

**IMPACTS CONJUGUÉS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET DES  
PRESSIONS ANTHROPIQUES SUR LES MODIFICATIONS DE LA  
COUVERTURE VÉGÉTALE DANS LE BASSIN VERSANT DU  
N'ZI-BANDAMA (CÔTE D'IVOIRE)**

**Amani Michel KOUASSI<sup>1\*</sup>, Koffi Fernand KOUAMÉ<sup>2</sup>,  
Kouassi Ernest AHOUSI<sup>2</sup>, Sekouba OULARÉ<sup>2</sup> et BIEMI Jean<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB)  
Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières  
(STeRMi) Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences  
Géographiques*

*<sup>2</sup>Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Unité de Formation  
et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières  
(UFR-STRM) ; Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de  
l'Environnement (LSTEE)*

---

\* Correspondance, e-mail : [michel.a.kouassi@yahoo.fr](mailto:michel.a.kouassi@yahoo.fr)

## **RÉSUMÉ**

L'objectif de cette étude est d'analyser les impacts des changements climatiques et des pressions anthropiques sur les changements de la couverture végétale dans le bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire). Les représentations graphiques des indices pluviométriques à partir des stations de Dabakala, Bouaké et Dimbokro sur la période 1922-2004, révèlent une alternance de trois tendances pluviométriques: périodes humides, périodes normales et périodes sèches. La tendance générale des indices pluviométriques est à la baisse avec une péjoration permanente des valeurs négatives à partir des années 1970. Ces résultats indiquent des sécheresses majoritairement modérées et quelques fois fortes à partir de la fin de la décennie 1960. L'analyse diachronique de la couverture végétale dans le bassin versant du N'zi-Bandama a conduit à réaliser la cartographie de la végétation à l'aide d'images satellitaires TM (1990) et ETM+ (2000) de Landsat. Les différentes images ont été traitées par les méthodes de classification non supervisée et supervisée à l'aide de l'algorithme du maximum de vraisemblance et classifiées avec une précision globale de 91% en 1990 et de 86% en 2000. Les cartes thématiques réalisées ont permis de mettre en évidence une dynamique spatio-temporelle de la couverture végétale. Deux tendances ont été identifiées. Une tendance progressive (+14,95) est manifestée au niveau de la classe dominée par la forêt claire

et/ou la savane arborée. La tendance régressive concerne d'une part, la classe dominée par la forêt dense (-1,93%) et d'autre part, la classe comprenant la savane arbustive et/ou herbeuse (-15,15%). Les pressions anthropiques et les sécheresses pluviométriques ont donc entraîné, au cours de la période 1990-2000, une modification de la couverture végétale du bassin versant du N'zi-Bandama.

**Mots-clés :** *changements climatiques, pressions anthropiques, images satellitaires, dynamique du couvert végétal, N'zi-Bandama, Côte d'Ivoire.*

## **ABSTRACT**

### **Combined impacts of climate changes and human pressures on land cover modifications in the N'zi-Bandama watershed (Côte d'Ivoire)**

The objective of this study is to analyze the impacts of climate change and anthropogenic pressures on land cover changes in the N'zi-Bandama watershed (Côte d'Ivoire). Graphical representations of rainfall indices from stations of Dabakala, Bouaké and Dimbokro during the period 1922-2004, show an alternation of three rainfall trends: wet periods, normal periods and dry periods. The general trend of rainfall indices is down with a permanent worsening of negative values from the 1970s. These results indicate droughts mostly moderate and sometimes high from the end of the 1960s. Diachronic analysis of vegetation cover in the N'zi-Bandama watershed led to perform the mapping of vegetation using Landsat satellite images (TM of 1990 and ETM+ of 2000). Different images were processed by the methods of supervised and unsupervised classification using the maximum likelihood algorithm and classified with an overall accuracy of 91% in 1990 and 86% in 2000. Thematic maps made helped highlight a spatio-temporal dynamics of vegetation cover. Two trends were identified. A progressive trend (+14.95%) is shown at the dominated class by woodland and/or tree savannah. The downward trend for one hand, the class dominated by dense forest (-1.93%) and secondly, the class including shrub savannah and/or grassy (-15.15%). Human pressures and drought rainfall caused therefore, during the period 1990-2000, a change in the vegetation of the N'zi-Bandama watershed.

**Keywords:** *climate changes, human pressures, satellites images, land cover changes, N'zi-Bandama, Ivory Coast.*

## **I - INTRODUCTION**

La dynamique de l'occupation du sol en général et le couvert végétal en particulier, est liée à la conjugaison des impacts des changements climatiques et des bouleversements liés aux activités humaines [1-4]. Les premiers sont considérés comme inéluctables à l'échelle du siècle, et leurs effets sur la disparition d'espèces sont généralement limités [4]. Ainsi, la Côte d'Ivoire, à l'image de toute l'Afrique de l'Ouest, a connu des problèmes de changements climatiques manifestés par la baisse des précipitations, la hausse des températures et l'amenuisement des humidités relatives à partir de la fin de la décennie 1960. Ainsi, plusieurs travaux ont mis en évidence la modification des précipitations dans un contexte de variabilité climatique dans le bassin versant du N'zi-Bandama depuis la fin de la décennie 1960 [5-8]. En revanche, l'impact des activités humaines est susceptible d'être à l'origine de modifications de la succession végétale et de dégradation du milieu [3-4, 9,10].

Ainsi, la surface forestière de la Côte d'Ivoire, estimée à environ 14 millions d'hectares en 1912 est passée à près de 9 millions d'hectares en 1955 [11]. En 1993, il restait environ 2 millions d'hectares de surface forestière [11]. Entre 1960 et 2000, la superficie totale des zones forestières non exploitées est passée de 12 millions d'hectares à moins de 2 millions d'hectares au profit des cultures et jachères [3]. Le couvert végétal du bassin versant du N'zi-Bandama n'est donc pas en reste des pressions anthropiques. Une analyse de l'évolution du couvert forestier faite en 1980 à partir des surfaces cultivées a permis d'évaluer la superficie de la forêt dense en Côte d'Ivoire à 4,5 millions d'hectares, soit un rythme moyen de déforestation de 315 000 ha par an entre 1974 et 1980 [12]. Pour la période 1981-1986, le taux moyen de déforestation serait passé à 446 000 ha par an. Enfin, entre 1990 et 2000, ce taux a été de 265 000 ha. Si l'impact de la variabilité climatique sur les écosystèmes de forêt et de savane est visible, les relations de cause à effet entre taux de déforestation et baisse du niveau des précipitations restent, en revanche, pour l'instant difficiles à quantifier [3].

Dans ce contexte, l'objectif poursuivi par cette contribution est d'analyser les impacts des changements climatiques et des pressions anthropiques sur les changements de la couverture végétale dans le bassin versant du N'zi-Bandama, qui est une zone représentative des points de vue des régimes climatiques et des types de végétation en Côte d'Ivoire.

Les variations pluviométriques traduisant les effets des changements climatiques sont analysées à partir de l'indice standardisé des précipitations. La dynamique du couvert végétal a été menée à partir d'une analyse diachronique d'images satellitaires. L'analyse diachronique des paysages est

une des méthodes les plus utilisées pour l'étude des changements environnementaux [13]. Dans le cadre de cette étude, la procédure de détection des changements a été adaptée aux images des capteurs de Landsat (TM et ETM+). En effet, les images TM et ETM+ de Landsat ont longtemps été utilisées pour analyser la dynamique de la végétation. Ces images ont l'avantage d'une bonne résolution spatiale et d'une grande couverture temporelle [13]. La bibliographie récente dans nos régions est riche en recherches sur l'application de la méthode de détection des changements de la couverture végétale et de l'occupation des terres avec des images des capteurs de Landsat [4,9-12,14,15]. En effet, la télédétection spatiale est un outil performant de suivi diachronique de la dynamique de l'occupation du sol, par le nombre élevé de données mobilisées, par l'homogénéité synoptique des informations transmises et par la répétitivité de leur acquisition [16,17]. Les images satellitaires sont également descriptives et apportent une information visuelle très importante à laquelle s'ajoute l'aspect multi-spectral des données, offrent un atout crucial pour caractériser les objets dans une large bande spectrale [16].

