

## Variabilité hydro climatologique et dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant du Niger à Siguiiri (Nord-Est de Guinée)

### [ Hydroclimatological variability and land use dynamics land use in the Niger catchment at Siguiiri (north-eastern Guinea) ]

*Moriba Kourouma<sup>1</sup>, Daouda Keita<sup>1</sup>, Serge Loua<sup>2</sup>, Gbombélé Soro<sup>3</sup>, Mohamed Cissé<sup>1</sup>, and Nagnin Soro<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Laboratoire de Recherche Appliquée en Géosciences et Environnement (LRA), Unité de Géologie Appliquée et Environnement UGEAE), Institut Supérieur des Mines et Géologie de Boké (ISMGB), BP: 84 Tamakéné, Boké, Guinea

<sup>2</sup>Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université de Cocody 22 B.P. 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup>Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 22 BP 801, Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 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 variations in rainfall patterns observed in recent years in the north-western part of Guinea are well prefecture of Siguiiri in Upper Guinea. In order to understand the trends in rainfall and hydrometric variations, we used the Standardized Precipitation Indices (SPI) method. The remote sensing method applied reflects human causes in the transformation of environmental environments (water, forests, soils, habitats, crops). The results obtained show that rainfall over the period 1981-2020 is marked by periods of deficit (drought) between 1981-1993; 1998-2002 and 2013-2020, while wet periods (surplus) occur between 1994-1997 and 2003-2012. Fluctuations in annual flow modules can be explained by a surplus period from 1980 to 2000 and a deficit period from 2001 to 2019. The statistics drawn from the land-use maps for 2000, 2010 and 2021 highlight the spatial and temporal dynamics of each thematic class. From 2000 to 2021, the Water/Wetlands (+22.55%) and gallery forests (+23.92%) classes show increases, while the Bare Soil/Cultivated Land (-20.08%), Wooded Savannah (-4.55%) and Savannah-Crop Mosaic (-21.85%) classes show decreases. Temperatures between 1981 and 2022 in the Siguiiri area varied between 25.995°C and 27.72°C, with the highest values recorded in 2010.

**KEYWORDS:** Siguiiri, Rainfall, Remote sensing, Satellite images, Temperature, Guinea.

**RESUME:** Les variations des régimes pluviométriques constatées dans ces dernières années dans la partie Nord-Ouest en Guinée sont bien ressenties dans la préfecture de Siguiiri en Haute Guinée. Dans l'objectif de comprendre les tendances de variations pluviométriques et hydrométriques nous avons utilisé la méthode des Indices de Précipitation Standardisée (ISP). La méthode de télédétection appliquée traduit les causes humaines dans la transformation des milieux environnementaux (eau, forêts, sols, habitats, cultures). Les résultats obtenus permettent de comprendre que les précipitations de la période 1981-2020 sont marquées par des périodes déficitaires (sécheresse) entre 1981-1993; 1998-2002 et 2013-2020 alors que les périodes humides (excédentaires) sont comprises entre 1994-1997 et entre 2003-2012. Les fluctuations des modules annuels de débits s'expliquent par une période excédentaire de 1980 à 2000 et déficitaire de 2001 à 2019. Les statistiques tirées des cartes d'occupation du sol des années 2000, 2010 et 2021 mettent en évidence la dynamique spatio-temporelle de chaque classe thématique. De 2000 à 2021, on observe des progressions dans les classes Eau/Zones humides (+22,55%), forêts galeries (+23,92%) et des régressions dans les classes des sols nus/Bâties (-20,08%), savanes arborées (-4,55%) et des mosaïques savanes

cultures (-21,85%). Les températures de 1981 -2022 de la zone de Siguiri varient entre 25,995°C et 27.72°C avec le maximum de valeurs enregistrées en 2010.

**MOTS-CLEFS:** Siguiri, Pluviométrie, Télédétection, Images satellites, Température, Guinée.

## **1 INTRODUCTION**

Les changements climatiques avérés à travers plusieurs études effectuées sur l'Afrique de l'Ouest confirment la variabilité des paramètres climatiques relatifs à la pluviométrie, à la température et aux débits des rivières, des fleuves ([1]; [2]; [3]). Aux phénomènes climatiques naturels s'ajoute l'effet des activités humaines (exploitation minière, déforestation...) qui occasionnent des mutations des paysages de sols, de forêts, de plan d'eau et de champs de cultures vivrières [4]. Les rôles joués par le couvert végétal, la stabilité des sols dans le bilan hydrologique d'un bassin versant sont aussi importants que la régularité des régimes pluviométriques qui conditionnent les conditions climatiques dans une zone géographique [5]. Le changement climatique et la perturbation des réseaux hydrographiques sont interdépendants sur les bassins versants au point que le changement observé dans l'occupation des sols, peut avoir une influence sur les quantités d'eau disponibles pour l'écoulement de surface et l'infiltration selon la nature des végétaux (forêts, savanes, mosaïques) et des formes de reliefs ([6]; [7]).

L'occupation des sols est une thématique indispensable dans les inventaires cartographiques, le suivi des phénomènes environnementaux [8]. L'application de la télédétection est fondée sur les données d'images de 2000, 2010 et 2021, permet de faire l'état des lieux des chroniques de transformation de vastes étendues (17 500 km<sup>2</sup>) continues de paysages naturels en paysages humanisés de la zone de Siguiri au Nord-Est de la Guinée.

La dynamique spatio-temporelle que nous abordons dans cette étude de l'occupation du sol dans la zone de Siguiri permet de comprendre les étapes de transformations du paysage et expliquer l'origine de la baisse graduelle des débits du fleuve Niger et le taux d'infiltration des eaux de précipitation dans les aquifères.

## **2 CADRE D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES**

### **2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

La République de Guinée constituée de 13 497 237 habitants [9] est située au Sud-Ouest de l'Afrique Occidentale entre 7° 05 et 12° 51 de latitudes Nord et 7° 30 et 15° 10 de longitudes Ouest (**Figure 1**). Elle est délimitée au Nord-Ouest par la Guinée Bissau, au Nord par le Sénégal, au Nord-Est par le Mali, à l'Est par la Côte d'Ivoire et le Mali, au Sud-Est par le Libéria, au Sud par la Sierra Léone et à l'Ouest par l'Océan Atlantique. La partie Nord-Est de la Guinée correspond à la Haute Guinée définie entre les coordonnées 8°0 et 11°30' de longitudes ouest et de 9°00' et 12°30' de latitudes nord. Elle est une région où se trouve notre zone d'étude qu'est Siguiri (**Figure 1**). Cette zone est située entre 11° et 12°51 de latitudes Nord et de 9° et 11° de longitudes Ouest.

