



Université d'Abomey-Calavi



Faculté des Sciences Humaines  
et Sociales

Ecole Doctorale Pluridisciplinaire « *Espaces, Cultures et Développement* » (EDP)

=\*\*\*\*\*=

**DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES (DEA)**

=\*\*\*=

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

**N° d'enregistrement : \_\_\_\_\_/2017/UAC/FLASH/EDP/SA**



**VARIABILITE CLIMATIQUE ET PRESSION ANTHROPIQUE  
SUR LA DYNAMIQUE DU COUVERT VEGETAL DU BASSIN  
VERSANT DE L'OUEME SUPERIEUR A N'DALI AU BENIN**

Présenté par :

**Moïse BIO MAYE**

Sous la direction de :

**Dr. Vincent O. A. OREKAN**

*Maître de conférences (DGAT/FASHS, Université d'Abomey-Calavi)*

&

**Dr. Henri S. TOTIN VODOUNON**

*Maître-Assistant (DGAT/FLASH, Université de Parakou)*

**Soutenu le 19 / 05 / 2017 devant le Jury composé de :**

**Président :** Placide F. G. A. CLEDJO, *Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi*

**Examineur :** Henri S. TOTIN VODOUNON, *Maître-Assistant, Université de Parakou*

**Rapporteur :** Vincent O. A. OREKAN, *Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi*

**Mention : Très bien**

## Sommaire

Sommaire .....	1
Dédicace.....	3
Remerciements.....	4
Sigles et acronymes.....	5
Résumé.....	6
Abstract .....	6
Introduction.....	7
CHAPITRE I : Cadre théorique et situation géographique de l'étude .....	9
CHAPITRE II : Données et méthodes.....	24
CHAPITRE III : Caractérisation de la variabilité climatique et de la pression anthropique dans le bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali .....	35
CHAPITRE IV : Manifestation de la pression anthropique dans le bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali.....	47
Discussions .....	60
Conclusion .....	64
Limites de l'étude .....	66
Perspectives pour la thèse .....	66
Bibliographie.....	67
Liste des figures .....	75
Liste des tableaux.....	76
Liste des planches .....	76
Annexes.....	77
Table des matières.....	82

## **Dédicace**

A

- ma fille Gnon Dobou Cyruse Pascaline. Que ce travail te soit un exemple à suivre et à dépasser ;

- ma mère Dama kio. Toi qui as su me guider tout au long de ma vie, ce travail est le fruit de tes peines.

## Remerciements

Je saisis cette opportunité pour témoigner ma gratitude à tous ceux qui ont contribué à ma formation scolaire et universitaire car je ne saurais les citer tous.

Je remercie particulièrement mon Directeur de mémoire Dr Vincent A. O. OREKAN et le Co-directeur Dr Henri S. TOTIN VODOUNON qui ont su encadrer ce mémoire jusqu'à son terme, malgré leurs multiples occupations. Ce travail a bénéficié de leurs rigueurs scientifiques, de leurs critiques et conseils très remarquables. Qu'ils trouvent à travers ce témoignage l'expression de mes sincères sentiments de reconnaissance.

Mes sincères remerciements vont également à :

- tous les enseignants de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire de la FLASH ;
- tous les membres du Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale ;
- tous les membres du Laboratoire Pierre PAGNEY ;
- au Dr Ernest AMOUSSOU qui a œuvré pour que mon inscription soit possible en DEA. Merci infiniment pour vos conseils et votre soutien de tout genre ;
- au Dr Norbert AGOINON pour ses conseils et son soutien de tout genre ;
- au Dr Djafarou ABDOULAYE pour ses conseils et ses appuis de tout genre ;
- au Révérend Père Herman BAGANA qui a pris toutes les dispositions possibles pour que ma formation soit effective. Merci également pour vos conseils et votre soutien moral ;
- M. Seïdou KPESSIGUI pour son soutien de tout genre ;
- M. Maurice TABE qui m'a hébergé au cours de cette formation ;
- M. Torri O. BIO ANDEMI pour son soutien ;
- M. Ousseni IBRAHIM pour sa disponibilité et ses appuis de tout genre ;
- une pensée profonde pour mes frères Paul, Nicodème et sœurs Dado, Odile, Denise, Bona pour leur soutien moral tout au long de ce travail.

Enfin, mes profondes gratitudes et reconnaissances vont à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre m'ont soutenu dans la réalisation de ce travail.