Pour atteindre l'objectif fixé, nous avons émis l'hypothèse selon laquelle les changements produits au cours de ces dernières années sur le couvert végétal dans le bassin versant du N'zi-Bandama sont les conséquences de l'anthropisation et des changements climatiques.

## II - PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le secteur d'étude est le bassin versant du N'zi-Bandama (*Figure 1*), sous-bassin du fleuve Bandama. Il est compris entre les longitudes 3°49' et 5°22' Ouest et les latitudes 6° et 9°26' Nord et couvre une superficie de 35 500 km<sup>2</sup>. De par sa configuration géographique allongée, le bassin versant du N'zi-Bandama est représentatif des grands ensembles climatiques de la Côte d'Ivoire. Au Nord, règne le régime tropical de transition (climat soudano-guinéen) avec des pluies annuelles inférieures à 1200 mm. Le régime tropical humide (climat baouléen) est caractéristique de la partie centrale du bassin avec des pluies annuelles comprises entre 1200 mm et 1600 mm. Le Sud du bassin se caractérise par un régime subéquatorial (climat attiéen) avec des pluviométries supérieures à 1600 mm (*Figure 1*). Le relief du bassin est peu accidenté. Il est généralement constitué de plateaux (100 m à 400 m en moyenne). Cette monotonie est rompue par la chaîne Baoulé. Les principaux types de sol sont les sols ferralitiques moyennement dessaturés (Nord) et les sols ferralitiques fortement dessaturés (Centre et Sud).

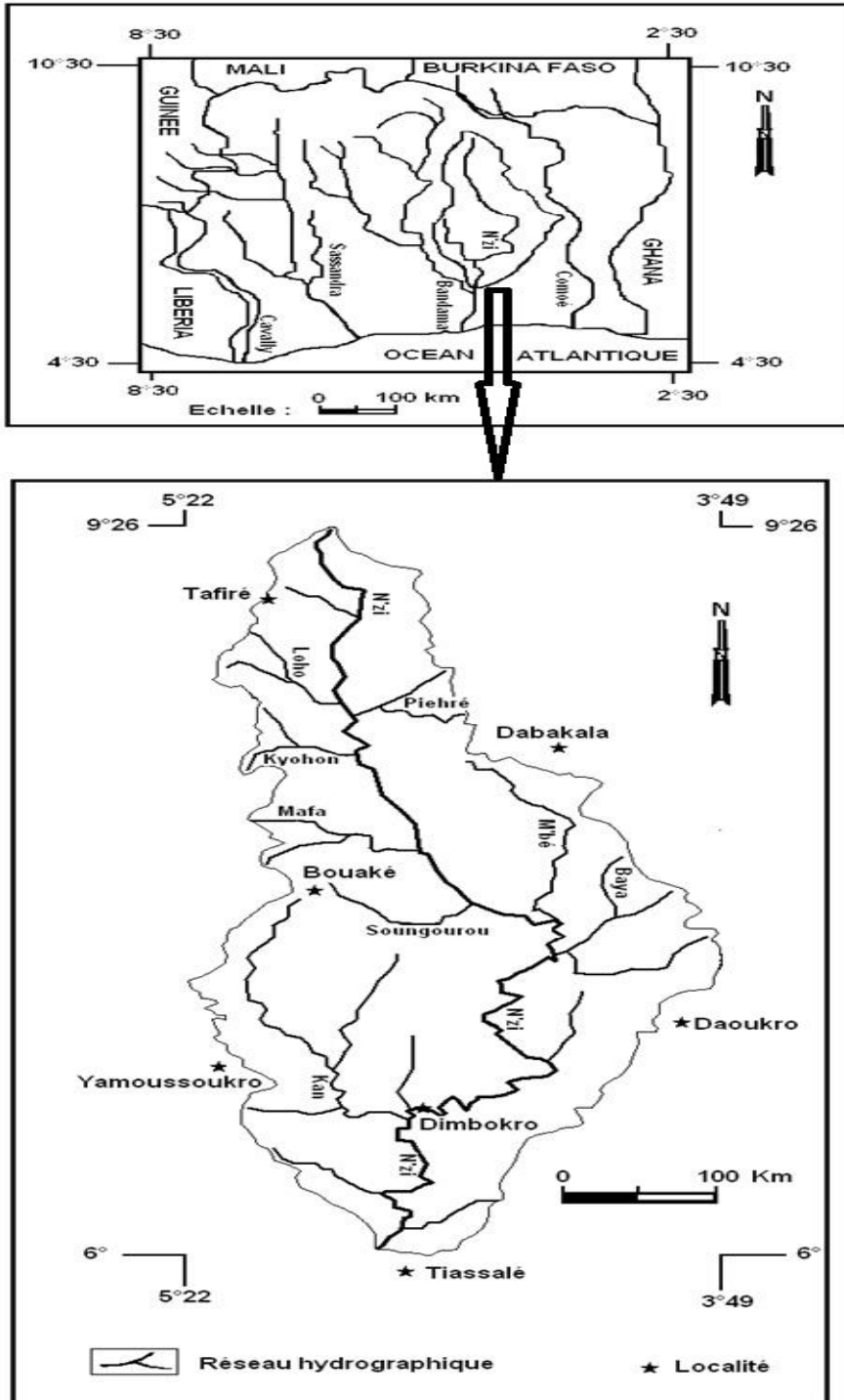


Figure 1 : Présentation de la zone d'étude (bassin versant du N'zi-Bandama).

Amani Michel KOUASSI et al.

Le bassin versant du N'zi a une végétation diversifiée. Cette diversité des formations végétales et surtout leur distribution spatiale déterminent du Nord au Sud, trois (3) principaux domaines:

- le domaine soudanien au Nord, caractérisé par les formations de savanes arbustives ou herbeuses, savanes arborées, et savanes boisées. A côté de cette végétation savanicole, sont observés des îlots de forêts dégradées sur les plateaux et des forêts-galeries ;

- le secteur pré-forestier domine le Centre du bassin et est caractérisé par une forêt dégradée, mais aussi par la savane guinéenne recouverte de nombreuses forêts galeries et semée d'îlots, reliques de forêts denses. La limite entre forêt et savane est relativement bien marquée par le «V» baoulé. En effet, le «V» baoulé est l'avancée ultime de la savane dans le domaine forestier ou zone de transition entre le domaine soudanais et le domaine guinéen. Cette végétation de transition est dominée par deux types de savanes que sont la savane arborée et la savane arbustive. L'on y apprécie également des savanes herbeuses et des lambeaux de zones forestières ;

- le domaine mésophile au Sud est constitué de lambeaux de forêt mésophile, et de larges mailles de savane séparées par des forêts-galeries. Progressivement, l'influence de la zone de savane arborée se développe et la forêt naturelle devient clairsemée. La forêt dégradée devient de plus en plus l'élément dominant de cette végétation.

Il existe à côté de ces végétations naturelles, des végétations liées à l'action anthropique (mosaïques forêt-cultures, mosaïques savanes-cultures, cultures).