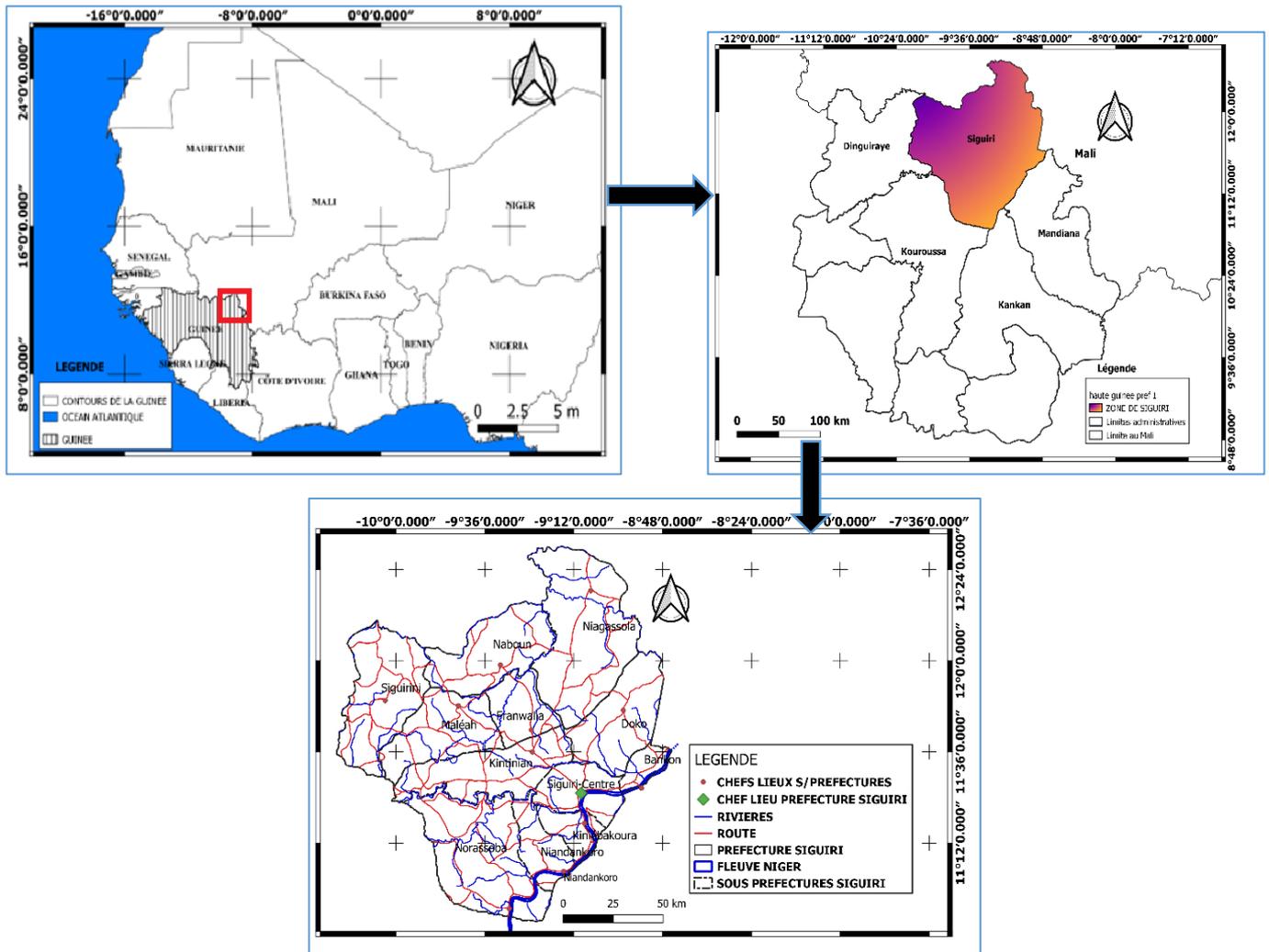


Fig. 1. Carte de localisation et d'accès routier de la préfecture de Siguiri

### 2.1.1 CONTEXTES GÉOGRAPHIQUE ET HYDRO CLIMATIQUE

La zone d'étude est située entre 11° et 12°51 de latitudes Nord et de 9° et 11° de longitudes Ouest. Les formes de reliefs qu'on y rencontre sont constituées de relief de dénudation du Mésozoïque à surface cuirassée, de relief d'aplanissement du Néogène dont les altitudes varient entre 200 et 600 m et le relief d'accumulation du Quaternaire le long des cours et de versants des collines ([10]; [11]). La zone de Siguiri est recouverte d'un type de savane boisée de plus en plus clairsemée en allant vers le Nord. Quelques espèces végétales sont spécifiques aux rives du Niger et du Tinkisso [12]. Les sols de Siguiri sont constitués de saprolites de 50 m d'épaisseur, de couche d'argile de 15 m, de couche de cuirasse de 2,5 m et sol végétal de 1 m d'épaisseur [13]. Les principales cultures agricoles définies sur une superficie de 64 237 hectares sont représentées par le riz, le maïs, le tabac, les fruits, le coton, le manioc, le mil, le sorgho [12]. Le réseau hydrographique de la zone de Siguiri est formé de trois cours d'eau qui sont le Niger, la Tinkisso, le Bakoye et leurs affluents [12]. Le climat de la zone d'étude est de type tropical ou sud-soudanien sec et chaud [12].

### 2.1.2 CONTEXTES GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Dans la zone de Siguiri on distingue: i) - des roches du Paléoprotérozoïque formées de schistes pelitiques, de calcaires de 200 m d'épaisseur, de kératophyres au Nord-Ouest et de monzogranites de Maléah au Sud; ii) -des roches du Protérozoïque constitués de grès, de conglomérats, de sédiments de bassin de Taoudéni au Nord et au Nord-Ouest et iii) -d'alluvions du Quaternaire le long des berges des principaux cours d'eau. Ces différentes formations géologiques sont fracturées dans les directions Nord-Ouest, Sud-Est et Nord-Est qui ont servi à la remontée des solutions hydrothermales [11] et sont favorables à circulation des eaux souterraines [14]. Il existe dans la zone d'étude trois horizons aquifères [11], qui sont répartis entre les

aquifères continus de recouvrement (roches alluvionnaires, croutes d'altération) et les aquifères discontinus (roches métamorphiques de la série birimienne). Les aquifères tels que définis sur la **figure 2** ont des comportements différents au regard du taux d'échec dans l'exécution du forage qui varie entre 11-10 % [15].

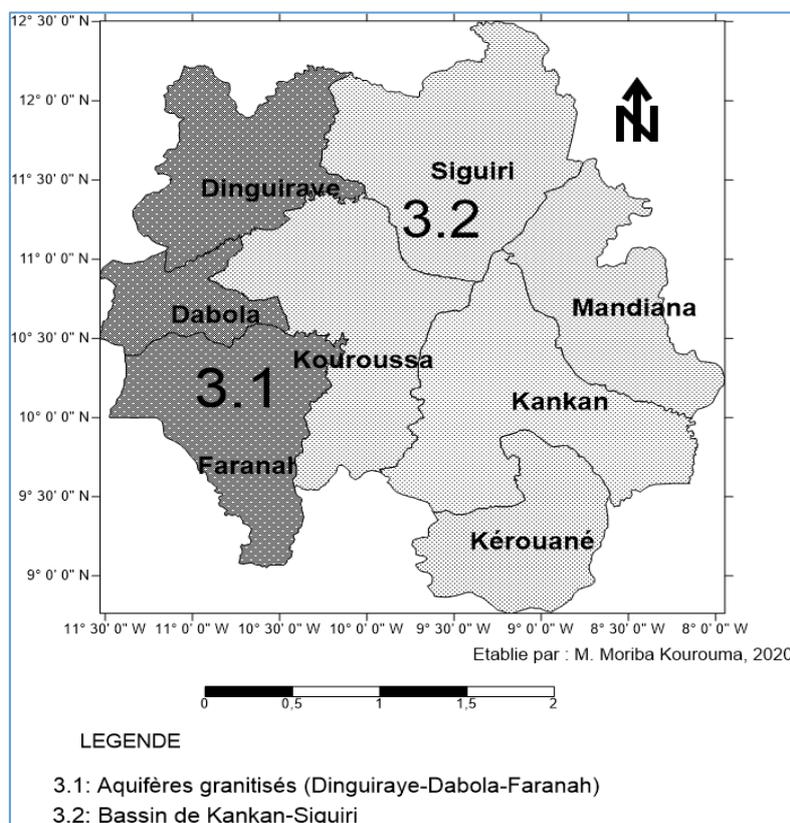


Fig. 2. Carte de répartition des aquifères en Haute Guinée et à Siguiri

## 2.2 DONNEES ET OUTILS

### 2.2.1 DONNÉES HYDROMÉTRIQUES ET PLUVIOMÉTRIQUES

Les données hydrométriques sont fournies par la Direction Nationale de l'Hydraulique et concernent les débits de la station de Niger à Tiguibery de la période 1950-2019.

Les données pluviométriques de la station de Siguiri (1961-2020) sont fournies par la Direction Nationale de la Météorologie.

### 2.2.2 DONNÉES CARTOGRAPHIQUES, SATELLITAIRES ET OUTILS

Les données et les outils utilisés pour la réalisation du travail sont les suivants:

Les données cartographiques sont constituées de données cartographiques au format shapefile et de données satellitaires de format Raster de la zone de Siguiri. Les données satellitaires sont des images utilisées pour la cartographie des linéaments et la dynamique de l'occupation du sol. L'utilisation de deux scènes ETM+ et OLI produisent des images disponibles sur le site internet (<http://earthexplorer.gov>) de l'USGS. La date d'acquisition des données satellitaires sont mentionnées dans le **tableau 1**.

Tableau 1. Date d'acquisition des images

Images	Scène (Path/Row)	Dates d'acquisition
ETM+2000	200/51 et 200/52	21/02/2000 et 08/03/2000
ETM+ 2010	200/51 et 200/52	15/01/2010
OLI 2021	200/51 et 200/52	13/05/2021

ETM+: Enhanced Thematic Mapper Plus OLI: Operational Land Imager

Les images satellitaires sont en mode multi- spectral. La résolution spatiale est de 30 mètres pour les images Landsat 8 et 9. Les scènes ont été choisies en saison sèche où la couverture nuageuse est presque absente.

