

Variabilité climatique et son incidence sur l'occupation du sol : cas de la région du N'zi, Centre-Est de la Côte d'Ivoire en Afrique de l'Ouest

Rosine Marie N'guessan FOSSOU^{1*}, Tanina Drissa SORO², Rodrigue Kotchi OROU³, Oscar Zahibi ONETIE³ et Théophile LASM³

¹ *Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement (SGE), Laboratoire Géosciences et Environnement, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire*

² *Université Lorougnon Jean Guédé, UFR Environnement, Laboratoire du Génie de l'Eau et de l'Environnement, Côte d'Ivoire*

³ *Université Felix Houphouët Boigny, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, courriel : dellia120@yahoo.fr

Résumé

Cet article étudie l'impact de la variabilité climatique sur la dynamique de l'occupation du sol dans la région du N'zi (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). Pour ce faire, une classification supervisée des images Landsat TM (1988) et ETM + (2005 et 2011) a été réalisée. Les résultats montrent une régression des classes forêts dense, forêt dégradée (- 0,92 % et - 1,26 %) et eau (- 0,18 %) entre 1988 et 2005 contre une évolution de la savane (+ 0,21 %). Cette situation est la conséquence de la baisse de la pluviométrie et de l'action anthropique. L'habitat est en croissance continue (+ 1,33 % entre 1988 et 2005 et + 4,05 % entre 2005 et 2011) à cause de la migration des populations depuis la crise politico-militaire de 2002. Les zones de culture évoluent de façon synchrone avec l'habitat. Toutefois, le départ des migrants avant les élections de 2010 a entraîné une réduction des zones cultivées passant de +0,80 % (1988 - 2005) à -3,29 % (2005 - 2011). Par ailleurs, le coefficient de rétention (Cr) (99,63 en 2005 et 59,95 en 2011) inférieur à 100 et surtout en baisse traduit une zone en anthropisation continue. Ce travail constitue une base importante et une alerte à l'endroit des autorités compétentes pour une gestion durable de l'environnement.

Mots-clés : *variabilité climatique, dynamique de l'occupation du sol, coefficient de rétention, Côte d'Ivoire.*

Abstract

Climate variability and its impact on soil occupation : case of the N'zi region, East-Central Côte d'Ivoire in West Africa

This article studies the impact of climate variability on the dynamics of land use in the N'zi region (Central-East of Côte d'Ivoire). To do this, a supervised classification of the Landsat TM (1988) and ETM + (2005 and 2011) images was carried out. The results show a regression of dense and degraded forest classes (- 0.92 % and - 1.26 %) and water (- 0.18 %) between 1988 and 2005 against a savannah evolution (+ 0.21 %). This is a consequence of the decline in rainfall and anthropogenic activity. Habitat is growing steadily (+ 1.33 % between 1988 and 2005 and 4.05 % between 2005 and 2011) due to population migration since

the 2002 political-military crisis. The cultivation zones evolve synchronously with the habitat. However, the departure of migrants before the 2010 elections resulted in a reduction in cultivated areas from + 0.80 % (1988 - 2005) to -3.29 % (2005 - 2011). Moreover, the retention coefficient (Cr) (99.63 in 2005 and 59.95 in 2011) of less than 100 and above all declining reflects an area in continuous anthropization. This work constitutes an important basis and an alert to the competent authorities for a sustainable management of the environment.

Keywords : *climate variability, land use dynamics, retention coefficient, Ivory Coast.*

1. Introduction

Les problèmes liés aux changements climatiques et à la variabilité climatique occupent une importante place parmi les préoccupations majeures contemporaines. Ainsi, de nombreuses études sur la variabilité climatique à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne montrent qu'une tendance à la sécheresse s'est manifestée à partir de la fin de la décennie 1960 et le début des années 70 [1 - 7]. Cette situation a entraîné des déplacements massifs de population, une paralysie économique, et dans les situations les plus graves, famine et perte en vie humaines. En Afrique de l'Ouest, la pluviométrie est sous l'influence de la mousson Africaine [6]. Ainsi, le programme international, dénommé Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine (AMMA) a été initié en vue d'étudier son fonctionnement. L'un de ses buts est d'améliorer la connaissance des bilans d'eau terrestre et notamment l'impact sur la ressource en eau des changements climatiques et anthropiques ; la pluviométrie ayant un impact direct sur les populations et les écosystèmes [6]. En Côte d'Ivoire, la baisse de la pluviométrie, principale cause de la réduction des ressources en eau n'a pas laissé la dynamique de l'occupation du sol en marge [8, 9]. La zone d'étude, l'ancienne boucle du binôme café-cacao a connu une baisse pluviométrique à partir de 1968 et 1975 [10, 11]. Cette situation a entraîné une dégradation de sa zone forestière entraînant ainsi une crise économique ascendante et un dépeuplement massif. L'objectif de ce travail est d'examiner l'impact de la baisse de la pluviométrie sur la dynamique de l'occupation du sol de la région du N'zi.