## **Sigles et acronymes**

<b>ABE</b>	: Agence Béninoise pour l'Environnement
<b>AGRHYMET</b>	: Centre Régional d'Agrométéorologie et d'Hydrologie opérationnelle
<b>ANCB</b>	: Association Nationale des Communes du Bénin
<b>ASECNA</b>	: Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et Madagascar
<b>BU</b>	: Bibliothèque Universitaire
<b>CENATEL</b>	: Centre National de la Télédétection et Cartographie Environnementale
<b>CeRPA</b>	: Centre Régional pour la Promotion Agricole
<b>CILSS</b>	: Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
<b>DEA</b>	: Diplôme d'Etudes Approfondies
<b>DGAT</b>	: Département de Géographie et Aménagement du Territoire
<b>DGFRN</b>	: Direction Générale des Forêts et des Ressources Naturelles
<b>ENDA</b>	: Environnement et Développement du Tiers Monde
<b>ENS</b>	: Ecole Normale Supérieure
<b>ETP</b>	: Evapotranspiration potentielle
<b>FAO</b>	: Food and Agricultural Organisation (Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation)
<b>IBT</b>	: International Building and Trade
<b>IGN</b>	: Institut Géographique National
<b>IMPETUS</b>	: Approche Intégrée pour la gestion Efficace des ressources Hydriques Limitées en Afrique de l'Ouest
<b>INSAE</b>	: Institut National des Statistiques et de l'Analyse Economique
<b>NDVI</b>	: Normalized Difference Vegetation Index
<b>IPCC</b>	: Intergovernmental Panel for Climate Change
<b>LABEE</b>	: Laboratoire de la Biogéographie et Expertise Environnementale
<b>OLI-TIRS</b>	: Operational Land Imager-Thermal Infrared Sensor
<b>PGRN</b>	: Projet de Gestion des Ressources Naturelles

## Résumé

Cette étude appréhende la dynamique des formations végétales en rapport avec les effets combinés du climat et de la pression anthropique dans le bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali.

Pour atteindre les objectifs, la méthode utilisée s'articule autour de la collecte des données, de leur traitement et de l'analyse des résultats à travers les techniques d'analyse statistique descriptive, le test non paramétrique de Pettitt, la méthode de segmentation de Hubert, le calcul des indices, l'analyse numérique d'images satellitaires et le test de Spearman.

Les résultats obtenus montrent que la période 1950-2015 a été marquée par une variabilité climatique avec 12,30 % d'années déficitaires et un écart pluviométrique de 973 mm. De 1950 à 1986, les résultats des tests montrent une diminution de 126,09 mm de pluie avec une hausse des températures moyennes de 1,44 °C. Les vents sont violents avec un écart de 1,72 m/s. Aux années sèches correspondent des températures élevées et des vents très violents. La variation hydrique est comprise entre 0,28 % et 67,36 % avec les valeurs les plus élevées aux décennies de grande sécheresse (1970 et 1980) ; ce qui augmente le stress hydrique des plantes avec pour conséquence leur dépérissement voire leur mort. Quant aux conditions environnementales, elles se sont dégradées. Les formations naturelles ont connu un taux de régression de l'ordre de 64,33 % pour les forêts claires et savanes boisées ; 76,49 % pour les forêts denses ; 70,58 % pour les galeries forestières et 81,66 % pour les plans d'eau. Par contre, les agglomérations, les cultures et jachères ; la savane arborée et arbustive ont connu une progression de l'ordre de 62,32 % pour les savanes arborées et arbustives 68,37 % pour les agglomérations et 161,2 % pour les champs et jachères. L'agriculture, l'élevage et l'exploitation forestière non contrôlée ont accéléré cette mutation. La corrélation de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) / Pluie montre une dépendance du NDVI vis-à-vis de la pluie. L'application d'une courbe de tendance au nuage de points de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) et de la pluie donne une corrélation  $r = 0,98$ . Sur la base de ces résultats, il convient de conclure que les changements des paramètres climatiques ont contribué à la dégradation du couvert végétal de même que la pression anthropique.

**Mots clés :** Variabilité climatique – Pression anthropique - Dynamique de la végétation– NDVI– N'Dali

## Abstract

This study aims to understand the land cover dynamics and to analyze the combined effects of climate and anthropogenic pressure in the Upper Ouémé basin at N'Dali.