Il faut retenir que sont développées sur Landsat 8, les bandes spectrales de l'instrument OLI (Operational Land Imager): Un radiomètre multispectral qui acquiert des images dans neuf bandes spectrales allant du visible au moyen infra-rouge. Sept (7) de ces bandes spectrales étaient déjà présentes sur l'instrument ETM+ de Landsat-7. Deux canaux supplémentaires ont été ajoutés et sont destinés principalement à la correction atmosphérique (canal bleu à 440 nm) et à la détection des nuages (1380 nm). En effet, ces images diversifiées possèdent des caractéristiques spatiales et spectrales très riches qui conviennent parfaitement à la cartographie de l'occupation du sol et lithostructurale. Le traitement des données a nécessité l'utilisation de plusieurs logiciels: **Envi 5.1** pour le traitement des images satellitaires; **ArcGIS 10.5** pour les applications SIG et la réalisation des différentes cartes.

## 2.3 METHODES

### 2.3.1 ANALYSE DES INDICES PLUVIOMETRIQUES ET HYDROMETRIQUES

Pour analyser et détecter les variations dans une série chronologique comme la pluviométrie et l'hydrométrie nous avons appliqué la méthode d'Indice de Précipitation Standardisé (IPS). C'est indice pluviométrique ou hydrométrique annuel défini comme une variable centrée réduite. Il est obtenu par l'équation 1 [6].

$$IPS = \frac{X_i - X_m}{\sigma} \quad \text{Eq. (1)}$$

Avec: **X<sub>i</sub>**: valeur de la pluviométrie annuelle (ou du débit annuel) de l'année *i*; **X<sub>m</sub>**: valeur moyenne interannuelle de la pluviométrie (ou du débit annuel) sur la période étudiée; **σ**: l'écart-type de la pluviométrie interannuelle (ou du débit annuel) sur la période étudiée; **IPS**: indice pluviométrique ou hydrométrique.

L'indice pluviométrique ou hydrométrique traduit un excédent ou un déficit pluviométrique ou hydrométrique pour l'année considérée par rapport à la période de référence. Le SPI est un indice permettant de mesurer la sécheresse météorologique

Les conditions de sécheresse sont établies par [16] dans le **tableau 2**. Les valeurs annuelles négatives indiquent une sécheresse et les valeurs positives indiquent une situation humide.

Tableau 2. Critères de classification des indices de sécheresse par [16]

Classes	Degré de la sécheresse
$\epsilon > 2$	Humidité extrême
$1 < \epsilon < 2$	Humidité forte
$0 < \epsilon < 1$	Humidité modérée
$-1 < \epsilon < 0$	Sécheresse modérée
$-2 < \epsilon < -1$	Sécheresse forte
$\epsilon < -2$	Sécheresse extrême

### 2.3.2 ANALYSE DIACHRONIQUE

#### 2.3.2.1 PRÉTRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES

Le prétraitement des images regroupe les opérations requises avant l'analyse des images et de leurs extractions. Pendant le prétraitement il faut appliquer à toutes les images les corrections atmosphériques et radiométriques.

Les corrections atmosphériques et radiométriques ont été effectuées à l'aide du modèle FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) du logiciel ENVI 5.1 (Environment for Visualizing Images).

#### 2.3.2.2 TRAITEMENT DES IMAGES

L'étape de traitement des images satellitaires consiste en un traitement de toutes les images obtenues pour en tirer toutes les structures linéamentaires. L'image découpée est représentée en composé coloré en rouge, vert et bleu. La **figure 3** résume la méthode de traitement des données.

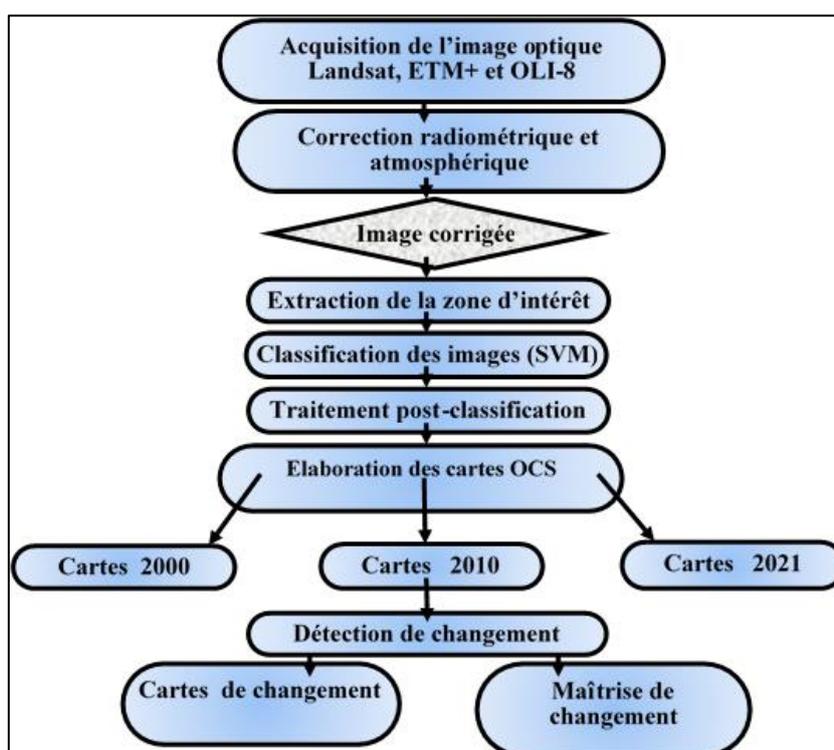


Fig. 3. Organigramme de la méthodologie de traitement des images Landsat

Les étapes de traitement des images concernent:

#### 2.3.2.3 ASSEMBLAGE DES IMAGES

L'assemblage des images est caractérisé par le mosaïquage des images qui consistent à obtenir une base de données pour la réalisation de la cartographie d'occupation du sol. Le mosaïquage est effectué sur la base des réalités de terrain et des classes d'occupation retenues (**Photo 1**). Il est le résultat d'assemblage des images diachroniques permettant d'avoir une vision globale de la zone d'étude.

#### 2.3.2.4 ANALYSE ET INTERPRÉTATION

Cette phase de traitement consiste à faire ressortir les différentes classes d'occupation du sol, réalisée sur la base de discrimination visuelle des éléments du paysage. Ainsi nous pouvons classifier les classes d'occupation du sol en fonction de

leurs caractéristiques observables sur la planche de **photo 1**. Les classes retenues conformément à la photo sont le plan d'eau, la forêt, les sols nus et les habitats.

### 2.3.2.5 CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL

Les images corrigées et assemblées ont constitué de sources d'informations intéressantes sur la zone de Siguiiri. Pour mieux comprendre les transformations du paysage entre les années 2000; 2010 et 2021, nous avons jugé utile de définir le contour des zones homogènes et codifier suivant la classe d'occupation du sol à laquelle elles sont semblables. Ces travaux ont été réalisés à l'aide de logiciel de SIG représenté par **ArcGis 10.5**. Ce logiciel a facilité la vectorisation et l'élaboration des cartes d'occupation du sol et calculer de façon automatisée les superficies de chaque unité de classe.