2. Méthodologie

2-1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située en Afrique de l'Ouest, au Centre-Est de la Côte d'Ivoire, entre les longitudes 4°40' et 4°59' Ouest et les latitudes 6°33' et 7°27' Nord. Elle s'étend sur une superficie de 5801,30 Km². Elle comprend 2 départements, 7 sous-préfectures et plus de 200 régions rurales (**Figure 1**). Le climat est de type tropical humide. Il comprend quatre saisons : deux saisons sèches et deux saisons des pluies (Mars, Avril, Mai, Juin et Septembre Octobre). La température moyenne est comprise entre 25 et 29°C. La région est relativement plate à l'exception de quelques montagnes à certains endroits dont la plus haute "Sui Boca" qui culmine à plus de 527 m d'altitude. Deux dépressions importantes, forment les vallées du N'zi du Nord au Centre-Ouest, selon les travaux des Auteurs des références [12 - 14]. Du point de vue géologique, la zone d'étude est constituée de deux grands ensembles dont : un domaine granito-gneissique (complexe éburnéen) situé au Nord, à l'est et au Centre de la zone d'étude et un domaine volcano-sédimentaire (complexe Birimien) représenté essentiellement par les schistes qui occupent plus de la moitié de la zone d'étude. Le réseau hydrographique de la zone d'étude est essentiellement constitué du N'zi et de ses affluents. Le bassin versant du N'zi est un sous bassin du bassin versant du fleuve Bandama qui a une superficie de 97 000 km², soit environ 30 % de la superficie de la Côte d'Ivoire. Le N'zi se jette dans le Bandama à Tiassalé après avoir traversé M'bahiakro, Bocanda et Dimbokro.

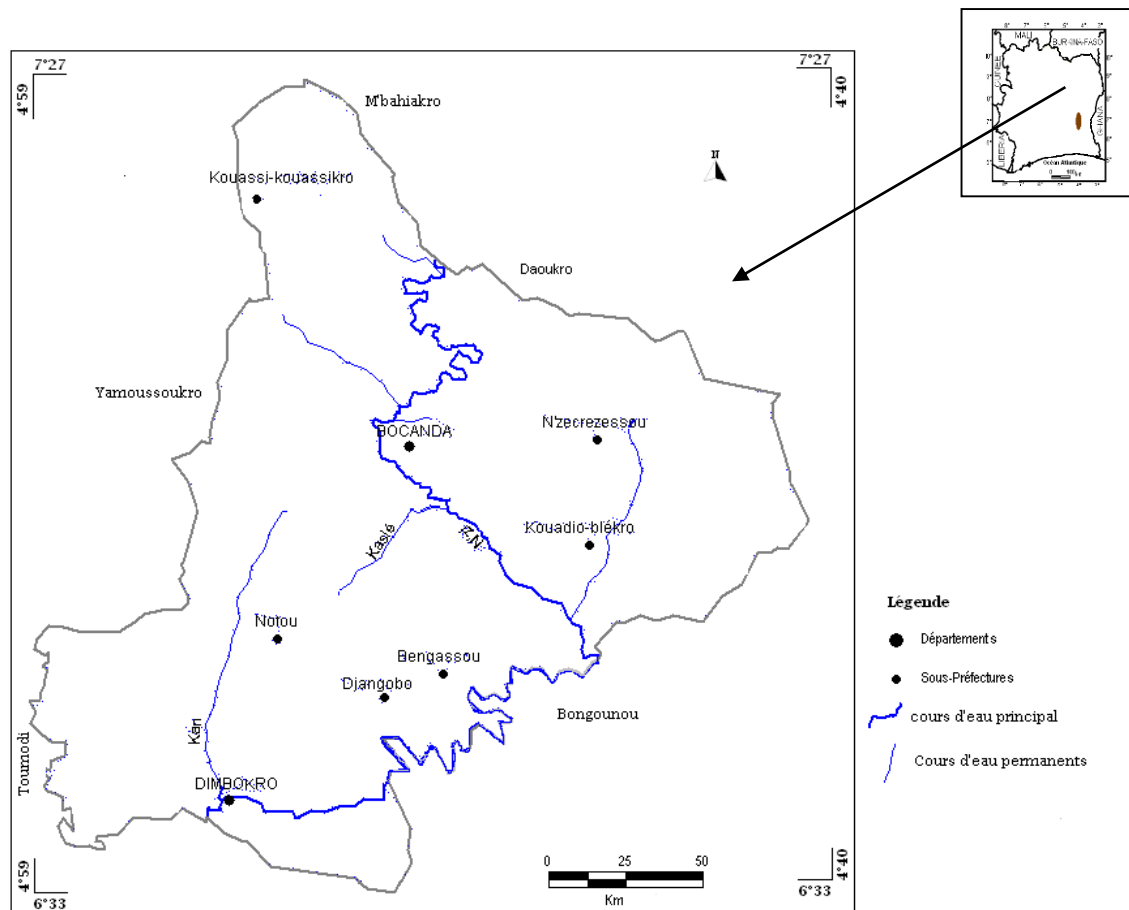


Figure 1 : *Situation géographique de la zone d'étude*

2-2. Données et méthodes

2-2-1. Données utilisées

Les données utilisées sont les images Landsat TM du 24 décembre 1988, Landsat ETM + du 21 janvier 2005 et ETM + du 07 février 2011 de la scène 196 / 055. Les images de cette scène ont été acquises sur internet (référence internet). La résolution de ces images est de 28,5 m.

2-2-2. Méthodes

Le logiciel ENVI 4.1 a permis de faire la classification thématique de l'occupation du sol de cette zone. La classification supervisée par le maximum de vraisemblance a été utilisé, et six (6) classes ont été identifiées dont la forêt dense, la forêt dégradée, la savane, l'eau, l'habitat et les zones de cultures. Ces classes ont été validées par une visite de terrain dans la zone d'étude. Dans cette étude, il s'agit de comparer les 3 images obtenues à partir de la classification supervisée pour détecter les changements d'occupation des sols.