To achieve the objectives of this thesis, the method used involves data collection, processing and analysis of results through descriptive statistical methods, Pettitt's nonparametric test, Hubert segmentation, calculation of indices, digital analysis of satellite images and Spearman test.

The results show that the period 1950-2015 was marked by a climatic variability with 12,30 % deficit years and a rainfall gap of 973 mm. From 1950 to 1986 test results show a decrease of 126.09 mm of rain with an average temperature increase of 1, 44 °C. The winds are violent with a deviation of 1,72 m/s. Dry years correspond to high temperatures and very violent winds. The water variation is between 0,28 % to 67,36 % with the highest values for decades of large drought (1970 and 1980). This increased the water stress of the plants with consequence their dieback see their death. Dry years correspond to high temperatures and very violent winds. As for environmental conditions, they have deteriorated. The natural formations showed a regression rate of 64,33 % for forested and wooded savannas, 76,49 % for dense forests, 70,58 % for forest galleries and 81,66 % for forests of water. On the other hand, agglomerations, crops and fallow land and the savannah of trees and shrubs have increased by 62,32 % for the savannah trees and shrubs 68,37 % for the agglomerations and 161,2 % for the fields and Fallow. Agriculture, livestock and uncontrolled logging have accelerated this shift. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) / Rain correlation shows a dependence of NDVI on rainfall. Applying a trend curve to the cloud of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) points and rain gives the correlation  $r = 98$ . On the basis of these results, it should be concluded that the changes in climatic parameters have contributed to the degradation of the vegetation cover as well as the anthropogenic pressure.

**Key words:** Climate variability - Anthropogenic pressure - Vegetation dynamics - NDVI - N'Dali.

## **Introduction**

La conservation de la biodiversité est devenue aujourd'hui un impératif pour toute société s'inscrivant dans l'optique du développement durable. Cette conservation doit reposer sur une bonne connaissance de la diversité biologique pour être efficace et mener des actions adéquates. C'est pourquoi la convention sur la diversité biologique élaborée à Rio de Janeiro en 1992 a souligné la nécessité de prendre des mesures adéquates pour la protection et la conservation des écosystèmes. Plusieurs Etats africains ont ainsi entrepris la création de nouvelles aires protégées sur leur territoire (UICN, 1994). La déforestation, qui a pour effet de libérer le gaz carbonique stocké dans les arbres et dans le sol des forêts, constitue l'une des causes principales du changement climatique. Elle représente à elle seule entre un cinquième et un quart des émissions de gaz à effet de serre dues à l'activité humaine (FAO, 2005). Lutter contre la déforestation n'est donc pas seulement une question de réduction des émissions, mais également d'adaptation au changement climatique, car le maintien d'une couverture forestière peut contrecarrer des effets néfastes comme la sécheresse, l'érosion ou les risques d'inondation (Issa, 2012). La transformation des milieux modifie certains paramètres climatiques comme les précipitations, la nébulosité et les températures extrêmes qui induisent des répercussions sur le développement de la végétation (Djoufack-manetsa, 2011). Les recherches effectuées par Olivry *et al.* (1993) cité par Ogouwalé (2010) indiquent que les précipitations ont été marquées par une diminution d'environ 20 % sur la période 1970-1990 en Afrique tropicale à cause de la déforestation.

Les forêts et les arbres hors forêt peuvent aider de multiples façons les communautés locales à s'adapter aux effets du changement climatique (Robledo et Forner, 2005). Les plantations ou les arbres régénérés naturellement protègent les bassins versants contre la sécheresse. Elles renforcent ainsi la résistance aux phénomènes climatiques néfastes. De ce fait, le climat est considéré comme le facteur prépondérant dans l'étude des phénomènes biologiques des végétaux (Woodward and McKee, 1991). De même, la végétation constitue un bon intégrateur du climat et une bonne évaluation de sa distribution est nécessaire, qu'il s'agisse de la forêt ou des autres biomes (Dessey, 2006).