### 2.3.2.6 CLASSIFICATION SUPERVISÉE

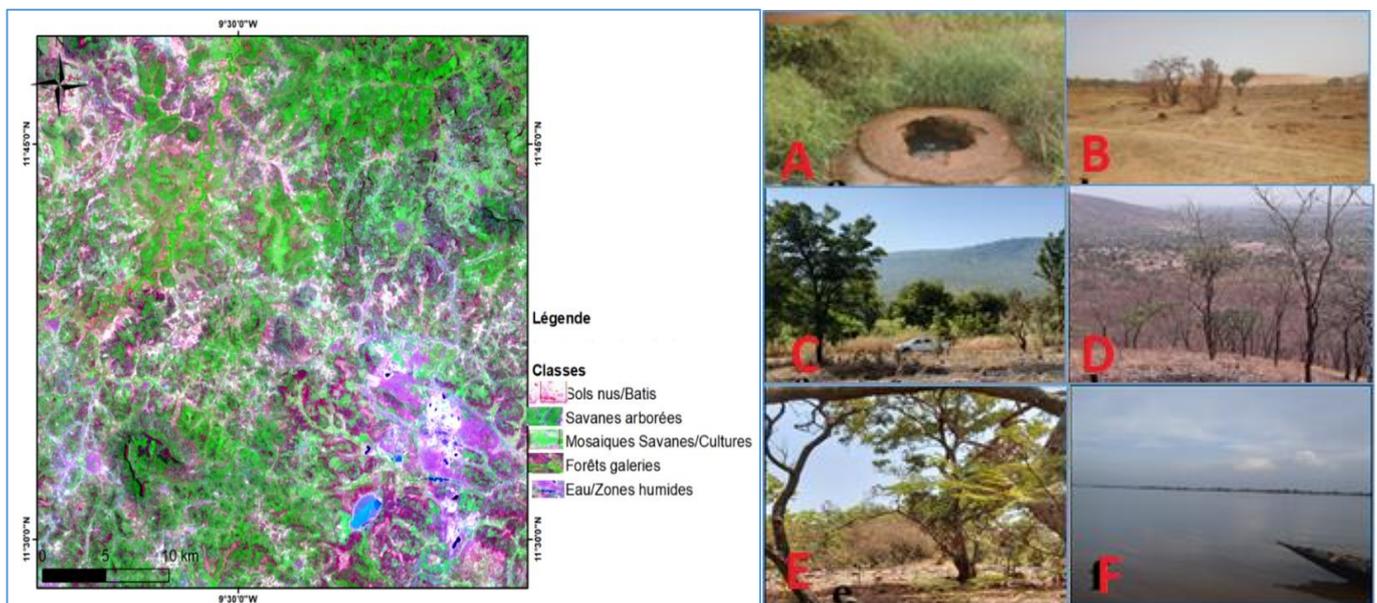
Elle s'effectue par la méthode ou l'algorithme de *Support Vector Machine* ou Séparateurs à Vastes Marges (SVM) qui est une méthode de classification supervisée permettant de résoudre les problèmes de discrimination et de régression. C'est un algorithme apprécié pour son efficacité à classifier les données complexes et en tirer de bons résultats.

### 2.3.2.7 CHOIX DES COMPOSITIONS COLORÉES ET DÉTERMINATION DES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL

Les parcelles d'entraînement constituent la base des traitements pour la classification. Le choix de ces parcelles se fait grâce au travail de terrain, aux documents cartographiques et à l'interprétation visuelle des images en composition colorée. Les compositions colorées des bandes 4-5-7 pour l'image Landsat ETM+ et OLI, ont été retenues et ont servi de support de prospection sur le terrain.

Les différents modes d'occupation du sol ont été identifiés en analysant les signatures spectrales des différents états de surface en présence; ces modes d'occupation du sol ont été associées aux sept (07) types de paysages ou classes d'occupation du sol dans la zone de Siguiiri: **eau, habitats, sols nus, cultures, cultures irriguées, savane arborée et forêts (photo 1)**.

Les points de contrôle sont relevés sur le terrain et ils ont été effectués par une description physionomique des unités d'occupation dont l'interprétation visuelle permet l'analyse des structures de l'image satellitaire.



**Planche de photos 1: Différents modes d'occupation du sol dans la zone de Siguiiri: A) - Zones humides et végétation au sud de Siguiiri, B) - Zones désertes et nues à Balato, C) Forêt galerie à Naboun; D) Forêt dégradée à Doko et habitations; E) Savane arborée à Kintinian; F) Plan d'eau dans la commune urbaine de Siguiiri.**

### 2.3.2.8 ÉVALUATION DE LA CLASSIFICATION DES IMAGES LANDSAT

L'évaluation se fait sur la base de matrice de confusion qui est le rapport statistique des sites d'entraînement et qui permet de discriminer les différentes classes d'occupations retenues [17]. La matrice de confusion dépend de la précision globale et de l'indice Kappa de la classification.

#### PRÉCISION GLOBALE (PG):

La Précision globale comprise entre 0 et 100%, permet d'évaluer la précision des pixels classés par rapport au nombre total des pixels des zones tests selon l'équation 2 [18].

$$P_G = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i + *k_i)}{\sum_{i=1}^n k_i} \quad \text{Eq. (2)}$$

Avec: i: identifiant de la classe, D: diagonale en i, k: nombre de pixels de la classe i

#### COEFFICIENT KAPPA:

Le coefficient kappa compris entre 0 et 1, permet d'évaluer globalement la fiabilité des résultats de la classification par rapport aux données de référence de l'équation 3 [18].

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad \text{Eq. (3)}$$

Avec:  $x_{i+}$ : total en colonne de la classe i,  $x_{+i}$ : le total en ligne de la classe i,  $x_{ii}$ : la somme des diagonales et  $N=100$ . La classification des images est validée lorsque les valeurs de kappa sont supérieures ou égales à 80 %.

### 2.3.2.9 ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL

Le taux de changement net d'une classe entre deux dates est noté par la relation 4 de la [19] citée par [20].

$$T_{cn} = TS2 - TS1 \quad \text{Eq. (4)}$$

Avec,  $T_{cn}$ : Taux de changement net

TS2: Proportion de la superficie d'une classe à l'année 2

TS1: Proportion de la superficie d'une classe à l'année 1

Les valeurs positives représentent une augmentation de la superficie de la classe durant la période analysée et les valeurs négatives indiquent une diminution de superficie entre les deux dates. Les valeurs proches de zéro signifient que la classe reste relativement stable entre les deux dates.

## 3 RESULTATS

### 3.1 EVALUATION DE L'IMPACT DE LA PLUVIOMETRIE SUR LES DÉBITS D'ÉCOULEMENT ET ÉTABLISSEMENT DE LA RELATION PLUIE-DÉBIT

L'impact de variation de la pluviométrie sur les débits d'écoulement est palpable durant la période de 1961-2019. Nous observons durant cette période de 1961-2019 que les pluies sont plus ou moins importantes ainsi que les débits d'eau fluviale du Niger sont importants ou faibles (Figure 4).

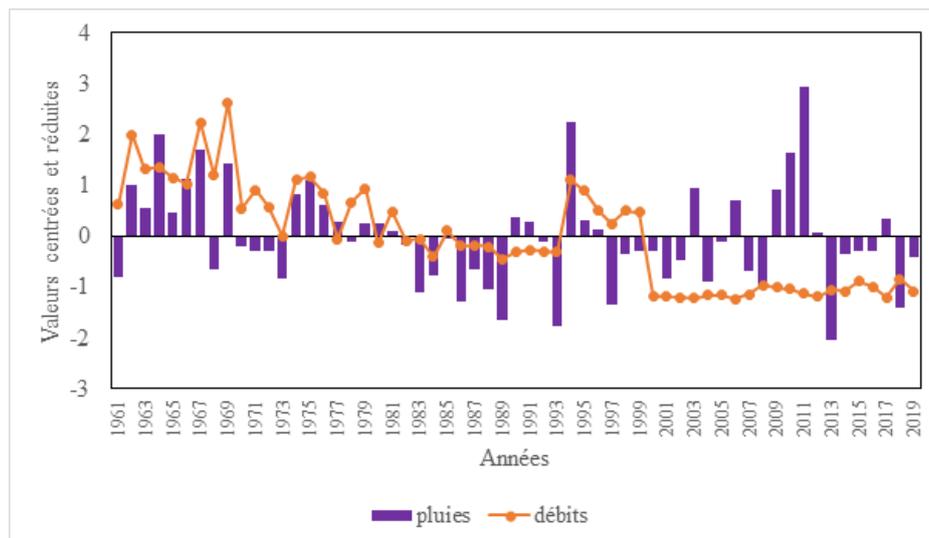


Fig. 4. Variations interannuelles de la pluviométrie et des débits de la zone de Siguiiri (1961-2019)

Durant toute la période d'observation (1961-2019) nous observons les excédents de débits qui sont plus ou moins proportionnels aux excédents pluviométriques. De 1961 à 1981 les débits du fleuve Niger à Tiguibery (Siguiiri) ont tendances à l'augmentation. De l'année 2000 à 2019 la tendance du fleuve est à l'abaissement de niveau d'eau. De 1962 à 1972 le débit du fleuve est important. La pluviométrie qui se manifeste pendant la période de 1962 à 1972 est aussi importante. En 1973 la hauteur pluviométrique qui est égale à la moyenne, redevient importante entre 1974 à 1977. De 1983 à 1993 les hauteurs pluviométriques sont en baisse. Si l'on observe une diminution de débit en 1978 et une augmentation de niveau d'eau fluviale en 1980, la courte élévation de niveau d'eau de 1981 est suivie d'une baisse drastique du niveau du fleuve de 1982 à 1993. La baisse des hauteurs pluviométriques se poursuit de 1995 à 2019 sans que les fortes précipitations enregistrées dans les années 2009; 2010 et 2010 ne parviennent à compenser la variation du niveau d'eau dans le fleuve.