### **III - DONNÉES ET MÉTHODES**

#### **III-1. Données**

Les données de hauteurs pluviométriques utilisées proviennent de la société de météorologie nationale (SODEXAM : Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique, Aéroportuaire et Météorologique). Ces données concernent les stations pluviométriques disposant d'informations datant du début de la décennie 1920, période d'implantation des premières stations pluviométriques en Côte d'Ivoire. Les stations remplissant cette condition et utilisées pour l'analyse temporelle des séries pluviométriques sont celles de Dabakala (Nord du bassin), Bouaké (Centre du bassin) et Dimbokro (Sud du bassin). La période utilisée va de 1923 à 2004. La constitution d'un vecteur régional a permis de reconstituer les données manquantes au sein des différentes séries pluviométriques annuelles [8].

Les données d'occupation du sol proviennent de deux images mosaïques satellitaires multi-spectrales de type Landsat TM ou Thematic Mapper (1990) et Landsat ETM+ ou Enhanced Thematic Mapper (2000).

Les images Landsat TM ont une résolution spatiale de 28,5 m. Les images Landsat ETM+ ont une résolution spatiale de 14,25 m. Les différentes images ont été ré-échantillonnées à la résolution de 30 m pour une meilleure comparaison des résultats. Ces images ont déjà subies des prétraitements, c'est-à-dire des corrections radiométriques et géométriques. Les différentes images sont constituées des bandes 7 (moyen infra-rouge), 4 (proche infra-rouge) et 2 (vert visible) chargées respectivement sur les canaux RVB (Rouge Vert Bleu). Une composition colorée en fausses couleurs a été effectuée sur les images corrigées à partir des différentes bandes. Ces canaux sont classiquement utilisés pour discriminer les classes de végétation. Mais, c'est surtout les canaux R et PIR qui permettent la plus grande différenciation des classes de végétation [4]. Des cartes thématiques d'occupation du sol et des cartes topographiques à l'échelle 1/200 000 réalisées par le Centre de Cartographie et de Télédétection (CCT/BNETD) ont été utilisées (1990).

### III-2. Evaluation de l'évolution climatique

Le climat est l'un des facteurs essentiels dont dépend la couverture végétale [11]. En effet, le développement des formations végétales dépend non seulement de la quantité de pluie tombée, mais aussi de sa répartition temporelle. La mesure de l'évolution climatique a été faite par le calcul de l'indice standardisé des précipitations [4, 7]. Cet indice, bien adapté au suivi des variations de la dynamique de la végétation en relation avec l'évolution de la pluviométrie [4], est utilisé pour quantifier les variations de précipitations à différentes échelles temporelles. Sa formule est la suivante :

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \quad (1)$$

Avec :

- $X_i$  : valeur de la pluviométrie annuelle de l'année  $i$  ;
- $\bar{X}$  : valeur moyenne interannuelle de la pluviométrie sur la période étudiée ;
- $S$  : valeur interannuelle de l'écart-type de la pluviométrie sur la période étudiée.

Le calcul de cet indice permet de déterminer le degré d'humidité ou de sécheresse du milieu [4]:

- lorsque  $I > 2$ , on parle d'humidité extrême ;
- pour  $1 < I < 2$ , on a une humidité forte ;

- pour  $0 < I < 1$ , on a une humidité modérée ;
- pour  $-1 < I < 0$ , on a une sécheresse modérée ;
- si  $-2 < I < -1$ , on a une sécheresse forte ;
- si  $SPI < -2$ , la sécheresse est qualifiée d'extrême.

La détermination des indices pluviométriques a été réalisée à partir du tableur Excel.

### **III-3. Cartographie et mise en évidence des changements dans la couverture végétale**

Les méthodes de classifications non supervisée et supervisée sont beaucoup utilisées dans le domaine de la cartographie des végétations [4, 11, 18]. Dans ce travail, la classification non supervisée a été une étape intermédiaire et a permis de :

- parvenir à une simplification radiométrique de l'image brute, rendue plus facilement interprétable ;
- faire correspondre au mieux la réalité radiométrique à la réalité thématique.

Quatre classes thématiques ont été définies au lancement de la classification non supervisée. A partir des résultats de la classification non supervisée et des données cartographiques (cartes d'occupation du sol, cartes topographiques, etc.), une classification supervisée a été réalisée. Des parcelles d'entraînement choisies ont servi de base à la classification de l'ensemble de l'espace d'étude. Ces parcelles d'entraînement ont été identifiées à partir des résultats de compositions colorées effectuées. Elles contiennent des informations spécifiques qui sont fournies à l'entrée de la classification et constituent ainsi les éléments de base d'une classification supervisée. Dans la présente étude, nous avons sélectionné au niveau de chaque thème à cartographier (type d'occupation du sol) une dizaine d'échantillons qui ont servi de parcelles d'entraînement. L'algorithme de classification supervisée choisi est le « maximum de vraisemblance » considéré comme le plus performant des algorithmes dans la production des cartes thématiques dans le domaine de l'occupation du sol [19]. En effet, la classification assistée par maximum de vraisemblance consiste à classer les pixels en fonction de leur ressemblance avec les comptes numériques d'objets géographiques de référence préalablement déterminés sur l'image (parcelles d'entraînement) et validés par des relevés de terrain. Le profil numérique des parcelles d'entraînement est alors supposé représentatif du profil numérique de l'ensemble de la classe sur l'image [19].

L'évaluation de la classification a été effectuée à partir de la matrice de confusion qui permet d'obtenir les précisions du traitement afin de valider le choix des parcelles d'entraînement [16, 20]. Ce rapport statistique réalisé sur



la base des parcelles de contrôles (parcelles n'ayant pas servi d'entraînement) permet d'évaluer la capacité des images satellitaires à discriminer les différentes classes de végétation retenues. Différents indices associés aux matrices de confusion ont été analysés (la précision cartographique et la précision globale du traitement). La diagonale de la matrice de confusion représente les pourcentages des pixels bien classés. La précision cartographique est l'expression de la validité du traitement ou le pourcentage de pixels bien classés pour un thème défini. Plus cette valeur se rapproche de 100%, plus le traitement est valide. La précision globale de la classification traduit le rapport entre le nombre total de pixels bien classés et le nombre total de pixels dans une image [16]. Une fois la classification validée, un filtre médian 3x3 a permis de réduire l'hétérogénéité intra classes par élimination des pixels isolés [21].

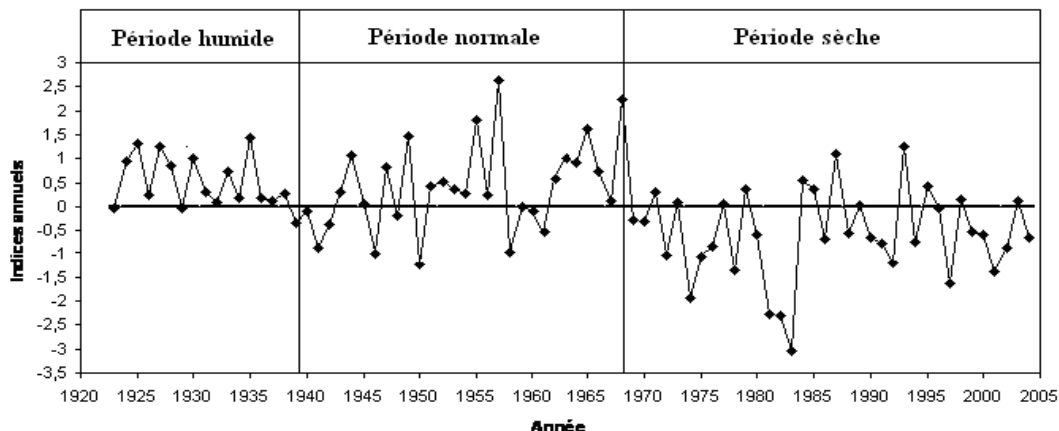
L'algorithme choisi pour la détection des changements est la différence des images multi-dates [13, 22]. Les deux images utilisées ont été remplacées par des classifications thématiques obtenues. Les différences de signature entre les images mettent en évidence le dynamisme des végétations.