Les systèmes agroforestiers et les arbres dans le paysage produisent du bois et des aliments et fournissent un éventail de services environnementaux et sociaux. Selon MFACED (2004), 60 millions de personnes habitant dans les forêts dépendent entièrement d'elles et de leurs produits; 1,2 milliard de personnes dans les pays en développement tirent des aliments des arbres et au moins 70 % d'entre elles, les forêts sont leur seule source de médicaments; et plus de 2 milliards de personnes utilisent le bois comme combustible principal pour la cuisson et le chauffage. Cela démontre l'intérêt majeur que doit accorder l'homme à l'environnement en général et aux écosystèmes forestiers en particulier. Peu conscientes du rôle que joue la forêt dans le cycle de l'eau, les populations riveraines de la forêt classée de l'Ouémé supérieur envahissent celle-ci à la recherche de nouvelles terres pour l'agriculture ou des coupes pour le bois de chauffe. Ces activités contribuent à la dégradation critique des écosystèmes forestiers du secteur d'étude, notamment des changements majeurs dans leur structure, leur composition floristique et leur productivité. De même, les changements de température, la modification des régimes des précipitations et la modification de la durée des saisons de croissance peuvent influencer la distribution des espèces en plus d'affecter les processus physiologiques et écologiques dans les pays situés sous les latitudes tropicales (Ackerly et Bazzaz, 1995 cité par Issa, 2012). Ainsi, il est nécessaire de comprendre l'implication des différents facteurs notamment le climat et les actions anthropiques dans la dégradation du couvert végétal de l'Ouémé supérieur en vue d'une gestion plus durable. C'est dans cette optique que la recherche sur « **Variabilité climatique et pression anthropique sur la dynamique du couvert végétal du bassin versant de l'Ouémé supérieur à N'Dali au Bénin** » est menée. Elle vise à analyser les données de base et la vision des populations locales pour contribuer à la gestion durable des espèces végétales du bassin de l'Ouémé supérieur. Elle est structurée en quatre chapitres à savoir:

Le premier chapitre aborde le cadre théorique et la situation géographique; le deuxième chapitre présente les méthodes et les données; le troisième chapitre met en exergue les caractéristiques de la variabilité climatique dans le bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali et enfin le quatrième chapitre s'articule autour des manifestations de la pression anthropique dans le bassin supérieur de l'Ouémé à N'Dali.

## **CHAPITRE I :**

### **CADRE THEORIQUE ET SITUATION GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE**

Ce chapitre présente dans un premier temps le cadre théorique. Il comporte la problématique ; les objectifs et les hypothèses de recherche. Il établit par ailleurs, une synthèse bibliographique à travers la revue de la littérature et clarifie les différents concepts utilisés. Dans un second temps, le contexte géographique de l'étude est mis en exergue à travers la situation géographique et les données physiques et humaines.

#### **1.1. Cadre théorique**

La problématique, les objectifs, les hypothèses, la revue de littérature et la clarification conceptuelle ont permis de mieux situer le contexte théorique de la recherche.

##### **1.1.1. Revue de littérature**

Plusieurs travaux de recherches ont été menés dans le cadre de la variabilité climatique et pression anthropique sur la dynamique de la végétation au Bénin et dans la sous-région. La présente partie fait la synthèse bibliographique des travaux réalisés à cet effet. Elle s'articule autour des thèmes suivants : la variabilité climatique et la dynamique de l'occupation du sol.

##### **Variabilité climatique**

La variabilité climatique observée ces dernières années constitue un phénomène assez préoccupant. Plusieurs auteurs ont eu le mérite de l'aborder. Ainsi, Issa (2012), dans son étude sur les changements climatiques et agrosystèmes du moyen Bénin a montré une tendance au réchauffement thermique qui s'est traduite par une hausse des températures d'environ 0,9 °C en référence à la normale 1961-1990 et une décroissance importante des totaux pluviométriques annuels, notamment au cours des années 1970 et 1980. Dans une étude comparée des données climatologiques entre les normales 1971-2000 et 1941-1970, Ogouwalé, (2006) a constaté que les précipitations ont baissé de 16 à 28 % dans la partie méridionale et centrale du Bénin et une augmentation des températures de 1°C dans les deux régions. Pour apprécier la variabilité climatique Ogouwalé (2013), a utilisé les méthodes de statistique descriptive, de la modélisation climatique et hydrologique, principalement à partir des

données climatologiques et hydrologiques. Les résultats obtenus font état de ce que la période 1971-2010 a été marquée par une dynamique climatique avec près de 17 % d'années déficitaires et une hausse des températures moyennes de 1,8 °C. Selon cet auteur, à l'horizon 2050, en référence à la période 1971-2000, l'élévation de la température moyenne serait de 2,4 à 3,5 °C et la diminution des pluies en moyenne de 43 % avec une variation spatiale de -18 à -37 %.