### 3.2 EVALUATION DE LA PRECISION DE LA CLASSIFICATION DES IMAGES LANDSAT POUR LES ANNEES 2000, 2010 ET 2021

#### OCCUPATION DU SOL EN 2000

La matrice de confusion issue de la classification supervisée de l'image TM de l'année 1987 a fourni une précision globale de 80,40% et un coefficient Kappa de 0,74. Cependant, des confusions non négligeables sont perçues dans la matrice (Tableau 3). Ainsi, 32,47% des forêts galeries ont été confondues aux savanes arborées et inversement 15,17% de forêts galeries ont été confondues aux savanes arborées de même que 15,25% de savanes arborées ont été confondues aux mosaïques savanes/cultures. Ces différentes modifications se reconnaissent sur la figure 6.

Tableau 3. Matrice de confusion de la classification supervisée de l'image ETM+ 2000

Classes	Eau/zones humides	Sols nus/Bâties	Forêts galeries	Savanes arborées	Mosaïque savanes/cultures
Eau/zones humides	<b>98,40</b>	2,86	0,04	0,65	0,00
Sols nus/Bâties	0,85	<b>95,61</b>	0,20	0,25	2,00
Forêts galeries	0,01	0,34	<b>62,60</b>	15,37	0,92
Savanes arborées	0,43	0,15	32,47	<b>70,69</b>	15,25
Mosaïques savanes/cultures	0,31	1,03	4,68	13,04	<b>81,84</b>
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Précision globale= 80,40% Kappa coefficient = 0,74

## OCCUPATION DU SOL EN 2010

La matrice de confusion de la classification supervisée de l'image ETM+ de 2010 donne une précision globale de 89,40% et un coefficient Kappa de 0,86. Des confusions apparaissent. Ainsi, 13,92% Eau/zones humides ont été confondues aux sols nus/Bâtis et 6,49% eau/Zone humide ont été confondues aux mosaïques savanes/cultures et inversement 6,36% des savanes arborées ont été confondues aux Mosaïques savanes /cultures alors que 3,26% des forêts galeries ont été confondues aux Mosaïques savanes/cultures (**Tableau 4**). Les modifications du sol intervenues à Siguiri en cette année 2010 sont visibles sur la **figure 6**.

**Tableau 4.** Matrice de confusion de la classification supervisée de l'image OLI-8, 2010

Classes	Eau/Zones humides	Sols nus/Bâtis	Mosaïques Savanes/cultures	Savanes arborées	Forêts galeries
Eau/Zones humides	<b>78,99</b>	3,87	0,89	1,41	0,45
Sols nus/Bâtis	13,92	<b>94,23</b>	1,79	0,99	0,38
Mosaïques Savanes/cultures	6,49	1,59	<b>92,8</b>	6,36	3,26
Savanes arborées	0,46	0,3	3,38	<b>79,77</b>	4,67
Forêts galeries	0,14	0,01	1,14	11,47	<b>91,24</b>
Total	100	100	100	100	100

Précision Globale = 89,40%; Kappa coefficient = 0,86

## OCCUPATION DU SOL EN 2021

Les résultats de l'analyse de la matrice de confusion de la classification supervisée de l'image 2021 correspondent à la précision globale de 92,66% et au coefficient Kappa de 0,91. Toutefois, la confusion la plus importante se perçoit entre sols nus/ bâtis et Eau/Zones humides (**Tableau 5**). En effet, 8,88% des sols nus/Bâtis ont été confondus aux parties Eau/Zones humides alors que nous observons que 4,49% des savanes arborées ont été confondues aux forêts galeries. Les modifications qui caractérisent la préfecture de Siguiri se reconnaissent (**Figure 5**).

**Tableau 5.** Matrice de confusion de la classification supervisée de l'image OLI-8, 2021

Classes	Mosaïques Savanes/cultures	Forêts galeries	Savanes arborées	Sols nus/Bâtis	Eau/Zones humides
Mosaïques Savanes/culture	<b>93,9</b>	1,98	3,53	0,5	0,02
Forêts galerie	2	<b>95,91</b>	4,49	0	3,14
Savanes arborées	3,15	1,94	<b>90,55</b>	0,39	0,12
Sols nus/Bâtis	0,93	0,14	0,89	<b>90,23</b>	0,69
Eau/Zones humides	0,02	0,03	0,54	8,88	<b>96,03</b>
Total	100	100	100	100	100

Précision globale = 92,66; Kappa coefficient = 0,91

### 3.3 ANALYSES DESCRIPTIVE ET STATISTIQUE DES UNITES D'OCCUPATION DES TERRES EN 2000, 2010 ET 2021

#### 3.3.1 ANALYSE DESCRIPTIVE DES UNITÉS D'OCCUPATION DU SOL EN 2000, 2010 ET 2021

L'analyse descriptive des cartes d'occupation du sol de la zone de Siguiri sur **la figure 6** issue des classifications supervisées des image Landsat ETM+ et OLI-8 respectivement des années 2000, 2010 et 2021, met en exergue les différentes unités d'affectation du sol regroupées en deux grandes catégories. Il s'agit de l'espace naturel (forêts, plan d'eau) et de l'espace humanisé (bâtis, cultures). L'espace humanisé est la résultante de la transformation du milieu naturel par l'homme.

### 3.3.2 ANALYSE STATISTIQUE DES AFFECTATIONS DU SOL EN 2000, 2010 ET 2021

Les superficies des différentes unités d'occupation du sol de l'année 2000, 2010 et 2021 de la zone de Siguiro sont représentées sur le tableau 6.

Les statistiques tirées des cartes d'occupation du sol des années 2000, 2010 et 2021 mettent en évidence la dynamique spatio-temporelle de chaque classe thématique (Tableau 6).

En 2000 les savanes arborées sont modifiées de l'ordre de 36,49% soit 6493,85 km<sup>2</sup> suivi de mosaïques savanes /cultures qui totalisent 22,72%, soit 4043 km<sup>2</sup> du total de superficie de la zone d'étude (Tableau 6). En cette année la galerie forestière est de 11,58%, représentant 2061,16 km<sup>2</sup> contre les eau/zones humides qui sont de l'ordre de 1,72%, soit 307,36 km<sup>2</sup> (Tableau 6). L'analyse des résultats de l'année 2010 montre que les sols nus /bâti occupent la plus grande portion en termes de superficie 41,85 %, soit 7448,21 km<sup>2</sup> après suivent les mosaïques savanes /cultures qui représentent 30,81%, soit 5482,86 km<sup>2</sup> (Tableau 6). Les savanes arborées valent 16,01% de la superficie moyenne de la zone d'étude, soit 2848,99 km<sup>2</sup> (Tableau 6). Les forêts galeries et Eau/zones humides occupent, respectivement en termes de superficies 5,86% (1043,10 km<sup>2</sup>) et 5,45% (970,36 km<sup>2</sup>) (Tableau 6). En 2021 on note une prédominance des savanes arborées qui occupent 35,50% de superficie de la zone d'étude; ce qui vaut à 3618,10 Km<sup>2</sup>. Les sols nus/bâti occupent 31,94% de superficie, soit 5 684,98 km<sup>2</sup> (Tableau 6). Les mosaïques des savanes/ cultures ne valent que 24,27% de superficie de la zone de Siguiro; ce qui équivaut à 43,20 km<sup>2</sup> (Tableau 6).

Tableau 6. Statistique de l'occupation du sol en 1987, 2000 et 2020

Classes	2000		2010		2021	
	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Proportion (%)	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Proportion (%)	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Proportion (%)
Eau/Zones humides	307,37	1,73	970,82	5,46	4320,08	24,28
Sols nus/Bâti	4888,33	27,47	7448,21	41,86	1314,62	7,39
Forêts galeries	2061,16	11,58	5482,87	30,81	6318,18	35,51
Savanes arborées	6493,85	36,49	2849,00	16,01	5684,99	31,95
Mosaïques Savanes cultures	4043,30	22,72	1043,11	5,86	156,13	0,88
Total	17794,00	100,00	17794,00	100,00	17794,00	100

Les résultats statistiques issus des classifications des images et leurs restitutions cartographiques montrent plusieurs évolutions des superficies des entités d'occupation du sol (Figure 5). Le graphique de la figure 5 résume l'évolution des superficies d'entités d'occupation du sol issus des classifications des images. Cette figure 5 présente plusieurs tendances d'évolution d'occupation du sol suivant les intervalles des périodes d'étude définies. L'état de l'occupation du sol entre 2000 et 2021 montre une avancée importante des espaces Eau /Zones humides ainsi que les galeries forêts. L'année 2010 a été marquée par d'intenses activités humaines qui contribuèrent à la destruction des milieux.

