



FACULTE DES LETTRES  
ARTS ET SCIENCES  
HUMAINES



UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI



FACULTE DES  
SCIENCES  
ET TECHNIQUES

Ecole Doctorale Pluridisciplinaire

'Espace, Culture et Développement'

Chaire UNESCO en  
Sciences, Technologie  
et Environnement

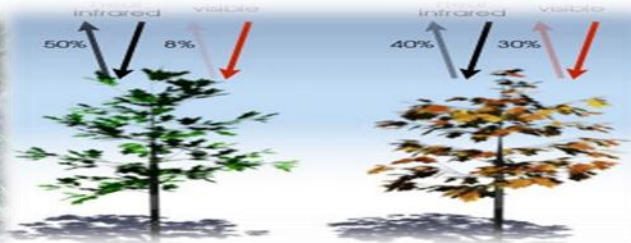
MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES  
(DEA)

OPTION : GEOGRAPHIE ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

*Spécialité* : Géosciences de l'Environnement et Aménagement de l'Espace

N° d'enregistrement/ /EDP/GEN

**VARIABILITE CLIMATIQUE ET DYNAMIQUE DE LA VEGETATION DANS LA  
CONFLUENCE OUEME - OKPARA (BENIN)**



Présenté par : **AFOUDA Worou Hervé**

Sous la direction :

**Prof Fulgence AFOUDA**  
Professeur titulaire des Universités  
(DGAT/FLASH/UAC)

**Dr. Ibouaïma YABI**  
Maître de conférences des Universités  
(DGAT/FLASH/UAC)

Soutenu publiquement le 29/12/ 2016 devant le jury composé de :

Président : Prof. Fulgence AFOUDA, Professeur titulaire des Universités du CAMES

Rapporteur : Dr. Ibouaïma YABI, Maître de Conférences des Université de CAMES

Examineur : Dr. Ismaïla TOKO IMOROU, Maître de Conférences des Universités de CAMES

Mention Très Bien

## **SOMMAIRE**

SOMMAIRE.....	2
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES.....	3
DEDICACE.....	4
REMERCIEMENTS.....	5
RESUME.....	7
ABSTRACT.....	8
INTRODUCTION.....	9
CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE ET GEOGRAPHIQUE.....	11
1.1-Cadre théorique.....	11
1.2.Cadre géographique .....	18
CHAPITRE II : APPROCHE METHODOLOGIQUE DE L'ETUDE.....	25
2-1-Matériels et outils .....	25
2-2-Acquisition des données et méthodes.....	25
2-3-Limites méthodologiques .....	38
CHAPITRE III : CARACTERISATION DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE ET DYNAMIQUE DE LA VEGETATION.....	40
3-1- Variabilité climatique dans la confluence Ouémé-Okpara.....	40
3-2- Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle NDVI-Pluie .....	44
3-3- Caractérisation des facteurs explicatifs de la dynamique de la végétation .....	59
CHAPITRE IV: DISCUSSION.....	66
4.1-Variabilité climatique et dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé-Okpara .....	66
4.2- Caractérisation des facteurs explicatifs de la dynamique de l'occupation des terres .....	67
4.3- Perception communautaire de la variabilité climatique et de dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé-Okpara .....	68
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	69
Références bibliographiques .....	73
Liste des figures .....	85
Liste de Photo.....	86
Liste des tableaux.....	86
Annexes.....	87
Table des matières.....	89

## **LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES**

ASECNA	: Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
CENATEL	: Centre National de Télédétection et du Suivi Ecologique.
DEA	: Diplôme d'Etudes Approfondies
DGAT	: Département de Géographie et Aménagement du Territoire
DGFRN	: Direction Générale des Forêts et des Ressources Naturelles
EDP	: Ecole Doctorale Pluri disciplinaire
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FLASH	: Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines
FSA	: Faculté des Sciences Agronomiques
GPS	: Global Positioning System
ICN	: Indice de croissance Normalisé
INSAE	: Institut Nationale de la Statistique et de l'Analyse Economique
LABEE	: Laboratoire de Biogéographie et de l'Expertise Environnementale
LACEEDE	: Laboratoire Pierre PAGNEY « Climat, Eau, Ecosystème et Développement »
LEA	: Laboratoire d'Ecologie Appliquée
MNA	Modèle Numérique d'Altitude
NDVI	: Normalized Differential Vegetation Index
PDC	: Plan de Développement Communal
PNUE	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement
RGPH	: Recensement Général de la Population et de l'Habitation
SCEPN	: Section Communale de l'Environnement et de la Protection de la Nature
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
VCI	: Vegetation Condition Index

## **DEDICACE**

A :

- Mon épouse Espérance et mon fils Yabi Céphas ;
- Tous mes parents qui m'ont soutenu spirituellement et financièrement.

## REMERCIEMENTS

Cette étude, intitulée « variabilité climatique et dynamique de la végétation dans l'aire de la confluence Ouémé - Okpara », est un mémoire de fin de formation de DEA. Le présent travail a été mené à son terme grâce à l'appui et aux encouragements de maintes personnes. Qu'il me soit permis ici de leur exprimer mes remerciements. Ma profonde gratitude va d'abord à l'endroit de mon directeur de mémoire, Monsieur le Professeur Fulgence AFOUDA, qui m'a fait confiance depuis ma maîtrise et grâce à qui j'ai pu réaliser cette formation. En dépit de ses multiples responsabilités académiques et autres occupations, il a accepté de diriger ce travail tout en m'accordant le privilège de bénéficier de ses conseils, de ses remarques, de son analyse critique, de sa rigueur scientifique et de son soutien financier. Je ne saurais trouver les mots justes pour lui exprimer toutes mes gratitudes, mais qu'il trouve, dans ces quelques lignes, la marque de mon respect et l'expression de ma profonde admiration.

Mes remerciements vont à l'endroit du Dr. Ibouaïma YABI, Maître de Conférences qui m'apporte toujours son soutien scientifique, technique, et financier. Qu'il soit rassuré de ma profonde reconnaissance pour son amour et le travail bien fait.

Ma gratitude à Monsieur Emile EDEA, aux Drs Cyr Gervais ETENE, Philippe AYEDEGUE CHABI, Cyr ATCHADE, à tous les membres du laboratoire de climatologie Pierre PAGNEY. Je me permets de saluer leur modestie et leur accessibilité. Ils m'ont fait bénéficier de leurs savoirs et de leurs expériences en matière de recherches et de la clairvoyance de leurs opinions scientifiques que je ne saurais saluer suffisamment. Grâce à eux, j'ai pu aborder les aspects cartographiques et bénéficier des orientations d'ordre climatiques liées à ce travail. Qu'ils reçoivent en retour mes sincères remerciements pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.

Je salue tout le personnel de l'ASECNA notamment ceux de la division climatologie, spécifiquement M. Mandela HOUNGBO, et ses collaborateurs pour leurs aides et soutien de tout genre.

Je remercie le professeur Michel BOKO, ex directeur de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire de la FLASH et chef de filière Géographie et gestion de l'environnement, son Adjoint et tout le personnel enseignant de ladite Ecole, pour la formation consistante que j'ai reçue d'eux. Les

mêmes remerciements sont adressés à tout le corps enseignant du Département de Géographie et Aménagement du Territoire de l'UAC.

Que mes parents qui m'accompagnent toujours par leurs soutiens et prières soient aussi remerciés. Que ces soutiens et prières se renouvellent sans cesse à mon égard. Toute ma gratitude va à mon épouse Espérance OUSSOU qui a accepté toutes les sacrifices pour m'avoir accompagné pendant toute la durée de cette formation et tous les désagréments liés à mes absences répétées. Qu'elle reçoive ici l'expression de toute ma tendresse.

Je demande à tous mes frères et sœurs, cousins, cousines, oncles, tantes, amis et amies de trouver dans ce travail la consécration de tous leurs sacrifices. A tous, merci. Mes parents qui ont donné le meilleur d'eux-mêmes. Plaise à Dieu qu'ils reçoivent en consolation des fruits qui jailliront de ce travail.

Je m'en voudrais de finir sans faire un clin d'œil à tous les aînés scientifiques et à tous les collègues auditeurs de l'Ecole Doctorale spécialement Loukeman MOUSSA et Pierre TOUNDOH pour leur sympathie.

J'ai une pensée toute particulière au jury de soutenance de ce mémoire pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail.

## RESUME

La végétation qui a fait l'objet de cette étude subit des pressions climatique et anthropique. L'objectif visé est d'étudier le lien entre la variabilité climatique et la dynamique spatio-temporelle de la végétation dans l'aire de la confluence Ouémé-Okpara et ses facteurs explicatifs.

L'approche méthodologique adoptée est basée dans une première phase sur la collecte des données notamment à la recherche documentaire, à l'extraction des valeurs de NDVI à partir des images SPOT et MODIS, aux données climatiques et aux données cartographiques. Par ailleurs des enquêtes ont été réalisées auprès de 170 ménages pour apprécier la perception communautaire sur les fluctuations climatiques et la dynamique de la végétation. La deuxième phase a consisté à analyser par des protocoles statistiques (test d'homogénéité, corrélation de Pearson, écart type centré, VCI et ICN) des données et à traiter les résultats obtenus.

La variabilité interannuelle de la pluviométrie couvrant la période 2003 -2010 indique une tendance à la baisse par rapport à l'an 2003 considéré comme une année excédentaire. A l'échelle décadaire la grande saison est caractérisée par un début des pluies à la première décade du mois de Mars jusqu'à la troisième décade du mois de Juillet et la petite saison qui prend départ de la troisième décade du mois d'Août à la première décade du mois d'Octobre. Il faut remarquer que la hauteur maximale des pluies a été enregistrée à la première décade du mois de septembre avec 202 mm et la valeur minimale à la troisième décade du mois de Décembre avec 18,3 mm enregistrée. Le profil NDVI interannuel de NDVI est comparable aux rythmes de saisons pluvieuses et est en corrélation forte entre la pluie décadaire cumulée et NDVI (moyen et maximum). La régression polynomiale a permis d'identifier trois phases de croissance de NDVI (de croissance lente, rapide et de décroissance). Sur les quatre sites (1 ;2 ;3 ;4) témoins retenus pour apprécier le lien entre NDVI-Pluie, le site 3 a été le site qui a enregistré la valeur maximale de NDVI de (0,9895) à la première décade du mois d'Octobre de 2003 et une valeur de 0,8619 en 2013. La corrélation entre NDVI-Pluie a été globalement plus forte en l'an 2003 par rapport à l'an 2013. En effet, la relation pluie-NDVI est globalement importante pour les sites N°2 en 2003 et N°4 pour l'an 2003. Au niveau du site 2 (point de confluence) le lien entre Pluie-NDVI moyenne est de 0,75 ; de 0,54 pour Pluie -NDVI minimale et de 0,74 pour la pluie-NDVI maximale. En ce qui concerne l'an 2013, le Site N°4 est caractérisé par une corrélation de Pluie-NDVI moyenne est de l'ordre de 0,54 ; Pluie-NDVI maximale de l'ordre de 0,58. S'agissant des déterminants de la dynamique de la végétation on note une régression des formations végétales. Ces unités du sol ont subi des dynamiques au cours de la période d'étude. Les unités telles que les mosaïques de champs et jachères (de 54641,16 ha en 2003 à 65403,879 ha en 2013), et les agglomérations (254,74 ha en 2003 à 324,452922 ha en 2013) ont connu une évolution progressives tandis que les forêts dense , les galeries forestières et les formations marécageuses sont relativement stable (3168,48 ha en 2003 à 3168,50 ha en 2013), forêts arborées et arbustives, les forêts claires et savanes boisées (de 47423,3571 ha en 2003 à 41249,8799 ha en 2013) sont en nette régression. Les activités agricoles, l'exploitation forestière, le pastoralisme, le démarrage de pluie tardif et la fin de pluie précoce ont été perçus par les populations locales comme des déterminants de la dynamique de la végétation et de la variabilité climatique.

Mots clés : Variabilité dynamique, végétation, climat, implications, confluence, Ouémé-Okpara

## ABSTRACT

The vegetation that was the subject of this study is under climatic and anthropic pressures. The objective is to study the relationship between climatic variability and the spatio-temporal dynamics of vegetation in the Oueme-Okpara confluence area and its explanatory factors. The methodological approach adopted is based in a first phase on the collection of data, in particular documentary research, extraction of NDVI values from SPOT and MODIS images, climate data and cartographic data. In addition, surveys were carried out among 170 households to assess community perception of climatic fluctuations and vegetation dynamics. The second phase consisted of analyzing data and processing the results by statistical protocols (homogeneity test, Pearson correlation, centered standard deviation, VCI and ICN).

The interannual variability of rainfall over the period 2003-2010 indicates a downward trend compared to 2003 as a surplus year. On the decadal scale, the great season is characterized by a beginning of the rains in the first decade of March until the third dekad of July and the small season which starts from the third dekad of August to The first dekad of the month of October. It should be noted that the maximum rainfall was recorded in the first dekad of September with 202 mm and the minimum value in the third dekad of December with 18.3 mm recorded. NDVI's inter-annual NDVI profile is comparable to the rainy season and is strongly correlated between the cumulative rainfall and NDVI (mean and maximum). The polynomial regression allowed to identify three phases of growth of NDVI (of slow, rapid and decreasing growth). Of the four sites (1; 2; 3; 4) selected to assess the relationship between NDVI-Rain, Site 3 was the site that recorded the maximum NDVI value of (0.9895) in the first dekad of Month of October of 2003 and a value of 0.8619 in 2013. The correlation between NDVI-Rain was globally stronger in 2003 compared to the year 2013. Indeed, the rain-NDVI relation is globally important for the sites N ° 2 in 2003 and N ° 4 for the year 2003. At site 2 (point of confluence) the link between Rain-NDVI average is 0.75; of 0.54 for Minimum -NDVI Rain and 0.74 for Maximum Rain-NDVI. As regards the year 2013, Site No. 4 is characterized by an average NDVI rainfall correlation is of the order of 0.54; Maximum NDVI rain of the order of 0.58. With regard to the determinants of the dynamics of the vegetation, there is a regression of plant formations. These soil units experienced dynamics during the study period. Units such as mosaics of fields and fallow land (from 54641.16 ha in 2003 to 65403.879 ha in 2013) and agglomerations (254.74 ha in 2003 to 324.452922 ha in 2013) have evolved progressively While dense forests, forest galleries and marshes are relatively stable (3168.48 ha in 2003 to 3168.50 ha in 2013), tree and shrub forests, light forests and wooded savannas (from 47423.3571 ha in 2003 to 41249.8799 ha in 2013) are clearly in decline. Agricultural activities, logging, pastoralism, late rainfall and early rainfall were perceived by local populations as determinants of vegetation dynamics and climate variability.

Key words: Dynamic variability, vegetation, climate, implications, confluence, Ouémé-Okpara

## INTRODUCTION

L'évaluation et le suivi de la dynamique des ressources mondiales, ainsi que l'étude des menaces écologiques liées aux changements globaux, sont devenus des préoccupations prioritaires pour la communauté scientifique internationale (Hountondji, 2008 ; GIEC, 2013). Dans les régions subsahariennes, la pluviométrie est le principal facteur limitant pour le fonctionnement des écosystèmes et pour le développement des pratiques agricoles (Marteau, 2006). Ces milieux sont, à la fois, très sensibles à la variabilité climatique et à l'anthropisation liée aux problèmes de surpâturage (Hervé, 1998 ; Wessels *et al.*, 2004). Les faibles quantités précipitées et la mauvaise répartition dans l'espace et dans le temps des pluies fragilisent l'écologie de ces milieux. De plus, la dynamique de la végétation naturelle, de la production des pâturages et des rendements des cultures présentent une forte dépendance à la disponibilité en eau dans le sol au cours d'une année. Les fluctuations climatiques récentes se traduisent par une réduction de la pluviométrie qui accélère la dégradation du couvert végétal et l'érosion des sols, déclenchant les mécanismes de désertification (Van derWef *et al.*, 2004 ; FAO, 2010 ; Leplay, 2011 ; Awa, 2013). La sécheresse sévère et généralisée qui a touché l'Afrique de l'Ouest au cours des années quatre-vingts représente le plus fort signal climatique observé sur terre depuis que des mesures météorologiques sont disponibles (Goutorbe *et al.*, 1997). L'explication de ce phénomène reste encore à fournir. La difficulté à trouver une réponse convaincante au mécanisme de dégradation environnementale provient du fait que nos connaissances sur les processus de dégradation des couverts végétaux et sur les mécanismes des fluctuations climatiques sont encore bien incomplètes. En Afrique de l'Ouest, se pose le problème de l'impact de la sécheresse depuis la fin des années 1960 (Dai *et al.*, 2004) et celui de la reprise relative des précipitations (Fall, 2006) sur l'état du couvert végétal (Heumann *et al.*, 2007). Les questions des fluctuations climatiques récentes préoccupent les scientifiques et les décideurs politiques en raison de ses conséquences immédiates et durables sur l'environnement (Nicholson, 1990 ; Ogouwalé, 2006 ; Issa, 2012 ; IPCC, 2013). Par ailleurs la diminution du couvert végétal semble être liée à la variabilité du climat mais aussi aux évolutions sociales, économiques et politiques des systèmes ruraux que l'ensemble du continent a connu durant les dernières décennies (Andrieu, 2007).

Au Bénin et particulièrement dans la confluence Ouémé-Okpara, ces problèmes sont plus courants du fait de sa situation géographique qualifiée de zone de transition climatique et de la

pratique des activités agricoles. De même, la caractérisation du régime pluviométrique à partir des séries d'observations disponibles aux niveaux des postes de mesure est difficile du fait de leur faible densité, de leur répartition spatiale non uniforme et surtout le manque d'information sur les pluies sporadiques. Pour pallier ces difficultés, l'idée est de recourir à des méthodes de télédétection qui fournissent des informations en temps presque réel sur les différentes régions d'Afrique où une information de base valable et rapidement disponible est souvent difficile à obtenir. La présente étude vise donc à exploiter les données NDVI issues des images du satellite MODIS TERRA et de SPOT Végétation pour le suivi de la végétation et de la variabilité des précipitations dans la confluence Ouémé-Okpara. La méthode de télédétection basée sur l'indice différentiel normalisé de végétation (NDVI) a été élaborée par Rouse et *al.*(1974) comme un indicateur de référence pour le suivi de l'état de la dynamique du couvert végétal. Cette étude s'intéresse en particulier à la corrélation qui pourrait exister entre le NDVI et la pluie au pas de temps décadaire afin d'étudier l'impact de la variabilité climatique sur l'état de la végétation dans la confluence Ouémé-Opkara. C'est pourquoi le sujet intitulé « Variabilité climatique et dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé-Opkara » a été choisi.

La présente étude, structurée en quatre chapitres, est une contribution aux débats scientifiques sur le lien existant entre la variabilité climatique et la dynamique de la végétation :

- le premier chapitre expose le cadre théorique et géographique du secteur d'étude ;
- le deuxième chapitre met en exergue l'approche méthodologique utilisée ;
- le troisième chapitre caractérise la variabilité climatique et dynamique de la végétation
- le quatrième chapitre présente la discussion des résultats

# CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE ET GEOGRAPHIQUE

Le présent chapitre est consacré à la problématique, aux hypothèses, aux objectifs de l'étude. Il présente également la clarification des concepts, l'état des connaissances et la justification du milieu d'étude.

## 1.1. Cadre théorique

### 1.1-1-Problématique

La relation entre la dynamique des écosystèmes et les fluctuations récentes du climat est devenue de véritable préoccupation majeure tant au niveau des scientifiques que des décideurs. En effet, de populations rurales et urbaines dépendent des services des écosystèmes pour leur besoins fondamentaux (Lykke *et al.* 2004; Ganaba *et al.* 2005; Krohmer *et al.* 2006, Houndagba *et al.*, 2007 ; Abdoulaye, 2015). La production agricole et pastorale, la croissance et l'approvisionnement en produits ligneux et non ligneux dépendent de la productivité végétale (Awa, 2013). Cette productivité végétale à travers sa distribution et leurs comportements saisonniers est influencée par le climat (Courel, 1985). Plusieurs auteurs mentionnent que la variabilité climatique récente a eu des impacts environnementaux importants. Parmi ces impacts, figurent la fréquence des pluies irrégulières, l'augmentation du rayonnement thermique et du régime des vents chauds et secs, la régression et la brièveté de la nébulosité, périodes hivernales plus courtes (Boko, 1988, Afouda, 1990, Houdenou, 1999 , Ogouwalé, 2006). Ainsi, ces différentes conséquences de la variabilité climatique affectent la structure de la végétation, sa composition floristique et son fonctionnement (Féki, 2015). Cette dynamique peut être progressive, régressive ou stable (Jaquin, 2010). Elle s'appuie sur les paramètres biophysiques de la végétation, estimés à partir des données de la télédétection en utilisant des combinaisons linéaires des valeurs de réflectance dans les bandes spectrales du Rouge (R) et Proche Infrarouge (PIR). L'indice de végétation NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (Rouse *et al.*, 1974) est le plus utilisé pour étudier les couverts végétaux. Cependant, la végétation est fortement dépendante de la pluie selon Tucker et Choudhury (1987) qui ont émis l'hypothèse que l'activité photosynthétique de la végétation pourrait contribuer à estimer les précipitations. Or le NDVI caractérise bien cette activité photosynthétique des plantes et représente un bon indicateur pour le suivi de la végétation. Cette méthode indirecte d'estimation de la pluie à l'aide

des données NDVI nécessite néanmoins de pouvoir expliciter les relations entre les deux paramètres.

Au Bénin, la vulnérabilité de la végétation par la forte pression anthropique et de la variabilité pluviométrique actuel, (Oloukoï, 2012, Issa, 2012) imposent une surveillance accrue des écosystèmes. Des tentatives de discrimination des causes de la dynamique de la végétation ont été menées par plusieurs auteurs (Evans *et al.*, 2004; Seaquist *et al.*, 2009; Bégué *et al.*, 2011). Tandis que certaines études mettent plus l'accent sur les effets climatiques, en l'occurrence la pluviométrie (Retzer, 2006; Fensholt *et al.*, 2011); d'autres considèrent les facteurs anthropiques tels que le pâturage intensif, (Eccard *et al.* 2000; Hein, 2006; Hiernaux *et al.*, 2009; Miede *et al.*, 2010), l'expansion agricole et l'exploitation du bois, comme principaux facteurs influençant l'évolution du couvert végétal (Badini *et al.*, 2007; Leblanc *et al.*, 2008; Boulain *et al.*, 2009; Hiernaux *et al.*, 2009). Des divergences subsistent donc tant sur les causes d'évolution du couvert végétal, que sur les méthodes de détermination de ces causes (Hein, 2006; Retzer, 2006; Prince *et al.* 2007). L'Indice de Croissance Normalisée de la végétation (ICN) et l'Indice de Condition de la Végétation (ICV) sont associés aux valeurs de NDVI pour permettre respectivement de suivre la croissance de la végétation et de faire ressortir les anomalies de croissance (retards ou effets de sécheresse) au plan quantitatif (Bajgiran *et al.*, 2008; Jain *et al.*, 2010; Gebrehiwot *et al.*, 2011; Omutte *et al.*, 2012) et la détermination des causes de la dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé- Okpara. Des différentes préoccupations évoquées supra, il se dégage quatre interrogations pour essayer d'étayer le lien entre la variabilité climatique et la dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé-Okpara à savoir :

- ✓ Le NDVI est-il sensible à la variabilité intra et interannuelle des précipitations ?
- ✓ La relation pluie-NDVI présente-t-elle une corrélation spatio-temporelle cohérente ?
- ✓ Quels déterminants influencent la dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé-Okpara ?
- ✓ Quelles sont les perceptions communautaires des mutations climatiques ?

C'est pour répondre à ces différentes questions que le sujet intitulé « Variabilité climatique et dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé-Okpara » a été choisi.

Pour appréhender le sujet, différentes hypothèses ont été émises.

## **1.1-2- Hypothèses de recherche**

L'hypothèse générale est la suivante: la dynamique de la végétation est liée à l'effet combiné de la variation climatique et de la pression anthropique.

De façon spécifique cette étude est fondée sur les hypothèses suivantes :

- ✓ La dynamique de la végétation est liée aux variations climatiques
- ✓ La végétation connaît une régression sous l'influence des activités agropastorales et de l'exploitation du bois dans la confluence Ouémé-Okpara.
- ✓ Il existe des perceptions communautaires sur la dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé-Okpara.

## **1.1-3- Objectifs de recherche**

L'objectif global de cette recherche est d'étudier le lien entre la variabilité climatique et la dynamique spatio-temporelle de la végétation dans la confluence Ouémé-Okpara et ses facteurs explicatifs.

Spécifiquement il s'est agi de :

- ✓ caractériser la variabilité pluviométrique et la dynamique de la végétation à l'aide de l'indice différentiel normalisé de la végétation (NDVI) au cours de la saison pluvieuse de 2003-2013
- ✓ identifier les facteurs explicatifs de l'évolution spatio-temporelle de la végétation dans le milieu d'étude
- ✓ analyser les perceptions communautaires sur les mutations végétales dans la confluence Ouémé-Okpara.

## **1.1.3- Définitions opératoires et clarification des concepts**

### **Phénologie**

La phénologie est l'étude d'événements biologiques périodique dans le monde animal et végétal influencé par l'environnement, spécialement par les changements de température qui découlent du temps et du climat (Schwartz, 2003 cité par Rome, 2009). Egalement, la phénologie peut être

considéré comme l'étude du rôle joué par les climats dans certains phénomènes végétaux et animaux liés aux saisons (migration, hibernation, mue, apparition et chute des feuilles, des fleurs etc.)

### **Dégradation du couvert végétal**

Elle est la diminution ou la disparition progressive de la couverture végétale du fait de l'utilisation des terres et/ou d'autres facteurs naturels et de leurs interrelations (Lambin et *al.* 2001).

### **Stress hydrique**

On assiste à un stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période ou lorsque sa mauvaise qualité en limite l'usage. C'est aussi une agression que subit une plante exposée à un environnement sec, salin ou froid. Sa réaction est caractérisée par une transpiration supérieure à l'absorption d'eau.

### **Dynamisme de la végétation**

Le dynamisme de la végétation est le phénomène par lequel, différentes plantes se succèdent à un même endroit au cours du temps, en fonction des conditions du milieu, et notamment du type de sol ; c'est alors une tendance naturelle des groupements végétaux à se rapprocher du climax (Ozenda, 1982).

### **Variabilité climatique**

La variabilité climatique fait référence aux variations de l'état moyen et d'autres variables statistiques (écart-types, apparition d'extrêmes du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales autres que les phénomènes météorologiques particuliers (steffen et *al.*, 2001 cité par Lecerf,2008). La variabilité climatique est l'un des principaux facteurs qui influence le développement des écosystèmes en fonction des saisons, l'évolution des températures, des précipitations et de l'insolation. Les sécheresses peuvent avoir un impact direct à court terme sur l'occupation du sol et perturber le cycle phénologique des végétaux (Dickin et *al.*, 2008 ;Ji et *al.*,2003 ;Kueppers et *al.*,2008; Lioubimteseva et *al.*, 2005) .