2-2-2-1. Estimation de la précision de l'interprétation des images

La précision de la classification de l'occupation du sol réalisée à partir des données de 1988, 2005 et 2011 a été évaluée à l'aide d'outils statistiques que sont la matrice de confusion et l'indice de Kappa. D'après [15], l'indice de Kappa (k) est utilisé pour valider et estimer la précision dans le schéma de la classification de la végétation. Sa formule est donnée par *l'Équation 1* :

$$K = \frac{Po - Pc}{Pp - Pc} \quad (1)$$

avec, Po : le pourcentage réel obtenu de la classification des éléments de l'occupation du sol; il est égal au rapport de la somme des chiffres de la diagonale de la matrice avec le total du nombre d'observations ; Pc : l'estimation de la probabilité d'obtenir une classification correcte. Il est obtenu de la façon suivante : on réalise les produits marginaux des valeurs des colonnes et des rangées au niveau de chaque cellule de la matrice, puis la somme des valeurs de la diagonale est divisée par le total des produits de chaque cellule de la matrice.

La classification est correcte, lorsque la valeur de Pc est inférieure à Po . Pp est le pourcentage obtenu lorsque la classification est parfaite c'est-à-dire bonne à 100 %. De ce qui précède, ***l'Équation 1*** peut s'écrire selon la formule de ***l'Équation 2*** suivante :

$$K = \frac{Po - Pc}{1 - Pc} \quad (2)$$

Selon [15], dans une étude de l'occupation du sol, lorsque l'indice de Kappa évalué dans les opérations de classification est compris entre 50 et 75 %, la classification adoptée est valable et les résultats peuvent être judicieusement utilisés.

2-2-2-2. Evaluation de la dynamique de l'occupation du sol

Les données obtenues de l'interprétation de chaque image Landsat TM (1988), Landsat ETM + (2005) et ETM + (2011) ont été analysées et comparées. Ainsi, pour chaque unité d'occupation du sol ou classe, l'évaluation du taux annuel est calculée selon la formule de ***l'Équation 3*** [16] :

$$T_{\text{annuel}} = \frac{Vi_{2005} - Vi_{1988}}{100 \times P} \quad (3)$$

avec, Vi_{2005} : la valeur de la statistique de la strate i en 2005 ; Vi_{1988} : la valeur des statistiques de la strate i en 1988 ; P est la durée de la période d'observation entre 2005 et 1988 qui est de 17 ans.

Cette ***Formule*** permet de faire une analyse diachronique de la dynamique d'occupation des sols sur la zone étudiée.

2-2-2-3. Calcul de l'indice de la capacité de rétention des classes d'occupation du sol

Afin d'évaluer l'impact de la dynamique de l'occupation du sol sur les écoulements, un indice représentant la capacité de rétention (Cr) en eau au niveau de chaque classe d'occupation du sol pour l'année considérée a été calculé. Cr est obtenu par ***l'Équation 4*** selon [17].

$$Cr = \sum_i Pi \times ai \quad (4)$$

avec, pi : pourcentage en superficie de la zone d'étude occupée par la classe d'occupation du sol i ; ai : coefficient de pondération présentant la capacité de rétention en eau effective de la classe i .

Les ai ont été définis pour chaque classe entre 0 et 2 (rétentions nulle et maximale, respectivement ; ***Tableau 1*** [17]. Partant de cette définition, le coefficient Cr , compris entre 0 et 200, est utilisable sur des bassins de taille suffisante pour discriminer avec efficacité les différentes classes d'occupation des sols par télédétection (c'est-à-dire $> 25 \text{ km}^2$). Dans ce cas, les valeurs fortes (> 100) correspondraient alors à des

bassins encore sauvages dotés d'une importante couverture végétale, d'une forte capacité de rétention et donc peu propices à l'intensification des écoulements, tandis que les valeurs faibles correspondraient à des bassins anthropisés, voire dégradés, dotés d'une faible capacité de rétention et donc, à l'inverse des précédents, propices à d'importants écoulements.

Tableau 1 : Coefficients de capacité de rétention pour chacune des classes d'occupation des sols [17]

Classe d'occupation du sol	ai
Habitat	0
Sols nus ou dégradés	0
cultures	1
Savane faiblement cultivées	1
Savanes arbustives	1
Savanes arborées	2
Cultures irriguées	
Forêts	2

3. Résultats et discussion

3-1. Résultats

3-1-1. Évaluation de la précision de la classification

Les matrices de confusion sont consignées dans les **Tableaux 2, 3 et 4**. La précision globale est bonne pour l'ensemble de la zone d'étude. L'image Landsat TM (1988) a une précision globale de 99,20 % avec un indice de Kappa égal à 0,98. Celle de Landsat ETM + (2005) a une précision globale de 97,67 % avec un indice de Kappa qui est 0,97 et l'image de Landsat ETM + (2011) a une précision globale de 90,42 % avec un indice de Kappa de 0,88. La précision n'est pas identique pour toutes les classes. Certaines classes d'occupation du sol sont classifiées avec plus de précision que d'autres. De même, l'image Landsat TM est mieux classifiée que celle de Landsat ETM +. L'indice de Kappa pour les trois images est supérieur à 80 %. Les différents résultats d'évaluation des images classifiées par la classification supervisée sont donc valides.