### **Dynamique de l'occupation du sol**

La dynamique de l'occupation du sol est l'évolution dans le temps et dans l'espace des unités de l'occupation du sol, soit vers un stade d'extrême dégradation ou soit vers un état d'équilibre plus ou moins stable, (Adjinda *et al.* 1997). Elle est l'ensemble des variabilités spatio-temporelles intervenues au niveau des unités d'occupation du sol. Oloukoi (2012) en combinant les techniques de la télédétection satellitale par l'interprétation et la classification, les indices de paysage et le modèle de régression multiple a montré l'état de la dynamique de l'occupation des terres dans le Bénin central. Pour lui, la dynamique de l'occupation des terres a été évaluée à un taux moyen annuel de -4,33 % exprimant une régression des formations végétales denses du milieu au profit des espaces agricoles, des agglomérations et des savanes et que cette tendance sera maintenue aux horizons 2016, 2025 et 2034 selon que les populations vont dépendre extrêmement des ressources naturelles notamment du bois pour la production de l'énergie, de l'exploitation forestière et de l'agriculture itinérante. D'après Sossou-Guidi (2011) cité par Oloukounlé (2012), de grandes étendues de terre en Afrique sont en dégradation sous la double influence de l'intensification de l'agriculture sur les terres fertiles et de l'extension des cultures itinérantes sur les terres de fertilité marginale et fragile. Au Bénin, les menaces environnementales sont réelles en raison de la pression agricole (MEHU, 2001). Mama et Houndagba (1991), pour leur part, affirment que les facteurs naturels et anthropiques interagissent dans la dynamique de formations végétales. Selon Amoussou (2010), les activités humaines modifient l'occupation des terres et les techniques utilisées pour la mise en valeur agricole associées aux conditions naturelles influencent l'état du couvert végétal dans le bassin versant du Mono.

Tenté (2000) quant à lui, dans une approche qui intègre l'analyse diachronique et celle de la diversité floristique des ligneux, a étudié la dynamique de l'occupation du sol dans le massif de l'Atacora. Il a abouti à une description des formations végétales dans leur état actuel, tout en évoquant la dégradation des formations ligneuses et a indiqué que si la dégradation de ces formations augmente avec la même vitesse, elle pourra être irréversible et une grande partie des espèces disparaîtra.

La cartographie des changements spatio-temporels des unités d'occupation des terres réalisée dans le bassin de l'Ouémé supérieur par Abdoulaye (2015) montre une régression des formations végétales naturelles. Sur les 104 419 ha de forêt dense en 1990, seuls 78 867 ha sont restés stables et 10 282 ha se sont transformés en champs et jachères 3 302 ha en plantations et 2 154 ha en savanes arborées et arbustives en 2010.

En faisant une analyse prospective de la dynamique, il a montré que les savanes arborées et arbustives seront réduites de 20,95 % à environ 16,39 % en 2020, puis à 12,19 % en 2030 et les agglomérations vont s'étendre de 2,90 % en 2030 puis les champs et jachères pourraient s'étendre de 37,96 % à 63,91 % en 2030. Selon lui, la variation du NDVI est directement liée à la variabilité des précipitations.

Dans le souci d'établir la relation entre la dynamique du couvert végétal et les précipitations, Djoufack (2013) a utilisé des méthodes de classification non supervisée (*Isodata*) sur les données de NDVI (Normalized Difference Vegetation index) à 8 km de résolution et des méthodes statistiques et de télédétection, ce qui lui a permis d'évaluer l'impact des facteurs pluviométriques et anthropogéniques sur la dynamique du couvert végétal. Les résultats obtenus attestent des corrélations significatives en domaine sahélien, traduisant une baisse (augmentation) de l'indice de végétation en cas d'augmentation (baisse) du nombre de séquences sèches. Mais, les corrélations sont plus faibles en domaine soudanien, en raison sans doute du nombre plus réduit des séquences sèches. Elle montre que ce sont les précipitations qui régissent prioritairement le cycle interannuel du NDVI.

Il ressort de la synthèse de la littérature existante que des études sont menées au Bénin sur la dynamique de la végétation et du climat mais sans pour autant montrer la pression qu'exerce le climat sur cette dynamique.

Toutefois, cette revue de littérature a permis d'avoir une compréhension du sujet et des concepts clés dont il revêt. La plupart des auteurs ont reconnu le lien entre les activités humaines et la dégradation de la végétation.