### **1.1.4- Etat des connaissances**

Plusieurs recherches ont été réalisées sur la variabilité climatique et la dynamique des écosystèmes de façon distincte. Cependant une rare littérature existe sur la combinaison de l'étude de la variabilité climatique et de la dynamique de la végétation par le biais des indices dérivés de NDVI comme l'indice de croissance normalisé (ICN) et l'indice de condition végétative (VCI) en relation avec la pluie.

La synthèse bibliographique réalisée dans le cadre de cette étude se rapporte aux études consacrées à l'analyse du changement d'état des écosystèmes et de la variabilité climatique.

#### **Menaces sur la végétation**

Au nombre des menaces sur la végétation relevées par plusieurs auteurs, on peut évoquer celles relatives aux activités humaines. Ainsi, les activités humaines ont engendré une évolution du couvert végétal (Sounon et *al.*,2007 ; Oloukoï et *al.*,2006 ; Rindfuss et *al.*, 2008 ; Noumi et *al.*, 2011; Bokary,2011 ; Arouna et *al.*, 2011, Aboudoulaye, 2015). La dégradation de la végétation et des ressources forestières y afférentes est devenue aujourd'hui l'un des problèmes environnementaux majeurs dans les pays en développement, notamment en Afrique (ONU, 2005). Cette dégradation du couvert végétal contribue largement aux changements globaux car la végétation est l'un des éléments importants du système environnemental.

Fisher *et al.*, (2001) ; FAO (2010) ont souligné que le taux le plus élevé de l'extension spatiale des espaces agricoles proviendrait de l'Afrique et de l'Amérique latine. Ils ont aussi projeté qu'une partie substantielle additionnelle de l'Europe et de l'Amérique du Nord sera emblavée pour le développement agricole, afin de pouvoir faire face aux prochains défis des sollicitations alimentaires. Labani et *al.*,2006 ont évoqué que l'analyse des mutations du couvert végétal contribue à la compréhension de l'orientation des systèmes de production et à la maîtrise des causes pour une meilleure utilisation de l'espace et de l'environnement.

Au Bénin, de nombreux travaux ont été réalisés sur la variabilité climatique et la dynamique de la végétation. La dégradation de l'environnement et des formations végétales au profit des espaces agricoles a été mise en évidence par Borgui et Leffi (1992) dans le versant ouest du cours de l'Okpara. Dans la forêt classée de Touï-Kilibo, Codjia et Gnagna (1993) ont constaté que les superficies des formations denses diminuent au profit des jachères et des espaces cultivés.

Tenté (2000), dans une approche intégrant l'analyse diachronique et la diversité floristique, a étudié la dynamique de l'occupation des terres dans la chaîne de l'Atacora. L'un des aspects de sa conclusion est la dégradation du couvert végétal liée aux facteurs climatique, édaphique, topographique et anthropique. Cet auteur note que le facteur anthropique paraît le facteur déterminant. La population ayant épuisé les formations boisées des vallées s'attaque aux formations saxicoles.

Selon le MEHU (2001 et 2007), « les menaces environnementales sont réelles en raison de la pression agricole ». Agbahungba et Assa (2001) ont montré que les menaces qui pèsent sur les ressources naturelles du Bénin se résument essentiellement à la destruction de l'habitat des espèces animales et végétales à la faveur des activités agricoles et de l'exploitation des produits forestiers non ligneux. Pour la FAO (1999), la couverture forestière du Bénin est passée de 4 923 000 ha à 4 625 000 ha entre 1990 et 1995 soit, une perte de 298 000 ha (6,05 %) en 5 ans.

Adam et Boko (1993) quant à eux, ont noté que la végétation des plateaux du sud-Bénin est dégradée. En effet, de la côte jusqu'à la latitude de Setto, la formation végétale naturelle primaire a pratiquement disparu. Pour Toko et da Matha Sant'Anna (1999) ; Arouna *et al.* (2010), « les activités humaines dominées par l'agriculture constituent les causes majeures de cette dégradation ». C'est dans ce contexte de vulnérabilité agricole, chargé de risques pour l'environnement que N'Douma cité par Tenté (2000) a exposé que la pratique des feux de végétation après le défrichage des champs pour la production agricole a pour conséquences la destruction du couvert végétal, l'érosion des sols et la baisse des rendements agricoles. Cela étant, les manifestations les plus visibles de la dégradation des écosystèmes sont le recul du couvert végétal, l'extension de l'érosion sous toutes ses formes et, à plusieurs endroits, la baisse généralisée de la qualité des eaux des cours et plans d'eaux (Houngbo, 2008). Cependant, les différentes études évoquées supra n'ont point abordé la situation de l'état de la biomasse dans les aires des confluences de nos cours d'eaux. Nonobstant certains auteurs ont présenté des approches de solution pour lutter contre les effets néfastes sur l'environnement.

Mieux, Floret et Pontanier (2001) estiment que les plantations à feuillage vert augmentent la fixation annuelle totale de carbone. Deux processus sont liés à cette augmentation de production de matière sèche. D'une part, l'augmentation de l'évapotranspiration réelle (ETR) induite par les arbres et d'autre part, la plus forte minéralisation de la matière organique du sol induite par le contrôle de la strate herbacée à la fois par les techniques d'afforestation et par l'arbre. Les arbres,

par leur feuillage, protègent le sol du choc des gouttes de pluie, et permettent ainsi de réduire l'érosion. De même, les racines de ces plantes ameublissent le sol et favorisent la remontée des nutriments (action de conducteur de sève) jusqu'au niveau des feuilles. Ces feuilles se décomposent à la surface du sol, ce qui facilite la fertilisation naturelle des terres cultivables (Kotschi, 1990). Dès lors, l'on est en mesure de s'interroger sur l'état de la phénologie de la végétation dans l'aire géographique de la confluence des cours d'eau du Bénin mais plus particulièrement au niveau de l'Ouémé- Okpara. Les dernières décennies de la fin du deuxième millénaire ont été marquées par une évolution rapide des climats (GIEC, 1990 ; Olaniran 1991 ; Nicholson, 1998) cités par Ogouwalé (2006). Cette évolution du climat a conduit à des variabilités et changements climatiques ressentis à l'échelle mondiale, qui nécessitent une réponse conséquente (Dimon, 2008). Selon le Rapport mondial sur le Développement Humain (2008), le monde entier s'est trouvé dès lors confronté à l'urgence d'une crise aiguë.

Le climat qui se présente comme une enveloppe, affecte et influence tout sur la terre selon le temps et l'espace. C'est ainsi que sa variabilité a des répercussions sur l'écosystème. Par ailleurs, l'Afrique en général et l'Afrique de l'Ouest en particulier est plus vulnérable à l'évolution des éléments essentiels du climat notamment à cause de certaines de ses caractéristiques physique, socio-économique, les guerres la famine et la pauvreté. Une situation qui la prédispose à être affectée, de façon disproportionnée par les effets négatifs des variations climatiques (UICN – BRAO *et al.* 2003 ; Ogouwalé, 2006 ; GIEC, 2007).

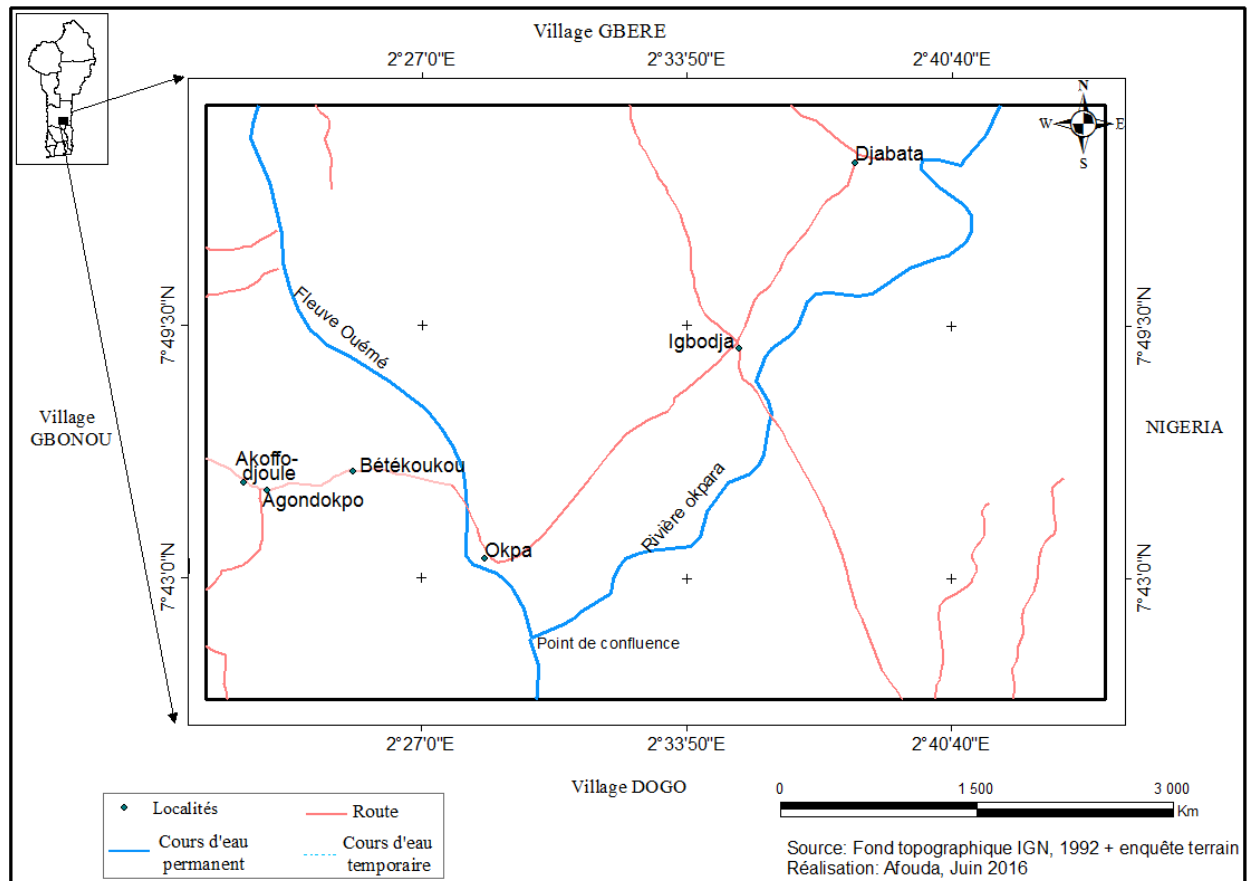
Le dérèglement et les déficits pluviométriques saisonniers enregistrés ont perturbé les cycles culturels, bouleversé le calendrier agricole paysan et rendu non fonctionnelles les normes culturelles empiriques en vigueur chez les populations paysannes (Houndénou, 1999 ; Ogouwalé, 2001).

Issa (1995), dans son étude d'estimation d'impacts potentiels d'un changement climatique dû au doublement du CO<sub>2</sub> atmosphérique sur l'agriculture avait prévu une baisse considérable des rendements des cultures selon les régions (3 à 18 %). Il conclut que la perspective d'un changement climatique n'est pas reluisante pour l'économie béninoise à cause des conséquences qui se résument en : insécurité alimentaire, surexploitation et dégradation des ressources naturelles (sol et forêt) ; migration des populations avec risque de conflits dans la gestion foncière, perte de devise pour l'économie et dégradation de la qualité de la vie.

## 1.2. Cadre géographique

### 1.2.1- Localisation

La confluence de l’Ouémé-Okpara est située entre  $2^{\circ}21'24''$  et  $2^{\circ}44'37''$  de longitude est et  $7^{\circ}39'54''$  à  $7^{\circ}55'9''$  de latitude nord (confère figure 1). Cette aire géographique est partiellement étalée entre les Communes de Kétou , de Savè et de Dassa-Zoumé. Le choix porté sur la confluence Ouémé-Okpara se justifie par sa position géographique d’avant-garde d’une situation d’entrave à la création du barrage hydroélectrique de Dogo-Bis. La disponibilité des terres et les conditions écologiques du milieu favorables à l’agriculture et à l’élevage rendent cette zone attractive. De ce fait, la pression sur les ressources naturelles s’accroît et évolue à un rythme inquiétant, avec pour conséquence une destruction progressive des écosystèmes naturels. Par ailleurs, les tentatives de l’usage de l’hydroélectricité comme énergie renouvelable pour parer aux problèmes actuels d’énergie électrique que rencontre notre pays mériteraient bien d’intégrer le paramètre de comblement des confluences par le sable. Ce phénomène de comblement de sable est potentiellement accentué par la dégradation du couvert végétation.



**Figure 1** : Carte de localisation de la confluence Ouémé-Okpara

L'examen de la figure 1 révèle une importante concentration des agglomérations rurales dans la partie Sud-Est de notre secteur d'étude. La visite sur le terrain nous a permis de constater la pratique d'une forte activité agricole dans la partie sud-ouest par divers groupes socioculturels qui profitent de la proximité des cours d'eau dans leurs installations.

## **1.2.2- Caractéristiques biophysiques**

Cette partie de l'étude prend en compte, le climat, les formations géologiques, les données pédologiques, les formations végétales, le relief et le réseau hydrographique.

### **1.2.2-1. Climat**

L'aire de la confluence de l'Ouémé-Okpara en général subit les influences du climat tropical sud soudanien et celle du climat subéquatorial; ce qui confère à cette aire le caractère du climat de transition. Aussi, l'analyse des données de la station synoptique de Savè a permis de caractériser le climat du milieu. Il est de type intermédiaire entre le climat subéquatorial à caractère pluviométrique bimodal et le climat soudano-guinéen qui se caractérise par une pluviosité de distribution uni modale. Parmi les paramètres qui entrent en ligne de compte dans la compréhension du climat, il y a la pluviométrie, la température, l'humidité, l'insolation, le vent. Cependant, au regard de l'abondance des travaux sur ces paramètres climatiques, seule une brève description a été faite sur ceux-ci excepté le paramètre pluie qui est décrit dans le chapitre trois.

### **1.2.2-2. Température**

Les températures maximales varient en moyenne entre 29 °C en août et 36,7 °C en février. La température maximale suit un rythme annuel bimodal avec deux pics, en février (36,9 °C) et en novembre (34,8 °C). Cette situation s'explique par une forte radiation directe et par la faible nébulosité. Les plus faibles valeurs de la température maximale sont enregistrées en juillet-août. En effet, l'humidité du sol au cœur de la saison pluvieuse diminue le flux de chaleur sensible en augmentant le flux de chaleur latente. Les plus fortes valeurs s'établissent entre 33 °C et 37 °C de novembre à mai. Les températures minimales mensuelles varient entre 21,5 °C en décembre et 23,8 °C en mars. Le rythme annuel de la température minimale est pratiquement unimodal. La première pointe s'observe en mars, suivie d'un fléchissement peu net de mai à juillet en raison de la faible insolation et de la forte humidité du sol. La seconde pointe est à peine perceptible et se situe en septembre.

### **1.2.2-3. Humidité relative, insolation et vents**

L'humidité relative connaît un rythme unimodal avec un maximum en saison pluvieuse et un minimum en saison sèche. Les maxima sont atteints en juillet, août ou septembre tandis que les minima sont enregistrés en janvier ou février. L'humidité relative maximale est toujours supérieure à 80 %. Les plus faibles minima sont inférieurs à 40 % entraînant un pouvoir évaporant de l'air fort. Dans cette période on note la perte des feuilles. La durée annuelle de l'insolation excède 2500 heures en moyenne. Ce secteur d'étude bénéficie de deux types de vent :

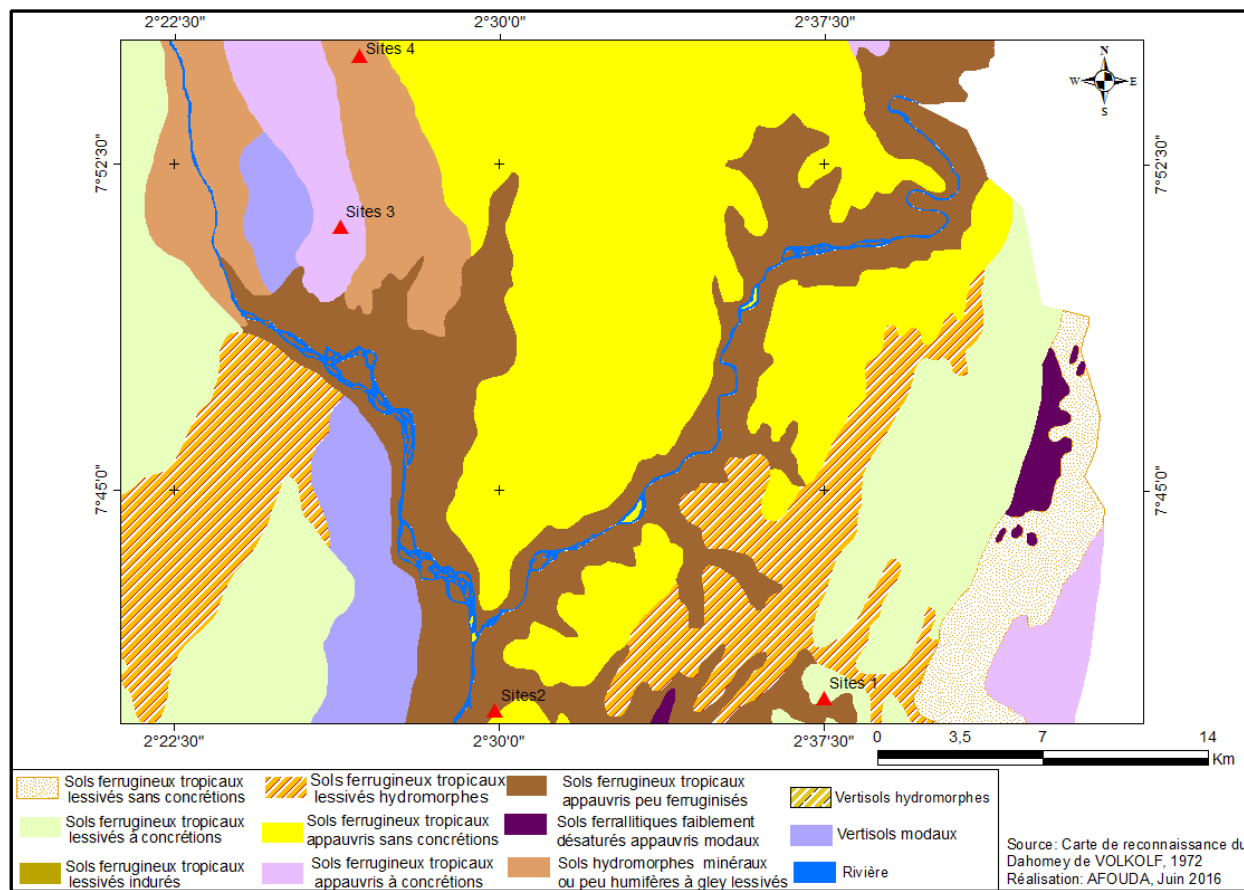
- L'alizé maritime qui souffle d'avril à novembre, de direction Sud-Ouest à Nord-Est avec une vitesse moyenne de 4 m/s en avril-mai et 3 m/s de juin à octobre. La vitesse maximale oscille entre 22 m/s et 30 m/s suivant les mois.

- L'harmattan qui souffle du Nord-Est sur toute la partie septentrionale du Bénin de novembre à mars ; il augmente le déficit de saturation de l'air et favorise l'aridité de la saison ; sa vitesse n'excède guère 2,5 m/s avec un maximum de 12 à 14 m/s.

### **1.2.2-4. Caractéristique pédologique**

Dans la confluence Ouémé-Opkara, on distingue plusieurs types de sols (figure 2). Les sols ferrugineux qui sont de plusieurs ordres à savoir, les sols ferrugineux tropicaux lessivés sans concrétion, à concrétion, indurés, appauvris sans concrétions, appauvris à concrétions, appauvris peu ferruginisés et les sols ferrugineux lessivés hydromorphes qu'on rencontre généralement au niveau des agglomérations de (Djabata, Igbodja ; Okpa dans la commune de Savè). Ils occupent la plus grande proportion en superficie de la zone d'étude soit environ 75 %. Vient ensuite les vertisols et les sols hydromorphes minéraux ou peu humifères avec 24 % de la superficie total. Les sols ferralitiques faiblement désaturés appauvris modaux sont en proportion très réduite et sont concentrés à l'est de la zone d'étude. Ces sols ferralitiques faiblement désaturés ont une teneur en bases échangeables 2 à 8 m pour 100 g degré de saturation soit 40 à 70 % (parfois monte jusqu'à près de 80 %) avec un pH de l'ordre de 5,5 à 6,5. Ces sols ont un profil constitué par une succession d'horizons de texture relativement constante sur toute l'épaisseur du sol; teneur assez faible en matière organique bien évoluée. Sols ferralitiques faiblement désaturés appauvris. Horizon A plus pauvre en argile que l'horizon (B) sans qu'il y ait un véritable horizon d'accumulation (indice d'appauvrissement au moins de 1/1,4). Par ailleurs, les sols hydromorphes

sont rencontrés dans la majeure partie du long des cours de l’Ouémé -Okpara. Cette influence locale imprime, des traits particuliers d’individualisation dont les sols hydromorphes observables le long des vallées de l’Ouémé et de l’Okpara et qui se concentrent autour de la confluence jonction de ces cours d’eaux entre les trois communes.

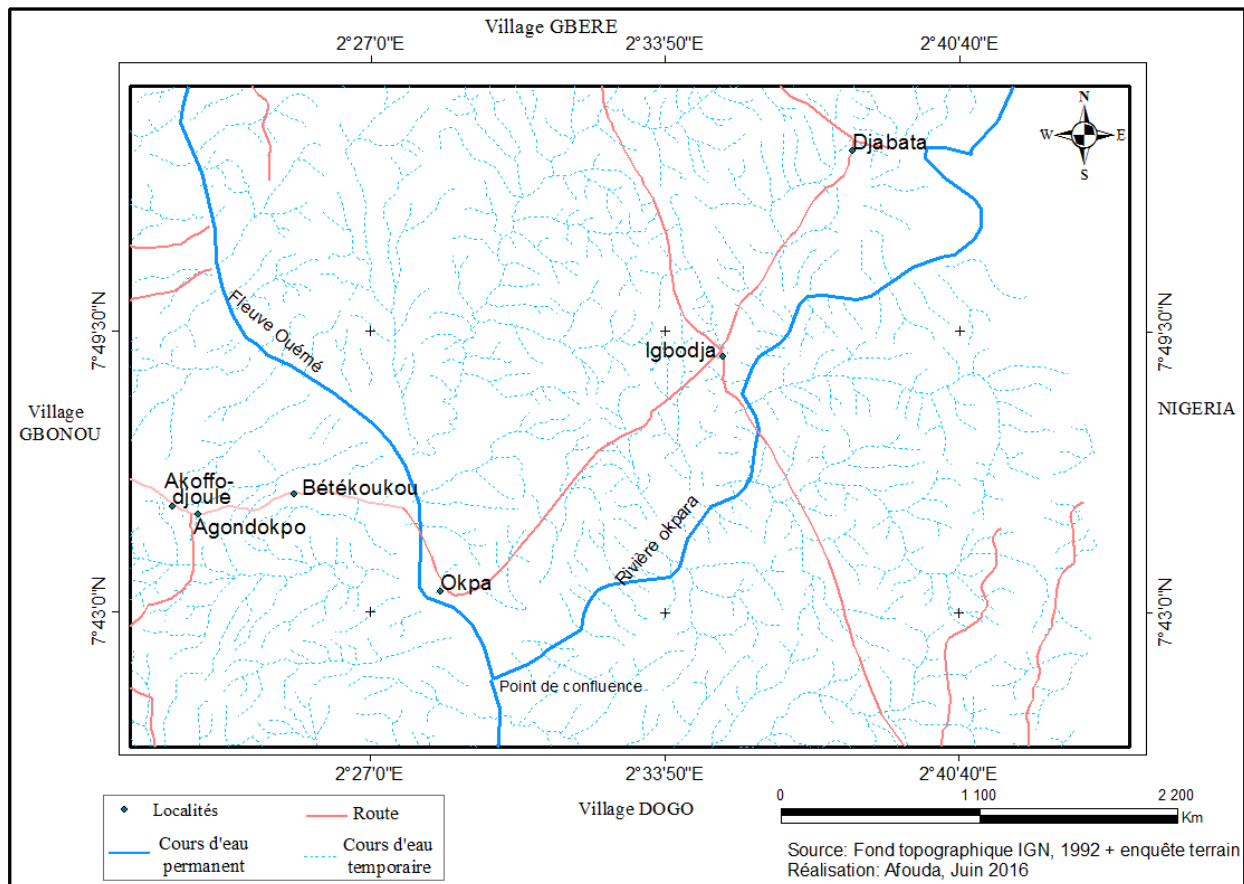


**Figure 2** : Pédologie de l’aire de la confluence Ouémé-Okpara

La figure 2 révèle une pluralité de sols conférant ainsi à cette aire une potentialité agricole favorable à une diversité de culture et de végétation. Les sols ferrugineux tropicaux appauvris sans concrétions occupent une bonne partie de l’aire étudiée, suivi d’une variabilité de sols non moins important. Cette trame de sol est traversée par un réseau hydrographique et une végétation conséquente.

### 1.2.2-5. Réseau hydrographique et végétation

Le réseau hydrographique de l'aire de la confluence Ouémé-Okpara est composé en majorité de cours d'eaux temporaires coulant dans une entaille étroite par endroit. Les deux principaux cours d'eaux sont ceux du cours principal de l'Ouémé et la rivière Okpara (confère figure 3). Ces deux cours d'eaux sont situés respectivement à 12 km et à 24 km du centre-ville de Savè. La plupart des cours d'eau convergent leurs eaux vers la confluence qui représente l'un des points nodaux des eaux provenant du nord. Notons qu'au niveau de ces cours d'eaux se trouvent des forêts galeries. Ces galeries situées sur l'aire dans la confluence résistent mieux à la sécheresse et constituent de ce fait des lieux d'attrait des transhumants pour abreuver et faire paître les bétails, dans un contexte d'absence de retenue d'eau pour alimenter les animaux. La forêt classée de l'Ouémé-Boukou dans l'arrondissement d'offè (commune de Savè) avec une superficie de 20500 ha constitue la plus grande réserve forestière de notre zone d'étude. Cependant, elle connaît de réelles menaces du fait des activités de production de bois d'œuvre, de bois énergie et du charbon de bois (DG-énergie, 2012). Par ailleurs, la physionomie générale correspond aux formes des savanes guinéo-soudanaises avec de grands massifs forestiers par endroit. On y rencontre également les formations de plantation et les forêts claires ou savanes boisées dans les zones de Igbodja, Okpa et avec des essences comme *Pterocarpus erinaceus*, *Daniellia oliveri*, *Terminalia avicennioides*, *Parkia biglobosa*, *Vitellaria paradoxa*, *Prosopis africana*. Ces formations sont associées aux mosaïques de champs et ou jachères. Les principales cultures du milieu d'étude se présentent comme suit : le maïs (*Zea mays*), le coton (*Gossypium herbaceum*), l'igname (*Dioscorea alata*), le manioc (*Manihot esculenta*), le niébé (*Vigna unguiculata*.)