Tableau 2 : Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat TM (1988)

Classe	F den	F dég	Eau	Hab	Z cul	Savane
F den	96,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F dég	3,08	95,56	0,00	0,00	0,00	0,00
Eau	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Hab	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
Z cul	0,00	4,44	0,00	0,00	100,00	0,00
Savane	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

F den : forêt dense ; F dég : forêt dégradée ; Sav : savane ; Hab : habitat ; Z cul : zone de culture ; kappa : 0, 98; Précision globale : 99,20 %

Tableau 3 : Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat ETM + (2005)

Classe	F den	F dég	Eau	Hab	Z cul	Savane
F den	94,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F dég	4,37	97,04	0,00	0,00	0,00	2,51
Eau	0,00	0,00	98,15	0,00	0,00	0,00
Hab	1,09	0,00	1,85	100,00	0,00	0,42
Z cul	0,00	2,60	0,00	0,00	100,00	0,84
Savane	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,23
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

F den : forêt dense ; F dég : forêt dégradée ; Sav : savane ; Hab : habitat ; Z cul : zone de culture ; kappa : 0,97 ; Précision globale : 97,67 %

Tableau 4 : Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat ETM + (2011)

Classe	F den	F dég	Eau	Hab	Z cul	Savane
F den	92,58	0	0	0	0	0
F dég	4,11	98,02	0	0	0	6,52
Eau	0	0	83,12	0	0	0
Hab	3,31	0	16,88	100	6,72	8,24
Z cul	0	1,98	0	0	93,28	3,73
Savane	0	0	0	0	0	81,51
Total	100	100	100	100	100	100

F den : forêt dense ; F dég : forêt dégradée ; Sav : savane ; Hab : habitat ; Z cul : zone de culture ; kappa : 0,88 ; Précision globale : 90,42 %

3-1-2. Résultats statistiques de l'occupation du sol en 1988 et 2011

Le **Tableau 5** représente la répartition en pourcentage des classes d'occupation du sol en 1988, 2005 et 2011. L'analyse de ce **Tableau** montre une modification considérable de l'occupation du sol surtout entre 1988 et 2005. En effet, en 1988, le paysage était dominé par la forêt dégradée (car 1988 se situe dans la période sèche), puis successivement par la forêt dense, les zones de cultures, la savane, l'eau et l'habitat. Mais dix-sept ans plus tard, le paysage de cette zone est dominé par des zones de cultures, des habitats, la forêt dégradée, la savane, la forêt dense et l'eau. La dynamique de l'occupation du sol entre 1988 et 2005 montre une régression des classes forêt dense et forêt dégradée. Par contre, il y a une évolution des classes habitat, zones de cultures. Puis six ans plus tard, en 2011 l'étude montre un paysage plutôt dominé par l'habitat, la forêt dégradée, les zones de cultures, la forêt dense, la savane et l'eau. La dynamique de l'occupation du sol entre 2005 et 2011 montre que la classe habitat est toujours en évolution, contre une régression de la classe zones de cultures. Quant aux classes forêt dense et forêt dégradée, elles sont toujours en régression par rapport à 1988. En ce qui concerne les taux d'évolution des autres classes, les résultats suivant permettent de mieux les comprendre.

Tableau 5 : Évolution de l'occupation du sol entre 1988 et 2011

Classes	1988		2005		2011	
	Superficie (Km ²)	(%)	Superficie (Km ²)	(%)	Superficie (Km ²)	(%)
Forêt dense	3250,76	23,12	1061,66	7,55	1082,08	7,69
Forêt dégradée	6115,09	43,50	3112,06	22,14	1835,55	13,50
Eau	963,62	5,75	389,36	2,77	709,05	5,04
Habitat	648,2703	4,60	3833,36	27,27	7957,96	51,61
Zones de cultures	2272,98	16,16	4191,37	29,81	1411,13	10,03
Savane	809,29	6,85	1468,75	10,44	1060,79	7,54

Superficie totale traitée : 9458,05 km²

3-1-3. Évaluation de la dynamique de l'occupation du sol

Les taux d'évolution au sein d'une même classe de 1988 à 2005 et de 2005 à 2011 ainsi que, les taux d'évolution annuel sont consignés dans le **Tableau 6**. L'analyse de ce **Tableau** montre que les taux d'évolution au sein de la même classe varient avec des amplitudes différentes. Entre 1988 et 2005, les plus grandes variations sont observées au niveau de l'habitat, la forêt dégradée, la forêt dense et les zones de cultures. Les classes savane et eau ont peu varié. Ces variations sont caractérisées par une évolution successivement de l'habitat, des zones de culture et de la savane. En revanche, il y a une régression des classes forêt dégradée, forêt dense, et l'eau. Par contre entre 2005 et 2011, les plus grandes variations se situent au niveau des classes habitat, zones de cultures et forêt dégradée. Ces variations sont caractérisées par une évolution de la classe habitat contre une régression des classes zones de cultures et forêt dégradée. La classe savane est en nette régression contre une évolution de la classe eau. Par contre la classe forêt dense varie peu ; elle présente une quasi stabilité. La dynamique des taux d'évolution des classes entre elles de 1988 à 2005 et de 2005 à 2011 (**Figure 2**) montre que la classe habitat est en évolution progressive tandis que la classe forêt dégradée est en régression progressive. Les classes zones de cultures et savane qui étaient en évolution présentent une régression. Par contre, la classe eau qui était en régression est en évolution. Quant à la classe forêt dense, elle est stable après 1988.

Tableau 6 : Taux d'évolution des classes de l'occupation du sol entre 1988 - 2005 et 2005 - 2011

Classes	Tb (1988 - 2005)	Tan (1988 - 2005)	Tb (2005 - 2011)	Tan (2005 - 2011)
Forêt dense	- 15,57	- 0,92	0,14	0,02
Forêt dégradée	- 21,36	- 1,26	- 8,64	- 1,44
Eau	- 2,98	- 0,18	2,27	0,37
Habitat	22,67	1,33	24,34	4,05
Zone de culture	13,65	0,80	- 19,78	- 3,29
Savane	3,59	0,21	- 2,9	- 0,48

Tb (%) : taux d'évolution au sein de la même classe ; Tan (%) : taux d'évolution moyen annuel.

