mode d'occupation des sols sur le fonctionnement hydrogéochimique des grands bassins versants: cas du bassin versant de l'Ain, Thèse de Docteur de l'Université de Grenoble, 306 p, 2014.
- [12] J.R. Anderson, Land use classification schemes used in selected recent geographic applications of remote sensing: *Photogramm, Eng.*, vol. 37, no. 4, pp. 379-387, 1971.
- [13] B. Tso and P. M. Mather, *Classification Methods for Remotely Sensed Data*, London: Taylor & Francis, 2001.
- [14] P.M. Mather, *Computer Processing of Remotely Sensed Images: An introduction*. 3rd ed. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex, England, 2004.
- [15] ITT Inc., ENVI Online Help, Version 4.5. USA: ITT Corporation, USA, 2008.
- [16] W. Turner, Remote sensing for biodiversity science and conservation, *Revue of TRENDS in Ecology and Evolution*, Vol. 18, No. 6, pp 306-314, 2003.
- [17] G. R. Congalton, A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data, *Remote Sensing of Environment*. 46: 35-37, 1991.
- [18] M. C. GIRARD et C. M. GIRARD, *Traitement des données de télédétection*, Dunod, Paris, 529 p, 1999.
- [19] G. M. Foody, Status of land cover classification accuracy assessment, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 8, pp. 185–201, 2002.
- [20] J. R. G. Pontius, Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, Vol. 66, No. 8, pp. 1011- 1016, 2000.
- [21] S. Chalifoux, M. Nastev, C. Lamontagne et R. Latifovic, Cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol par imagerie satellitaire Landsat en hydrogéologie, *Télédétection*, Vol. 6, No. 1, pp. 9-17, 2006.