C'est le logiciel ENVI<sup>TM</sup> 4.1 qui a été utilisé pour le traitement des images et la réalisation des cartes thématiques d'occupation du sol.

## IV - RÉSULTATS

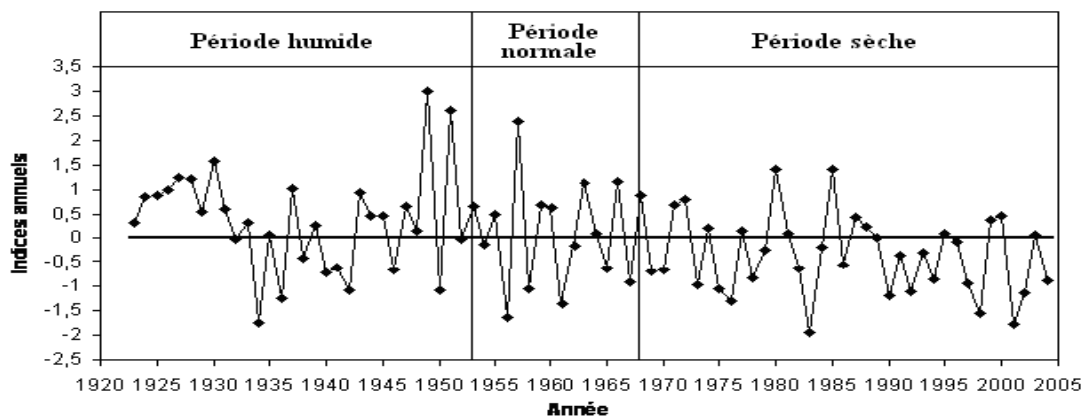
### IV-1. Analyse de l'évolution climatique

Dans le Nord du bassin (station de Dabakala), la période 1923-1938 est marquée par une pluviométrie moyenne interannuelle de 1223 mm avec un écart-type de 128 mm (*Figure 2*). Cette période se distingue par des indices pluviométriques compris entre 0 et 2 avec une prédominance dans l'intervalle 0 et 1. Elle est donc caractérisée par une humidité modérée à forte. Il est observé au cours de la période 1939-1968, une moyenne pluviométrique interannuelle estimée à 1181 mm avec un écart-type de 234 mm. Cette période est marquée par une alternance de phases excédentaires et déficitaires. Les indices pluviométriques calculés varient en général entre -2 et 2, ce qui traduit une combinaison d'humidité modérée à forte et une sécheresse modérée à forte. Cette période est donc une période normale. Une moyenne pluviométrique interannuelle de 944 mm avec un écart-type de 233 mm a été observée au cours de la période 1969-2004. Cette période se traduit par des indices pluviométriques généralement négatifs, donc une sécheresse modérée à forte avec une sécheresse extrême de 1981-1983.



**Figure 2 :** *Indices pluviométriques annuels à la station de Dabakala (1923-2004).*

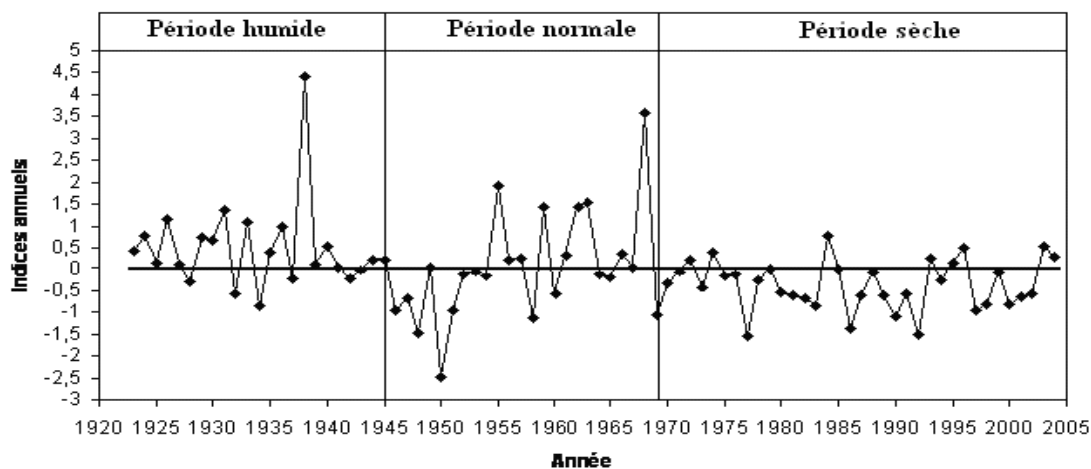
L'étude menée dans le Centre du bassin à partir de la station de Bouaké (**Figure 3**) a permis d'observer plusieurs tendances (**Figure 2**). La période 1923-1951 est caractérisée par une moyenne interannuelle de 1205 mm avec un écart-type de 209 mm. Elle est succédée par une période allant de 1952 à 1968, avec une pluviométrie moyenne de 1151 mm et un écart-type de 244 mm. La dernière phase (1969-2004) est caractérisée par une pluviométrie moyenne de 1058 mm et un écart-type de 168 mm.



**Figure 3 :** *Indices pluviométriques annuels à la station de Bouaké (1923-2004).*

Dans le Sud du bassin, la station de Dimbokro a permis de définir globalement (**Figure 4**), d'abord, une première période allant de 1923 à 1945, caractérisée par une moyenne interannuelle de 1265 mm et

un écart-type de 225 mm, ensuite, une deuxième période allant de 1946 à 1968, avec une pluviométrie moyenne de 1180 mm et un écart-type de 280 mm et enfin, une troisième période sèche allant de 1969 à 2004, caractérisée par une moyenne interannuelle de 1074 mm et un écart-type de 128mm.



**Figure 4 :** *Indices pluviométriques annuels à la station de Dimbokro (1923-2004).*

Les représentations graphiques des indices pluviométriques dans le Centre de Bouaké (*Figure 3*) et le Sud du bassin de Dimbokro (*Figure 4*), révèlent les mêmes tendances (périodes humides, périodes normales et périodes sèches) que celle de Dabakala avec une différence dans la longueur des différentes périodes. La tendance générale des indices pluviométriques est à la baisse avec une péjoration permanente des valeurs négatives à partir de la fin de la décennie 1960. Ces résultats indiquent des sécheresses majoritairement modérées et quelques fois fortes au cours de cette période dans le Centre et le Sud du bassin versant.

Les différents résultats montrent que la période 1968-2004 est dominée par des années déficitaires. Cette période succède à une phase transitoire (normale) qui se situe entre 1940 et 1968. Le début du 20<sup>ème</sup> siècle est marqué par des années excédentaires au niveau du bassin du N'zi-Bandama. Les variations des régimes pluviométriques révèlent donc des irrégularités sur l'ensemble du bassin. Ces résultats permettent de conclure que pendant la période 1923-2004, une période globalement humide est observée avant 1970. La sécheresse actuelle a été amorcée depuis la fin de la décennie 1960 et persiste jusqu'à nos jours.

## IV-2. Résultats des classifications

La classification non supervisée a permis de définir quatre classes spectrales suivant les valeurs des comptes numériques à partir des différentes images. La confrontation des données cartographiques avec celles obtenues, à la suite de la classification non supervisée, permet de faire correspondre quatre (4) types d'occupation du sol:

- OCS<sub>1</sub> : forêt dense et/ou plantations industrielles ;
- OCS<sub>2</sub> : forêt claire et/ou savane arborée ;
- OCS<sub>3</sub> : savane arbustive et/ou savane herbeuse ;
- OCS<sub>4</sub> : sols nus.