Les taux d'évolutions annuels présentent une tendance croissante ou décroissante. Le taux d'évolution moyen annuel le plus élevé est celui de la classe habitat. De 1,33 il est passé à 4,05 en 2011. C'est la classe qui évolue la plus vite. Par contre, le taux d'évolution moyen le plus faible est celle de la classe forêt dégradée. Il est passé de -1,26 à -1,44. Pour mieux apprécier qualitativement ces changements, la **Figure 3** présente des images de la zone d'étude pendant ces années d'étude.

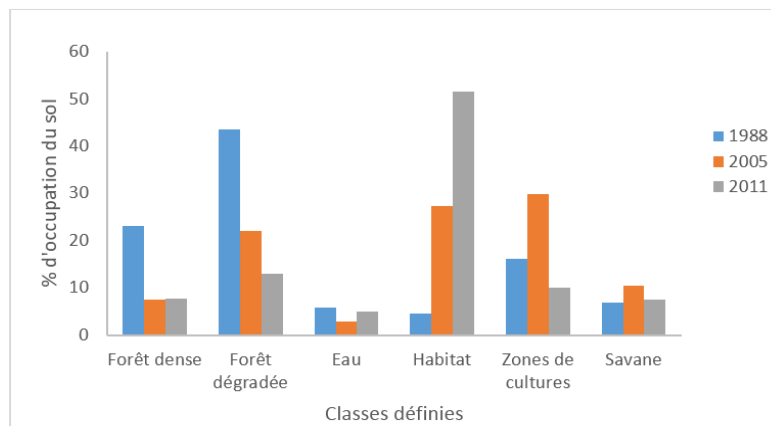
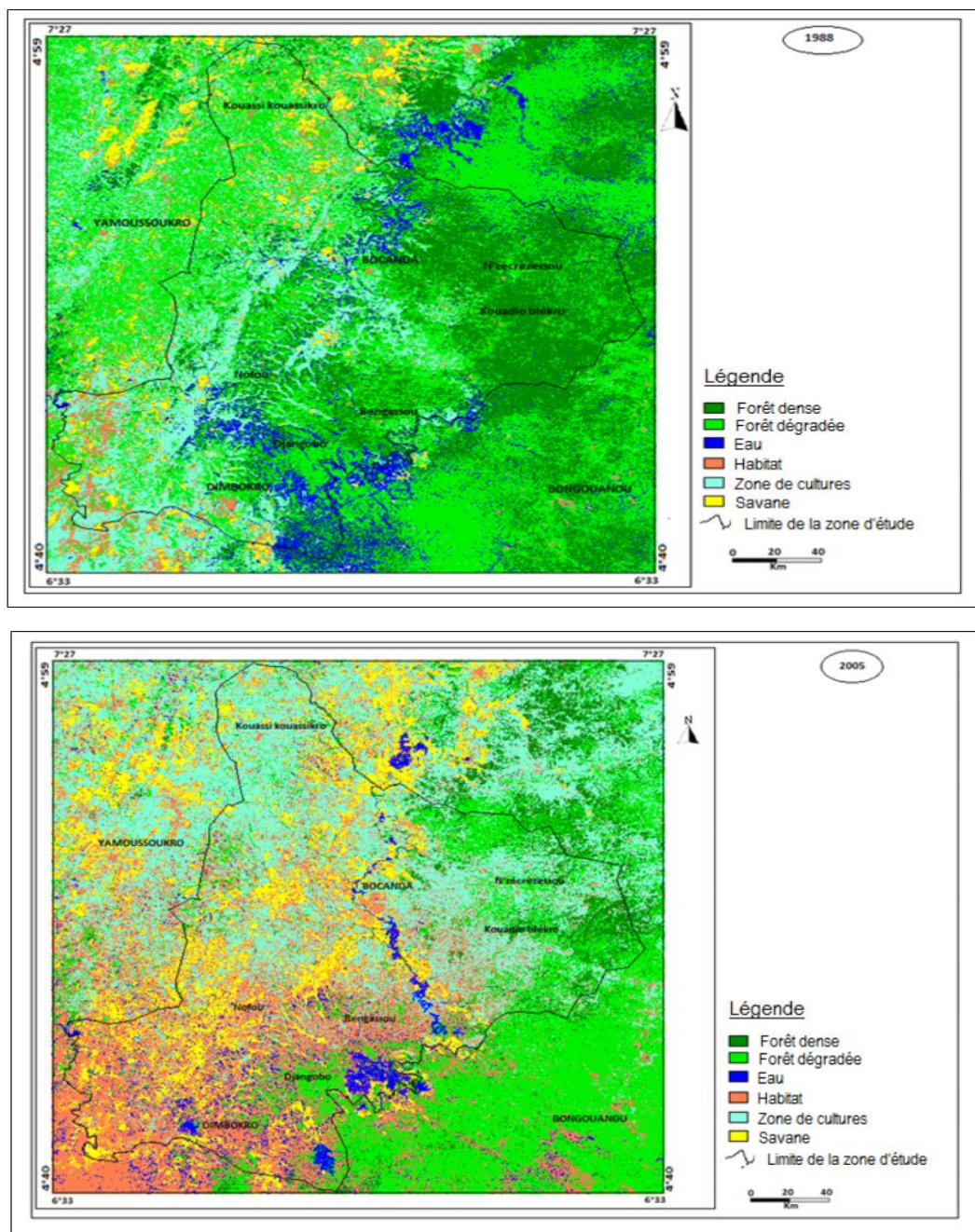