**Figure 3 :** Carte du réseau hydrographique de l'aire de la confluence Ouémé-Okpara

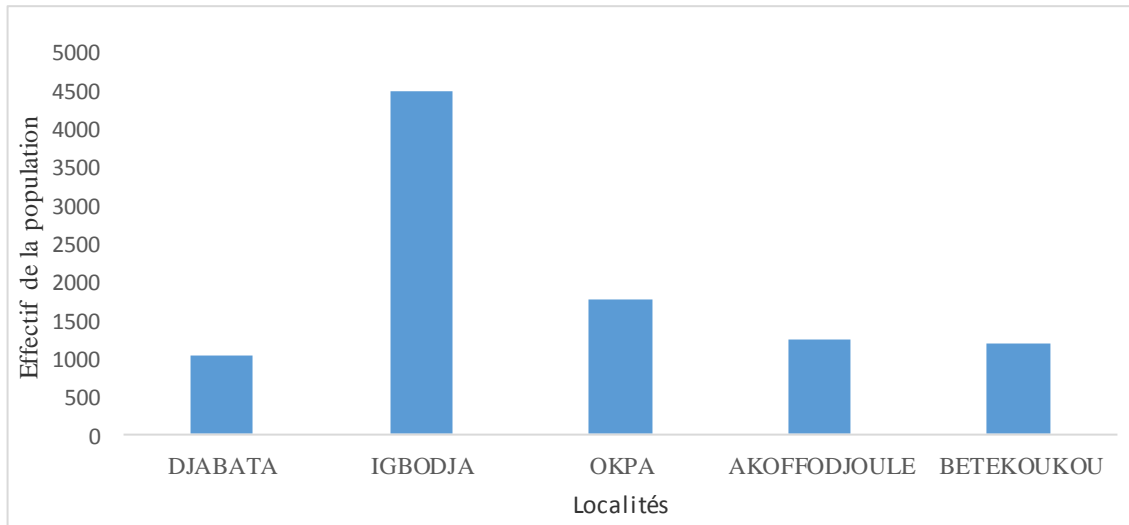
Le couvert végétal est généralement dominé par la savane arborée et arbustive riche en espèces herbacées à l'intérieur de laquelle apparaissent *Daniellia oliveri*, *Afzelia africana*, *Adansonia digitata* qui dominent nettement les espèces herbacées. Cette formation arbustive et herbeuse est souvent le résultat du nomadisme culturel. Ses savanes en générale requièrent en leur sein une diversité floristique non négligeable. Différents types de strates végétales sont notés, on a : les forêts galeries, les forêts denses sèches, les forêts claires et savanes boisées, les savanes arborées et arbustives les mosaïques de culture et de jachères, les savanes arborées et arbustives et les savanes arborées et arbustives saxicoles (Djojouhouin, 2010). A ces formations s'ajoutent les agroécosystèmes (champs et jachères et des plantations villageoises) au niveau des villages tels que : Okpa, Igbodja, Djabata, Akoffodjoulé et Bétékougou.

Dans les autres localités de l'aire de la confluence, on note également une grande variété de formations végétales allant de la forêt semi-décidue à la savane claire très ouverte. Dans les bas-fonds le long des marigots se rencontrent des forêts galeries. Aussi on note dans le nord du

secteur d'étude, la présence de savane soudano guinéenne plus ou moins dégradée par le feu et la coupure d'arbres à des fins économiques. L'état de santé de ses différentes formations varie d'un endroit à l'autre.

### 1.2.3- Facteurs humains et Activités

La démographie du milieu est assez mouvante avec une population dynamique et très active dans les activités agricoles, élevages, le commerce la pêche.



**Figure 4 : Répartition démographique du secteur d'étude**

L'examen de la figure 4 montre que la répartition de la population dans notre secteur d'étude est inégale. La localité d'Igbodja représente la plus importante en termes de localité à plus fort effectif. L'agriculture est la principale activité exercée dans cette aire d'étude et occupe près de 80 % de la population. La portion de la Commune de Kétou qui est intégrée dans ce secteur d'étude est occupée essentiellement par les mosaïques de champs et de formations végétales et donc moins pourvue en agglomération. Les principales cultures dans la confluence Ouémé-Okpara sont constituées de céréales, les tubercules et légumineuses. L'élevage, la pêche, l'exploitation forestière, et le commerce sont les autres activités pratiquées dans cette aire géographique.

## **CHAPITRE II : APPROCHE METHODOLOGIQUE DE L'ETUDE**

Le présent chapitre expose les différents types de données, les techniques de collecte de ces données et leurs utilités, ainsi que les méthodes utilisées pour chaque objectif spécifique.

### **2-1- Matériels et outils**

Les matériels et logiciels qui ont été utilisés se présentent comme suit :

- ✓ un appareil photographique pour la prise de vue
- ✓ un GPS pour la prise de coordonnées sur le terrain
- ✓ logiciel Arc GIS 10.3 pour le calcul des paramètres de NDVI, la cartographie thématique et les analyses SIG.
- ✓ ENVI 5.1 pour le traitement des images SPOT VEGETATION et MODIS (composition colorée, amélioration du contraste, le mosaïque, extraction de la zone d'étude, la classification, la validation).

### **2-2- Acquisition des données et méthodes**

Elle est subdivisée en deux phases, la première phase a consisté à la recherche documentaire et l'enquête de terrain et la deuxième phase a été consacrée aux principales données de NDVI et pluie.

#### **2-2-1. -Recherche documentaire**

Cette partie a permis de faire une revue des documents qui cadrent sur le thème d'étude par des recherches sur Internet, des documents au niveau du CENAGREF, au centre de documentation de la FLASH (Thèses, mémoires, livres et articles) et une recherche d'informations sur l'Indice de Végétation à Différence Normalisée abrégé en anglais (NDVI) et sur ses dérivés ( ICN, et VCI), sur la télédétection et sur les satellites d'observation de la terre pour comprendre les transferts des informations depuis les capteurs des satellites jusqu'à leur traitement. Cette partie a été consacrée à une identification et un recensement des informations existantes sur le sujet ainsi que le milieu d'étude. Cette phase a permis de faire une synthèse bibliographie relative au sujet et d'appréhender les méandres d'informations relatives au milieu d'étude. A cet effet, plusieurs centre de documentation ont été parcouru dont le Ministère de l'environnement, le centre de

documentation de la Flash de l'Université d' Abomey-Calavi, l'Institut Géographique National (IGN-Bénin), l'INSAE, l'ASECNA. Il a été également associé la documentation numérique disponible sur internet, etc.

### 2-2-2- Enquête de terrain

Elle a eu pour but de faire en général une connaissance sur la variabilité climatique en questionnant les paysans et en observant les types de végétations rencontrées, le relief du terrain, les diverses occupations de sol (les vertisols, les sols ferralitiques, les sols ferrugineux).

Le choix des personnes à enquêter repose sur les critères suivants :

- ✓ être une personne de la localité
- ✓ être une personne ressource
- ✓ être un acteur agricole de confluence Ouémé-Okpara
- ✓ être un acteur de l'exploitation forestière

Dans l'impossibilité d'interroger toute la population, un choix aléatoire des personnes à enquêter a été opéré à l'aide de la formule de Schwartz (1995) :

$$X = z\alpha^2 \times pq/i^2$$

X= taille de l'échantillon=

$z\alpha^2$  = niveau de confiance à 95% (valeur type de 1,96)

p= proportion estimative des ménages agricoles 80%

i=marge d'erreur que l'on est prêt à accepter en décima 6% (0,06)

Le tableau I présente le nombre de ménage à enquêter par village par le biais du chef de ménage ou son représentant désigné.

**Tableau I** : Nombre de ménages enquêtés

Localités enquêtées	Nombres de ménages interrogés par quota	Nombre de ménages
Djabata	16	167
Igbodja	76	740
Okpa	30	316
Akoffodjoulé	24	222
Bétékougou	24	225
<b>Total</b>	170	1670

La deuxième phase est axée sur les variables pluie-NDVI de l'étude telle que indiquée supra

### **2-2-3- Constitution des données de l'étude et méthodes**

Deux types de données ont été constitués dans cette partie : il s'agit des données climatiques et les images SPOT végétation et MODIS pour l'extraction des valeurs de NDVI et les images Landsat ETM+ pour l'analyse de l'occupation des terres.

#### **2-2-3-1-Données climatiques et méthodes**

##### **❖ choix des stations**

Pour extraire les données de qualité, un travail préalable a été effectué par un choix des stations pluviométriques, puis de contrôler les données de pluie de ces stations par des méthodes statistiques (tests d'homogénéité) par l'emploi des méthodes classiques de la moyenne mobile. Elles ont été organisées par la suite en données journalières, décadaires ou annuelles selon la tâche à faire. Pour caractériser le changement et la variabilité climatique de la zone d'étude, les paramètres climatiques à savoir la pluviométrie, les températures, les vents, et l'évapotranspiration (ETP), des pas de temps (annuel, mensuel et journalier) ont été collectés à l'ASECNA. Les données climatiques collectées que sont les statistiques des températures, des vents, et de l'évapotranspiration, sont celles des stations synoptique de Savè et poste de Kétou couvrant la période de 1981 à 2012 qui respecte les critères de choix définis ci-dessous :

- ✓ de la qualité des données ;
- ✓ de la longueur de la chronique
- ✓ de sa position géographique par rapport à la zone étudiée

Le tableau II ci-après montre les différentes coordonnées et altitudes de ces stations choisies

Tableau II : Présentation des types des stations et données climatiques identifiés

Domaine	Station	Altitude	Latitude Nord	Longitude Est	Type de station	Types de données
Transition entre le domaine subéquatorial et soudanien	SAVE		08°10'	02°	Synoptique	ETP, températures, hauteurs de pluies
	DASSA-ZOUME	155	07°45'	02°10'	Pluviométrique	Hauteurs de pluies
	KETOU	118	7°21'	2°36'	Pluviométrique	Hauteurs de pluies

Source des données : ASECNA, 2016

Cependant ces données des différentes stations ont été soumises à un test d'homogénéité et seule la station de Savè a été retenue.

#### ❖ Test d'homogénéité des séries de pluie

Nous avons utilisé la méthode de la moyenne mobile pour tester l'homogénéité des séries de pluie. C'est un contrôle qualitatif des données sur un nombre n d'années et intrinsèque à chaque station. Elle s'applique à une station dont la série présente une continuité de mesures sur au moins 20 ans. Elle part du principe que la pluviométrie annuelle est une variable aléatoire indépendante dont la loi de probabilité est constante dans le temps. L'échantillon obtenu par les mesures ne doit donc pas présenter ni tendance, ni phénomène cyclique, ni discontinuité. La moyenne mobile a pour effet d'amortir les variations brusques, d'éliminer les valeurs extrêmes. Les moyennes mobiles sont calculées à partir des données pluviométriques annuelles  $P_j$  ; pour une année i, on a :

$$M_i = \frac{1}{2n + 1} \sum_{j=i-n}^{i+n} P_j$$

$M_i$  est la moyenne des (2n+1) valeurs entourant l'année i.

A la suite de ces contrôles, la station de Savè a été choisie pour servir de levier d'analyse avec l'indice différentiel de végétation normalisée.

### ❖ Méthode d'analyse de la variabilité pluviométrique

Pour déterminer la variabilité pluviométrique sur la série 1981-2012, le calcul de la moyenne arithmétique a été fait suivant l'équation 1 :

**Equation 1 :**  $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$  Avec  $x_i$  la variable pluie au cours d'une période donnée et  $\bar{x}$  la

moyenne arithmétique

Cette moyenne arithmétique est considérée comme la situation pluviométrique normale de la série. Les tendances pluviométriques et thermiques interannuelles ont été déterminées en utilisant la formule de l'équation 2 :

**Equation2:**  $\lambda = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$

Avec :

$x$  = est la valeur annuelle des précipitations ;

$\bar{x}$  = est la moyenne de la série pluviométrique (1981-2012) ;

$\sigma$  = est l'écart type de la série ;

$\lambda$  = valeur centrée réduite.

L'écart type a permis de mesurer le degré de variabilité et la dispersion autour de la valeur centrale, il s'obtient en cherchant la racine carrée de la variance.

$\sigma = \sqrt{V(X)}$  où  $V(X)$  est la variance

Cette méthode a permis de distinguer de manière commode les années humides ou excédentaires et les années sèches ou déficitaires. Ainsi, sont considérées comme années excédentaires les années dont les valeurs centrales sont au-dessus de +1 et comme années déficitaires celles dont les valeurs sont en dessous de -1.

Pour mettre en évidence la variabilité climatique en relation avec la période végétative, une longue série pluviométrique annuelle a été considérée (1980-2012) pour le calcul du Bilan climatique. Le bilan climatique traduit ainsi, en particulier, le rythme des excédents ou des déficits en eau. Il exprime la différence entre la somme des abats pluviométriques et celle de l'évapotranspiration potentielle(ETP) et constitue, lorsqu'il est positif, le surplus disponible pour la recharge en eau du sol (Franquin, 1968 ; Sutcliffe et Piper, 1986).

Il s'exprime par la formule ci-après : **Bc = P - ETP** avec

- Bc = bilan climatique en mm ;

- P = pluie totale annuelle en mm ;
- ETP = évapotranspiration réelle en mm.

L'ETP est définie comme la demande climatique en vapeur d'eau.

- Si  $P - ETP > 0$ , alors le bilan est excédentaire ;
- Si  $P - ETP < 0$ , alors le bilan est déficitaire ;
- Si  $P - ETP = 0$ , alors le bilan est équilibré

### 2-2-3-2- Images satellites : SPOT et MODIS

Plusieurs images reçues ont fait l'objet de téléchargement à savoir les images SPOT VEGETATION et les images MODIS sur divers site telle que [https://lpdaac.usgs.gov/get\\_data](https://lpdaac.usgs.gov/get_data) et Elles ont subi un premier traitement : les données standard MODIS en projection sinusoidale ont été projetées automatiquement à l'aide de l'outil conversion\_toolkit.sav dans Envi 5.0. Enfin ces images ont été analysées par le logiciel Envi et a servi à extraire les valeurs des NDVI (maximale, moyenne et minimale) de chacune des 36 décades des années concernées par l'étude. Le tableau III ci-dessous expose les caractéristiques des données sur les images satellites, climatiques et cartographiques utilisées.

Tableau III: Caractéristique et utilité des données

Données	Echelle / Résolution	Années	Sources	Usages
<b>Cartographiques</b>	1/200000	1976	Carte du Dahomey de WOLKOFF B	Extraction des couches d'information topographique
<b>Images SPOT VEGETATION</b>	1Km× 1 Km	2003 à 2013	Google Earth Vito observation	Complément pour la vérification de la classification et l'extraction d'NDVI
<b>Land SAT</b>	30 m ×30m	2003 et 2013	MSS ETM +	Réalisation de l'occupation de sol
<b>MODIS</b>	250m×250m	2003 2013	<a href="https://lpdaac.usgs.gov/get_data">https://lpdaac.usgs.gov/get_data</a>	Extraction des valeurs de NDVI par Sites

### 2-2-3-2-1-Détermination des valeurs du NDVI des images SPOT Végétation et ses dérivés (ICN et VCI)

#### ✓ Indice différentiel de végétation normalisé (NDVI)

L'indice de végétation repose sur la réflexion du rayonnement solaire par les feuilles dans les bandes visible et proche infrarouge du spectre électromagnétique. La végétation saine a une faible réflectance dans la partie visible du spectre (0,4 à 0,7 µm), car les pigments végétaux (la chlorophylle) absorbent le rayonnement pour la photosynthèse. Elle a une forte réflectance dans le proche infrarouge (0,7 à 1,1 µm), mais la portion réfléchi dépend de la structure cellulaire de la feuille ; plus il y a de feuilles saines, plus elles reflètent le rayonnement. Une feuille mourante ou sénescence a moins d'activité photosynthétique, et l'affaissement de sa structure cellulaire entraîne une augmentation du rayonnement visible et une diminution du rayonnement proche infrarouge. Sa formule est établie par l'équation suivante:

$$NDVI = \frac{PIR - VIS}{PIR + VIS}$$
 où, *PIR* et *VIS* représentent respectivement les réflectances dans les bandes proches infrarouges (0,72 à 1,1 µm) et visible (0,58 à 0,68 µm) du spectre électromagnétique.

Cette équation NDVI tire avantage des caractéristiques spectrales prononcées de la surface foliaire à diverses étapes. En calculant le rapport entre les valeurs-images des bandes visible (*VIS*) et proche infrarouge (*PIR*) de l'image satellite, on peut évaluer la vigueur des plantes et la densité des communautés végétales. Il existe diverses méthodes permettant d'étudier les changements saisonniers de végétation à travers des images satellites, l'une d'entre elles consistant à appliquer des indices de végétation associés à l'intensité de vert (Chuvieco, 1998).

D'après la littérature, l'extraction des valeurs du NDVI d'un pixel à partir d'une image spot végétation se calcul par le protocole statistique suivant :

$$NDVI = \text{Pente} * \text{Code Numérique} + \text{Interception}$$

**La pente** représente la déviation minimale du capteur ; elle varie selon le type d'image à analyser ; dans notre cas elle vaut 0,004. C'est le rapport du nombre minimal sur le nombre maximal de valeur que peut avoir une image codée sur 8 bytes. Soit  $1/256 = 0,004$

**Code Numérique (CN) :** il est appelé aussi Compte Numérique ou Digital Number (DN) c'est une valeur entière comprise entre 0 et 255 (codage de l'information énergétique captée par le satellite en 8 bits).

**Interception** est fonction aussi du type d'image à analyser dans notre type d'image (définie par l'utilisateur) elle vaut -0,1

Ainsi on a  $NDVI = 0,004 * CN - 0,1$ .

C'est en fonction des codes numériques des images et des caractéristiques du capteur que le logiciel calcule les différentes valeurs du NDVI. Les valeurs du NDVI calculées par le logiciel sont identiques à celles données par les capteurs des satellites d'observations de la terre car le logiciel ne fait qu'utiliser l'énergie de la cible captée par le radiomètre du satellite.

Le tableau IV suivant donne les différentes valeurs des codes images selon la densité de la végétation.

**Tableau IV : valeurs de NDVI et type de végétation**

CN		Valeurs NDVI	Végétation
DE	A		
70	80	0,18 à 0,22	Végétation très faible
81	95	0,22 à 0,28	Végétation faible
96	130	0,28 à 0,42	Végétation moyenne
131	210	0,42 à 0,74	Végétation plus moyenne
211	251	0,74 à 0,90	Végétation dense

**Source :** (Manual to Visualize and Analyze SPOT5-VEGETATION Images cité par Oyou, 2007)

Les différentes valeurs de NDVI extraites sont enregistrées sur SPOT sous forme de données de synthèse décadaire. Les données de synthèse décadaire (S10) sont disponibles en deux versions S10 et D10. Nous avons utilisé ici les données S10, qui sont obtenues par une technique de synthèse temporelle basée sur la comparaison pixel par pixel de 10 valeurs journalières de réflectance pour en dériver les meilleures estimations dans les canaux rouge et proche infrarouge, à partir desquelles l'indice NDVI est calculé. On obtient ainsi une valeur de NDVI qui doit être la valeur maximale observée dans la période (MVC = *Maximum Value Compositing*). Cette valeur ayant été obtenue et convertie sous forme numérique a permis d'obtenir les valeurs décadaires traduites en graphe du profil de NDVI. Les caractéristiques du profil interannuel du NDVI au cœur des deux saisons de pluies entre 2003 à 2013 sont déterminées pour apprécier le comportement de l'activité chlorophyllienne dans la zone de l'étude.

### ✓ **Indice de croissance normalisée (ICN)**

L'ICN est un indice qui renseigne sur la tendance de la croissance de la végétation, déficitaire ou favorable, à une décade donnée de la saison. L'analyse de l'ICN (Indice de Croissance

Normalisé), permet de classer, sur une échelle de 0 à 100, le niveau de croissance de la végétation par rapport au maximum enregistré sur la période de Mars- Novembre de la Série de données SPOT Végétation 2003 à 2013.

$$ICN = \frac{(NDVI_{dec} - NDVI_{min-abs})}{(NDVI_{max-abs} - NDVI_{min-abs})} \times 100$$

Où NDVI<sub>dec</sub> est le NDVI de la période étudiée ; NDVI<sub>min-abs</sub> et NDVI<sub>max-abs</sub> correspondent aux NDVI minimum et maximum de la période Mars-Novembre, calculés sur la série historique de SPOT Végétation 2003 à 2013.

### ✓ **Indice de condition végétative (ICV)**

EN anglais le « Végétation Condition Index (VCI) », le VCI est un indice qui reflète la distribution climatique et non les différences de végétation dues aux différents écosystèmes. Ainsi il permet de détecter les zones où un retard ou une avance est notée dans la croissance de la végétation.

L'analyse du VCI permet de classer, sur une échelle de 0 à 100, le niveau de croissance de la végétation par rapport au maximum enregistré sur la même décade 2003 à 2013 série de données, ce qui permet de déceler les anomalies phénologiques positives et négatives dans chaque zone.

$$VCI = \frac{(NDVI_{dec} - NDVI_{mindec})}{(NDVI_{maxdec} - NDVI_{mindec})} \times 100$$

Où NDVI<sub>dec</sub> est le NDVI de la période étudiée ; NDVI<sub>mindec</sub> et NDVI<sub>maxdec</sub> correspondent aux NDVI minimum et maximum de la même décade, calculé sur la série historique de SPOT Végétation. Les valeurs de ces deux indices varient entre 0 et 100 ; et selon les écologues, une valeur inférieure à 30 (le tiers du maximum) signifie une situation critique.

### **2-2-3-2-2-Evolution du NDVI -Pluie dans le temps et dans l'espace**

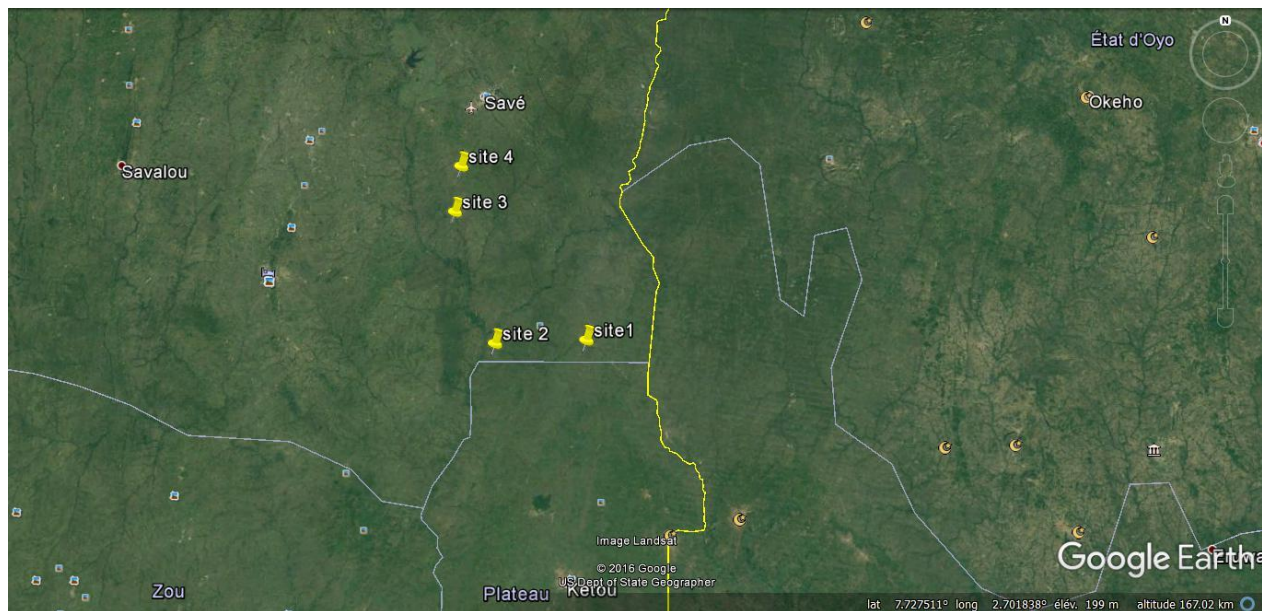
Cette partie consiste à étudier les comportements des profils NDVI avec la pluie dans les pas d'espace définis.

#### **➤ Evolution de la variation spatio-temporelle NDVI et pluie**

La méthodologie adoptée pour l'étude des variations temporelles des NDVI et de la pluie consiste en des représentations graphiques. Pour chaque année de la série de données, on reporte sur un même graphique, en abscisse les décades, en ordonnées les valeurs de pluies décadaires et en ordonnées secondaire les valeurs de NDVI. Une telle représentation permet une observation simultanée de l'installation de la saison des pluies au cours de l'année et de l'évolution du NDVI

#### **❖ Organisation des données**

Une des difficultés de cette étude réside dans le fait que la répartition géographique des stations pluviométriques est indépendante de celle des pixels de l'image considérée. Il se peut que la station choisie puisse se retrouver entre plusieurs pixels. Pour résoudre cette difficulté et voir comment le NDVI évolue en fonction de la zone d'influence autour des stations avec la pluviométrie, nous avons choisi quatre sites (Site 1, site 2, site 3, site 4) voir photo 1 respectivement à proximité des stations de Savè et de Kétou dans un domaine de 1km x 1km (taille d'un pixel). Les pixels contenus intégralement et en partie dans la zone circulaire définie sont pris en compte pour le calcul des différentes classes du NDVI (maximal, moyen et minimal). On extrait du logiciel MODIS les valeurs NDVI de ces zones. Le logiciel permet d'afficher les cartes sous format SHP. On importe ce fichier du logiciel Arc-view qu'on affiche sur une image déjà ouverte dans le logiciel MODIS. On crée par la suite des listes d'images pour les 36 décades de chaque année considérée et grâce à la commande « analyse statistique » le logiciel nous fournit les valeurs NDVI de la carte affichée. On procède ainsi pour avoir les valeurs NDVI pour toutes les années. Nous regroupons les données par année sur une feuille Excel. Dans la feuille nous présentons les données pluviométriques décadaires sur un champ et les champs suivants les données décadaires des NDVI (maximale, moyenne et minimale) et cela pour toutes les années considérées.