Le choix de ces quatre (4) types d'occupation du sol est en rapport avec la complexité du terrain et la prédominance des formations présentes dans le paysage.

La classification supervisée a été évaluée à partir des matrices de confusion qui sont consignées dans les **Tableaux 1 et 2**.

**Tableau 1** : Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat TM de 1990

		Sites de vérification			
		OCS 1	OCS 2	OCS 3	OCS 4
Classification : traitement	OCS 1	<b>90,54</b>	8,05	0,00	0,00
	OCS 2	9,07	<b>91,95</b>	9,00	0,00
	OCS 3	0,39	0,00	<b>90,10</b>	10,60
	OCS 4	0,00	0,00	0,90	<b>89,40</b>
	Total	100	100	100	100

**Tableau 2** : Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat ETM+ de 2000

		Sites de vérification			
		OCS 1	OCS 2	OCS 3	OCS 4
Classification traitement	OCS 1	<b>92,08</b>	0,00	0,30	0,25
	OCS 2	0,42	<b>93,06</b>	10,41	47,90
	OCS 3	3,33	0,10	<b>87,89</b>	1,60
	OCS 4	4,17	6,84	1,40	<b>50,25</b>
	Total	100	100	100	100

Toutes les classes d'occupation du sol retenues ont leur précision cartographique supérieure à 87% quelle que soit l'image. Cependant, la classe OCS<sub>4</sub> (sols nus) a une précision cartographique de 50,25% au niveau de l'image Landsat ETM+ de 2000. Les thèmes OCS<sub>1</sub>, OCS<sub>2</sub> et OCS<sub>3</sub> relatifs au couvert végétal sont donc bien classés. Le thème le plus mal classé est la classe OCS<sub>4</sub> (les sols nus).

La précision globale est de 91,20% pour l'image Landsat TM de 1990 et 86,35% pour l'image Landsat ETM+ de 2000. Ces valeurs sont acceptables dans leur ensemble. Cependant, des confusions entre certains types d'occupation du sol sont révélées. Pour l'image de 1990, les différentes valeurs de confusion sont relativement faibles et généralement inférieures à 10%. Pour l'image de 2000, les plus fortes confusions se situent entre l'OCS<sub>2</sub> et l'OCS<sub>4</sub> (47,90%). Cependant, on constate que la classe OCS<sub>4</sub> se trouve mélangée dans toutes les classes d'occupation du sol avec des erreurs de confusion inférieures ou égales à 10%. La grande confusion entre l'OCS<sub>2</sub> et l'OCS<sub>4</sub>, pourrait se traduire par l'hétérogénéité des parcelles d'entraînement des sols nus. Les valeurs des différents indicateurs de précision de la classification supervisée analysés pour les différentes images, témoignent d'une part, de la bonne qualité des échantillons et d'autre part, de la bonne correspondance entre le résultat de la classification et la réalité spatiale contenue dans les images. Les résultats d'évaluation des différentes images montrent donc que les classifications effectuées sont valides.

### IV-3. Mise en évidence des changements

Les différents traitements effectués ont permis l'élaboration des cartes d'occupation du sol en général et du couvert végétal en particulier dans le bassin versant du N'zi-Bandama, au cours de la période 1990-2000. En dix ans, les modifications de l'occupation du sol sont assez nettes et se traduisent de façon qualitative et quantitative par les changements dans l'espace géographique et l'évolution des superficies (*Figures 5 et 6*).

Les résultats associés aux différentes superficies entre les deux périodes sont présentés dans le *Tableau 3*.

En 1990 comme en 2000, le bassin versant du N'zi-Bandama reste dominé par des végétations savaniques (61,98%) (OCS<sub>2</sub> et OCS<sub>3</sub>). Ces deux types d'occupation du sol sont répandus de façon continue sur l'ensemble du bassin, avec une forte concentration dans le Sud pour la classe OCS<sub>2</sub> (forêt claire et/ou savane arborée) et dans la partie nord et centrale pour la classe OCS<sub>3</sub> (savane arbustive et/ou savane herbeuse). La classe OCS<sub>1</sub> (forêt dense et/ou plantations industrielles) est moyennement représentée. Elle est

localisée à l'Est et au Sud-Est du bassin. Cette végétation se présente sous forme d'îlots.

**Tableau 3 :** *Pourcentages des classes d'occupation du sol du bassin du N'zi-Bandama*

Types d'occupation du sol	% superficie en 1990	% superficie en 2000	Ecart (%)
OCS <sub>1</sub>	31,68	29,75	-1,93
OCS <sub>2</sub>	17,85	32,80	+14,95
OCS <sub>3</sub>	44,13	28,98	-15,15
OCS <sub>4</sub>	6,34	8,47	+2,13

L'analyse du *Tableau 3* montre deux tendances dans l'évolution des différentes classes d'occupation du sol qui traduit une importante transformation du paysage entre les années 1990 et 2000. Une tendance progressive est manifestée au niveau de la classe OCS<sub>2</sub> (+14,95) et de la classe OCS<sub>4</sub> (+2,13%). La tendance régressive concerne la classe OCS<sub>1</sub> (-1,93%) et la classe OCS<sub>3</sub> (-15,15%). Le bassin versant du N'zi-Bandama connaît une modification de son occupation du sol marquée par une quasi-disparition de la forêt dense et une tendance à la régénérescence des forêts claires et savanes arborées au profit des savanes arbustives et savanes herbeuses.