Figure 2 : Évolution des classes d'occupation des sols en 1988, 2005 et 2011



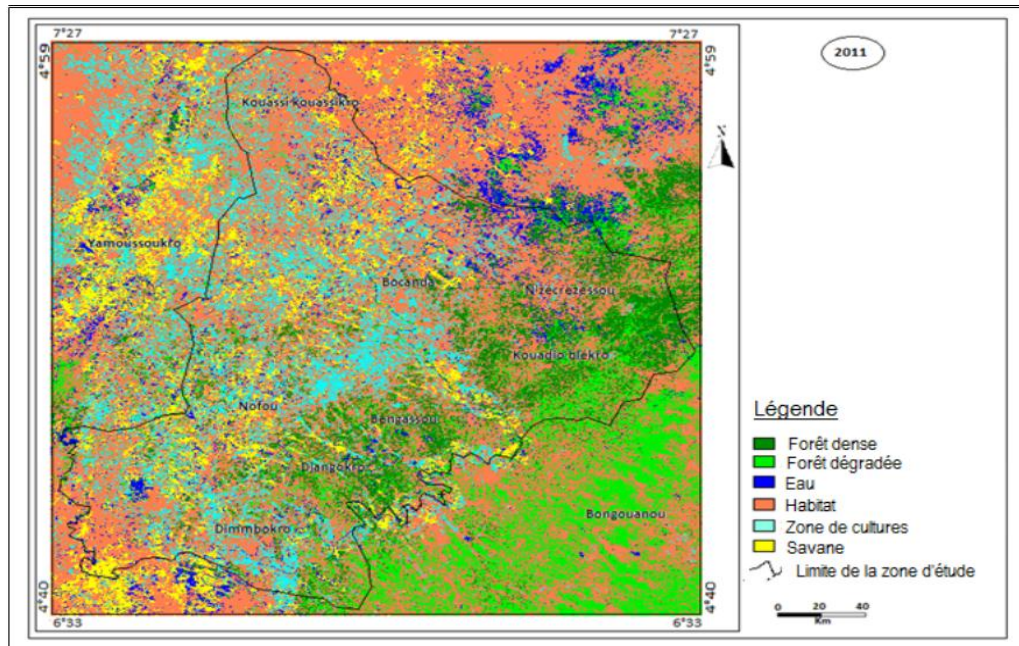


Figure 3 : Cartes d'occupation du sol de la zone d'étude en 1988, 2005 et 2011

3-1-4. Évaluation de l'impact de l'anthropisation sur les écoulements

Les coefficients de rétention pour chaque classe sont consignés dans le **Tableau 7**. L'analyse de ce **Tableau** montre que le coefficient de rétention en 1988 (156,25) est supérieur à 100. Par contre, en 2005 et 2011, il est inférieur (99,63 et 59,95) à 100. Ce résultat montre que la zone d'étude a subi une modification anthropique depuis 2005. Cette situation rend la région, propice aux écoulements de surface avec son corollaire de développement intense de l'érosion. Il s'ensuit donc une transformation des zones naturelles en zones de cultures et en habitations (confirmation du taux d'évolution élevé de la classe habitat et zones de cultures). En revanche l'infiltration est lente ou inexistante en tenant compte de la nature du sol.

Tableau 7 : Évolution des coefficients de rétention de 1988, 2005 et 2011

	Forêt dense	Forêt dégradée	Habitat	Culture	Savane	Total
Cr (1988)	46,24	87	0	16,16	6,85	156,25
Cr (2005)	15,1	44,28	0	29,81	10,44	99,63
Cr (2011)	15,38	27,00	0	10,03	7,54	59,95

3-2. Discussion

L'étude de la dynamique de l'occupation du sol a été faite à l'aide d'images des satellites landsat TM et ETM + de 1988, de 2005 et de 2011. Les trois images disponibles sur internet ont été prises en période sèche mais cela n'exclut pas une étude objective de la dynamique de l'occupation du sol. Les erreurs de confusion sont faibles, et sont inférieures à 20 %. Selon [16], ces erreurs sont acceptables car, elles sont en-dessous de 70 %. L'essentiel de la confusion dans la classification se situe au niveau des classes de la végétation dont les classes forêt dense, forêt dégradée, zones de cultures et savane ainsi qu'au niveau des classes eau et habitat. La confusion des classes de la végétation (0,84 à 6,52 %) est due au passage de la forêt dense à la savane. En effet, les fortes pluviométries d'avant les années 70 ont laissé des empreintes sur la végétation jusque dans les années 90. Cette végétation est constituée d'une succession de forêt dégradée et de forêt dense, ce

qui explique la grande confusion entre ces deux classes. La confusion entre les classes zones de cultures et savanes est due à l'abandon des anciennes plantations de café et de cacao qui apparaissent comme la savane arborée. L'activité anthropique est à l'origine de la confusion entre l'eau et l'habitat, la savane ainsi que la forêt dégradée et les zones de cultures. De façon générale, la dynamique de l'occupation du sol de 1988 à 2005 montre une régression de la forêt dégradée, la forêt dense et l'eau, contrairement à l'habitat, les zones de cultures et la savane qui sont en évolution. Cette situation est due à l'action combinée de la réduction de la pluviométrie et à l'activité anthropique (feux de brousse, création de nouvelles plantations, exploitation abusive des billes de bois, etc.) car, le taux d'évolution annuel de l'habitat est très élevé (1,33 %) [18, 19]. Ces résultats sont aussi en accord avec ceux de [20] qui trouve une régression des classes forêt contre une progression des zones de cultures et jachères (602000), des plantations et agglomérations (2213 et 3281) et des sols dénudés. La régression des forêts (forêt dégradée avec -21,36 %, forêt dense avec -15,57 %) au profit de la savane (+ 3,59 %) est un constat général dans cette région. Selon [21] qui a travaillé dans la région qui représentait le « V » Baoulé, la surface des forêts denses dans cette région a subi une forte régression. Sa superficie qui était de 233 430 Ha en 1971 est passée à 18 114 Ha en 1984. Cette régression de l'espace naturel a également été relevée dans le Nord de la Côte d'Ivoire [22], cependant dans le cas du Nord la forêt et la savane régressent simultanément pour faire place à l'habitat.