**Figure 5** : image satellitaire des sites d'extraction de NDVI

### ➤ **Corrélation NDVI Pluie décadaire cumulée**

Afin d'analyser la relation existant entre l'indice de végétation NDVI et précipitation dans notre zone d'étude, trois indicateurs de NDVI ( $NDVI_{MOYEN}$ ;  $NDVI_{MINI}$ ;  $NDVI_{MAX}$ ) ont été utilisés et sont extraits des images Spot végétation pour les années 2003 à 2013 entre le mois de Mars à Novembre. Les données pluviométriques proviennent de la station de Savè. Les décades retenues pour l'étude de la corrélation sont celles incluses dans la période de la saison des pluies. Une fois les données obtenues la mise en relation a été faite par régression linéaire et par régression polynomiale.

### **Méthode de la corrélation NDVI/pluie**

L'étude de la corrélation statistique a consisté à représenter l'évolution du NDVI en fonction du cumul de la pluie et d'analyser des coefficients de corrélation découlant de la corrélation précédemment obtenue.

De manière pratique la corrélation a été faite en deux tentatives :

- une première qui a pris en compte toute la période de la saison des pluies délimitée par l'étude (Mars à Novembre). Du fait que sur cette période la variation du NDVI en fonction du temps a l'allure d'une courbe en cloche, cette première corrélation linéaire sera appuyée par l'analyse des corrélations polynomiales afin d'identifier la meilleure méthode de corrélation.

- une deuxième tentative de corrélation sera faite par analyse de droite de régression linéaire pour laquelle la période à prendre en compte est celle qui correspond à la partie de la saison des pluies où le profil du NDVI est croissant. Les données de pluie et NDVI ont été regroupées dans un même fichier Excel sous la forme suivante :

Sur chaque ligne, on inscrit le nom de la décade, son numéro, sa pluie décadaire cumulée correspondante, et ces valeurs NDVI (maximale, moyenne et minimale). Le cumul des pluies commence la 1ère décade de janvier cela pour prendre en compte le cumul des pluies décadaires qui précèdent le mois de mars afin de considérer la totalité de pluie tombée pendant l'année. On répète cela pour les autres années de l'étude. Les valeurs NDVI ( $NDVI_{max}$ ,  $NDVI_{moy}$  et  $NDVI_{min}$ ) sont prises comme variables expliquées et les données de pluies décadaires cumulées comme variables explicatives afin de voir des trois valeurs de NDVI celle qui va se corrélérer au mieux à la pluie décadaire cumulée. Tous les calculs ont été faits avec Excel et le logiciel SPSS.

Le protocole statistique du coefficient de corrélation linéaire de Karl Pearson est la suivante :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}}$$

Les  $x_i$  et les  $y_i$  sont les données respectives des variables aléatoires pluie et NDVI (dans notre cas) et les  $\bar{x}$  et  $\bar{y}$  sont leur moyenne respective. On a  $n=36$  pour les 36 décades de l'année. Le coefficient de corrélation est égal à 1 dans le cas où l'une des variables est fonction affine croissante de l'autre variable, à -1 dans le cas où la fonction affine est décroissante. Les valeurs intermédiaires renseignent sur le degré de dépendance linéaire entre les deux variables. Plus le coefficient est proche des valeurs extrêmes -1 et 1, plus la corrélation entre les variables est forte. Une corrélation égale à 0 signifie que les variables ne sont linéairement pas du tout liées. Si les deux variables sont totalement indépendantes, alors leur corrélation est voisine de 0. La réciproque est cependant fautive, car le coefficient de corrélation indique uniquement une dépendance linéaire.

D'autres phénomènes, par exemple, peuvent être corrélés de manière exponentielle, ou sous forme de puissance. Pour mieux comprendre l'intensité du lien entre deux variables aléatoire, on utilise le plus souvent le coefficient de détermination qui n'est que le carré du coefficient de

corrélation ( $R^2$ ). Ce coefficient représente la proportion de la variance de Y qui disparaît si on fixe X (ou vice versa). La variance est une mesure arbitraire servant à caractériser la dispersion d'un échantillon ou d'une population. On la définit comme le carré de l'écart type. Par convention, la relation entre X et Y est:

- parfaite si  $r = 1$  ;
- très fort si  $r > 0,8$  ;
- forte si  $r$  se situe entre 0,5 et 0,8 ;
- d'intensité moyenne si  $r$  se situe entre 0,2 et 0,5 ;
- faible si  $r$  se situe entre 0 et 0,2 ;
- nulle si  $r = 0$ .

### **2.2.3.2.3- Méthode d'analyse de la dynamique de l'occupation des terres**

L'analyse des déterminants de la dynamique de la végétation a été effectuée par la matrice de transition en vue d'apprécier l'état de régression de la végétation dans l'aire de la confluence Ouémé-Okpara.

#### **➤ Matrice de transition**

Elle correspond à une matrice carrée décrivant de manière condensée, les changements d'état des éléments d'un système pendant une période donnée. Les cellules de la matrice contiennent la valeur d'une variable ou d'une unité d'occupation des terres ayant passé d'une classe initiale  $i$  à une classe finale  $j$  pendant la période allant de  $t_1$  à  $t_2$  (Bamba *et al.*, 2008). En effet, la matrice est constituée de  $x$  lignes et de  $y$  colonnes. Le nombre  $x$  de lignes de la matrice indique le nombre d'unités paysagères présentes à la date  $t_1$  tandis que le nombre  $y$  de colonnes de la matrice indique le nombre d'unités paysagères converties à la date  $t_2$ . Quant à la diagonale, elle contient les superficies des unités paysagères restées inchangées (Arouna, 2012). Dans cette matrice, les transformations se font des lignes vers les colonnes. Les superficies de ces différentes classes d'unités paysagères ont été calculées à partir du croisement des cartes de 2003 et de 2013 à l'aide de la fonction « intersect » de la boîte à outils « Arctoolbox » du logiciel Arc Gis 10.3. Les colonnes de la matrice indiquent les états d'occupations des sols en 2003 et les lignes correspondent aux états en 2013.

### ➤ Taux de conversion

Le taux de conversion d'une classe d'unité paysagère correspond au degré de transformation subit par cette classe en se convertissant vers d'autres classes (Arouna, 2012). C'est alors la quantité de changements observés au niveau d'une unité paysagère entre les dates  $t_1$  et  $t_2$ . Il permet ainsi de mesurer le degré de conversion d'une unité donnée en d'autres unités paysagères. Il s'obtiendra à partir de la matrice de transition suivant la formule:

$$T_c = \frac{A_{it} - A_{it_1}}{A_{it}} \times 100$$

$A_{it}$  : Aire de l'unité paysagère  $i$  à la date initiale  $t$  ;  $A_{it_1}$  : Aire de la même unité demeurée stable à la date  $t_1$ .

Les questions posées ont porté sur la perception de l'évolution des écosystèmes en général et du couvert végétal en particulier, des systèmes de production, des causes d'évolution des écosystèmes, sur la perception du changement et variabilité climatique et sur les impacts climatiques ainsi que les stratégies d'adaptation au cours des 11 dernières années. Le traitement des données à savoir, la saisie et le dépouillement, est fait avec le tableur Excel. L'analyse des données, quant à elle, a porté sur des statistiques descriptives à l'aide du logiciel SPSS 21.

### 2.3- Limites méthodologiques

La présente approche méthodologique n'a pas pu prendre en compte une longue série de 30 ans d'image décadaires de NDVI à cause de la disponibilité d'image SPOT Végétation relativement récente et les observations du terrain n'ont point couvert toutes les localités. De même, l'analyse de la relation Pluie-NDVI des unités agricoles n'a pas pu être abordée dans le cadre de cette recherche et mérite d'être prise en compte dans le cadre des recherches futures. Des déterminants économiques de la dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé-Okpara en relation avec les perturbations climatiques récentes n'ont pas pu faire l'objet d'études. Il faut cependant noter que les indices de végétation étant par essence un indicateur de l'activité photosynthétique des plantes, les paramètres majeurs de cette activité comme l'ETP, l'humidité du sol et la nature du sol doivent être pris en compte pour affiner davantage cette relation. Ainsi une étude associant

les paramètres eau- sol-plante doit être menée pour aider à expliquer davantage la relation NDVI pluie. Cela pourra orienter dans l'estimation de la pluie à l'aide du NDVI

La démarche méthodologique adoptée a permis d'aboutir aux résultats présentés dans le chapitre III ci-après.

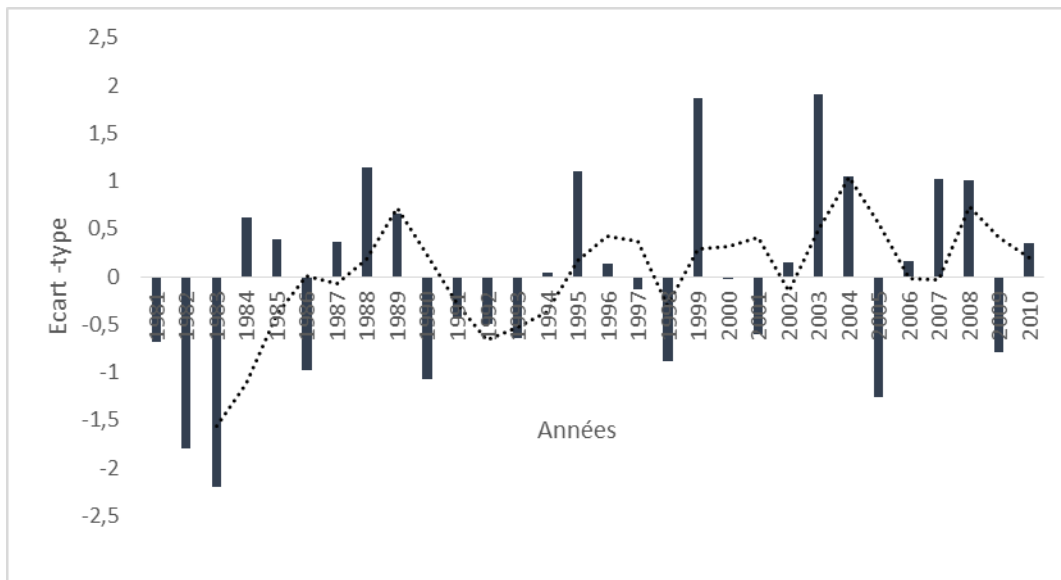
# CHAPITRE III : CARACTERISATION DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE ET DYNAMIQUE DE LA VEGETATION

La caractérisation de la variabilité climatique et de la dynamique de la végétation a été abordée à partir de la variabilité spatio-temporelle de NDVI-pluie, ainsi que les déterminants et perception populaire de la variabilité climatique et de la dynamique végétale.

## 3-1- Variabilité climatique dans la confluence Ouémé-Okpara

### 3-1-1-Variabilité pluviométrique interannuelle dans la confluence Ouémé-Okpara

La pluviométrie est caractérisée par une variation interannuelle mouvante (figure 5 ci-dessous).



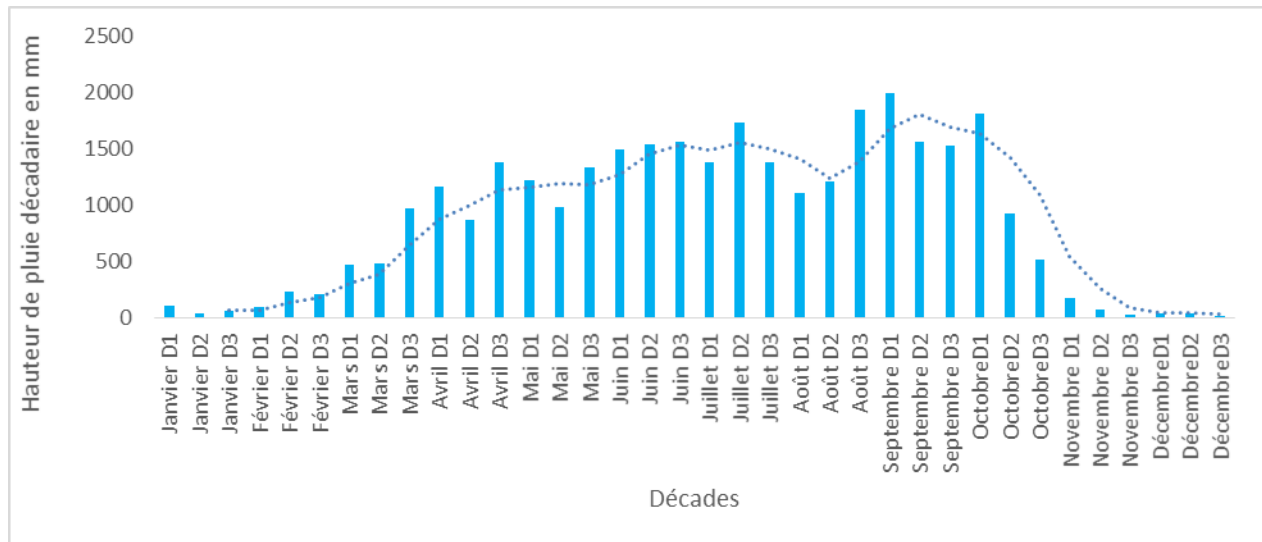
**Figure 5 :** Anomalie pluviométrique dans la confluence Ouémé-Okpara

L'examen de la variation interannuelle de la pluie dans la confluence Ouémé-Okpara de 1981 à 2010 révèle une instabilité pluviométrique sur l'ensemble de la série. Cependant, il faut noter un écart important des années 2003 et 1999 en termes d'années excédentaires comparativement aux années 2005 et 2009 qui sont déficitaires. Par ailleurs la variabilité interannuelle de la pluviométrie couvrant la période 2003-2010 montre une tendance à la baisse par rapport à l'année 2003. Ainsi pour regarder le comportement des pluies durant la période, une analyse à l'échelle décadaire a été faite (voir figure 6).

### 3-1-2- Variabilité pluviométrique décadaire et bilan climatique

L'évolution des hauteurs de pluies de 1981-2010 dans la confluence Ouémé-Okpara

se traduit par la figure 6 ci-après.



**Figure 6 :** Evolution décadaire des hauteurs de pluie dans la confluence Ouémé-Okpara

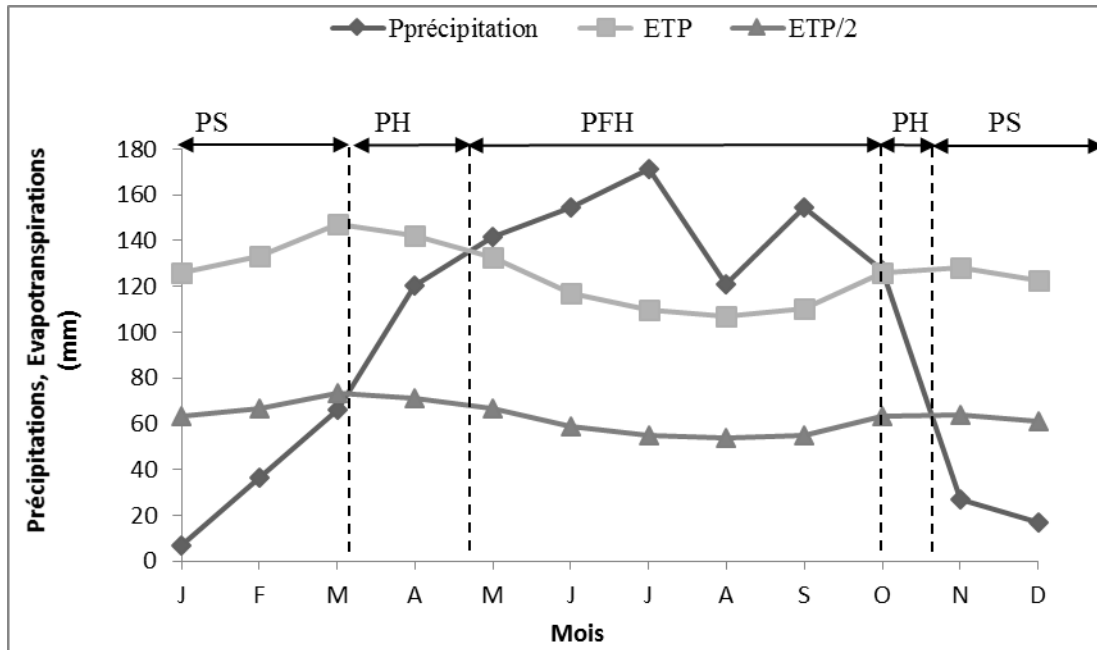
L'examen de la figure révèle deux phases d'abondance de pluie. La première phase qui débute de la première décade du mois de Mars jusqu'à la troisième décade du mois de Juillet et la deuxième phase qui prend départ de la décade 1 du mois d'Août à la première décade du mois de Novembre. Il faut remarquer que la hauteur maximale des pluies a été enregistrée à la première décade du mois de septembre avec 202 mm et la valeur minimale à la troisième décade du mois de Décembre avec 18,3mm enregistrée.

Pour apprécier le stade de croissance de la végétation en fonction de différentes phases des saisons un bilan climatique a été réalisé. Le bilan climatique défini à partir des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle permet de diviser l'année en des périodes d'événements bioclimatiques successifs. Les hypothèses de base définies par Franquin (1969) sont :

- On considère un mois comme humide lorsque son total pluviométrique est supérieur à l'évapotranspiration potentiel ( $p > ETP$ ),

- Un mois est sec, quand son total pluviométrique est inférieur à la moitié de son ETP ( $P < \frac{1}{2} ETP$ ).

- Un mois est intermédiaire, lorsque son total pluviométrique se situe entre la moitié de l'ETP et l'ETP ( $\frac{1}{2} ETP < P < ETP$ ). Pendant les mois secs (Janvier à mars et novembre à décembre), la végétation doit puiser de l'eau dans ses réserves du sol. Si ces réserves sont insuffisantes ou inaccessibles, la plante ne pourra être alimentée jusqu'à ce que revienne une période humide. La sécheresse a ainsi des répercussions sur la nature et la densité du couvert végétal, sur l'écoulement superficiel ou souterrain des eaux. Elle intervient aussi dans la morphogénèse du milieu. La figure 7 présente le diagramme climatique dans la confluence Ouémé-Okpara selon Franquin.



**Figure 7:** Diagramme climatique dans la confluence Ouémé-Okpara (1982- 2012)

**Légende :** PS : Phase sèche ; PH : Phase Humide ; PFH : Phase Franchement Humide

**Source :** ASECNA Cotonou, 2014

L'analyse de la figure 7 révèle que :

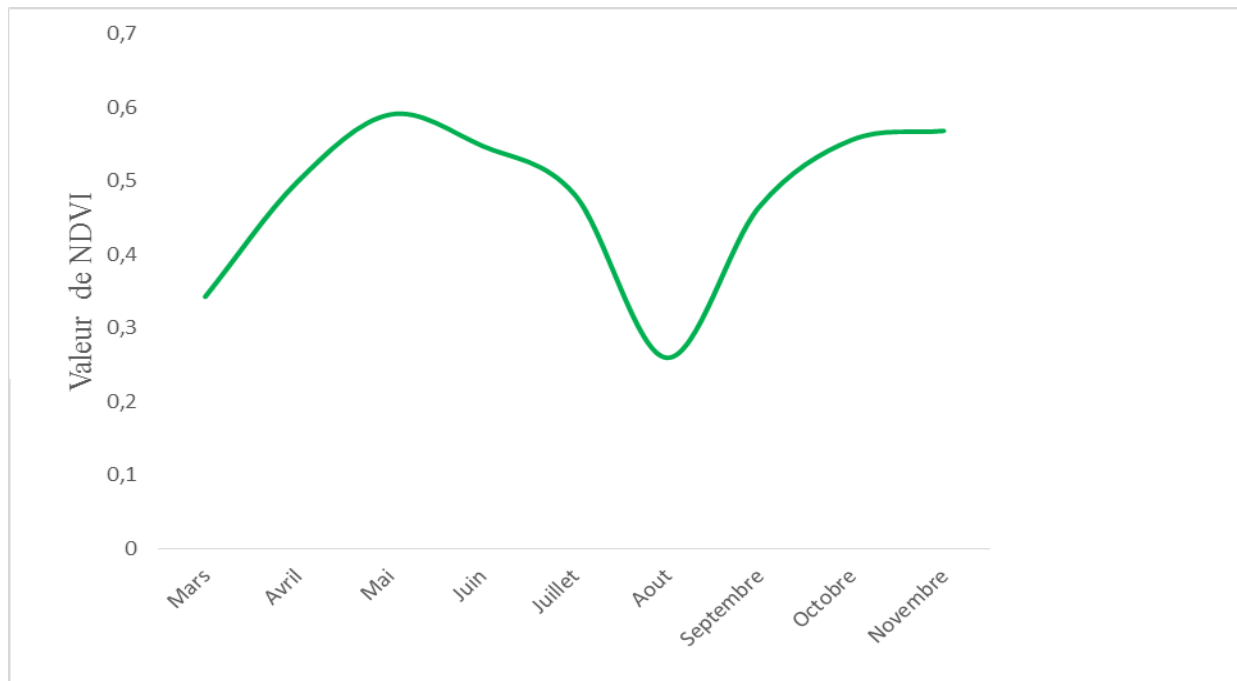
- La période pré-humide s'étend de début mars à la 2<sup>ème</sup> décennie d'avril ( $\frac{1}{2} \text{ ETP} < P < \text{ETP}$ ). Elle correspond à la période avant la saison pluvieuse proprement dite. Les premières pluies sont enregistrées et la végétation pousse à peine ;
- La période franchement humide (pluvieuse) s'étend de la 2<sup>ème</sup> décennie d'avril à fin septembre ( $P > \text{ETP}$ ). Durant cette période, la végétation ne souffre d'aucune limite pour son alimentation hydrique et minérale. Cette période est la plus pluvieuse et les maxima des précipitations sont atteints en juillet et en septembre.
- La période post- humide s'étend de fin septembre à mi - octobre ( $P > \frac{1}{2} \text{ ETP}$ ). Pendant cette période les retenues d'eau et les mares ne sont pas encore asséchées. L'eau est disponible et la végétation atteint sa phase de maturité. Elle est la phase intermédiaire entre la fin des pluies et la saison sèche.
- La période sèche (saison sèche) s'étend de mi- octobre à début mars ; période pendant laquelle la pluviosité est pratiquement nulle ( $P < \frac{1}{2} \text{ ETP}$ ).

En somme, la période active de la végétation est la période durant laquelle la pluviosité  $P$  est supérieure ou égale à  $\frac{1}{2} \text{ ETP}$ ; la réserve en eau du sol restant supérieure à celle du point de flétrissement (Houinato, 2001 cité par Arouna, 2012). La période de la grande croissance ou la période optimale de la végétation est la période au cours de laquelle la pluviosité  $P$  est supérieure à l'ETP (Djogo, 2006) ; la végétation ne souffre d'aucune limitation pour son alimentation hydrique et minérale. Dans l'aire de la confluence de l'Ouémé-Opkara, il s'agit de deux périodes comme l'indique le profil interannuel de NDVI (figure 8), l'une allant de Mars à Juillet et l'autre de la troisième décennie du mois d'Août à la première décennie du mois de Novembre.

## 3-2- Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle NDVI-Pluie

### 3-2-1- Profil inter annuel du NDVI dans la confluence Ouémé-Okpara

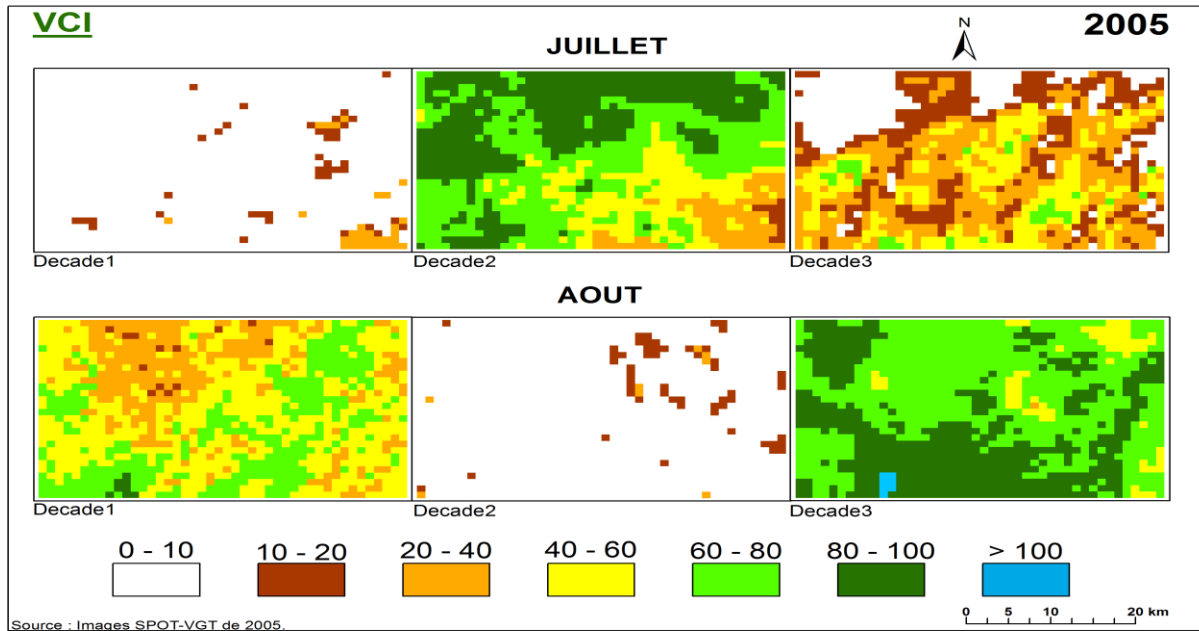
Le profil de NDVI ci-dessous permet de retracer l'évolution de l'activité chlorophyllienne au cœur de la saison pluvieuse dans la confluence Ouémé-Okpara.