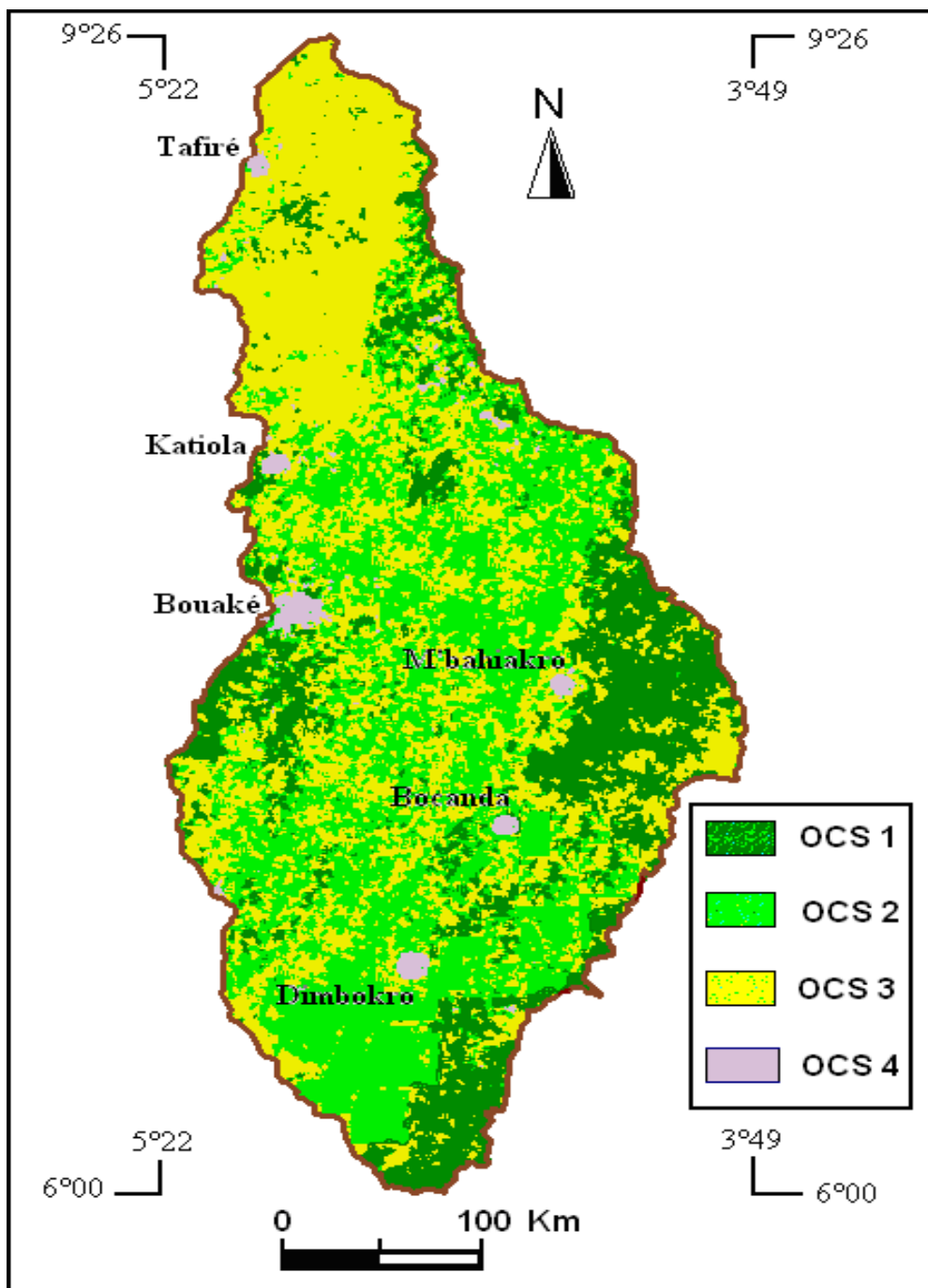
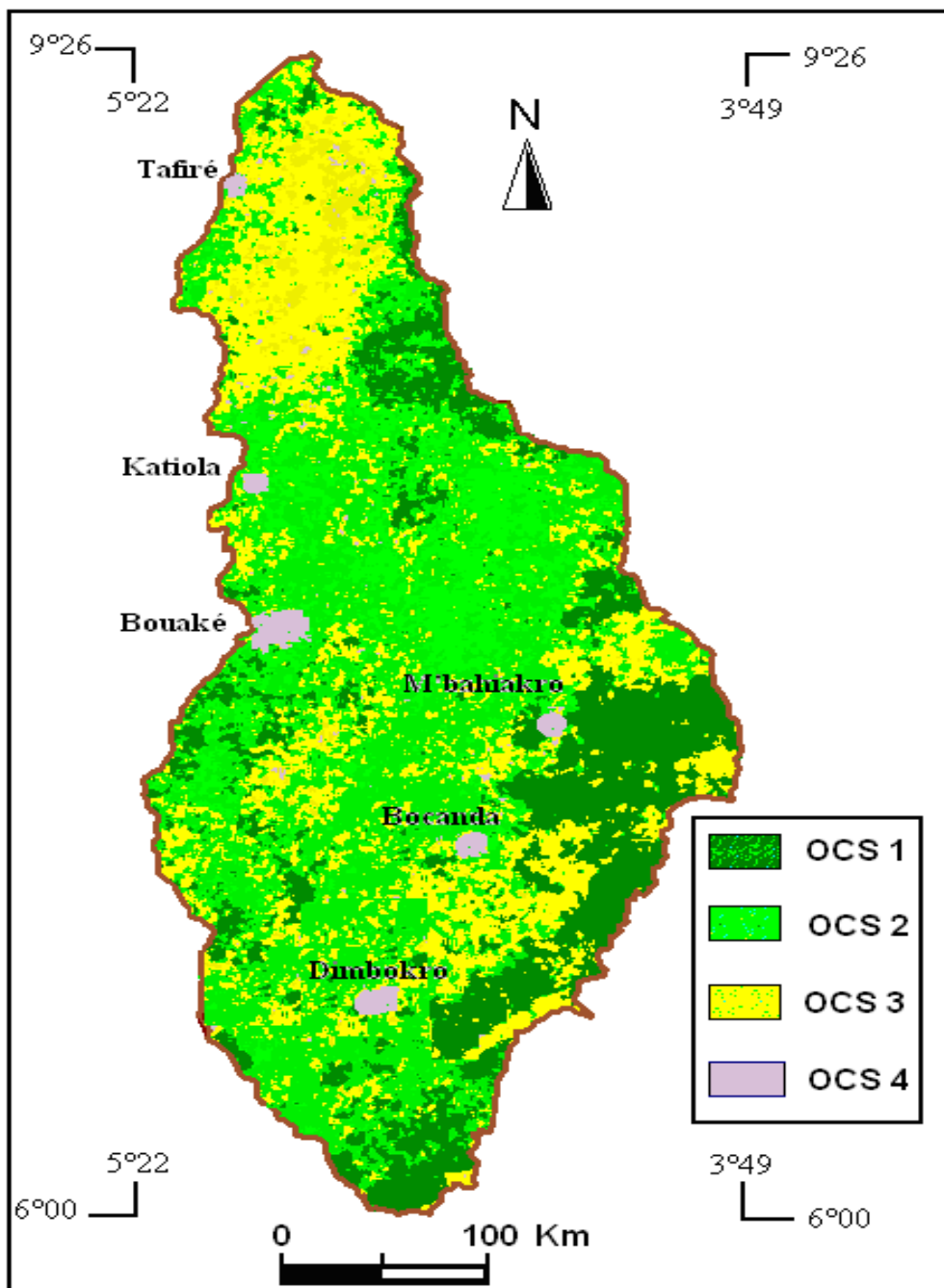


Figure 5 : Image de la classification supervisée du bassin du N'zi-Bandama en 1990



**Figure 6 :** Image de la classification supervisée du bassin du N'zi-Bandama en 2000



## V - DISCUSSION

Dans le bassin versant du N'zi-Bandama, la pluviométrie connaît une évolution régressive [5 - 8]. La récession pluviométrique a été observée généralement en Afrique de l'Ouest et particulièrement en Côte d'Ivoire [23 - 24]. Cette diminution pluviométrique avec des périodes de sécheresse successives depuis la fin de la décennie 1960 a entraîné des modifications dans les différentes zones agro-climatiques du bassin versant du N'zi-Bandama et marque le début du stress hydrique pour la végétation [25]. Ce phénomène a été observé de façon générale en Afrique de l'Ouest et Centrale [4]. En effet, une année isolée de sécheresse, même extrême peut être moins dramatique qu'une suite de deux années (ou plus) de sécheresse modérée [4]. De telles sécheresses ont pour conséquences la réduction de la disponibilité en eau utile et en nutriments, limitant le fonctionnement physiologique des végétaux [4].

Outre la sévérité, c'est alors dans la persistance de la sécheresse que réside le risque majeur. La contrainte climatique principale n'est pas simplement la rareté des précipitations, mais également la variabilité dans la distribution, et l'imprévisibilité des précipitations, qui augmentent du Sud au Nord, et constituent des facteurs de contrôle déterminants des écosystèmes et la modification de la végétation [4]. Plusieurs études ont montré les impacts de la sécheresse sur la flore [4]. Certaines ont mis en évidence que les sécheresses répétées dans les années 1970 et 1980 ont eu directement pour effet, notamment en Afrique, d'augmenter la mortalité des espèces ligneuses des écosystèmes sensibles [4]. D'autres études ont montré que les sécheresses récurrentes ont rendu plus difficiles la capacité de régénération naturelle, en particulier du tapis graminéen [4]. Indirectement, le prolongement des périodes de chaleur et l'assèchement des milieux induisent une activation de stress physiologiques pour l'arbre qui pourrait réduire ses systèmes de défense contre les attaques pathologiques [4]. Les années de faibles productions de biomasse correspondent aux années déficitaires sur le plan pluviométrique [3].