Selon [18], les modifications affectant la couverture végétale d'un territoire donné qu'elles soient d'origine anthropique ou naturelle, ont une influence plus ou moins directe sur la relation existant entre les précipitations et les écoulements de surface. En effet, la nature du couvert végétal intervient sur l'intensité de 5 processus fondamentaux du cycle de l'eau à la surface : interception, évaporation directe après interception, infiltration dans le sol, évapotranspiration et ruissellement de surface [18]. La réduction du plan d'eau (- 2,98 %) qui a été aussi observé dans la région des lacs [19] et dans le nord du pays [22] est liée à la baisse de la pluviométrie. A cela s'ajoute l'accroissement rapide de la population dont les besoins en eau entraînent des prélèvements de plus en plus intenses dans les retenues d'eau. L'accroissement rapide de l'habitat (+ 1,33 %) évolue de pair avec les zones de cultures (+ 0,80 %). Cette explosion de l'habitat est due à une migration des populations des zones assiégées vers les zones gouvernementales suite à la crise politico-militaire de 2002. Les cultures ne sont plus en majorité industrielles (café, cacao), suite à la baisse de la pluviométrie mais plutôt vivrières assurant la consommation quotidienne de la population. Quant à la dynamique de l'occupation du sol entre 2005 et 2011, la régression de la forêt se poursuit, sauf une stabilité au niveau de la forêt dense (+ 0,14 %). Cette stabilité est due à la préservation des forêts classées et sacrées suivie d'une sensibilisation pour la préservation des forêts par les autorités publiques (Ministère de l'Agriculture) et privés (ANADER).

Cette situation a été également observée au Burkina Faso [23]. Un retour timide de forte pluviométrie autour des années 2011 est à la base de l'évolution de la classe eau (+ 2,27 %) et de la régression de la classe savane (- 2,90 %). L'accroissement continu de l'habitat (+ 24,34 %) est toujours dû à la migration des populations mais aussi à l'urbanisation de la zone (nouveaux bâtiments). Contrairement à la classe habitat, la classe zones de cultures est en régression (- 19,78 %) à cause du départ des migrants venus des zones forestières, après la fin de la crise post-électorale. L'indice de rétention est supérieur à 100 pour 1988 mais inférieur à 100 pour 2005 et 2011. Selon [17], lorsque ces indices sont en dessous de 100, les bassins étudiés sont anthropisés ou dégradés. Ces résultats dont les conséquences sont l'augmentation des écoulements de surface avec une intensification de l'érosion des sols et une infiltration nulle sont similaires aux résultats des [17, 19, 20, 24]. En effet, l'importance des types d'occupation des sols sur les réponses des bassins versants en termes d'écoulement a été avérée [17]. Selon [18], l'occupation du sol influence les quantités d'eau disponibles pour l'écoulement de surface et l'infiltration. Ainsi, dans les régions savaniques du Nord, le ruissellement sera prépondérant sur l'infiltration, alors que dans les régions forestières du Sud, l'infiltration prendra de la prépondérance sur le ruissellement. L'importance de chaque phénomène (ruissellement et infiltration) est liée aux conditions climatiques et végétales subies par le bassin.

5. Conclusion

L'objectif de cette étude est d'examiner l'impact de la baisse de la pluviométrie sur la dynamique de l'occupation du sol de la région du N'zi. La baisse de la pluviométrie en 1968 et 1975 a entraîné une modification du paysage. Cette modification a été étudiée à l'aide d'images satellitaires Landsat TM (1988) et ETM+ (2005 et 2011). La méthode de classification supervisée par l'algorithme du maximum de vraisemblance permet de discriminer six classes d'occupation de sol dans la zone d'étude. Les précisions globales et les indices de Kappa des matrices de confusion sont respectivement supérieurs à 90 % et à 0,86 %. Les six classes identifiées sont la forêt dense, la forêt dégradée, la savane, les zones de cultures, l'habitat et l'eau. La dynamique de l'occupation du sol de 1988 à 2005 montre une régression de la forêt dense (- 15,57 %), de la forêt dégradée (- 21,36 %) et de l'eau (- 2,98 %). Par contre l'habitat (+ 22,67 %), la savane (+ 3,59 %), et les zones de cultures (+ 13,65 %) sont en évolution. la dynamique de l'occupation du sol de 2005 à 2011, montre une évolution des classes habitat (+ 24,34 %) eau (+ 2,27 %) et forêt dense (+ 0,14 %) contre une régression des classes, zones de cultures (- 19,78 %), forêt dégradée (- 8,64 %), et savane (- 2,90 %). La classe habitat est toujours en évolution, contre une régression continue de la classe forêt dégradée. Les coefficients de rétention sont faibles (< 100) pour les 2 dernières années (2005 et 2011) de l'étude. La zone d'étude est donc marquée par une forte anthropisation. La baisse de la pluviométrie n'est donc pas la seule cause de la dynamique de l'occupation du sol, il faut aussi tenir compte de l'action anthropique. Ces résultats doivent servir de constat et de source de réflexion pour les autorités dans l'adaptation au changement climatique.