**Figure 8** : Profil inter annuel de NDVI de la végétation de 2003 à 2013

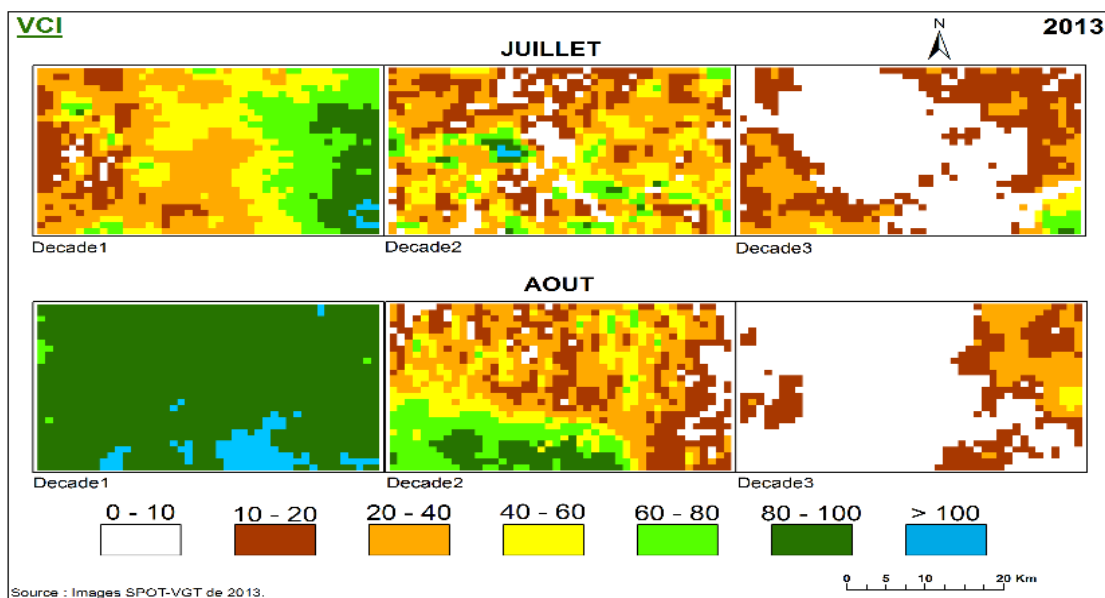
Le comportement interannuel du NDVI montre trois phases de la dynamique de la végétation. L'optimum est obtenu au cours du mois de Mai pour la période de la grande saison pluvieuse avec un taux de croissance moins important qu'à la petite saison des pluies. La valeur des NDVI retrace globalement une croissance du NDVI au cœur des deux saisons de pluies dans l'aire de la confluence Ouémé-Okpara. Cependant la valeur des NDVI du mois d'Août a été considérablement réduite relativement à cause de la réduction de la quantité de pluie en cette période du mois d'Août. Par ailleurs, les indices dérivés de NDVI tels que l'indice de croissance normalisé et l'indice de condition végétale montrent une variabilité spatio-temporelle de la végétation en relation avec les effets climatiques. L'année 2005 ayant été particulièrement déficitaire en terme pluviométrique (confère figure 5), elle a été choisie pour faire objet d'analyse

de la variabilité spatio-temporelle par ces deux indices (ICV et VCI). Ainsi une appréciation à l'échelle décadaire des années 2005 et de 2013, de la dynamique de la végétation en relation avec la pluie est présentée par les figures 9 ; 10 ; 11 et 12 ci-après.



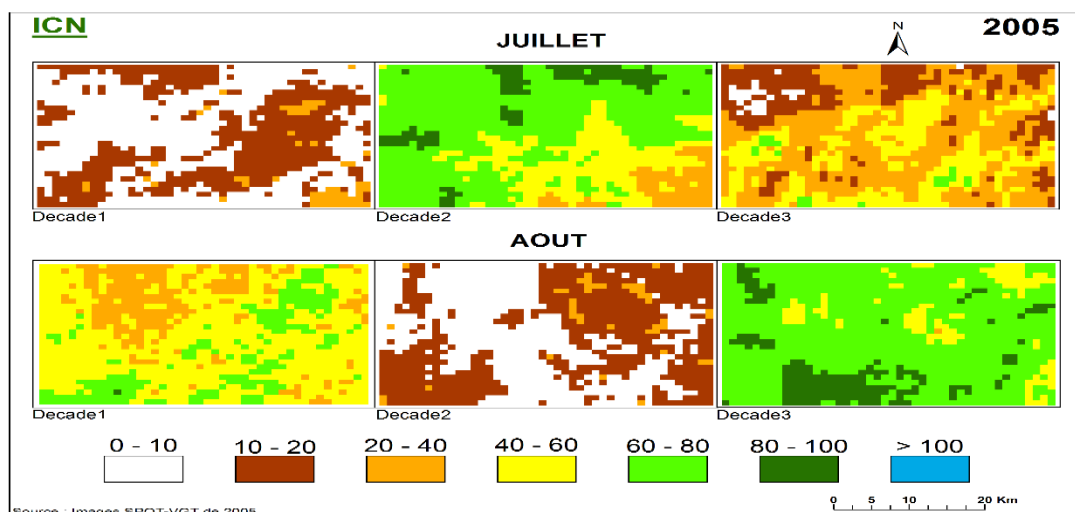
**Figure 9** : indice de condition végétale (VCI) en 2005

L'indice de condition végétale (VCI) est un indice dérivé du NDVI qui permet de détecter les anomalies de l'activité phénologique de la végétation sous l'influence climatique. Lorsque la valeur est inférieure 40 %, alors la décade connaît une condition peu favorable à la croissance de l'activité chlorophyllienne mais à valeur supérieure on note une bonne vigueur de l'activité végétale. Ainsi, il a permis de répertorier un certain nombre de retard quasi global, du début de croissance de la végétation (confère figures 9 et 10) au cours des premières et deuxièmes décades respectivement des mois de Juillet et d'Août de 2005 et 2013.



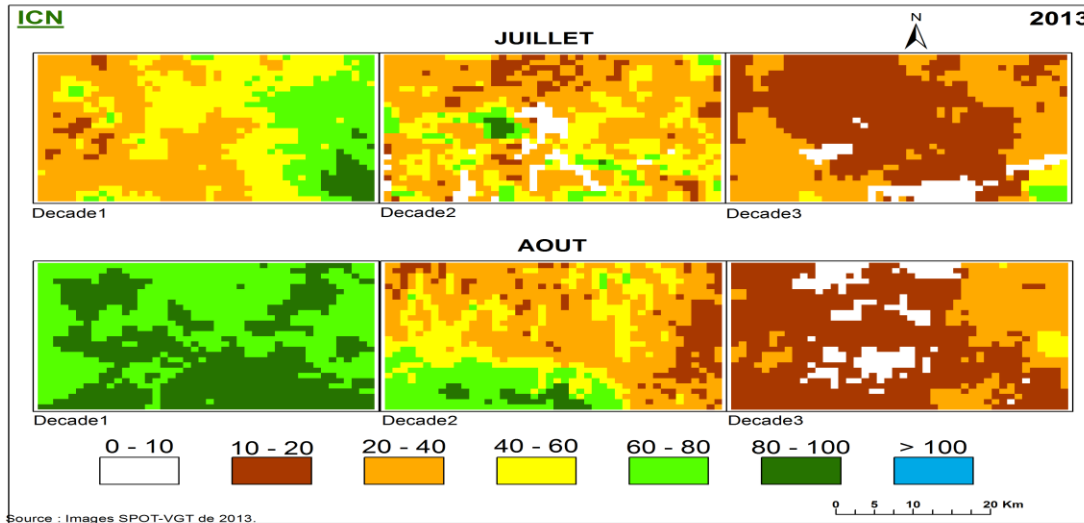
**Figure 10** : Indice de condition végétale de 2013

La troisième décade de 2013 de Juillet et d’Août élucide bien les anomalies dans la croissance de la végétation dans l’aire de la confluence Ouémé-okpara. Cependant les deux premières décades de juillet et d’Août de l’an 2013 sont relativement favorables à la croissance végétale (confère figure 10). Les anomalies dans la croissance végétale au cours des années 2005 et 2013 sont présentées à partir de l’indice de croissance normalisé (ICN) dans les figures (11 et 12) ci-après.



**Figure 11**: Evolution spatio-temporelle de l’ICN en 2005 de la végétation

dans la confluence Ouémé-Okpara



**Figure 12:** Evolution spatio-temporelle de l'ICN décadaire de la végétation dans la Confluence Ouémé-Okpara en 2013

Les résultats de l'analyse de l'ICN (figures 11 et 12) à partir de SPOT VGT, montrent une variabilité spatiale (selon un gradient nord-sud) et temporelle de la croissance de la végétation. Les valeurs faibles observées pour la première décennie du mois Juillet 2005 révèlent exceptionnellement une croissance anormale de la végétation dans la majeure partie du nord-est. Ce qui signifie une mauvaise croissance de la biomasse dans le nord -Ouest dès la première décennie de Juillet, qui correspond à une période critique de développement des plantes. Cette situation peut se traduire par un impact négatif sur les productions agricoles et pastorales de la zone. Par ailleurs, la situation à l'Est du secteur d'étude a été favorable à la croissance de la biomasse de la première décennie au cours de l'année 2013 contre les deux dernières décades.

### **3-2-2- Variations décennales de la pluie –NDVI des formations végétales au niveau des sites (1, 2,3 et 4)**

L'évolution de la relation pluie-NDVI dans les formations végétales des sites 1, 2, 3 et 4 permet d'apprécier le lien et la répartition spatio-temporelle des pluies et la vigueur de l'activité chlorophyllienne à travers l'indice NDVI.

#### ***3-2-2- 1- Présentation des sites N° 1, 2,3, et 4***

Les sites 1, 2, 3 et 4 représentent respectivement les formations végétales dans la confluence et au cœur de la forêt classée de Ouémé Boukou (Tableau VI).

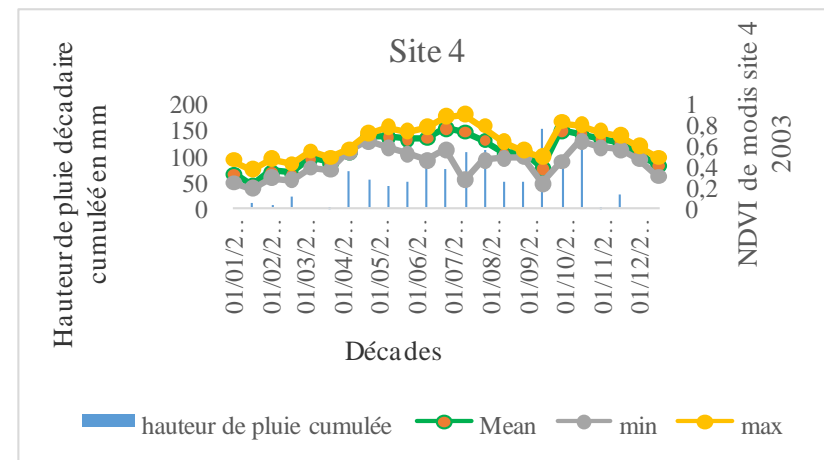
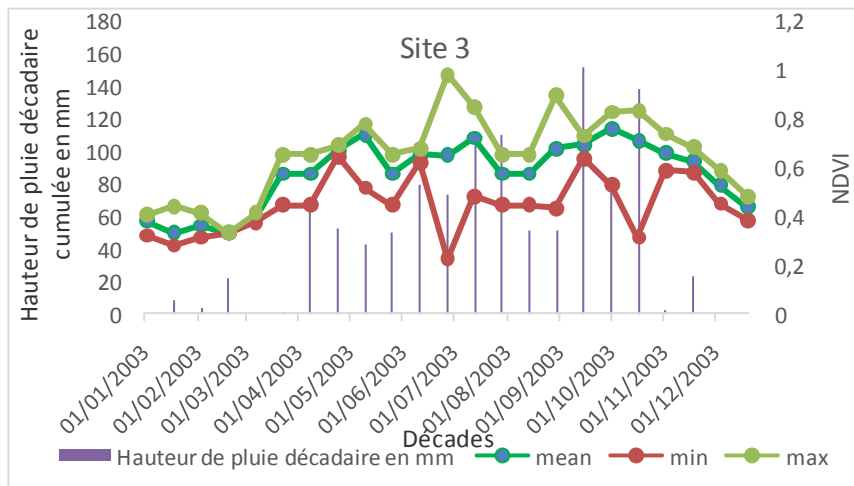
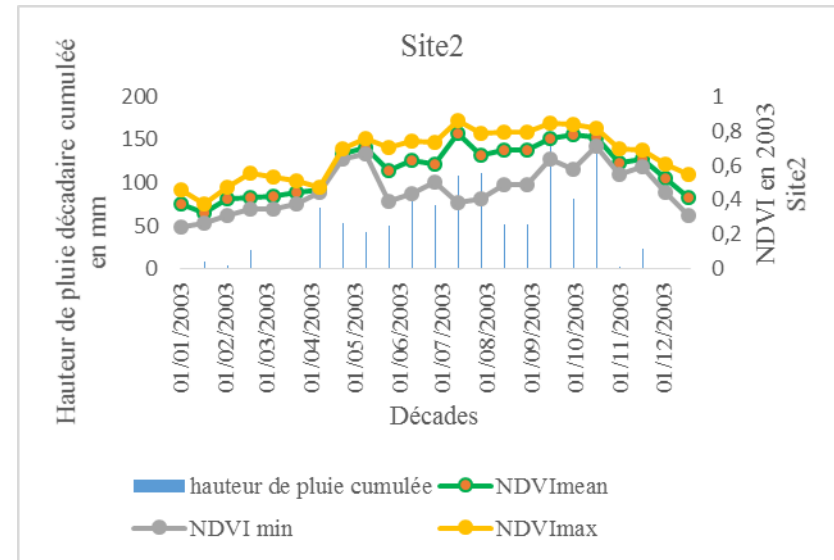
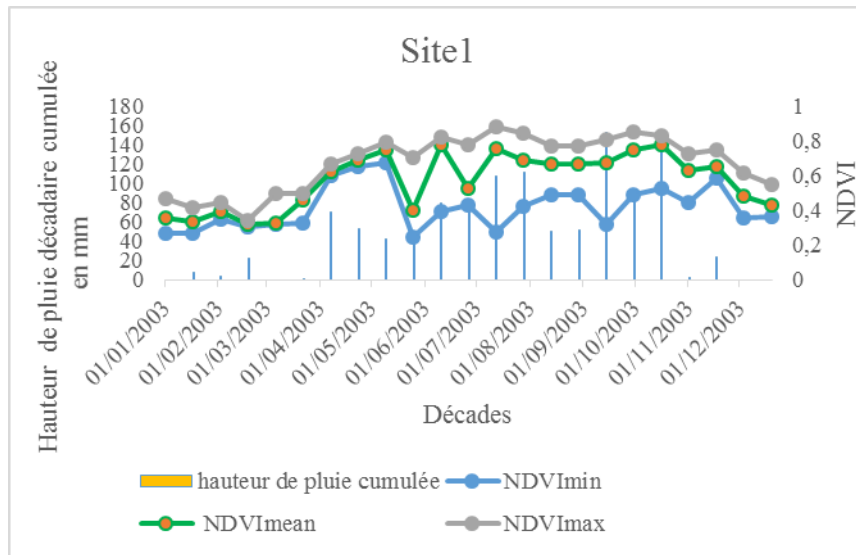
**Tableau VI** : Caractérisation des sites témoins du lien entre Pluie-NDVI

Sites	Caractéristique Floristique	Types de Sols	Situation Topographique Point côté	Distance Sites-d'eau (Km)	cours Ouémé	Latitudes	Longitudes
<b>Site1</b>	Mosaïque de cultures et Jachère	Ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions	4278	15,166		7°40'14''	2°37'31''
<b>Site2</b>	Savane arborée et arbustive + mosaïque culture et jachères	Ferrugineux tropicaux appauvris sans concrétions peu ferrugénisés	4549	1,279		7°39'57''	2°29'56''
<b>Site3</b>	Savane arborée et arbustive + mosaïque culture et jachères	Ferrugineux tropicaux appauvris à concrétions	3994	5,402		7°51'03''	2°26'21''
<b>Site4</b>	Savane arborée et arbustive	Hydromorphes minéraux ou peu humifères à gley lessivés	3855	7,725		7°54'59''	2°26'48''

La caractérisation des sites montre qu'il n'existe pas une homogénéité du point de vue physique entre les différents sites de la confluence Ouémé-Okpara. Cependant, la variabilité des sites permet d'apprécier la dynamique de la relation NDVI-Pluie selon les différents types de formations végétales identifiées au niveau de chaque site étudiée notamment la savane arborée -arbustive et ou les cultures.

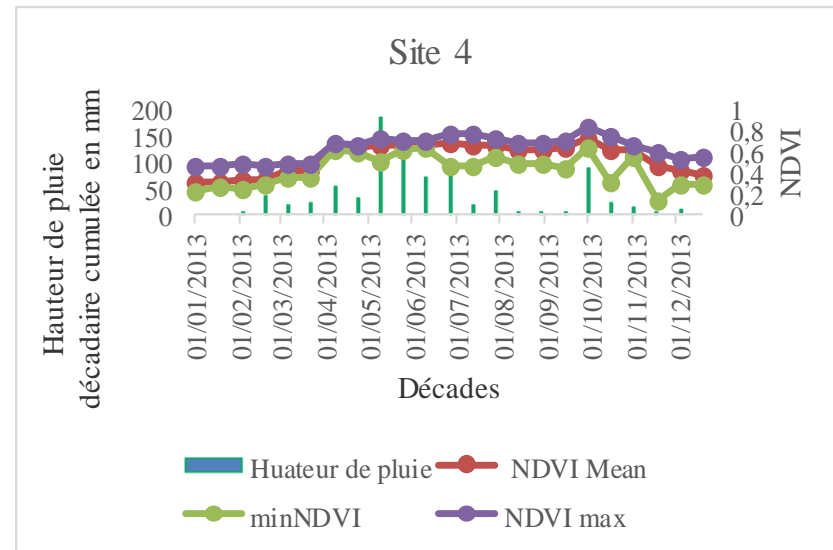
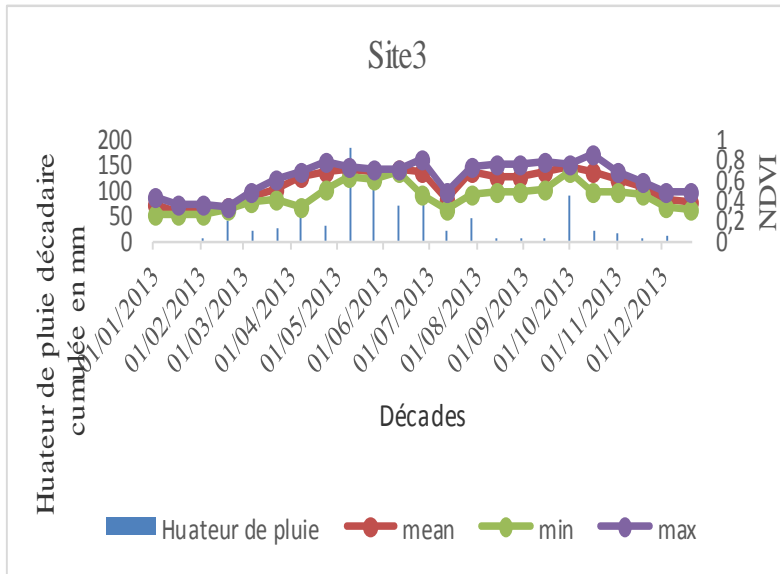
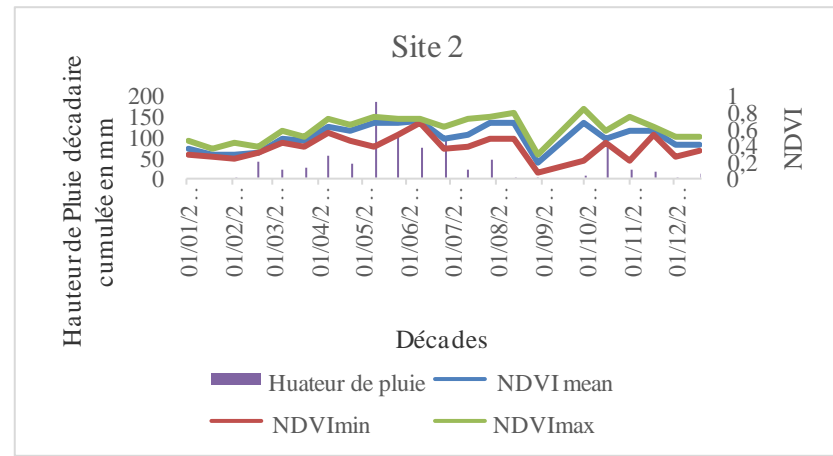
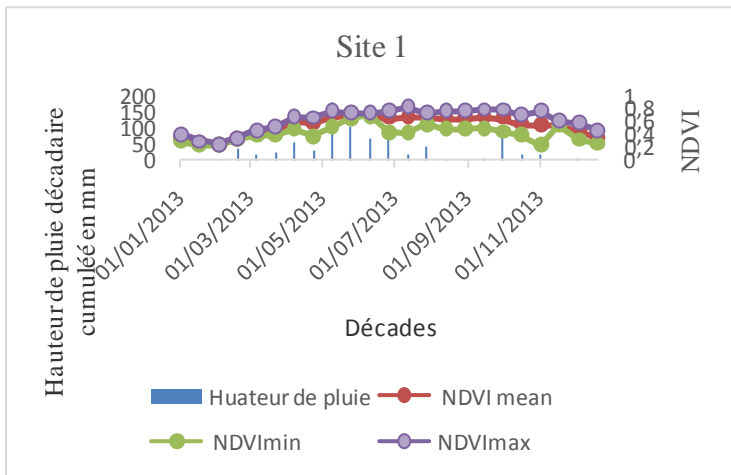
### **3-2-2- 2-Variabilité spatio-temporelle du NDVI-Pluie par site**

La variabilité spatio-temporelle de NDVI-Pluie a été caractérisée par l'évolution de la pluie décadaire cumulée et les valeurs de NDVI (moyen, min et Max) sur les quatre sites du tableau VI. Les graphes réalisés à cet effet sur les quatre sites pour les années 2003 et 2013 sont présentés dans les figures 13 et 14 ci-dessous.



**Figure 13 : Relation décadaire entre pluie-NDVI en 2003**

L'analyse comparative de l'évolution du NDVI et de la pluie (Figure13), montre généralement une similitude marquée dans l'évolution décadaire des deux paramètres dans les périodes pluvieuses (mars à Juillet et Septembre à Novembre) sur l'ensemble des quatre sites. Néanmoins, il faut noter quelques divergences en certaines périodes où le NDVImin diminue alors que la pluie est à son pic. Cette situation s'observe au niveau des sites 1 et 4 respectivement au cours de la deuxième décade du mois de Septembre et de Juillet 2003. De façon générale, selon la classification des valeurs de NDVI ( tableau IV), la variation du NDVI sur les quatre sites montre une végétation comprise entre une végétation moyenne à une végétation dense pour l'an 2003. En ce qui concerne la figure 14 ci-après, elle expose la variabilité entre pluie décadaire et NDVI (Moyenne, Mini et Max) de l'année de 2013.



**Figure 14** : Relation décadaire entre Pluie-NDVI en 2013

L'analyse comparative de l'évolution du NDVI et de la pluie (figure 13 et 14), montre également une similitude marquée dans l'évolution décadaire des deux paramètres dans les périodes pluvieuses (mars à Juillet et Septembre à Novembre) sur l'ensemble des quatre sites. Néanmoins, il faut noter quelques divergences en certaines périodes où le NDVImin diminue alors que la pluie est à son pic. Ce phénomène est observé sur les sites N°2 et 4 pour les deux années (2003 et 2013) considérées. Par exemple en 2013, les NDVImin sont à 0,3928 et 0,5209 alors que la pluie est à sa valeur maximale (183,6 mm) pour la première décade du mois de Mai respectivement sur le site 2 et 4. Cette particularité peut être liée soit à la couverture nuageuse durant les périodes particulièrement pluvieuses qui aurait troublée les données NDVI lors du captage de la végétation par le satellite (Dubreuil, 2006). Une autre remarque est que le NDVI atteint plus ou moins rapidement son maximum en fonction de l'importance des pluies et de leur distribution dans le temps.

Par ailleurs l'évolution de la pluviométrie laisse voir pour l'année 2003 une meilleure distribution temporelle et une quantité importante de la pluie à la station de Savè. Le NDVI atteint son maximum à la première décade de Juillet (2003) pour les quatre sites témoins alors qu'en 2013 le maximum est obtenu à la 1<sup>ère</sup> décade d'Octobre pour les sites 2 et 4. On observe la décroissance des NDVI (Max, Mini et Moyenne) de 2003 à 2013 lorsque les pluies commencent à être irrégulières et surtout faibles. Ceci traduit le début de la saison sèche. Au cours de l'année 2013, la végétation a varié entre végétation très faible à une végétation dense (confère décade 3 d'Août site 2 Figure14).

### **3-2-2- 3- Etude de la corrélation entre NDVI et pluviométrie**

Pour apprécier la force du lien entre le NDVI et la pluie, le calcul des corrélations des valeurs moyenne, minimale et maximale de NDVI et la hauteur de pluie a été réalisée telle que consigner dans le tableau VI ci-après. Par la suite, on présente le graphe des fonctions de régression polynomiales entre NDVI et pluie décadaire cumulée.