Mais, pour permettre une meilleure compréhension des termes de cette recherche, la clarification conceptuelle des sous-thèmes s'avère indispensable.

### **1.1.2. Clarification des concepts**

Les concepts utilisés dans la formulation théorique du thème d'étude ont des contenus qu'il importe de clarifier.

#### **Variabilité climatique**

Un des éléments intégrateurs du changement global, l'expression « variabilité climatique » a été définie par plusieurs auteurs dont Brou (2005), cité par Doukpolo (2014). Elle est la mobilité ou la variation du schéma climatique moyen et d'autres statistiques (écarts standards, normales, phénomènes extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels. Elle peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des forçages externes anthropiques.

La variabilité climatique est également une caractéristique inhérente au climat qui se manifeste par des changements et déviations dans le temps (IPCC, 2007). Selon cette même institution en (1996) les changements climatiques sont également définis comme toute évolution du climat dans le temps, qu'elle soit due à la variabilité naturelle ou aux activités humaines. Le degré de variabilité climatique peut être décrit par les différences entre les valeurs moyennes à long terme des paramètres climatiques (pluie, température, humidité, durée des saisons) et des valeurs observées prises à différentes échelles temporelles et spatiales (ENDA et CIAT, 2005).

Selon Pagney & Lamarre (1999) cité par Noufé (2011), la « variabilité climatique » est la fluctuation des valeurs saisonnières ou annuelles sur une longue période, mais tendant à s'éloigner de l'état climatique moyen de référence. Dans le cadre de cette recherche, la variabilité climatique est l'ensemble des fluctuations et modifications liées aux paramètres climatiques à savoir les précipitations, la température et le vent.

## **Occupation du sol**

Jansen (2008) affirme qu'il n'existe pas une définition universellement acceptée de l'occupation du sol, mais reconnaît que plusieurs tentatives ont été faites dans ce sens, notamment par l'Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO). La FAO (1997) a considéré l'occupation du sol comme la couverture physique observable au sol par des techniques de levés de terrain ou par la télédétection. Elle comprend la végétation (naturelle/cultivée) et l'aménagement du territoire / l'habitat (bâtiments, routes) qui occupent la surface de la terre ainsi que l'hydrographie. Pour Turner *et al.* (1995), l'occupation du sol est l'état biophysique de la surface de la Terre ainsi que de l'environnement sous-jacent de cette surface. Selon Foody (2002) cité par Oloukoi (2012), l'occupation du sol se réfère à la couverture physique observée de la surface terrestre, y compris la végétation (naturelle ou plantée) et des constructions humaines couvrant la surface terrestre. Dans la présente recherche, c'est la définition de Foody (2002) qui est adaptée.

## **Pressions anthropiques**

En météorologie et climatologie, la pression se définit comme étant la force exercée sur une surface donnée par le poids de l'atmosphère qui la surmonte. En géomorphologie, elle est définie comme étant la pression exercée à l'intérieur du globe sous l'effet du poids des roches qui en composent les différentes enveloppes (Pierre, 1974). Le dictionnaire Larousse (2010) définit le mot "anthropique" comme ce qui résulte de l'intervention humaine.

Dans le présent travail, la pression anthropique peut donc se définir comme la force exercée sur une surface terrestre sous l'effet du poids des activités humaines qui s'y mènent.

## **Dynamique de la végétation**

La dynamique 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 des groupements végétaux à se

rapprocher du climax (Ozenda, 1982 cité par Abdoulaye, 2015). Selon Brunet et al. (1992), la dynamique est un changement résultant d'un jeu de forces. Elle correspond à l'évolution dans le temps et dans l'espace des unités d'occupation et de l'utilisation des terres, soit vers un stade d'extrême dégradation, soit vers un état d'équilibre plus ou moins stable (Adjinda et al. 1997 ; Pham et al. 2007). Dans le cadre de cette recherche, la dynamique de la végétation est considérée comme un changement ou l'évolution de la végétation dans le temps et dans l'espace sous l'impulsion d'un ou de plusieurs facteurs.

### **Bassin versant**

Le bassin versant est la surface d'alimentation d'un cours d'eau ou d'un lac. Le bassin versant se définit comme l'aire de collecte considérée à partir d'un exutoire, limitée par le contour à l'intérieur duquel se rassemblent les eaux précipitées qui s'écoulent en surface et en souterrain vers cette sortie (Baok, 2007).

Brunet *et al.* (1992) définissent le bassin-versant comme toute étendue en amont d'une station de mesure et dont les eaux « versent » en ce point.