Références

- [1] - S. E. NICHOLSON, Recent rainfall fluctuations in Africa and their relationship to past conditions over the continent, *The Holocene*, 4 (2) (1994) 121 - 131
- [2] - A. A. AKA, E. SERVAT, J. E. PATUREL et B. KOUAME, Analyse de la variabilité temporelle des écoulements en Côte d'Ivoire, Approche statistique et caractérisation des phénomènes, *Journal des sciences hydrologiques*, 41 (6) (1996) 959 - 970
- [3] - E. SERVAT, J. E. PATUREL, B. KOUAME, M. TRAVAGLIO, M. OUEDRAOGO, J. F. BOYER, H. LUBES-NIEL, J. M. FRITSCH, J. M. MASSON et B. MARIEU, Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et centrale, *IAHS Publication*, 252 (1998) 323 - 337
- [4] - J. E. PATUREL, E. SERVAT et M. O. DELATTRE, Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique, *Journal des sciences hydrologiques*, 43 (3) (1998) 937 - 945
- [5] - M. OUEDRAOGO, Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest, Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante, normes hydrologiques et modélisation régionale, Thèse de l'Université de Montpellier II, France, (2001) 257 p.
- [6] - S. ARDOIN, H. LUBES-NIEL, E. SERVAT, A. DEZETTER et J. F. BOYER, Analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'Ouest : caractérisation de la situation de la décennie 1990, *IAHS Publication*, 278 (2003) 223 - 228
- [7] - B. S. ARDOIN, Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne, Thèse de l'Université de Montpellier II, France, (2004) 330 p.
- [8] - Y. T. BROU, Analyse et dynamique de la pluviométrie dans le Sud forestier ivoirien : recherche de corrélations entre les variables climatiques et les variables liées aux activités anthropiques, Thèse de Doctorat de 3ème cycle de l'Université de Cocody, Côte d'Ivoire, (1997) 211 p.
- [9] - S. BIGOT, Y. T. BROU, J. OSZWAID et A. DIEDHIOU, Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales, *Sécheresse*, 16 (1) (2005) 5 - 13

- [10] - R. M. N. FOSSOU, T. LASM, N. SORO, T. D. SORO, G. SORO, O. Z. DE LASME, D. BAKA, O. Z. ONETIE, K. R. OROU, Variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau souterraines : cas des stations de bocanda et de dimbokro au centre-est de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'ouest), *Larhyss Journal*, 21 (2015) 97 - 120
- [11] - R. M. N FOSSOU, N. SORO, V. B. TRAORE, T. LASM, S. SAMBOU, T. D SORO, R. K. OROU, M. T. CISSE et A. KANE, Variabilité climatique et son incidence sur les ressources en eau de surface : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro, Centre-Est de la Côte d'Ivoire en Afrique de l'Ouest, *Afrique SCIENCE*, 10 (4) (2014) 118 - 134
- [12] - J. C. MAILLARY, Notice explicative des cartes hydrogéologiques d'Abengourou et Dimbokro (1 / 200 000), (1964)
- [13] - A. ADOU, Reconnaissance hydrogéologique dans la Région de Dimbokro, *Projet Mammouth SODEMI Côte d'Ivoire*, (1970)
- [14] - F. DELANY, Mission hydrogéologique des régions à substratum schisteux (Côte d'Ivoire), *Rapport de mission SODEMI Côte d'Ivoire*, (1965)
- [15] - R. G. PONTIUS, Quantification error versus location error in comparison of categorical maps, *Photogrammetric Engineering and remote Sensing*, 66 (8) (2000) 1011 - 1016
- [16] - V. J. MAMA et J. OLOUKOI, Evaluation de la précision des traitements analogiques des images satellitaires dans l'étude de la dynamique de l'occupation du sol, *Télédétection*, 3 (5) (2003) 429 - 441
- [17] - P. CECCHI, F. GOURDIN, S KONE, D CORBIN, E JACKIE et A CASENAVE, Les petits barrages du nord de la Côte d'Ivoire : inventaire et potentialités hydrologiques, *Sécheresse*, 20 (1) (2009) 112 - 22
- [18] - A. M. KOUASSI, Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, (2007) 210 p.
- [19] - G. SORO, Évaluation quantitative et qualitative des ressources en eau souterraines dans la région des lacs (centre de la côte d'ivoire) : hydrogéologie et hydrochimie des aquifères discontinus du district de Yamoussoukro et du département de Tiébissou, Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, (2010) 250 p.
- [20] - A. AKOGNONGBE, D. ABDOULAYE, E.W. VISSIN et M. BOKO, Dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Oueme à l'exutoire de Bétérou (Bénin), *Afrique SCIENCES*, 10 (2) (2014) 228 - 242
- [21] - Z. A BI TRA, Y. T. BROU et G MAHE, Analyse par télédétection des conditions bioclimatiques de végétation dans la zone de contact forêt-savane de Côte d'Ivoire : cas du V Baoulé, XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, *Liège*, (2015) 6 p.
- [22] - T. D. SORO, Evolution des ressources en eau du bassin versant du haut Bandaman à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire) dans un concept de variabilité climatique : impact hydrologique, hydrogéologique et hydrochimique, Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2014) 243 p.
- [23] - S. SOULAMA, A. KADEBA, B. M. I. NACOUUMA, S. TRAORE, Y. BACHMANN et A. THIOMBIANO, Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et de ses périphéries (sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de variabilité climatique, *Journal of Applied Biosciences*, 87 (2015) 8047 - 8064
- [24] - G. SORO, E. K. AHOUSI, E. K. KOUADIO, T. D. SORO, S. OULARE, M. B. SALEY, N. SORO, et J. BIEMI, Apport de la télédétection à la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire), *Afrique SCIENCE* (2014), 10 (3) 146 - 160