**Tableau VII** : Corrélation entre Pluie –NDVI des sites en 2003 et 2013

<b>Corrélation de Karles Pearson entre Pluie- NDVI au niveau des formations forestières (sites 1,2,3 ,4)</b>				
<b>2003</b>	Pluie-Moyenne NDVI	Pluie- NDVI min	Pluie -NDVIMax	Seuil de signification
<b>Site1</b>	0,70494299	0,20188279	0,70990023	0,05
<b>Site 2</b>	0,75291226	0,54392467	0,74139399	0,05
<b>Site 3</b>	0,64770754	0,25361661	0,60967088	0,05
<b>Site4</b>	0,47864714	0,19724783	0,53437661	0,05
<b>2013</b>				
<b>Site1</b>	0,4965594	0,49764909	0,41257575	0,05
<b>Site2</b>	0,45750297	0,41034055	0,38604578	0,05
<b>Site 3</b>	0,52850875	0,63562991	0,43072629	0,05
<b>Site4</b>	0,53675105	0,55195863	0,50757738	0,05

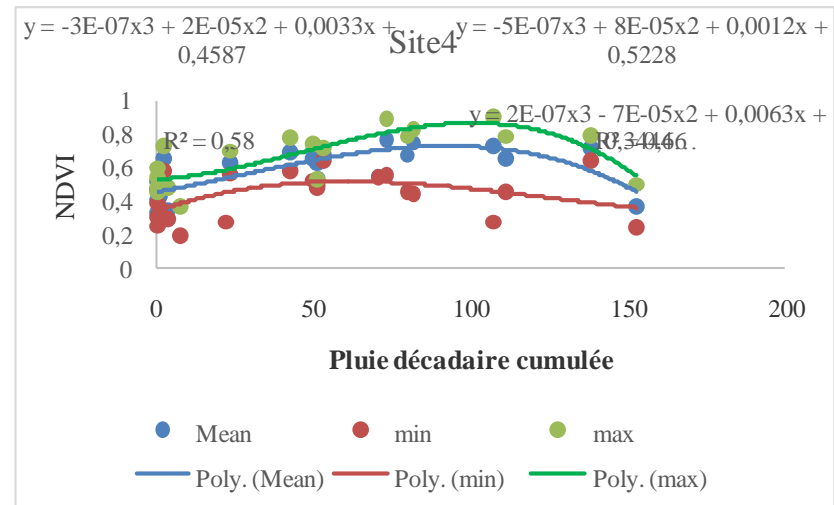
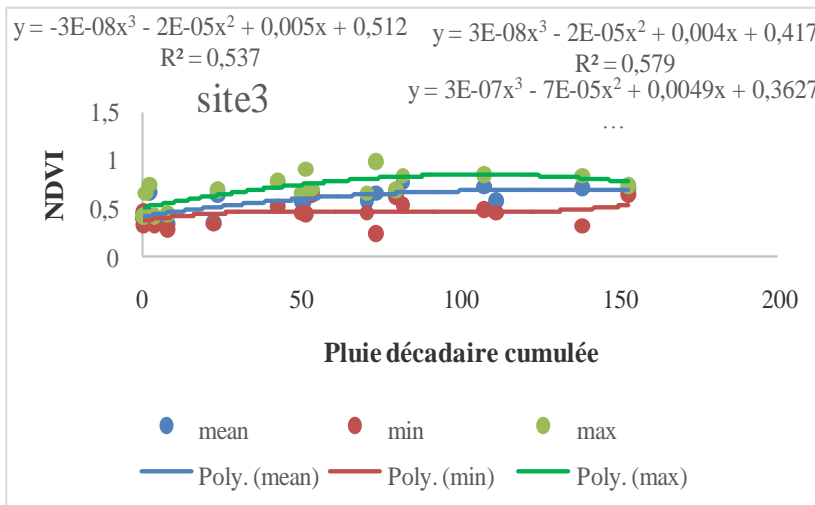
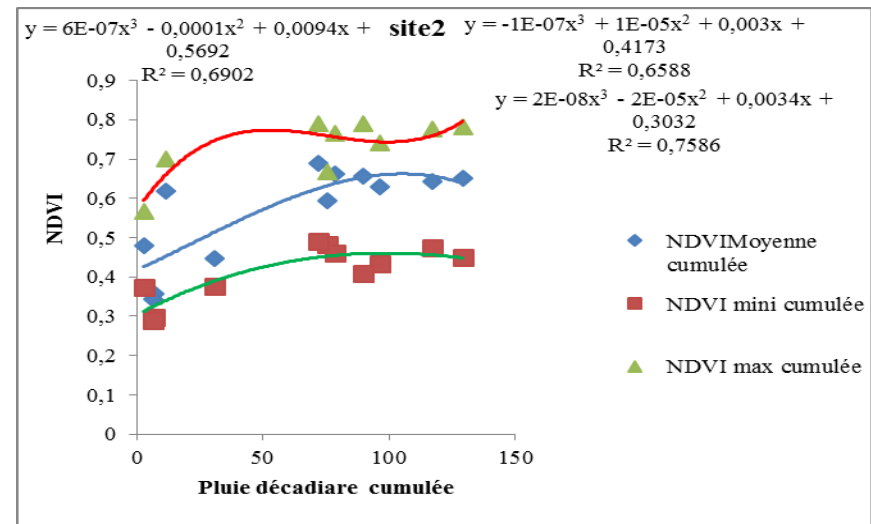
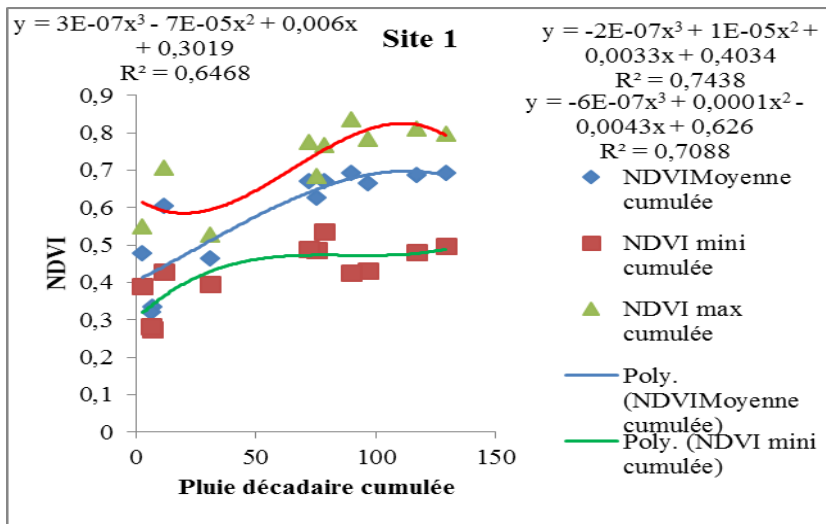
Source : Résultat des travaux, 2016

L'examen du tableau VII révèle globalement sur l'ensemble des quatre sites que les coefficients de corrélation sont supérieurs ou proche de 0,5 au seuil de signification de 0,05 pour les valeurs d'indice de végétation maximale et moyenne. On dispose de 20 couples d'échantillons des variables NDVI et pluviométrie. On a donc  $n=20$  (donc 18 degrés de liberté). Dans la table de K Pearson joint en annexe pour un risque d'erreur = 0,05, on lit  $R_{seuil} = 0,4438$ . Les résultats de coefficient de corrélation obtenus selon les zones d'influence définies ci-dessus sont supérieurs à  $R_{seuil}$  quel que soit la classe du NDVI. Cependant, quelques résultats de corrélation entre NDVimin et pluie décennale cumulée des années considérées (2003-2013) sont inférieurs à la valeur seuil. Excepté ces valeurs, on peut dire que le test de corrélation statistique du NDVI avec la pluie dans la confluence Ouémé-Okpara est significatif car il existe un lien fort entre NDVI et pluie cumulée quel que soit la classe du NDVI utilisée pour le calcul du coefficient de corrélation. Il existe donc un lien entre le NDVI et la pluie. Cependant, l'année 2003 a été marquée par une forte corrélation pour la valeur du NDVI moyenne et maximale pour les sites

N°1 à 3. Le site N°2 qui est à distance de 1,279 Km de la confluence a connu particulièrement une très forte corrélation entre la pluie et NDVI moyen(0,7591), NDVI mini (0,5439) et NDVI(0,7414). Ce qui nous amène à dire que la relation a été forte entre le NDVI et la pluie dans cet espace géographique en 2003. Par ailleurs, l'an 2013 a connu globalement sur l'ensemble des quatre types formations végétales une corrélation moins forte par rapport à 2003. Cela permet d'émettre l'hypothèse que l'indice de NDVI varie en fonction de la quantité de pluie tombée. Mais tous ces résultats ne peuvent être confirmés que par d'autre analyse comme la régression polynomiale.

#### ❖ **Interprétation des polynômes de degré 3**

La régression polynomiale entre NDVI-pluie cumulée de l'année 2003 sur les quatre sites a été réalisée. En effet cette année a été choisi car elle est une année excédentaire en pluviométrie et de la réduction de pourcentage des conditions atmosphériques qui diminue les valeurs NDVI. Les différents graphes ci-dessous exposent la régression polynomiale des différents sites qui représente la formation végétale de la confluence Ouémé-Okpara.



**Figure 15:** régression polynomiale décadaire entre Pluie-NDVI en 2003

L'ajustement par un polynôme de degré 3 (figure 15) des nuages de points formés par les deux paramètres montre trois phases de l'évolution annuelle du NDVI en fonction de la pluie. On note :

- **Une phase de croissance lente** : qui marque le début de la saison des pluies. Les premières décades après l'installation des pluies on a une accumulation d'eau dans la réserve utile (RU) du sol ce qui permet une réapparition de la couverture végétale des plantes qui est l'essence même de l'activité photosynthétique des plantes. On a par la suite une évolution du NDVI car en partie tributaire de la couverture végétale des plantes.
- **Une phase de croissance rapide**: qui caractérise l'intensification des pluies. Pendant cette période le sol est toujours humide et les besoins en eau des plantes sont satisfaisants. On assiste donc à une amélioration de la couverture végétale ce qui favorise la croissance rapide des NDVI pendant cette période.
- **Une phase de décrue** : qui marque la fin de la saison des pluies. Elle se traduit par une diminution du NDVI au fil du temps. La fin des pluies qui signifie plus d'infiltration d'eau dans le sol va provoquer une diminution du stock hydrique du sol et donc une dégradation de la couverture végétale. Cela a une incidence sur le NDVI qui se traduit par sa régression.

### 3-3- Caractérisation des facteurs explicatifs de la dynamique de la végétation

#### 3-3-1-Analyse de la dynamique de l'occupation des terres dans la confluence Ouémé-Okpara

L'appréciation de la dynamique de la végétation au cours de la période 2003 et de 2013 permet de constater une variabilité spatio-temporelle de l'évolution du couvert végétale dans l'aire de la confluence de l'Ouémé-okpara ( figure 16).

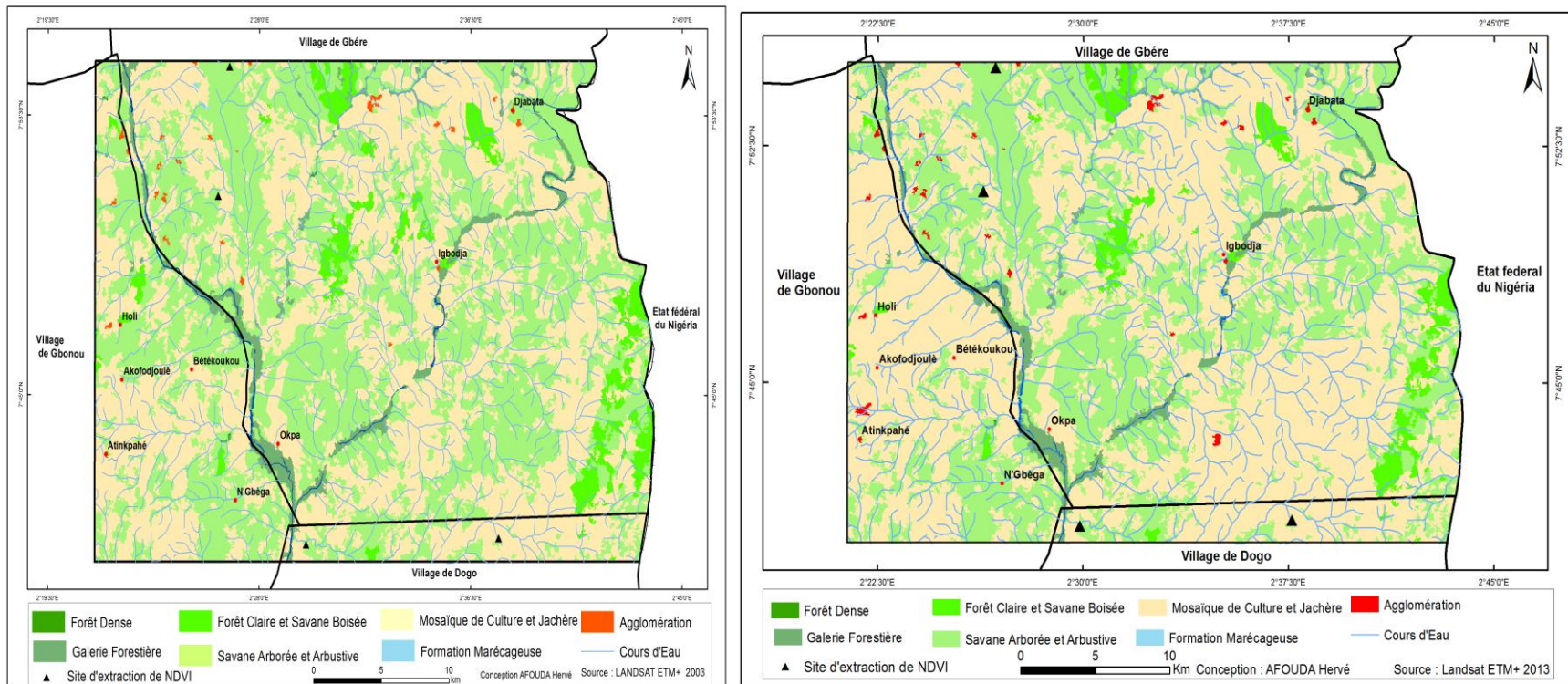


Figure 16: Etat de l'occupation du sol en 2003 et 2013

L'examen de la figure 16 montre une dominance de mosaïque de cultures et jachère, savane arborée et arbustive de forêt claire par rapport à la forêt dense semi décidue. En effet, la forêt claire ; savane boisée et quelques ilots de forêts denses semi-décidu ont connu une disparition au profit de mosaïque de culture et jachère. Les parties centrales de l'aire de la confluence Ouémé-okpara paraissent plus affecter par les mosaïques de cultures donc aurait subies plus de pression. Quant à la partie sud-ouest, elle a été considérablement empiétée par une concentration des agglomérations qui ont connu une extension des superficies notamment les agglomérations situées entre les localités Holi et Akoffodjoulé d'une part et les agglomérations proches de Bétékoukou et de Djabata d'autre part. Cette situation est dû au croit démographique et à l'extension des champs de case puis que aux alentours de la confluence se trouvent les conditions propices aux activités agricoles. Ces activités agricoles ont pris une place prépondérante dans l'aire de la confluence Ouémé-Okpara comme l'indique la matrice de transition du tableau VIII ci-après.

**Tableau VIII** : Synthèse des superficies des formations végétales et autres unités d'occupation du sol dans la confluence Ouémé-Okpara.

	<b>AGG</b>	<b>FCSB</b>	<b>FD</b>	<b>FM</b>	<b>GF</b>	<b>MCJ</b>	<b>P E</b>	<b>SAA</b>	<b>Sup. 2003</b>
<b>AGG</b>	254,75	0	0	0	0	0	0	0	254,75
<b>FCSB</b>	0	3723,6 0	0	0	0	935,34	0	0	4658,9 4
<b>FD</b>	0	0	32,952	0	0	0	0	0	32,952
<b>FM</b>	0	0	0	17,74	0	0	0	0	17,74
<b>GF</b>	0	0	0	0	3117,7 9	0	0	0	3117,7 9
<b>MCJ</b>	0	0	0	0	0	54641, 17	0	0	54641, 17
<b>P E</b>	0	0	0	0	0	0	479,08	0	479,08
<b>SAA</b>	69,707	0	0	0	0	9827,3 8	0	37526, 28	47423, 36
<b>Sup 2013</b>	324,45	3723,6 0	32,95	17,74	3117,7 8	65403, 87	479,08	37526, 28	110625 ,77

**Source** : Interprétation des images Landsat de 2003 et 2013

Légende : FD= Forêt Dense, GF= Galerie Forestière, FCSB = Forêt Claire Savane Boisé, SAA= Savane Arborée et Arbustive, MCJ= Mosaïque de Culture et Jachère, FM= Formation Marécageuse, CE= Cours d'Eau, AGG= Agglomération

L'analyse des données du tableau VIII révèle que les unités d'occupation du sol sont constituées de forêt dense, Galerie forestière, forêt claire savane Boisée, de Savane arboré et arbustive, de mosaïque de culture et Jachères, et les formations Marécageuses. Ces unités du sol ont subi des dynamiques au cours de la période d'étude. Les unités telles que les mosaïques de champs et jachères (de 54641,16 ha en 2003 à 65403,879 ha en 2013), et les agglomérations (254,74 ha en 2003 à 324,45 ha en 2013) ont connu une évolution progressive tandis que les forêts dense, les galeries forestières et les formations marécageuses sont relativement stable (3135,53 ha en 2003 à 3135,53 ha en 2013), forêts arborées et arbustives, les forêts claires et savanes boisées (de 47423,3571 ha en 2003 à 41249,8799 ha en 2013) sont en nette régression comme l'indique le graphe de taux de conversion ci-après.



**Figure 17** : dynamique de l'occupation du sol dans la confluence Ouémé-okpara

L'analyse du taux de conversion révèle une importante régression du couvert végétal notamment les forêts claires savane boisée et savane arborée au profit des agglomérations et les mosaïques de cultures et jachères. Les implications d'une telle situation vont de la diminution de l'activité phénologique de la végétation à la réduction du pouvoir absorbant du carbone de ce secteur d'étude. De plus ce qui inquiète est le non respect de la réglementation des forêts dites classées comme celle de Boukou dont une partie est occupée par des champs de culture. Cela suppose que la continuité de la tendance régressive du couvert végétal n'est pas probablement près de s'arrêter.

### 3-3-2-Perception communautaire de dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé-Okpara

Les résultats de l'enquête générale et des focus groups ont permis de mettre en lumière les perceptions des populations locales de quelques villages du secteur de l'étude. En général, les interlocuteurs ont une bonne perception de l'évolution de leur milieu biophysique, au cours de la dernière décennie. Ils ont répertorié de nombreux changements dans l'environnement ainsi que leurs déterminants.

#### 3.3.2-1- Perception paysanne de la dynamique de l'activité végétative.

La dynamique de l'activité phénologique est perçue par les populations à partir des variations climatiques saisonnières qui influencent le jaunissement des jeunes plantes, de la chute des fleurs, de la croissance des semis, etc. Quant à la situation des saisons de pluies dans la zone d'étude, on note une perception populaire de début de saison de pluies tardive et de fin de saison précoce particulièrement au cours de la petite saison de pluie ( figure 18 et 19).

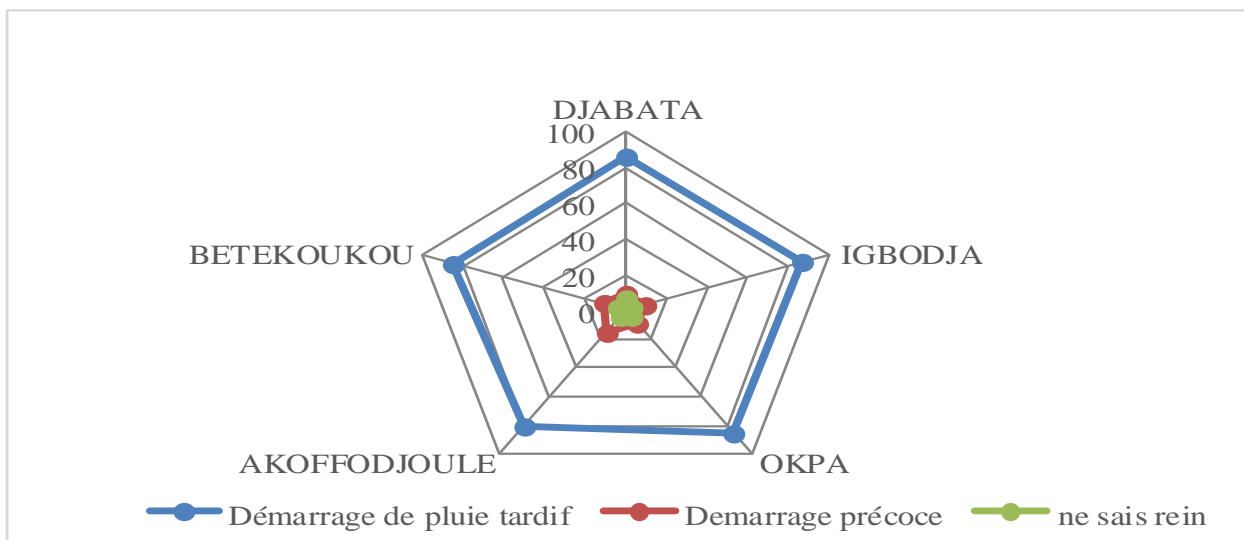
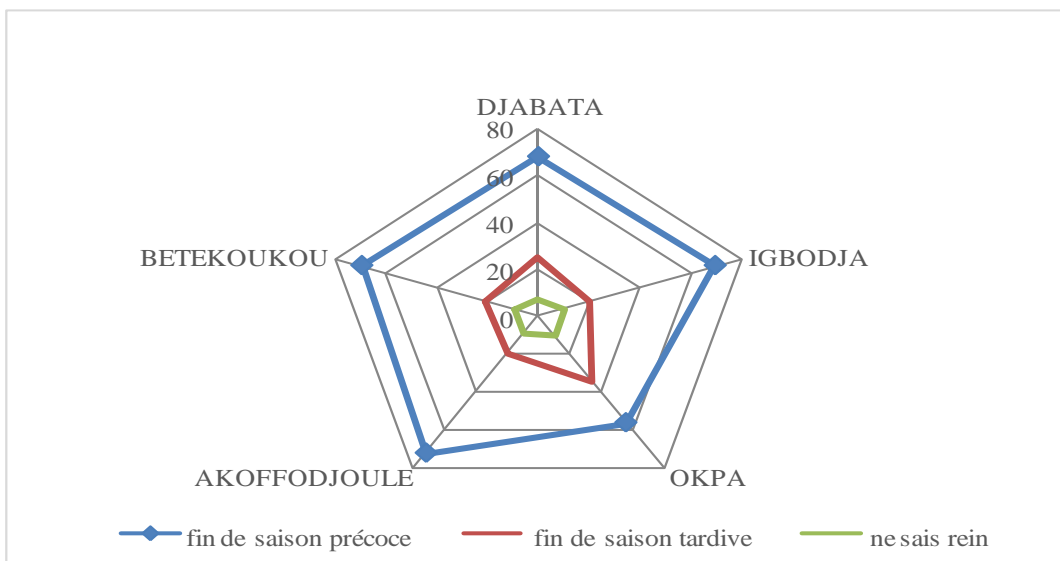


Figure 18: perception des paysans sur le début des saisons de pluie

L'examen de la figure 18 révèle un début de saisons de pluie tardif dans l'ensemble des localités enquêtés particulièrement les trois localités IGBODJA, DJABATA et OKPA. Cette diminution de la quantité des pluies (en termes de cumul d'un évènement) est perçue par 87 % des interviewés de IGBODJJA, 86 % de DJABATA, 85 % de OKPA. Cependant on note une quasi unanimité 90 % des répondants à propos du retard des pluies de la petite saison dans l'ensemble des localités parcourues dont l'influence se récent sur un retard de la période de semis et sur la croissance des jeunes pousses. Ces résultats indiquent une perception similaire entre les interlocuteurs dans les trois villages. Cette similarité peut s'expliquer par le fait que : d'une part, la vision de ceux qui parlent de réduction de la quantité des pluies, soit peut être influencée par la baisse du nombre de jours de pluie par le comportement de l'activité chlorophyllienne de la végétation du mois Juillet au niveau de certaine culture. Cette assertion confirme la situation de la première décade dans l'analyse de l'évolution de l'indice de croissance Normalisée et l'indice de condition végétale de la récente décennie. En revanche, le comportement de la fin de saison de pluie dans les trois localités (figure19) est variable au fur et à mesure que l'on se rapproche de la confluence.



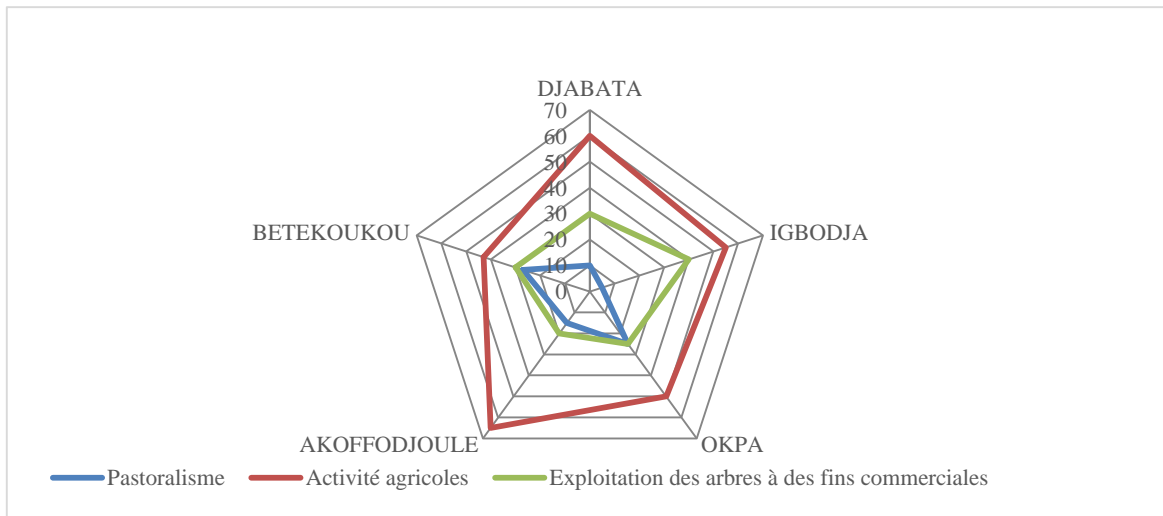
**Figure 19:** perception des paysans sur la fin des saisons de pluie

La figure 19 expose la perception des paysans dans la confluence Ouémé-Okpara par rapport à la situation de fin des saisons de pluies. Les populations estiment généralement que la fin des

saisons de pluies sont précoces et particulièrement au cours de la petite saison. Les 68 % et 70 % des répondants respectivement dans les localités IGBODJA et OKPA ont soutenu une tendance précoce des saisons de pluies spécifiquement au cours de la petite saison. Toutefois les différents intervenants n'ont pas oublié de souligner une sensation de hausse de température avec le séchage précoce des fleurs et feuillage au niveau de plusieurs cultures comme l'anacardier, l'igame, le maïs, l'arachide. Les espèces qui sont affecté par les variations climatiques selon les populations sont globalement, l'anacardier (*anarcadium occidentale*) l'igname (*Dioscorea spp*) et l'arachide (*Arachis hypogea*) qui perdent précocement les feuilles et les fleurs , le maïs (*Zea mays*) avec l'apparition précoce des fleurs de maturation aux cours des périodes de saison pluvieuse.

### 3-3-2-2- Perception paysanne de la dynamique de l'occupation des terres

La perception populaire face à la dynamique de l'occupation du sol se traduit particulièrement dans trois villages (Igbodja, Okpa et Djabata) comme l'indique la figure 20 ci-après. Les entretiens individuels révèlent que 90 % de la population mentionnent une régression de la superficie du couvert végétal et 60 % attribuent cette régression du couvert végétale aux activités agricoles et à l'exploitation du bois énergie et de bois d'œuvre et 25 % attribuent cette régression au pastoralisme et à l'exploitation du bois sur toutes ces formes.



**Figure 20:** perceptions paysannes des principales causes du changement d'état de la végétation

Plus de cinquante-cinq 55 % des interviewés perçoivent une augmentation des zones dénudées dû aux activités agricoles au quel s'associe la diminution de l'activité chlorophyllienne des cultures. Il n'y a pas une variation particulière du taux de réponses des enquêtés dans les villages. Le pastoralisme et l'exploitation du bois constituent les principaux déterminants qui ont été mentionnées dans les trois localités. En effet, toute la zone est régulièrement confrontée à une situation de conflit entre éleveurs et agriculteurs particulièrement dans la localité d'Okpa.

La qualité des sols est perçue par les populations des trois localités comme en nette détérioration et 70 % des interviewés notent une tendance générale à la baisse de la fertilité des sols durant ces dernières décennies années. Parmi les activités destructrices du couvert végétal se trouvent la culture de l'igname (photo) qui s'effectue par la calcination des arbres produisant ainsi l'absence de chlorophylles dans ces milieux.