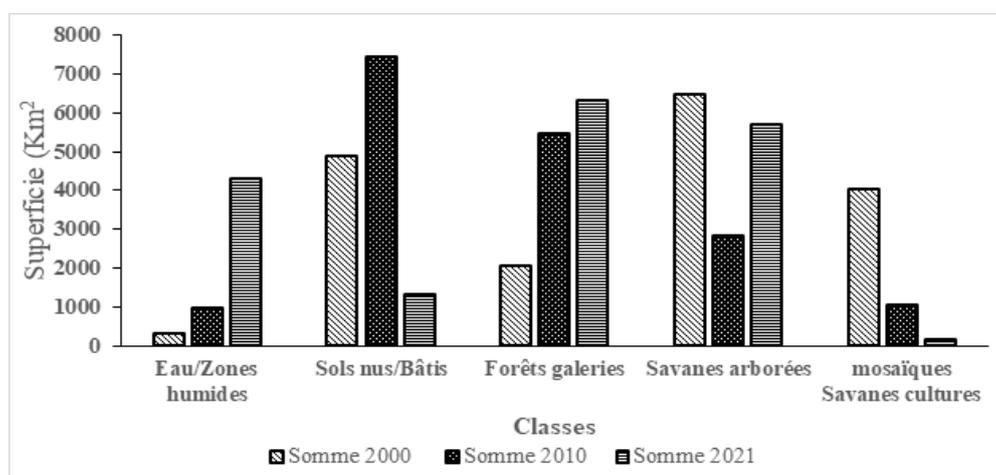


Fig. 5. Evolution spatiotemporelle des superficies d'unités d'occupation du sol (2000; 2010; 2021)

### 3.3.3 DÉTECTION DES CHANGEMENTS DE L'OCCUPATION DU SOL ENTRE 2000, 2010 ET 2021

Des tendances progressives et régressives se sont manifestées dans le processus de transformation des milieux environnement de la zone de Siguiri (**Tableau 7**). Ainsi, de 2000 à 2010, on observe des progressions dans les classes Eau/zones humides (+3,73%), des sols nus/Bâti (+14,39%) des forêts galeries (+19,23%) et une régression dans la classe des savanes arborées (-20,48%) et des mosaïques savanes cultures (-16,86%) (**Tableau 7**). De 2010 à 2021, on observe une progression dans les classes Eau/zones humides (+18,82%), sols nus/Bâtis (+4,69%) et des savanes arborées (+15,94%) et une régression dans la classe des sols nus/Bâtis (-34,47%) (**Tableau 7**). De 2000 à 2021, on observe des progressions dans les classes Eau/Zones humides (+22,55%), forêts galeries (+23,92%) et des régressions dans les classes des sols nus/Bâtis (-20,08%), savanes arborées (-4,55%) et des mosaïques savanes cultures (-21,85%) (**Tableau 7**).

**Tableau 7.** Pourcentages des classes d'occupation du sol de la zone de Siguiri

Classe	2000-2010			2010-2021			2000-2021		
	Proportion (%)	Proportion (%)	Ecart1 (%)	Proportion (%)	Proportion (%)	Ecart2 (%)	Proportion (%)	Proportion (%)	Ecart3 (%)
Eau/Zones humides	1,73	5,46	+3,73	5,46	24,28	+18,82	1,73	24,28	+22,55
Sols nus/Bâtis	27,47	41,86	+14,39	41,86	7,39	-34,47	27,47	7,39	-20,08
Forêts galeries	11,58	30,81	+19,23	30,81	35,51	+4,69	11,58	35,51	+23,92
Savanes arborées	36,49	16,01	-20,48	16,01	31,95	+15,94	36,49	31,95	-4,55
Mosaïques savanes cultures	22,72	5,86	-16,86	5,86	0,88	-4,98	22,72	0,88	-21,85

### 3.3.4 MISE EN EVIDENCE DE CHANGEMENTS ET VARIATION DE TEMPERATURE

La représentation des températures décennales (1981-1990; 1991-2000; 2001-2010; 2011-2020) sur la **figure 6** met en relief les variations annuelles et interannuelles à Siguiri. La température obtenue de 1981-1990 est de 25,95 °C (**Figure 6**). La température de la période 1991-2000 est en moyenne de 26,51°C. Elle est respectivement de 27,72 °C à la période 2001-2010 et de 26,67 °C à la période 2011-2020 (**Figure 6**). Ces valeurs moyennes de la température de l'air permettent de suivre l'évolution moyenne du régime thermique et l'évolution spatiale des classes d'occupation du sol sur la zone de Siguiri (**Figure 6**).

### 3.3.5 FACTEURS DE DEGRADATION DES MILIEUX ENVIRONNEMENTAUX

Dans le cercle de Bouré à Siguiri, il se déroule l'exploitation des minerais aurifères impactant sérieusement les milieux environnementaux. On assiste aujourd'hui à toutes les formes de dégradations qui sont remarquables sur les photos. Elles comprennent le creusement des fosses (**Photo 2A**), le dégagement total du couvert végétal (**Photo 2B**), l'utilisation des sources d'eau souterraine (**Photo 2C**), le déracinement des arbres (**Photo 2D**), la forte insolation, la destruction des sources de cours d'eau, l'envasement du fleuve et de la rivière Tinkisso en sables qui puissent tapir le fond du lit fluvial. Les hommes creusent la terre à la poursuite des filons aurifères et atteignent les sources d'eaux souterraines qu'ils détruisent. Les boues et les sables de terre évacuées tapissent le fond des cours d'eau voisins. Les arbres sont déracinés lors du décapage. Le couvert végétal disparaît par endroits. L'insolation devient forte dans la zone par manque d'ombrages suffisants [22].