L'interprétation des éléments d'occupation du sol est rendue délicate par la structure du paysage offrant peu de caractères homogènes vis-à-vis de la composante ligneuse. Par exemple, certains thèmes apparaissent sous la même couleur ou un thème s'observe sous différentes couleurs. Cependant, le niveau d'agrégation de l'information imposé par les limites thématiques et techniques autorise une lecture précise de la modification de l'occupation du sol dans le bassin versant du N'zi-Bandama. Les unités physionomiques représentant les différents aspects de la végétation de la zone d'étude identifiées constituent la légende des cartes établies à l'issue de cette étude.

Ainsi, la classe OCS<sub>1</sub> peut être identifiée aux forêts denses à canopée fermée et/ou ouverte. Les forêts denses à canopée fermée sont constituées de plusieurs strates généralement denses. Les forêts denses à canopée ouverte présentent les mêmes caractéristiques que les précédentes, mais diffèrent de celles-ci par la présence d'ouvertures plus ou moins grandes au niveau de la couronne des grands arbres formant la voûte supérieure. Dans ces couvertures, la lumière favorise le développement d'une strate de nature herbacée et arbustive dense [26]. Aux forêts, on peut ajouter les plantations industrielles dont les plants ont des couvertures basales importantes (café, cacao, hévéa, palmiers à huile, etc.) et les jachères en reconstitution. La classe OCS<sub>2</sub> regroupe la forêt claire et/ou savane arborée et découle de la dégradation des forêts denses. En effet, la savane est dite arborée quand la densité de la strate arborescente varie entre 2 et 20% [26]. Ce type de végétation se retrouve essentiellement dans le Centre et le Sud du bassin et quelques fois en lambeaux dans la zone forestière. Les plantations vieillissantes (café, cacao, etc.) peuvent être associées à ce groupe. La classe OCS<sub>3</sub> contient les savanes arbustives et/ou herbues qui sont constituées d'arbustes et d'herbes. La savane arbustive est basse et très espacée avec un couvert herbacé pouvant être dégradé par la présence de sols nus qui apparaissent par endroits [26]. La savane herbeuse est caractérisée par une absence d'arbres et d'arbustes. La hauteur du couvert herbacée ne dépasse pas 2 mètres [26]. Très souvent, les différentes formations végétales naturelles sont mêlées à des cultures. La classe OCS<sub>4</sub> peut être assimilée aux sols nus. Sous ce thème, ont été regroupés les sols indurés, les cuirasses latéritiques, les inselbergs, les affleurements rocheux et les zones fortement dégradées [26].

Les différents résultats obtenus ont permis de mettre en évidence une dynamique du couvert végétal dans le bassin du N'zi-Bandama entre 1990 et 2000. La dégradation de la forêt dense serait due aux phénomènes naturels (variabilité climatique) et/ou aux activités anthropiques (feux de brousse, exploitation abusive du bois, création de plantations dans les forêts même classées, etc.). La quasi-disparition du couvert forestier dans la région forestière du bassin est le résultat d'un dynamisme agricole ancien [3]. Jusqu'en 1965, les cultures du café et du cacao se sont dirigées en priorité dans le Sud-Est du pays. Après cette date, c'est surtout dans le Centre-Est, aujourd'hui appelé ancienne "boucle du cacao", qu'on assiste à l'expansion de la production du café et du cacao [3]. La forte pression exercée par ces populations sur les ressources forestières a abouti à d'inévitables modifications profondes du milieu forestier du bassin versant du N'zi. Il y a eu une régression des surfaces des forêts denses dans le « V » baoulé [26]. Selon le même auteur, ces forêts qui couvraient de larges surfaces d'environ

233 430 ha (1971), le long du Bandama et du N'zi, de même que dans la pointe sud du «V» formé par ces deux fleuves, ont été largement détruites. Il ne restait plus que 18 114 ha de forêts en 1984. Les savanes et la forêt claire constituent la végétation la plus largement représentée dans le bassin du N'zi-Bandama. Une tendance à la régénérescence de la forêt claire et/ou savane arborée est observée. Ce constat semble corrélé aux comportements climatiques mettant en évidence une normalisation des précipitations depuis le début de la décennie 1990. Cette tendance peut aussi s'expliquer par le renforcement des mesures de protection et de conservation des aires végétales (reboisement, etc.) [11, 15, 27]. Dans la partie sud du bassin, il pourrait s'agir surtout du fait de la mise en jachère des plantations vieillissantes et colonisées par la végétation naturelle de l'ancienne boucle du cacao. En effet, avec le déplacement de la boucle du cacao, certains terrains de l'ancienne boucle du cacao sont mis en jachères, ce qui va accroître le taux de la forêt claire et/ou savane arborée. Cette forêt claire et/ou savane arborée peut accroître en superficie au profit de la dégradation de la forêt dense située dans la partie sud du bassin.

La quasi-égalité des pourcentages de variation en valeur absolue entre la classe OCS<sub>2</sub> (+14,95%) et la classe OCS<sub>3</sub> (-15,15%) pourrait s'expliquer par une reconstitution de la forêt claire et/ou savane arborée au détriment de la savane arbustive et/ou herbeuse sous les conditions climatiques assez favorables des années postérieures à 1990. A cela, il faut ajouter le fort déplacement des populations du Nord et Centre du bassin du N'zi-Bandama vers de nouvelles zones favorables à la pratique agricole que sont l'Ouest et le Sud-Ouest [3]. La croissance des sols nus (+2,13%) serait due à la pression démographique exercée sur le milieu naturel. Le phénomène est plus perceptible surtout en milieu urbain. Plusieurs travaux réalisés dans le Nord du bassin [11, 15, 27], ont montré une importante transformation du paysage entre 1986 et 2000 caractérisée un renforcement des superficies de forêt claire et/ou savane arborée (+56,38%) et une anthropisation de plus en plus importante de l'espace (+63,65%). La réduction de la superficie des formations de savanes arborées et/ou arbustives dans cette région, s'est essentiellement effectuée au profit de cultures qui peuvent être pérennes (champs d'anacarde et de mangues) ou saisonnières et dont les superficies croissent d'année en année [11, 27]. Des travaux effectués dans le Nord-Est de la Côte d'Ivoire (Bouna) ont également mis en évidence une régénérescence de l'espace naturel [28]. Cette tendance à la régénération est confirmée avec un accroissement de 5 % de la couverture ligneuse dans la forêt classée de la «Silué», dans la région de Korhogo entre 1975 et 2000 [15].

## VI - CONCLUSION

Les représentations graphiques des indices pluviométriques à partir des stations de Dabakala, Bouaké et Dimbokro sur la période 1922-2004, révèlent trois tendances pluviométriques (périodes humides, périodes normales et périodes sèches). Cependant, la tendance générale des indices pluviométriques est à la baisse avec une péjoration permanente des valeurs négatives à partir des années 1970. Ces résultats indiquent des sécheresses majoritairement modérées et quelques fois fortes à partir de la fin de la décennie 1960. Le suivi diachronique de la couverture végétale dans le bassin versant du N'zi-Bandama a conduit à réaliser la cartographie de la végétation à l'aide d'images satellitaires TM (1990) et ETM+ (2000) de Landsat.