Photo : Etat de la végétation avec la culture d'igname à Okpa

Prise de vue : Afouda, Mars 2016

La photo expose les buttes d'ignameensemencées pratiquées dans le secteur d'étude et qui est source de la dynamique du couvert végétal dans le milieu.

## CHAPITRE IV: DISCUSSION

Dans la confluence Ouémé-Okpara, la variabilité climatique et la dynamique de la végétation constituent une réalité dans la confluence Ouémé-Okpara.

### 4.1-Variabilité climatique et dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé-Okpara

Elles se traduisent par un profil annuel de NDVI comparable aux rythmes de saisons pluvieuses et d'une corrélation forte entre la pluie décadaire cumulée et NDVI (moyen et maximum). Le temps de réponse de la végétation aux précipitations est de deux décades. La régression polynomiale présente trois phases de croissance de NDVI (de croissance lente, rapide et de décroissance). La dynamique et la variabilité climatique de l'occupation du sol se rapportent à l'influence de la pluviométrie sur la végétation à travers la précocité et aux retards de fin de saison de pluie ainsi que la régression du couvert végétal au profit des agglomérations et des champs de cultures. Les implications d'une possible perturbation au cours de ces deux décades conduisent probablement à des croissances phénologiques anormales de la végétation. Au Mali et au Niger, les études de Malo et Nicholson (1990) suggèrent que le NDVI mensuel est directement fonction des précipitations mensuelles. Dans la même région, Justice *et al.* (1991) ont analysé les relations existant entre le NDVI décadaire et les précipitations décadaires estimées à partir de la durée des nuages à sommet froid (données METEOSAT). Ces auteurs constatent une forte relation entre les deux paramètres tout en soulignant que le temps de réponse de la végétation aux précipitations est de une à deux décades. Nos résultats sont similaires à ceux de ces auteurs. Par ailleurs des observations similaires ont été faites en Afrique de l'Est (Davenport et Nicholson, 1989). Cette relation étroite a d'ailleurs permis la modélisation du NDVI en fonction des précipitations dans le sud du Niger et le nord du Nigeria (Hess *et al.*, 1996 ; Oyou, 2007). Dès lors le NDVI est reconnu comme étant un indicateur fiable de l'état de la végétation (Foody, 2003 ; Symeonakis et Drake, 2004). Le suivi de la variabilité de l'indice de végétation NDVI dans l'espace et le temps a permis de démontrer l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de la biomasse végétale. En région sub-sahélienne, la dynamique de la végétation est fortement liée à l'évolution pluviométrique (Nicholson *et al.*, 1998 ; Milich et Weiss, 2000a, 2000b, Awa, 2013).

## **4.2- Caractérisation des facteurs explicatifs de la dynamique de l'occupation des terres**

Les déterminants qui ont caractérisés la dynamique du couvert végétal dans la confluence Ouémé-Okpara et identifiés à partir de l'interprétation des images Landsat de 2003 et 2013, ont montré une régression de forêt claire, savane boisée et savane arborée et arbustive en agglomération et de mosaïque de cultures et de Jachère. Cette régression est relativement forte comme l'attestent le taux de déforestation dans la confluence de Ouémé-Okpara. Ce constat a été fait par plusieurs auteurs (Arouna, 2012 ; Moussa, 2016) dans les communes de Djidja et de Savè. Pour ces auteurs, la dynamique de la végétation se traduit soit par la conversion en d'autres unités (état de dégradation) ou soit par la modification des formations végétales à l'état climacique. Ce changement d'état du couvert végétale a été caractérisé dans la confluence Ouémé-Okpara par la progression des superficies des Cultures, jachères et des agglomérations contrairement à la diminution des superficies de savanes arborées et arbustives ainsi que des forêts claires. Une telle pression de dégradation est susceptible d'être fatale à la confluence de l'Ouémé-Okpara qui constitue le point de convergence des eaux du fleuve Ouémé et de la rivière Okpara en direction du Sud. Ce même constat est fait par plusieurs auteurs notamment Toko, 2014 qui estime que les mosaïques de champs et jachères ont connu une augmentation sensible de leur superficie entre 2000 et 2013 dans la commune de Banikouara. Pour eux, cette tendance régressive des formations végétales serait du à l'extension des cultures telle que le coton. Une étude réalisée en Côte d'Ivoire dans la zone soudano-guinéenne par Barima *et al.*, (2009) sur la dynamique paysagère à base des images satellites est parvenue aussi aux mêmes résultats de la conversion des formations naturelles en formations anthropiques. Il en résulte donc que la régression des formations végétale dans la confluence Ouémé-Okpara est surtout dû aux activités anthropiques tels que : l'agriculture extensive comme la culture de l'igname, l'utilisation des ligneux par les populations locales pour des raisons d'énergie, de commercialisation, le pastoralisme.

### **4.3- Perception communautaire de la variabilité climatique et dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé-Okpara**

Les populations riveraines de la confluence Ouémé-Okpara ont caractérisé l'état de la végétation par la variabilité climatique et la dynamique de l'occupation du sol. En effet, pour elles, la dynamique de l'activité phénologique est perçue à partir des variations climatiques saisonnières qui ont soit un démarrage de saison de pluie tardif ou soit une fin de saison précoce et dont les implications s'observent sur la végétation par le jaunissement des jeunes plantes, de la chute des fleurs, de la perturbation de la croissance des semis. Aussi, la plupart des enquêtés ont estimé que les différentes dégradations de la végétation sont liées aux activités agricoles et l'exploitation du bois avec de fortes pressions sur le couvert végétal. Ces résultats corroborent ceux de Hountondji (2008) dans la zone de transition soudano-guinéenne au Bénin et Awa (2013) dans le sahel au Burkina -Faso et qui estiment que les changements du couvert végétal sont perceptibles à travers la diminution du couvert végétal et l'irrégularité des pluies. Ce constat est souligné également par des études réalisées au Burkina Faso et au Sénégal (Lykke *et al.*, 2004; Mbow *et al.*, 2008b; Sop *et al.*, 2011). La paupérisation de la population s'accroît dans la satisfaction des besoins fondamentaux du fait que l'essentielle des ressources est tiré de l'environnement qui se dégrade (Houndagba *et al.*, 2007). Par ailleurs, avec une augmentation sans cesse de la population, les formations végétales seront débordées par la pression anthropique de plus en plus forte. Ne pouvant plus répondre à toutes les sollicitations elles se dégradent à une vitesse inquiétante favorisant encore plus de pauvreté.

L'hypothèse que les principaux déterminants de dégradation du couvert végétal dans la confluence Ouémé-okpara sont dus aux effets combinés de la variabilité climatique et aux facteurs anthropiques est confirmée

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La présente étude est une contribution à l'étude de la variabilité climatique et de la dynamique de la végétation dans l'aire de la confluence Ouémé-Okpara. Elle a permis d'étudier le lien qui existe entre la pluie décadaire cumulée et les valeurs de NDVI (moyenne et maximale) ainsi que les facteurs explicatifs qui entrent en ligne de compte dans la variabilité climatique et la dynamique de la végétation récente dans la confluence Ouémé-Okpara.

L'approche méthodologique adoptée est basée dans une première phase à la collecte des données notamment à la recherche documentaire, à l'extraction des valeurs de NDVI à partir d'une série spatio-temporelle d'images décadaires SPOT végétation et MODIS, aux données climatiques et aux données cartographiques. Par ailleurs des enquêtes ont été réalisées auprès de 170 ménages pour apprécier la perception communautaire sur les fluctuations climatiques et la dynamique de la végétation. La deuxième phase a consisté à analyser par des protocoles statistiques (test d'homogénéité, corrélation de Pearson, écart type centré) et plusieurs indices ont été mises à contribution à cet effet, il s'agit de l'Indice Différentiel de Végétation Normalisé (NDVI), et ses dérivés comme l'Indice de Croissance Normalisée (ICN) et l'Indice de Condition Végétale (VCI) et ont permis d'aboutir aux résultats suivants.

La variabilité interannuelle de la pluviométrie couvrant la période 2003 -2010 indique une tendance à la baisse par rapport à l'an 2003 considéré comme une année excédentaire. A l'échelle décadaire la grande saison est caractérisée par un début des pluies à la première décade du mois de Mars jusqu'à la troisième décade du mois de Juillet et la petite saison qui prend départ de la troisième décade du mois d'Août à la première décade du mois d'Octobre. Il faut remarquer que la hauteur maximale des pluies a été enregistrée à la première décade du mois de septembre avec 2002 mm et la valeur minimale à la troisième décade du mois de Décembre avec 18,3mm enregistrée. Le profil NDVI interannuel de NDVI est comparable aux rythmes de saisons pluvieuses et est d'une corrélation forte entre la pluie décadaire cumulée et NDVI (moyen et maximum). La régression polynomiale a permis d'identifier trois phases de croissance de NDVI (de croissance lente, rapide et de décroissance). Sur les quatre sites (1 ;2 ;3 ;4) témoins retenus pour apprécier le lien entre NDVI-Pluie, le site 3 a été le site qui a enregistré la valeur maximale de NDVI de (0,9895) à la première décade du mois d'Octobre de 2003 et une valeur de 0,8619 en 2013. La corrélation entre NDVI-Pluie a été globalement plus forte en l'an 2003 par rapport à

l'an 2013. En effet, la relation pluie-NDVI est globalement importante pour les sites N°2 en 2003 et N°4 pour l'an 2003. Au niveau du site 2 (point de confluence) le lien entre Pluie-NDVI moyenne est de 0,75 ; de 0,54 pour Pluie –NDVI minimale et de 0,74 pour la pluie-NDVI maximale. En ce qui concerne l'an 2013, le Site N°4 est caractérisé par une corrélation de Pluie-NDVI moyenne est de l'ordre de 0,54 ; Pluie-NDVI maximale de l'ordre de 0,58. S'agissant des déterminants de la dynamique de la végétation on note une régression. Ces unités du sol ont subi des dynamiques au cours de la période d'étude 2003 et 2013. Les unités telles que les mosaïques de champs et jachères (de 54641,16 ha en 2003 à 65403,879 ha en 2013), et les agglomérations (254,74 ha en 2003 à 324,452922 ha en 2013) ont connu une évolution progressive tandis que les forêts dense, les galeries forestières et les formations marécageuses sont relativement stable (3168,48 ha en 2003 à 3168,50 ha en 2013), forêts arborées et arbustives, les forêts claires et savanes boisées (de 47423,3571 ha en 2003 à 41249,8799 ha en 2013) sont en nette régression. Les activités agricoles, l'exploitation forestière, le pastoralisme, le démarrage de pluie tardif et la fin de pluie précoce ont été perçus par les populations locales comme des déterminants.

Face à cette situation et pour répondre aux difficultés constatées dans le cadre de cette recherche auprès des populations au cours de ces dernières décennies, les recherches scientifiques prochaines porteront sur « Approche agroforestière, perception paysanne et atténuation des émissions de gaz à effet de serre dans le Bénin Septentrional » dont la justification et Objectifs sont mentionnés ci-dessus.

## **Projet de recherche**

### **Justification du sujet**

L'une des préoccupations majeures actuelles de la communauté internationale est la modification du climat du fait de l'exacerbation de l'effet de serre par le rejet dans l'atmosphère de gaz à effet de serre (GES), notamment le dioxyde de carbone qui est induit par les activités humaines. Pour faire face aux menaces des changements climatiques, la communauté mondiale s'est dotée de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) et son protocole de Kyoto. L'organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) ont créé en 1988 le groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), appelé en anglais « intergouvernemental panel for climate change

», (IPCC) ; le GIEC fournit un conseil scientifique, technique et socio-économique à la communauté mondiale à travers des rapports d'évaluations périodiques sur l'état de la connaissance, des causes du changement climatique, ses impacts potentiels et les options pour des stratégies d'atténuations.

Les changements climatiques sont dus à la fois à la variabilité interne du système climatique et à des facteurs extérieurs (naturels et d'origine anthropique). L'influence des différents facteurs extérieurs sur le climat peut s'expliquer par la notion de forçage radiatif, qui peut être positif ou négatif. Un forçage radiatif positif, tel que celui produit par des concentrations croissantes de gaz à effet de serre, a tendance à réchauffer la surface de la planète ; un forçage radiatif négatif, qui peut être dû à une augmentation de certains types d'aérosols (particules microscopiques véhiculées par l'air) a tendance à refroidir la surface. Des facteurs naturels tels que les changements du rayonnement solaire ou de l'activité volcanique explosive peuvent eux aussi provoquer un forçage radiatif (GIEC, 2001). Cependant des tentatives de réponses se tournent vers la conservation du couvert végétale pour capter une part importante de carbone émis dans l'atmosphère. Or plusieurs recherches en Afrique subsaharienne démontrent une part importante des pratiques agricoles dans la dégradation et la déforestation ( Boko, 1988 ; Afouda,1990, Houdenou ;1999, Yabi,2007, Issa,2012). Au Bénin, la dégradation du couvert végétal est aussi préoccupante (Toko, 2014). Pour mieux appréhender les stratégies de luttés contre la déforestation et la dégradation des écosystèmes qui est d'ordre naturel et anthropique, l'étude de l'association des cultures et de la végétation paraît bien indiquée pour une atténuation des émissions de gaz à effet de serre tout en répondant aux questions de la sécurité alimentaire. Par ailleurs plusieurs pratiques d'agroforesterie existent pour concilier les deux enjeux vitaux de sauvetage de notre système climatique par des puits de carbone et l'atteinte des objectifs de notre alimentation. Selon Lundgren et *al.*,1992 l'approche agroforestière d'intégration de l'arbre dans l'ensemble du monde rural connaît un regain. Il fait remarquer que cette approche constitue une solution, même partielle, à la dégradation effrénée des écosystèmes naturels notamment dans les pays en développement où la vie économique repose presque exclusivement sur l'agriculture. Cependant, l'agroforesterie est vieille de plusieurs siècles. Elle a commencé au même siècle, au fil des années ; cette pratique a été délaissée ; particulièrement lors de la révolution verte où la monoculture intensive est devenue le modèle de production (Yabi, 2008). Il n'en demeure pas moins délaissée avec des cultures qui ont une valeur économique forte telle que le coton. Dès

lors, on est en mesure de s'interroger sur la place accordée à l'agroforesterie dans l'aire de la confluence Ouémé-Okpara.

Quelle est la tendance des systèmes cultureux de ce secteur d'étude ?

Quelle est la perception de la population locale face aux effets des changements climatiques ?

L'approche de l'agroforesterie est-elle perçue comme un moyen d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre ?

Quelle est la quantité moyenne d'absorption des émissions de gaz à effet de serre dans une agroforêt dans l'aire de la confluence Ouémé-Okpara ?

Pour répondre à ces différentes questions, plusieurs objectifs ont été fixés.

L'objectif global est d'étudier la pratique de l'agroforesterie et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Spécifiquement il s'agit :

- ✓ Déterminer la perception communautaire de l'agroforesterie dans l'aire de la confluence Ouémé-Okpara
- ✓ Faire le diagnostic des déterminants de la dynamique de la végétation, de la variabilité climatique et économiques défavorables à la pratique d'agroforesterie dans l'aire de la confluence Ouémé-Okpara
- ✓ Calculer les émissions de gaz à effet de serre absorbées des unités agroforestières dans l'aire de la confluence Ouémé-Okpara.
- ✓ Proposer des stratégies prospectives de l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre dans la confluence Ouémé-Opkara

Pour atteindre ces objectifs, trois démarches méthodologiques seront combinées notamment la les enquêtes socio-économiques auprès des populations, l'inventaire phytosociologique et des agroforêts et la méthode d'estimation des émissions de gaz à effet du GIEC (2006).

## Références bibliographiques

**Abdoulaye D.**, 2015. *Dynamique de l'occupation des terres et ses incidences sur l'écoulement dans le bassin de l'Ouémé à l'Exutoire de Bétérou (nord-Bénin)*. Thèse de doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi. 253 p

**Adam S. et Boko M.**, 1993. *Le Bénin*. Paris, Edicef, 2ème édition, 93 p.

**Adomou C., Sinsin B., Van Der Maesen L. J. G.**, 2006. *Phytosociological and chorological approaches to Phytogeography: A study at meso-scale in Benin. Systematics and Geography of Plants*, 76 (2): 155-178.

**Afouda F.**, 1990. *L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional : étude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu rural de la savane africaine*. Thèse de doctorat nouveau régime. Paris IV Sorbonne, 428 p.

**Agbahungba A. et Assa A.**, 2001. *Etude de l'évaluation des sols sous culture d'Acacia auriculiformis et caractérisation de la matière organique de l'espèce dans trois stations forestières dans le Sud du Bénin*. In Actes de l'atelier scientifique **1**, INRAB/MAEP/Bénin, 494 p.

**Akoègninou A., Van der Burg W. J. et Van der Maesen L. J. G.**, 2006. *Flore Analytique du Bénin*. Backhuys Publishers, Wageningen, 1034 p.

**Anyamba, A. and Tucker, C.J.**, 2005. "Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981-2003". *Journal of Arid Environments*. Vol. 63, n° 3, pp. 596-614.

**Arouna O.**, 2012. *Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin : implications pour l'aménagement du territoire*. Thèse de doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi. 266 p.

**Arouna O., Toko I. Djogbénu C.P. et Sinsin B.**, 2010. *Impact de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol sur la végétation en zone soudano-guinéenne au Bénin*. *Revue. Sc. Env. Uni. Lomé (Togo)*, **6** :161-186.

**Awa P. O.**, 2013. *Changements climatiques, dynamique de la végétation et perception paysanne dans le Sahel burkinabè*, thèse de doctorat unique de géographie de l'université de OUAGADOUGOU, 305 p .

**Badini, O., Stöckle, C.O., Jones, J.W., Nelson, R., Kodio, A. and Keita, M.**, 2007. *A simulation-based analysis of productivity and soil carbon in response to time-controlled*

*rotational grazing in the West African Sahel region. Agricultural Systems. Vol. 94, n° 1, pp. 87-96.*

**Bajgiran, P.R., Darvishsefat, A.A., Khalili, A. and Makhdoum, M.F.,**2008. *Usin AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the Northwest of Iran* Journal of Arid Environments 72: 1086-1096.

**Bamba I.,** 2010. *Anthropisation et dynamique spatiotemporelle de paysages forestiers en République démocratique du Congo.* Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Belgique, 189 p.

**Barbalata J. C.,** 1999. *Analyse diachronique de la dynamique des milieux naturels par télédétection satellitaire.* 6p.

**Barbier, B., Yacouba, H., Karambiri, H., Zorome, M. and Some, B.,** 2009. *Human Vulnerability to Climate Variability in the Sahel: Farmers' Adaptation Strategies in Northern Burkina Faso. Environmental Management.* Vol. 43, pp. 790–803

**Barima Y. S. S., Barbier N., Bamba I., Traoré D., Lejoly J. & Bogaert J.,** 2009. *Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne.* Bois et forêts des tropiques, 299 (1) : 15-25.

**Barrera-Bassols, N. and Zinck, J.A.,** 2003. *Ethnopedology: a worldwide view on the soil knowledge of local people. Geoderma.* Vol. 111, n° 3-4, pp. 171-195.

**Barrios, E., Delve, R.J., Bekunda, M., Mowo, J., Agunda, J., Ramisch, J., Trejo, M.T. and Thomas, R.J.,** 2006. *Indicators of soil quality: A South-South development of a methodological guide for linking local and technical knowledge. Geoderma.* Vol. 135, pp. 248-259.

**Barrios, S., Ouattara, B. and Strobl, E.,** 2008. *The impact of climatic change on agricultural production: Is it different for Africa?. Food Policy.* Vol. 33, n° 4, pp. 287-298.

**Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. and Palutikof, J.P.,** 2008. : *Le changement climatique et l'eau, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève, 236 p.*

**Bégué, A., Vintrou, E., Ruelland, D., Claden, M. and Dessay, N.,** 2011. *Can a 25-year trend in Soudano-Sahelian vegetation dynamics be interpreted in terms of land use change? A remote sensing approach. Global Environmental Change* In Press, Corrected Proof, pp. 1-9.

**Bénié, G.B., Kaboré, S.S., Goïta, K., Courel, M.-F. and Hiernaux, P., 2005.** *Remote sensing-based spatio-temporal modeling to predict biomass in Sahelian grazing ecosystem. Ecological Modelling.* Vol. 184, pp. 341-354.

**Bergaoui, M. and Alouini, A. 2001.** "Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : cas du bassin versant de Siliana en Tunisie". *Sécheresse.* Vol. 12, pp. 205-213.

**Boko M.,1988 .** *Climats et communautés rurales du Bénin : Rythmes climatiques et rythmes de développement.* Thèse de Doctorat d'Etat ès Lettres et Sciences Humaines. CRC, URA 909 du CNRS, Univ. de Bourgogne, Dijon, 2 volumes, 601 p.

**BoukpeSSI T., 2010.** *Les pratiques endogènes de conservation de la biodiversité au Centre-Togo.* Université de Lomé et de Franche-Comté, thèse de doctorat en Géographie, 230 p.

**Boulsain, N., Cappelaere, B., Ramier, D., Issoufou, H.B.A., Halilou, O., Seghieri, J., Guillemain, F., Oï, M., Gignoux, J. and Timouk, F. 2009.** *Towards an understanding of coupled physical and biological processes in the cultivated Sahel - 2. Vegetation and carbon dynamics". Journal of Hydrology.* Vol. 375, n° 1-2, pp. 190-203.

**Byg A. & Balsvel H., 2001.** *Diversity and use of palms in Zahamena, eastern Madagascar.* Biodiversity and Conservation. Vol. 10 pp. 951-970

**CENATEL., 2007.** *Inventaire Forestier National : Traitement et analyse des données Landsat 7 ETM+.* Maps Geosystem GmbH, DFS, 20 p.

**Chabi R. B. K., 2011.** *Produits Forestiers Non Ligneux végétaux prélevés dans la forêt communautaire d'Igbojja : Biodiversité et formes d'utilisation.* Mémoire de Maîtrise en Géographie. UAC, 87 p.

**Cochème, J. and Franquin, P.,1967.** *Rapport technique sur une étude agroclimatique de l'Afrique sèche au sud du Sahara. Projet conjoint FAO/UNESCO/OMM.* Rome, FAO, 326 p.

**Courel, M.F. et al.,1985.** *Etude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites.* Thèse de doctorat d'Etat ès-Lettres et Sciences Humaines, Université ParisI.

**Dai, A., Lamb, P.J., Trenberth, K.E., Hulme, M., Jones, P.D. and Xie, P., 2004.** The recent Sahel drought is real. *International Journal of Climatology.* Vol. 24, n°11, pp. 1323-1331.

**Dimon R., 2008.** *Adaptation aux changements climatiques : Perceptions, savoirs locaux et stratégies d'adaptation développées par les producteurs des communes de Kandi et de Banikoara au Nord du Bénin.* Thèse d'ingénieur agronome.UAC / FSA. 130p.

- Djogo J., 2006. *Impact des espèces exotiques plantées sur la diversité spécifique des phytocénoses de leur sous-bois*. Syst. Geog. Pl. 76: 191-209.
- Eccard, J.A., Walther, R.B. and Milton, S.J.** 2000. "How livestock grazing affects vegetation structures and small mammal distribution in the semi-arid Karoo". *Journal of Arid Environments*. Vol. 46, pp. 103-106.
- Eisfelder, C., Kuenzer, C. and Dech, S.** 2012. "Derivation of biomass information for semi-arid areas using remote-sensing data". *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 33, n° 9, pp. 2937-2984.
- Escadafal R.**, 2007. *Les bases de la surveillance de la désertification par satellites*. *Sécheresse*, 18 (4) : 263-270.
- Evans, J. and Geerken, R.** 2004. "Discrimination between climate and human-induced dryland degradation". *Journal of Arid Environments*. Vol. 57, pp. 535-554..
- Fahrig L.**, 2003. *Effects of habitat fragmentation on biodiversity*. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34, 487-515.
- Fall S.**,2006. *Spatiotemporal climate variability over Senegal and its relationship to global climate*. *Int. J. Climatol*, 2057-2076 p.
- FAO**, 2006. *Fire in the agriculture-forestry interface*. Rapport présenté à la 24<sup>ème</sup> Conférence régionale de la FAO pour l'Afrique, Bamako, 30 janvier au 3 février 2006.
- FAO**, 2010. *Climate change in Africa: the threat to agriculture*. In *Programme Review. Regional Office for Africa*, 30 p. 235
- FAO**,1999. *State of the world's forests*. Doc. FAO-Rome. 154 p.
- Féki M.**, 2015. *Variation et Variabilité de la dynamique de la végétation au Nord de la Tunisie*. *Acte du XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*. Liège, pp336-342.
- Fensholt, R. and Rasmussen, K.** 2011. "Analysis of trends in the Sahelian 'rain-use efficiency' using GIMMS NDVI, RFE and GPCP rainfall data". *Remote Sensing of Environment*. Vol. 115, n° 2, pp. 438-451.
- Field, C.B., Randerson, J.T. and MalmstrOm, C.M.** 1995. "Global Net Primary Production: Combining Ecology and Remote Sensing". *Remote Sens. Environ*. Vol. 51, pp. 74-88.
- Fischer G. Frohberg K. Parry M.L. et Rosenzweig C.**2001: *Climate change and world food supply, demand and trade*. *Global Environ. Change*. 4 (1), pp 7-23.

- Floret Ch. et Pontanier D.** 2001. *La jachère en Afrique tropicale. De la jachère naturelle à la jachère améliorée.* Le point des connaissances. Vol.2. Paris : John Libbey Eurotext, 339 p.
- Foody G. M.,**2003. *Geographical weighting as a further refinement to regression modelling: an example focused on the NDVI-rainfall relationship.* Remote Sensing of Environment, 88: 283-293
- Franquin P.,** 1969. *Analyse agroclimatique en régions tropicales. Saison pluvieuse et saison humide. Applications. Cah. ORSTOM, sér. Biol. 9 :* 65-95.
- Ganaba, S., Ouadba, J.M. and Bognounou, O.**2005. *Exploitation traditionnelle des végétaux spontanés en région sahélienne du Burkina Faso". Vertigo - La revue en sciences de l'environnement.* Vol. 6, n° 2, pp. 1-15 236
- Gbèssou F.; Akoègninou A.; Houndagba C. J. & Tenté B.,** 2009. *Importance socioéconomique du rônier (borassus aethiopum Mart, Arecacea) dans la Commune de Savè.* Acte 2<sup>ème</sup> colloque de l'UAC des sciences cultures et technologies. UAC, pp 103-115.
- GIEC,** 2001 : *Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Rapport spécial*
- Goutorbe, J.P., Lebel, T., Dolman, A.J., Gash, J.H.C., Kabat, P., Kerr, Y., Montey, B., Prince, S.D., STricker, J.M.M., Tinga, A. & Wallace, J.S.,**1997. An overview of HAPEX-Sahel: a study in climate and desertification. Journal of Hydrology, (188-189): 4-17p.
- Hazards* 54: 643-656.
- Hein L.,** 2006. *The impacts of grazing and rainfall variability on the dynamics of a Sahelian rangeland . Journal of Arid Environments.* Vol. 64, n° 3, pp. 488-504.
- Herrmann, S.M., Anyamba, A. and Tucker, C.J.** 2005. "*Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate". Global Environmental Change Part A.* Vol. 15, n° 4, pp. 394-404.
- Hervé, D.,** 1998. *Capacité de charge animale ou indicateur de pression sur des ressources fourragères.* Pressions sur les ressources et rareté - Approche halieutique et ruraliste. Edition scientifiques IRD, 37-49
- Hess, T.M., Stephens, W. and Maryah, U.M.,** 1995. *Rainfall trends in the North East Arid Zone of Nigeria 1961-1990.* Agricultural and Forest Meteorology. Vol. 74, n° 1-2, pp. 87-97.
- Heumann B.W.et al.,**2007. *AVHRR derived phenological change in the Sahel and Soudan, Africa, 1982-2005* Remote Sensing of Environment, 108 (4), 385-392 p.