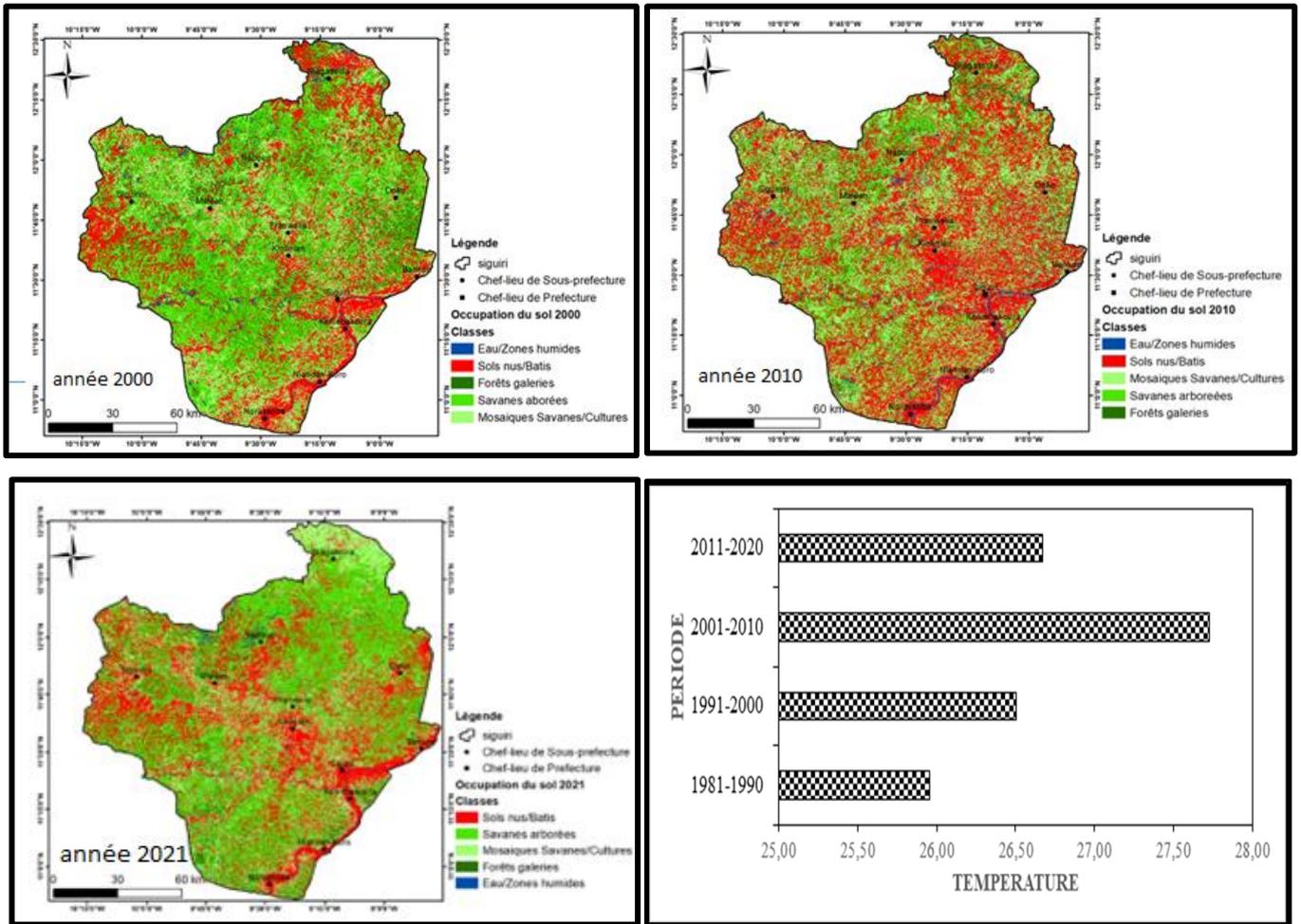


Fig. 6. Cartes des occupations des sols de Siguiri en 2000; 2010; 2021 et variations de température

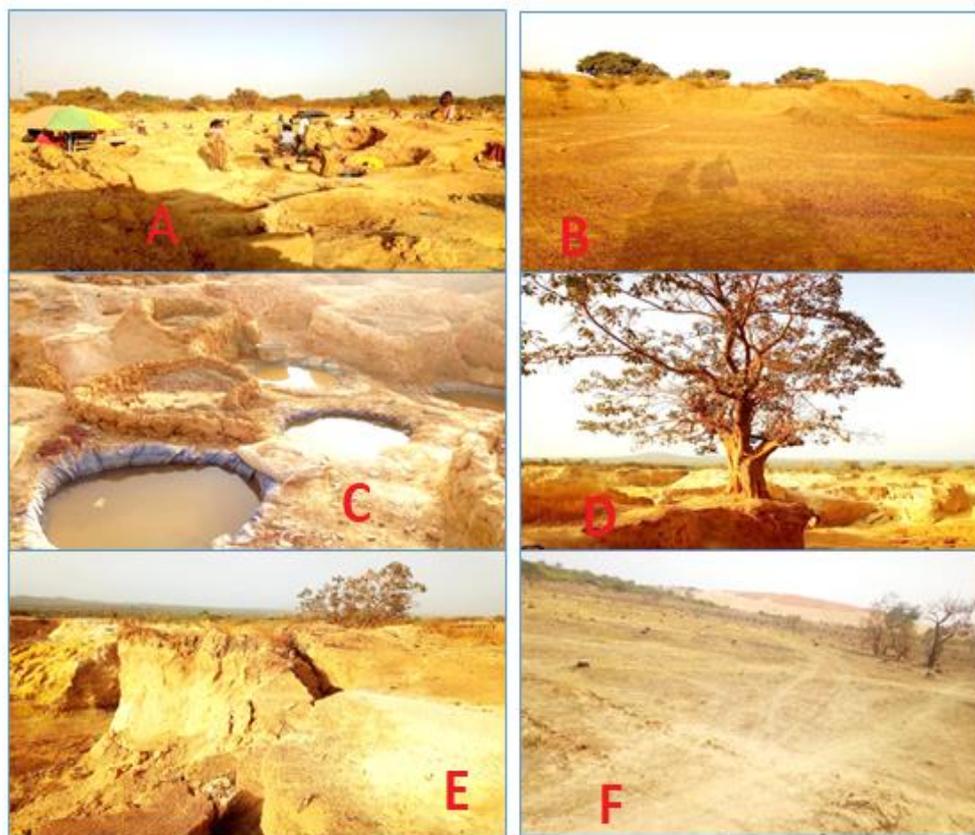


Planche de photo 2: Dégradation de l'environnement de la sous-préfecture de Kintinian (Siguiri) -2018

#### 4 DISCUSSION

Pour mettre à l'évidence l'impact des activités humaines sur la modification des milieux environnementaux nous nous appuyons sur les résultats issus des différentes classifications supervisées des images satellitaires des années 2000, 2010 et 2021 dans la zone de Siguiri. Les classifications supervisées des images Landsat ETM+ et OLI-8 des années 2000, 2010 et 2021 de la zone de Siguiri précisent la dynamique spatio-temporelle de chaque classe thématique. L'année 2000 fut marquée par des dégradations qui ont affecté les espaces de savanes arborées de l'ordre de 36,49% soit 6493,85 km<sup>2</sup>. Les mosaïques de savanes /cultures totalisent 22,72%, soit 4043 km<sup>2</sup> du total de superficie de la zone d'étude en 2000. L'analyse des résultats de l'année 2010 montre que les sols nus /bâti occupent la plus grande portion en termes de superficie 41,85 %, soit 7448,21 km<sup>2</sup>. Les modifications suivantes des mosaïques de savanes /cultures représentent 30,81%, soit 5482,86 km<sup>2</sup>. Les savanes arborées valent 16,01% de la superficie moyenne de la zone d'étude, soit 2848,99 km<sup>2</sup>. Les forêts galeries et Eau/zones humides occupent, respectivement en termes de superficies 5,86% (1043,10 km<sup>2</sup>) et 5,45% (970,36 km<sup>2</sup>). L'année 2021 se particularise par une prédominance des savanes arborées qui occupent 35,50% de superficie de la zone d'étude; ce qui vaut à 3618,10 km<sup>2</sup>. Les sols nus/bâti occupent 31,94% de superficie, soit 5 684,98 km<sup>2</sup>. Les mosaïques des savanes/ cultures ne valent que 24,27% de superficie de la zone de Siguiri; ce qui équivaut à 43,20 km<sup>2</sup>. L'année 2021 marque l'année de revêtement de la surface du sol en végétation.

L'environnement dans les années 2010 était très affecté à Siguiri. Les forêts ont été détruites et les arbres ont été déracinés pour laisser places aux terrains nus avec ses corollaires d'ensoleillement et d'ensablement des vallées des principaux cours d'eau. A partir de 2020 les conditions de végétation sont en train de se rétablir. Mais les constructions sans plan d'occupation de sols affectent la superficie des terres cultivables et des végétations sauvages. Il est à signaler que les différents facteurs de perturbation des régimes pluviométriques et hydrologiques résultent des effets cumulés du processus des variabilités climatiques, de la dégradation des sols sous impacts des activités humaines.

Le Nord-Est de Siguiri subit beaucoup plus les phénomènes de sécheresse que les parties Sud et Ouest qui connaissent les pluviométries excédentaires et normales [21]; [22]. Les études effectuées grâce aux capteurs de Spot en 1998 et 1999 et de Landsat TM de l'année 2000, sous l'égide de [23] du Bureau de Recherche Géologique et Minière révèlent une dynamique de

l'occupation du sol dans cette partie nord-est de la Guinée. Il ressort dans l'analyse des types de la dynamique de l'occupation des évolutions qui offrent deux (2) configurations entre 1998-1999: les zones de cultures indiquent 21,7% en cuirasse contre 26,9% en cuirasse. Pour l'eau on détermine 3,9% en zones de cultures (configuration1) contre 16,1 % (configuration 2). Les forêts ont connu une évolution de 5,9% (configuration1 contre 11% de savane (configuration 2). La savane arborée est évaluée à 14,6% (configuration 1) contre 15,3% (configuration 2) selon [23]. L'étude de la variabilité des régimes pluviométriques et d'écoulement du fleuve Niger à Siguiri effectuée par [24], indique une baisse graduelle de la pluviométrie qui se répercute sur le coefficient d'écoulement dans le bassin fluvial du Niger en Haute Guinée. A l'état actuel des connaissances la destruction est très accentuée sur des espaces forestiers tropicaux où l'on assiste à des modifications des conditions climatiques, mais aussi à la perturbation du cycle normal de l'eau [25]. Les forêts permettent l'évaporation d'une grande quantité d'eau, mais aussi parce qu'elles libèrent des particules biologiques telles que les pollens et les spores fongiques, qui servent de noyaux de condensation pour la formation de gouttes de pluie [26]. La dégradation et la déforestation de grands espaces forestiers renforcent la baisse des précipitations avec des effets perceptibles sur le stock disponible des aquifères [27]. Le climat actuel manifeste des changements climatiques détectés sur les variables de températures et de précipitations qui modifient potentiellement les filtres environnementaux des quels dépendent, dans leur répartition et leur biomasse, la faune et la flore. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la hausse prolongée des températures dans une zone affecte la biosphère à différents niveaux (distribution des espèces) [28]. Le réchauffement climatique du siècle dernier a entraîné une augmentation brusque de la température du sol de l'ordre de +1°C. Ce réchauffement a atteint les profondeurs du sous-sol selon les conditions de surface (couvert végétal, pratiques agricoles) selon [29], [30].