Les différentes images ont été classifiées avec une précision globale de 91% en 1990 et de 86% en 2000. Les cartes thématiques réalisées ont permis de mettre en évidence une dynamique de la couverture végétale qui traduit une transformation du paysage. Deux tendances dans l'évolution de la couverture végétale ont été identifiées. Une tendance progressive (+14,95) est manifestée au niveau de la classe OCS<sub>2</sub> (dominée par la forêt claire et/ou la savane arborée). La tendance régressive concerne les classes dominées par la forêt dense (-1,93%) et la savane arbustive et/ou herbeuse (-15,15%). Les pressions anthropiques et les sécheresses pluviométriques ont entraîné, au cours de la période 1990-2000, une modification de la couverture végétale du bassin versant du N'zi-Bandama.

## RÉFÉRENCES

- [1] - BROU Y.T., SERVAT E. et PATUREL J.E. Activités humaines et variabilité climatique : cas du Sud forestier ivoirien. IAHS Publication, n° 252, (1998). pp.365-373.
- [2] - BIGOT S., BROU Y.T., OSZWAID J. et DIEDHIOU, A. Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. Sécheresse, Vol. 16, n° 1, (2005). pp.5-13.
- [3] - BROU Y.T. Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Techniques de Lille, France, (2005). 212p.
- [4] - DIALLO H., BAMBA I., BARIMA Y.S.S., VISSER M., BALLO A., MAMA A., VRANKEN I., MAIGA M. et BOGAERT J. Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). Sécheresse, Vol. 22, (2011). pp. 97-107.

- [5] - GOULA B.T.A., SAVANE I., KONAN B., FADIKA V. et KOUADIO G.B. Etude comparative de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau des bassins du N'zo et du N'zi en Côte d'Ivoire. *Vertigo*, Vol.7, n°1, (2006). pp. 1-12.
- [6] - KOUASSI A.M., KOUAME K.F., GOULA B.T.A., LASM T., PATUREL J.E. et BIEMI J. Influence de la variabilité climatique et de la modification de l'occupation du sol sur la relation pluie-débit à partir d'une modélisation globale du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, Vol. 11, 2008. pp.207-229.
- [7] - KOUASSI A.M., KOUAME K.F., YAO K.B., DJE K.B., PATUREL J.E. et OULARE S. *Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. Revue Européenne de Géographie (Cybergéo), décembre 2010, <http://cybergeo.revues.org/index23388.html>.*
- [8] - KOUASSI A.M., N'GUESSAN B.T.M., KOUAME K.F., KOUAME K.A., OKAINGNI J.C. et BIEMI J. Application de la méthode des simulations croisées à l'analyse de tendances dans la relation pluie-débit à partir du modèle GR2M : cas du bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire). *Comptes Rendus Geoscience*, Vol. 344, (2012). pp. 288-296.
- [9] - N'GUESSAN E., N'DA D.H., BELLAN M.F. et BLASCO F. *Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte d'Ivoire: apport de la télédétection. Télédétection*, Vol. 5, n°4, (2006). pp. 307-323.
- [10] - N'DA D.H., N'GUESSAN K.E., EGNANKOU W. E.M. et AFFIAN K. Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le parc national de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Revue Télédétection*, Vol. 8, n°1, (2008). pp. 17-34.
- [11] - KONÉ M., AMAN A., YAO A.C.Y., COULIBALY L. et N'GUESSAN K.E. Suivi diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse en milieu de savane soudanienne en côte d'ivoire. *Revue Télédétection*, Vol. 7, n° 1-2-3-4, (2007). pp. 433-446.
- [12] - N'GUESSAN E., BELLAN M.F. et BLASCO F. Suivi par télédétection spatiale d'une forêt tropicale humide protégée soumise à des pressions anthropiques. *Télédétection*, Vol. 3, n°5, (2003). pp.443-456.
- [13] - MIHAI B., SAVULESCU I., SANDRIC I. et OPREA R. Application de la détection des changements à l'étude de la dynamique de la végétation des monts de Bucegi (Carpatés méridionales, Roumanie). *Télédétection*, Vol. 6, n°3, (2006). pp. 215-231.

- [14] - KANGAH A. Utilisation de la télédétection et d'un système d'information géographique (SIG) pour l'étude des pressions anthropiques sur les paysages géomorphologiques des savanes subsahariennes : exemple du degré carré de Katiola (centre-Nord ivoirien). Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, (2006). 186p.
- [15] - KONE M., N'GUESSAN K.E., BAKAYOKO A., TRA BI F. H. et BIEMI J. Étude diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse de la forêt classée de la Silué, Nord de la Côte d'Ivoire. *Sciences & Nature*, Vol. 3, n°2, (2006). pp. 153-164.
- [16] - BENMESSAOUD H., KALLA M. et DRIDDI H. Evolution de l'occupation des sols et désertification dans le Sud des Aurès (Algérie). *Mappemonde*, Vol. 94, (2008). pp. 1-10, <http://mappemonde.mgm.fr/num22/articles/art09206.html>.
- [17] - TSAYEM-DEMAZE M. La télédétection en tant qu'outil de mesure de la réduction de la déforestation (REDD). *Revue Télédétection*, Vol. 9, n°3-4, (2010). pp. 245- 257.
- [18] - EL GAROUANI A., CHEN H., LEWIS L., TRIBAK A. et ABAHROUR M. Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG idrisi au Nord-Est du Maroc. *Revue Télédétection*, Vol. 8, n°3, (2008). pp. 193-201.
- [19] - LAGABRIELLE E., METZGER P., MARTIGNAC C., LORTIC B. et DURIEUX L. Les dynamiques d'occupation du sol à la Réunion (1989-2002). *Mappemonde*, Vol. 86, (2007). pp. 1-23, <http://mappemonde.mgm.fr/num14/articles/art07205.html>.
- [20] - BAMBA I., MAMA A., NEUBA D.F.R, KOFFI K.J., TRAORÉ D., VISSER M., SINSIN B., LEJOLY J. et BOGAERT J. Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo (R.D. Congo). *Sciences et Nature*, Vol. 5, n°1, (2008). pp. 49-60.
- [21] - N'GO Y.A., LASM T., KOITA M. et SAVANE I. Extraction par télédétection des réseaux de fractures majeures du socle précambrien de la région de Dimbokro (Centre Est de la Côte d'Ivoire). *Revue Télédétection*, Vol. 9, n°1, (2010). pp. 33-42.
- [22] - BOUGHERARA A. Identification et suivi des paysages et de leur biodiversité dans la Wilaya d'Eltarf (Algérie) à partir des images Landsat, SPOT et Aster. *Revue Télédétection*, Vol. 9, n° 3-4, (2010). pp. 225-243.
- [23] - ARDOIN B.S. 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.

- [24] - ARDOIN B.S., LUBÈS-NIEL H., SERVAT E., DEZETTER A. et BOYER J.F. Analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'Ouest: caractérisation de la situation de la décennie 1990. IAHS Publication, n°278, (2003). pp.223-228.
- [25] - SAVANE I., COULIBALY K.M. et GIOAN P. Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man. Sécheresse, Vol. 4, n°12, (2001). pp. 231-237.
- [26] - N'GUESSAN K.E. Etude de l'évolution de la végétation du «V baoulé» (contact forêt/savane en Côte d'Ivoire) par télédétection, pp. 181-196. *In* P. La France, J. M. Dubois. "Apports de la télédétection à la lutte contre la sécheresse". Actes des journées scientifiques de Thiès. Edition AUPEL-UREF, (1990). 295p.
- [27] - SYLLA D. Dynamique de l'occupation du sol dans le Nord de la Côte d'Ivoire (1986-2000): l'exemple du département de Korhogo. DEA, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, (2002). 67p.
- [28] - COULIBALY S. L'imagerie spatiale haute résolution pour l'étude de la dynamique de l'occupation du sol dans le Nord-Est de la Côte d'Ivoire : Bouna. DEA, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, (2002). 60p.