**Hiernaux, P., Diarra, L., Trichon, V., Mougine, E., Soumaguel, N. and Baup, F.** 2009. "Woody plant population dynamics in response to climate changes from 1984 to 2006 in Sahel (Gourma, Mali)". *Journal of Hydrology*. Vol. 375, n° 1-2, pp. 103-113. 238

**Hiernaux, P., Mougine, E., Diarra, L., Soumaguel, N., Lavenu, F., Tracol, Y. and Diawara, M.**, 2009. *Sahelian rangeland response to changes in rainfall over two decades in the Gourma region, Mali*. *Journal of Hydrology*. Vol. 375, n° 1-2, pp. 114-127.

**Houdénou C.**,1999. *Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropicale humide : l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation*. Thèse de Doctorat de géographie. UMR 5080, CNRS « climatologie de l'espace tropical » Université de Bourgogne, centre de Recherche de climatologie. 341p.

**Houndagba C. J., Tenté B. A. & Guédou R.**, 2007. *Dynamique des forêts classées dans le cours moyen de l'Ouémé (Kétou, Dogo, Ouémé-Boukou) au Bénin*. In Fournier A., Sinsin B. & Mensah G. A., 2007. *Quelles aires protégées pour l'Afrique de l'Ouest*, (eds) Livre du premier séminaire sur l'aménagement et la gestion des aires protégées en Afrique de l'Ouest, Parakou, 14-19 avril 2003. *IRD éd*, Paris, France, pp 369-380

**Houngbo N.E.**, 2008. *Dynamique de la pauvreté et pratiques agricoles de conservation de l'environnement en milieu rural africain : le cas du plateau Adja au Sud Bénin*. Thèse de Doctorat unique Abomey-Calavi, EDP/FLASH/UAC, 288p.

**Houkannou, C.H.**,2010. *Stratégies endogènes de maîtrise de l'eau développées par les producteurs face au changement et la variabilité climatique dans la commune de Lalo (Sud Bénin) Bénin*, Université D' Abomey Calavi 110 p.

**Hountondji H.Y-C.**, 2008. *Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest: Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal*. Thèse de doctorat. Université de Liège, Belgique, 131 p.

**Hountondji, Y.-C., Nicolas, J., Sokpon, N. and Ozer, P.**,2005. "Mise en évidence de la résilience de la végétation sahélienne par télédétection basse résolution au Niger à la suite d'épisodes de sécheresse". *BELGEO*, pp. 499-516.

humide. Applications. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.* **9** : 65-95.

**IPCC**, 2013. *Climate Change: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.

**Issa M .S.,**1995. *Impacts potentiels d'un changement climatique du au doublement du CO2 atmosphérique sur l'agriculture en République du Bénin*. Mémoire de DESS, Université Senghor d'Alexandrie, 113 p.

**Issa M.S.,** 2012. *Changements climatiques et agro-systèmes dans le moyen Bénin:Impacts et stratégies d'adaptation*. Thèse de doctorat unique de géographie, UAC/FLASH/EDP, 278 p.

**Jain, S.K., Keshri, R., Goswami, A. and Sarkar, A.,** 2010. *Application of meteorological and vegetation indices for evaluation of drought impact: a case study for Rajasthan, India*. *Nat*

**Jaquin A.,** 2010.*Dynamique de la Végétation des Savanes en lien avec l'usage des feux à Madagascar .Analyse par série temporelle d'images de télédétection*. Thèse de Doctorat Université de Toulouse ; 141p.

**Justice C. O. Digdale G. Townshend J. R. Narracott A. S. et Kumar M.,**1991. *Synergism between NOAA-AVHRR and Meteosat data for studying vegetation development in semiarid West Africa*. *International Journal of Remote Sensing*, 12: 1349-1368.

**Karnieli, A., Gabai, A., Ichoku, C., Zaady, E. and Shachak, M.,** 2002. "*Temporal dynamics of soil and vegetation spectral responses in a semi-arid environment*". *int. j. remote sensing*. Vol. 23, n°19, pp. 4073-4087.

**Kotschi J.,**1990 : *Agriculture écologique et développement agricole*, Weikerheim :

**Krohmer, J., Hahn-Hadjali, K. and Wittig, R.,**2006 . Utilisation de la flore sauvage par des populations peules au Burkina Faso et Bénin. *Etudes flor. vég. Burkina Faso* 10: 33-48.

**Kvalevag MM, Myhre G., Bonan G. & Levis S.,** 2009. *Anthropogenic land cover changes in a GCM with surface albedo changes based on MODIS data*. *International Journal of Climatology*, Vol. 30, No 13, pp. 2105–2117.

**Lambin, E.F., Geist, H.J. and Lepers, E. ,**2003. "*Dynamics of land -use and land-cover change in tropical regions*". *Annu. Rev. Environ. Resour.* Vol. 28, pp. 205-241.

**Laouina, A., Aderghal, M., Karkouri, J.A., Chaker, M., Machmachi, I., Machouri, N. and Sfa, M.,**2010. "*Utilisation des sols, ruissellement et dégradation des terres : le cas du secteur Sehoul, région atlantique (Maroc)*". *Science et changements planétaires / Sécheresse*. Vol. 21, n° 4, pp. 309-316.

**Leblanc, M.J., Favreau, G., Massuel, S., Tweed, S.O., Loireau, M. and Cappelaere, B.** (2008). *Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger*. *Global and Planetary Change*. Vol. 61, n° 3-4, pp. 135-150.

**Lecerf R.**,2008. *Suivi des changements d'occupation et d'utilisation des sols d'origine anthropique et climatique à l'échelle régionale par télédétection moyenne résolution (Application à la Bretagne)*. In, Laboratoire COSTEL. Rennes (France): Université de Rennes 2, 326p.

**Lykke, A.M., Kristensen, M.K. and Ganaba, S.**, 2004. *Valuation of local use and dynamics of 56 woody species in the Sahel. Biodiversity and Conservation*. Vol. 13, n° 10, pp. 1961-1990.

**Marteau R.**,2006. Sensibilité de la relation précipitations-NDVI(1981-1989) aux états de surfaces continentaux sur l'ouest du plateau sud-africain, *Mémoire de Master II*, 57p.

**Mbow, C., Mertz, O., Diouf, A., Rasmussen, K. and Reenberg, A.**, 2008b. *The history of environmental change and adaptation in eastern Saloum-Senegal--Driving forces and perception. Global and Planetary Change*. Vol. 64, n° 3-4, pp. 210-221.

**MEHU**,2001. *Plan d'action Environnement du Bénin*. 1 version révisée Novembre2001 Cotonou : MEHU, 170 p.

**MEHU**,2007 . *Agenda de l'Environnement*. Mémento Cotonou Graphic afric, 182 p.

**Miehe, S., Kluge, J., Von Wehrden, H. and Retzer, V.**, 2010. "Long-term degradation of Sahelian rangeland detected by 27 years of field study in Senegal". *Journal of Applied Ecology*. Vol. 47, n° 3, pp. 692-700.

**Milich, L. and Weiss, E.**, 2000. *GAC NDVI images: Relationship to rainfall and potential evaporation in the grazing lands of The Gourma (northern Sahel) and in the croplands of the Niger-Nigeria border (southern Sahel)*. *int. j. remote sensing*. Vol. 21, n° 2, 261- 280 p.

*modelling: an example focused on the NDVI-rainfall relationship. Remote Sensing*

**Moussa**, 2016. *Dynamique des écosystèmes et vulnérabilité des ligneux fourragers le long des couloirs de transhumance dans la Commune de Savè*. Mémoire de DEA/ EDP/UAC, 107p.

**Müller, J. and Wittig, R.**, 2002. "L'état actuel du peuplement ligneux et la perception de sa dynamique par la population dans le Sahel burkinabé - présenté à l'exemple de Tintaboora et de Kollangal Alyaakum". *Etudes flor. vég. Burkina Faso*. Vol. 6, pp. 19-30.

**Nicholson, S.E., Tucker, C.J. and Ba, M.B.**, 1998. *Desertification, Drought, and Surface Vegetation: An Example from the West African Sahel*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, pp. 1-15.

*of Environment*, 88: 283-293.

*of rainfall of different daily amounts, 1919-1985. Climatic change*, vol. 19, pp 319-341.

**Ogouwalé E.**, 2006. *Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire*. Thèse de Doctorat unique, LECREDE/FLASH/ EDP/ UAC, 302p.

**Olaniran O.J.**, 1991 : *Evidence of climatic change in Nigeria based on annual series*

**Oloukoï J.** 2012 . *Utilité de la télédétection et des systèmes d'information géographique dans l'étude de la dynamique spatiale de l'occupation des terres au centre du Bénin*, Thèse de doctorat unique de Géographie de l'Université d'Abomey-Calavi , 304p.

**Omute, P., Corner, R. and Awange, J.L.**, 2012. *The use of NDVI and its Derivatives for Monitoring Lake Victoria's Water Level and Drought Conditions*. *Water Resour Manage* 26: 1591-1613.

**ONU.**, 2005. *Objectifs du Millénaire pour le développement*. New York, 48 p

**Ozenda, P.**, 1982. *Les végétaux dans la biosphère*. Doin editeurs Paris, 432 p.

**Ozer, A. and Ozer, P.**, 2005. "Désertification au Sahel : crise climatique ou anthropique ?" *Bull. Séanc. Acad. R. Sci. Outre-Mer Meded. Zitt. K. Acad. Overzeese Wet*. Vol. 51, pp. 395-423.

**Ozer, P., Gassani, J., Hountondji, Y.-C., Niang, A.J. and Ambouta, K.**, 2007. *La désertification est-elle en recul au Sahel ? Bois et forêts des tropiques*. Vol. 293, n° 3, pp. 23-28.

**Ozer, P., Hountondji, Y.-C. and Laminou Manzo, O.**, 2009. "Evolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007". *Geo-Eco-Trop*. Vol. 33, pp. 11 - 30.

**Ozer, P., Hountondji, Y.-C., Niang, A.J., Karimoune, S., Manzo, O.L. and Salmon, M.**, 2010. *Désertification au sahel : historique et perspectives*. *BSGLg*. Vol. 54, pp. 69-84. 247

**Ozer, P.**, 2010. *Dust variability and land dégradation in the Sahel*, 15 p.

Parakou, 14-19 avril 2003. IRD Editions, Paris, France, pp 369-380

**Prince, S.D., Wessels, K.J., Tucker, C.J. and Nicholson, S.E.**, 2007. Desertification in the Sahel: a reinterpretation of a reinterpretation. *Global Change Biology* 13(7): 1308-1313.

**Retzer, V.**, 2006. *Impacts of grazing and rainfall variability on the dynamics of a Sahelian rangeland revisited (Hein, 2006)—new insights from old data*. *Journal of Arid Environments*. Vol. 67, pp. 157-164. 249

**Rindfuss R. R., Entwisle B., Walsh S. J., An L. Badenoch N., Brown D. G., Deadman P., Evans T. P., Fox J., Geoghegan J., Gutmann M., Kelly M., Linderman M., Liu J., Malanson G. P., Mena C. F., Messina J. P., Moran Emilio F., Parker Dawn C., Parton W., Prasartkul**

- P., Robinson Derek T., Sawangdee Y., Vanwey L. K. and Verburg P. H., 2008.** *Land use change: complexity and comparisons.* Journal of Land Use Science, 3:1, 1-10p.
- Rome M., 2009.** *Compréhension des mécanismes régissant la phénologie des prairies subalpines : Cas de l'Adret de Villar d'Arène (Hautes Alpes, Mémoire de Master 2, Université JOSEPH FOURIER, 68 pages.*
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W., 1974.** *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceeding, third earth resources technology satellite-1 symposium, greenbelt. NASA SP-351, 301-317.*
- Schlaepfer, R., 2003.** *Cours Ecologie du Paysage : une introduction, 53 p.*
- Seaquist, J.W., Hickler, T., Eklundh, L., Ardö, J. and Heumann, B.W., 2009.** *Disentangling the effects of climate and people on Sahel vegetation dynamics. Biogeosciences.* Vol. 6, pp. 469-477.
- Seguin, B., 2003.** *Adaptation des systèmes de production agricole au changement climatique. Geoscience.* Vol. 335, pp. 569-575.
- Sop, T.K., Oldeland, J., Schmiedel, U., Ouedraogo, I. and Thiombiano, A., 2011.** *Population structure of three woody species in four ethnic domains of the sub-sahel of Burkina Faso. Land Degradation & Development,* pp. 1-17.
- Sounon Bouko B., Sinsin B. et Bio Goura B., 2007 .** Effets de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité floristique des forêts claires et savanes au
- Stephenne, N. and Lambin, E.F., 2004.** *Scenarios of land-use change in Sudano-sahelian countries of Africa to better understand driving forces. GeoJournal .* Vol. 61, pp. 365–379.
- Sultan, B., Baron, C., Dingkuhn, M., Sarr, B. and Janicot, S., 2005.** *Agricultural impacts of large-scale variability of the West African monsoon. Agricultural and Forest Meteorology.* Vol. 128, n° 1-2, pp. 93-110.
- sur l'Evaluation de la vulnérabilité en Afrique.* Island Press, Washington, 53 p.
- Tenté B ., 2005 .** *Recherche sur les facteurs de la diversité floristique des versants du massif de l'Atacora : secteur Perma-toucountouna (Bénin), Thèse de doctorat (Unique) de Géographie de l'Université d'Abomey-Calavi 252p.*
- Tenté B., 2000.** *Dynamique actuelle de l'occupation du sol dans le massif de l'Atacora : Secteur Perma–Toucountouna, Mémoire de DEA, EDP, UNB, 83p.*

**Toko I.**, 2008. *Etude de la variabilité spatiale de la biomasse herbacée, de la phénologie et de la structure de la végétation le long des toposéquences du bassin supérieur du fleuve Ouémé au Bénin*, Thèse de doctorat (Unique) de Géographie de l'Université d'Abomey-Calavi, 241p.

**Toko I.M. et da Matha Sant'Anna M.**,1999 . *Evolution de l'utilisation du terroir dans la sous-préfecture de Banikoara (Nord-Bénin)*. Cahiers agricoles 1999, **8** : 135-141.

**Toko Mouhamadou.I.**,2014. *Facteurs déterminants de la fragmentation des écosystèmes forestiers : cas des îlots de forêts denses sèches de la forêt classée des Monts Kouffè et de sa périphérie au Bénin*, Thèse de doctorat (Unique) de Géographie de l'Université d'Abomey-Calavi, 209p.

**Tossa A.**,2009. *Rapport sur projet de renforcement des capacités nationales de suivi des ressources en eau axe sur la gestion de l'eau agricole*,64p.

**Tucker C.J.**, 1986. *Maximum normalized difference vegetation index images for sub-saharan Africa for 1983- 1985*. remote sensing of environment, vol. 23, 243-251 p.

**Van Asten, P.J.A., Barro, S.E., Wopereis, M.C.S. and Defoer, T.**, 2004. *Using farmer knowledge to combat low productive spots in rice fields of a Sahelian irrigation scheme*. *Land Degradation & Development*. Vol. 15, n° 4, pp. 383-396.

Verlag, Joset Margraf, 134 p.

**Wessels, K. J., Prince, S. D. and Frost, P. E.**, 2004. *Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homeland of South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series*. *Remote Sensing Environment*, **91**, 1, 47-64.

**Wezel, A. and Lykke, A.M.**,2006. *Woody vegetation change in Sahelian West Africa: evidence from local knowledge*. *Environ Dev Sustain* . Vol. 8, pp. 553-567.

**Wokou G. C.**,2014 . *Croissance démographique, évolution climatique et mutations agricoles et environnementales dans le Bassin du Zou au Bénin*, Thèse de doctorat (Unique) de Géographie de l'Université d'Abomey-Calavi , 244p.

**Wolkoff, B.** 1976. Notice explicative n°66 (2). *Carte pédologique de reconnaissance de la république populaire du Bénin à 1/200 000*. Feuille d'Abomey (2). ORSTOM, Paris 40 p.

world food supply, demand and trade. *Global Environ. Change*. 4 (1), pp 7-23.

**Xiao C., Yu R., Fu, & Y.**, 2009. *Precipitation characteristics in the Three Gorges dam vicinity*. *International Journal of Climatology*, Vol. 30, No13, pp. 2021 - 2024. Paris, Cerf.

**Yabi I.,** 2008 . *Etude de l'agroforesterie à base de l'anacardier et des contraintes climatiques à son développement dans le Centre du Bénin.* Thèse de doctorat unique de géographie,UAC/FLASH/EDP, 239 p.

## **Webographie**

[http://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/biomasse.php4](http://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/biomasse.php4)  
consulté le 21 janvier 2016

<http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/environnement-biomasse-2038/>consulté 2016-01-21 et date de la dernière mise à jour. Juin 2012

<http://www.un.org/french/ecosocdev/geninfo/afrec/newrelfr/changements-climatiques-3.html>.  
(Consulté en avril 2011).

[http://WWW.vito.earth\\_observation](http://WWW.vito.earth_observation) date de la dernière consultation 27 juin 2016 à 12h35mn

## Liste des figures

Figure 1 : Carte de localisation de l'aire de la confluence Ouémé-Okpara.....	18
Figure 2: Pédologie de l'aire de la confluence Ouémé-Okpara.....	21
Figure 3 : Carte du réseau hydrographique de l'aire de la confluence Ouémé-Okpara .....	23
Figure 4 : Répartition démographique du secteur d'étude.....	24
Figure 5 : Anomalie pluviométrique interannuelle dans l'aire de la confluence Ouémé-okpara.....	41
Figure 6 : Evolution décadaire des hauteurs de pluie dans l'aire de la confluence Ouémé-Okpara.....	42
Figure 7 : Diagramme climatique de Savè.....	43
Figure 8 :Profil annuel de NDVI de la végétation de 2003 à 2013.....	45
Figure 9 : Indice des conditions végétales en 2005.....	46
Figure 10 : Indice des conditions végétales en 2013.....	47
Figure 11:Evolution spatio-temporelle décadaire de l'ICN en 2005 de la végétation à l'aire de la confluence Ouémé-Okpara.....	47
Figure 12 : Evolution spatio-temporelle décadaire du ICN de la végétation à l'aire de la confluence Ouémé-Okpara.....	48
Figure 13 : Relation décadaire entre Pluie-NDVI en 2003.....	50
Figure 14 : Relation décadaire entre Pluie-NDVI en 2013.....	52
Figure 15 : Régression polynomiale décadaire entre Pluie-NDVI en 2003.....	56

Figure16 :Etat de l'occupation du sol entre en 2003 et 2013 .....	57
Figure17 : dynamique de l'occupation du sol à l'aire de la confluence Ouémé-Okpara.....	59
Figure 18 : Perception des paysans sur le début des saisons de pluies.....	60
Figure 19 : Perception des paysans sur la fin des saisons de pluie .....	61
Figure 20 : Perception des principales causes du changement d'état de la végétation.....	62

### **Liste de Photo**

<b>Photo</b> : Etat de la végétation avec la culture d'igname à Okpa.....	63
---	----

### **Liste des tableaux**

Tableau I : Nombre de ménages enquêtés.....	26
Tableau II : Présentation des types de station et données climatiques.....	28
Tableau III : Caractéristiques et utilité des données.....	31
Tableau IV : Valeurs de NDVI et type de végétation.....	33
Tableau V : Exemple de tableau de transition.....	38
Tableau VI : Caractérisation des sites témoins entre pluie-NDVI.....	49
Tableau VII : Corrélation entre Pluie-NDVI des sites .....	55
Tableau VIII : synthèse des superficies de formations Végétales et autres unités d'occupation du sol de l'aire de la confluence en 2003 et 2013.....	58

## ANNEXES

### QUESTIONNAIRES ET GUIDE D'ENTRETIEN

#### QUESTIONNAIRE ADRESSE AUX AGRICULTEURS

- Identification de l'enquêté

#### I- Appréciation de la situation climatique récente par les paysans

##### **Début de la saison des pluies**

1=précoce 2=tardif 3=ne sait pas

##### **Fin de la saison des pluies**

1=précoce 2=tardif 3=ne sait pas

##### **Durée de la saison des pluies**

1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 4=ne sait pas

##### **Quantité de pluies de la saison pluvieuse**

1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 4=ne sait pas

##### **Poches de sécheresse**

1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 4=ne sait pas

##### **Inondations pendant la saison des pluies**

1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 4=ne sait pas

##### **Sécheresse**

1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 4=ne sait pas

##### **Augmentation de la chaleur pendant la saison pluvieuse sur culture**

1=jaunissement des plants 2= les plants sont partiellement secs 3= les plants sont totalement secs

##### **Les mois à pluie précoce ou tardive les plus affectés sont :**

1=Mai 2=Juin 3=Juillet 4=Aout 5= Septembre 6=Octobre

##### **En saison sèche, que faites-vous de la biomasse issue de vos récoltes ?**

1=rien 2=brûlé 3=exploitée pour la culture

##### **avez-vous une compréhension sur les causes de la situation climatique récente**

1=divine 2= changement climatique 3= activités agricoles 4-exploitation abusive d'arbre

5-Entre la grande saison et la petite saison pluvieuse, laquelle est la plus affectée par le retard ou la précocité des pluies ?

#### II- Perception populaire sur la dynamique végétale

##### 2.1- Impacts de la dynamique végétale par rapport au climat et agriculture

A Début tardif des pluies et influence sur la maturité des plants

B Fin précoce des pluies et influence sur le rendement agricole

C Pluies abondante (quantité d'eau par pluie) et perte de récolte

D-Mauvaise répartition spatiale des pluies

E- Manque ou insuffisance des pluies

F- Poches de sécheresse

G-Augmentation de la chaleur pendant l'hivernage sur culture

## **2.2- Impacts négatifs**

1=assèchement précoce des semis/ fleurs

2= dégradation des sols

3= écoulement rapide des eaux de pluies

## **2.3- Impacts négatifs et de la disponibilité du pâturage**

1= conflit entre agriculteur et éleveur

2= coïncidence des temps de pâturage et la croissance des nouveaux plants

3= non disponibilité du pâturage en Août

## **2.4 Que feriez-vous en cas de sécheresse – pendant une campagne agricole?**

1-Chercher une autre activité au niveau du village ou villages voisins (si oui, laquelle ?)

2-Migrer définitivement vers d'autres régions

3-Attendre la saison des cultures maraîchères

4-Vente d'animaux

5-Baisse du nombre de repas quotidiens

6- Baisse de la ration alimentaire.

## Table des matières

SOMMAIRE.....	2
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES.....	3
DEDICACE.....	4
REMERCIEMENTS.....	5
RESUME.....	7
ABSTRACT.....	8
INTRODUCTION.....	9
CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE ET GEOGRAPHIQUE.....	11
1.1-Cadre théorique.....	11
1.1.1-Problématique.....	11
1.1.3-Objectifs de recherche.....	13
1.1.4-Définitions opératoires et clarification des concepts.....	13
1.1.5-Etat des connaissances.....	15
1.2.Cadre géographique.....	18
1.2.1-Localisation.....	18
1.2.2-Caractéristiques biophysiques.....	19
1.2.2-1-Climat.....	19
1.2.2-2-Température.....	20
1.2.2.3-Humidité relative, Insolation et vent.....	20
1.2.2.4-Caractéristique pédologique.....	21
1.2.2.5-Réseau hydrographique et végétation.....	22
1.2.3-Facteurs humains et activités.....	26
CHAPITRE II : APPROCHE METHODOLOGIQUE DE L'ETUDE.....	25
2-1-Matériels et outils.....	25
2-2-Acquisition des données et méthodes.....	25
2-2-1-Recherche documentaire.....	25
2-2-2- Enquête de terrain.....	26
2-2-3- Constitution des données de l'étude et méthodes.....	27
2-2-3-1-Données climatiques et méthodes.....	28
2-2-3-2- Images satellites : SPOT et MODIS.....	30
2-2-3-2-1-Détermination des valeurs du NDVI des images SPOT végétation et ses dérivés(ICN et VCI).....	32
2-2-3-2-2-Evolution du NDVI-Pluie dans le temps et dans l'espace.....	35
2-2-3-2-3-Méthode d'analyse de la dynamique de l'occupation des terres.....	37
2-3-Limites méthodologiques.....	38
CHAPITRE III : CARACTERISATION DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE ET DYNAMIQUE DE LA VEGETATION.....	40
3-1- Variabilité climatique dans la confluence Ouémé-Okpara.....	40
3-1-1- Variabilité pluviométrique interannuelle dans la confluence Ouémé-Okpara.....	41
3-1-2- Variabilité pluviométrique décadaire et bilan climatique.....	41

3-2- Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle NDVI-Pluie .....	44
3-2-1-Profil interannuel du NDVI dans la confluence Ouémé-Okpara.....	44
3-2-2- Variations décennales de la pluie –NDVI des formations végétales au niveau des sites (1, 2,3 et 4).....	48
3-2-2- 3- Etude de la corrélation entre NDVI et pluviométrie.....	54
3-3- Caractérisation des facteurs explicatifs de la dynamique de la végétation .....	59
3-3-1-Analyse de la dynamique de l'occupation des terres dans la confluence Ouémé-opkara..	59
3-3-2-Perception communautaire de dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé-Okpara .....	62
3-3-2-1-Perception paysanne de la dynamique de l'activité végétative.....	62
3-3-2-2-Perception paysanne de l'occupation des terres.....	64
 CHAPITRE IV: DISCUSSION.....	66
4.1-Variabilité climatique et dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé-Okpara .....	66
4.2- Caractérisation des facteurs explicatifs de la dynamique de l'occupation des terres .....	67
4.3- Perception communautaire de la variabilité climatique et de dynamique de la végétation dans la confluence Ouémé-Okpara .....	68
 CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	69
Références bibliographiques .....	73
Liste des figures .....	85
Liste de Photo.....	86
Liste des tableaux.....	86
Annexes.....	87
Table des matières.....	89