## 5 CONCLUSION

Les variations des régimes pluviométriques et thermiques influencent les débits d'écoulement des eaux de surface à Siguiri depuis 1981 jusqu'à 2022. Les facteurs de changement des unités d'occupation du sol sont considérés parmi tant d'autres de facteurs (changement climatique, urbanisation) comme les plus importants.

Dans le cadre des modifications de l'occupation du sol à Siguiri, l'année 2000 fut marquée par des dégradations qui ont affecté les savanes arborées dont les modifications sont traduites par 36,49% soit 6493,85 km<sup>2</sup>. L'analyse des résultats de l'année 2010 montre que les sols nus /bâties occupent la plus grande portion en termes de superficie 41,85 %, soit 7448,21 km<sup>2</sup>. L'année 2021 se particularise par une prédominance des savanes arborées qui occupent 35,50% de superficie de la zone d'étude; ce qui équivaut à 3618,10 Km<sup>2</sup>.

## REFERENCES

- [1] L'Hôte et Mahé, 1996. Afrique de l'Ouest et centrale; précipitations moyennes annuelles (période 1951-1989). Carte à l'échelle 1/6 000 000, 90 x 60 cm. Paris, Orstom.
- [2] Servat É., Paturel J.E., Lubès-Niel H., Kouamé B., Masson J.M., Travaglio M. et Marieu B. (1999) - De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale. *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 12, n° 2, p. 363-387.
- [3] Aubé, D., (2017). Impact du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse. Bilan actualisé des connaissances - rapport de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 27p.
- [4] Diédhiou, I., & Mering, C. (2019). D'une rive à l'autre du fleuve : Changements d'occupation du sol et dires d'acteurs en Basse-Casamance. *L'Espace géographique*, 48 (2), 117-137.
- [5] DIRH (1996). Carte hydrogéologique du Burkina Faso, Echelle 1: 500 000, feuille Dori.
- [6] Paturel, J. E., Servat, E., Delattre, M. O., & Lubès-Niel, H. (1998). Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahéenne dans un contexte de variabilité climatique. *Hydrological sciences journal*, 43 (6), 937-946.
- [7] El Hage et al., (2019); El Hage Hassan H, Ardillier-Carras F, Charbel L. (2019). Les changements d'occupation des sols dans la Béqaa Ouest (Liban): le rôle des actions anthropiques. *Cahiers Agricultures*, Vol.28, 10 p.
- [8] Soro, T. D., Kouakou, B. D., Kouassi, E. A., Soro, G., Kouassi, A. M., Kouadio, K. E., Yéi, M.-S. O. & Soro, N. (2013). Hydroclimatologie et dynamique de l'occupation du sol du bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire). *Vertigo*, 13 (3).
- [9] INS (2014). Recensement général de la population et de l'Habitat 2014. Données sociodémographiques et économiques: Préfecture de Siguiri. Institut National de la Statistique, Bureau Technique du Recensement, Région Haute Guinée, République de Guinée.
- [10] Boulvert Y., (2003). Carte morphopédologique à 1: 500 000, Notice, N°114, IRD, Paris. 151p.
- [11] Egal E., Lahondère D., Diaby S. (1999). BRGM-DNRGH.). *Carte Géologique au 1: 200 000. Feuille SIGUIRI NC- 29-XXI et Notice Explicative*. BRGM, Orléans. CPDM, Conakry.

- [12] PDU3, (2003). Rapport des Audits urbains organisationnel et financier de la commune de Siguiri; MVH, volume III. 205p.
- [13] Millot G., (1964). Géologie des argiles. Altérations. Sédimentologie. Géochimie. In: Bulletin du Groupe français des argiles. Tome 14, nouvelle série n°9, 1964. pp. 165-166; Bulletin du Groupe français des argiles. [https://www.persee.fr/doc/argil\\_0429-3320\\_1964\\_num\\_14\\_9\\_1006\\_t1\\_0165\\_0000\\_2](https://www.persee.fr/doc/argil_0429-3320_1964_num_14_9_1006_t1_0165_0000_2).
- [14] Egal E., Lahondère D., Diaby S. (1999). BRGM-DNRGH.). *Carte Géologique au 1: 200 000. Feuille SIGUIRI NC- 29-XXI et Notice Explicative*. BRGM, Orléans. CPDM, Conakry.
- [15] Bah M. B., Trouve O., Paccioni T., (1990). Projet de développement rural Haute Guinée. Programme d'hydraulique villageoise. Financement 6ème FED. 2ème Tranche. SNAPE. Note 194. Kankan.19p.
- [16] SNAPE, (2012). Rapport Annuel d'activités 2012. Bilan des Réalisations. BEP / SNAPE/MEH. Décembre 2012. <http://www.snapeguinee.org/-rapports-d-activites-du-snape-.html>.
- [17] Mckee T.B., Doesken N.J. et Kleist J. (1993) - The relationship of drought frequency and duration to time scale. *Actes de la 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology* (Anaheim, Californie), p. 179-184.
- [18] Dibi B. (2008). Cartographie des sites potentiels d'implantation des points d'eau dans le département d'Aboisso (sud-est de la Côte d'Ivoire): apport du SIG et de l'analyse multicritère. Thèse de doctorat, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 164 p.
- [19] Congalton R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, vol.37, n°1, pp. 37- 46.
- [20] Food and Agriculture Organization. (1995). Forest resources assessment 1990. Global synthesis. FAO.
- [21] Taibou, B., & Dieynaba, S. (2012). Dynamique de L'Occupation des sols, cartographie des CLPA, des zones de pêche et mise en place d'un système d'information géographique. *Centre de Suivi Ecologique et USAID/COMFISH Project, Senegal, University of Rhode Island, Narragansett RI*.66p
- [22] DNM. (2019) -Guinée: la pluviométrie deux fois en deçà de la moyenne en 2019 (copie statistiques météorologies). Mosaïquesguinée.com (Saidou Barry).
- [23] Kourouma, M., Kourouma, M., Keita, D., Soro, T. D., Soro, G., Soumaré, O., Soro, N., Kourouma, M., Kourouma, M., Keita, D., Soro, T. D., Soro, G., Soumaré, O., & Soro, N. (2023). Study of spatial and temporal climate variability in the Siguiri sub-basin (North-Eastern Guinea). *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 20 (1), Article 1. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.20.1.2072>.
- [24] Baghdadi N., Bourguignon A., King C., Desprats J.F., Parent C., et al. (2001). L'imagerie spatiale pour la mise à jour cartographique en Afrique: un cas d'étude en Guinée-Conakry. *Bulletin de la société française de photogrammétrie et de télédétection*, 2001.hal-02924031.13p.
- [25] Sangaré, S., Mahé, G., Paturel, J. E., & Bangoura, Y. (2002). Bilan hydrologique du fleuve Niger en Guinée de 1950 à 2000. *Sud Sciences et Technologies*, 9, 21-33.
- [26] Monteny, B. A., & Zeller, B. (1985). Interactions végétation-atmosphère et leurs impacts sur les caractéristiques climatiques. *Compte-rendu du séminaire « Climat et développement*, 15-16.
- [27] Aragão, L. E. (2012). The rainforest's water pump. *Nature*, 489 (7415), 217-218.
- [28] Aka, N. (2013). Etude hydrochimique et microbiologique des nappes d'altérites sous climat tropical humide: cas du département d'Abengourou (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (16).
- [29] GIEC- (2019) -Dupar, M. (2019). Le Rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les terres émergées: « Quels impacts pour l'Afrique ? » Cape Town: Climate and Development Knowledge Network, Overseas Development Institute et South South North.40p.
- [30] Guillou-Frottier, L. (2006). Les empreintes paléothermiques du sous-sol. *Géosciences*, 3, 12-17.