Pour Fritsch (1995), c'est une unité fonctionnelle, à trois dimensions, composée d'un domaine souterrain englobant les unités géologiques et les différents horizons du sol et d'un domaine superficiel et aérien qui est le lieu privilégié de la vie (plantes, animaux et hommes).

Pour Loup (1974), cité par Abdoulaye (2015), le bassin-versant est une surface réceptrice des eaux qui alimentent une nappe souterraine, un lac, une rivière ou un réseau complexe. Il le définit par rapport à sa morphométrie, à ses caractères climatiques, à sa géologie, à sa végétation, à ses sols. Dans le cadre de cette recherche, un bassin versant est un domaine superficiel et aérien qui est le lieu privilégié de la vie (plantes, animaux et hommes). Il a été défini ainsi par rapport à ses caractères climatiques et à sa végétation à travers la forêt classée de l'Ouémé supérieur.

#### **1.1.3. Problématique**

Depuis des décennies 1970 et 1980, la Communauté Internationale dans son ensemble accorde une importance de premier plan aux problèmes environnementaux avec une

attention particulière aux changements climatiques. La dégradation progressive de l'environnement se manifeste au niveau du continent africain par des phénomènes tels que la sécheresse et la désertification (N'goran Kouadio, 2013). En effet, depuis les années 1970, une modification des régimes pluviométriques dans la sous-région ouest-africaine est observée. L'une des raisons de ce changement est le réchauffement climatique global lié à l'effet de serre et à la déforestation. La végétation est très importante pour le climat, non seulement en termes d'émissions de carbone, mais également en termes de précipitations.

Selon IPCC (2001) cité par Ogouwalé (2013), une tendance au réchauffement global, de fortes fluctuations, une baisse des précipitations et une plus grande fréquence des phénomènes extrêmes sont observées en Afrique. Les forêts régulent le temps local et global au travers de leur absorption et création de pluies et leur échange de gaz atmosphériques. Une attention plus particulière est portée sur l'évolution des températures et des précipitations car leur évolution a des répercussions sur les systèmes physiques et biologiques (la période végétative, régression de certaines espèces végétales). Le remplacement de l'ensemble des forêts suite à des actions anthropiques provoque une augmentation de la température de surface et une diminution de l'évapotranspiration. Les forêts comme toutes formes de végétation ont une forte surface d'albédo ou de réflectivité en absorbant plus de chaleur que du sol nu (Norman, 1997). Une diminution de la végétation entraîne une modification de l'albédo et donc du bilan énergétique par conséquent des précipitations. Les écosystèmes terrestres peuvent donc affecter le climat particulièrement au travers de la couverture végétale et des sols (Foley, 2003). De même, toute modification des facteurs météorologiques (vents, précipitations, température ou rayonnement) affecte la structure et le fonctionnement des écosystèmes terrestres et a une influence sur la phénologie (feuilles, floraison, coloration et chute des feuilles) des végétaux (Quense, 2011). Le climat est considéré comme le premier facteur ayant une influence sur la distribution des espèces (Dawson, 2003). Souley Yero (2012) a montré que les effets désastreux occasionnés par la sécheresse qui a affecté le Sahel depuis 1968 avec deux périodes de crises en 1972-1973 et 1982-1984 ont provoqué des changements tels que la baisse de la production végétale et la réduction des couvertures boisées et herbacées.

En cas de sécheresse prolongée, certaines espèces végétales peuvent se trouver en état de stress hydrique. Les déficits et les excédents enregistrés dans le bassin de l'Ouémé ont contribué à la dégradation des potentialités agricoles et indirectement ont accentué une pression sur l'exploitation des écosystèmes forestiers. L'évolution des facteurs climatiques est l'un des facteurs physiques qui expliquent l'évolution des systèmes socioéconomiques et qui en retour a des répercussions sur les formations végétales de l'Ouémé supérieur.

Il n'y a pas que des facteurs climatiques qui agissent sur l'évolution de la végétation. L'homme est capable de changements radicaux sur son environnement. La déforestation est le résultat de la combinaison de plusieurs facteurs économiques et sociaux (Djoufack, 2011). L'expansion des cultures et le développement des pâturages extensifs impliquent des taux de déboisement très élevés (Dessay, 2006). La végétation du bassin de l'Ouémé supérieur n'est pas en marge de cette situation au regard de la forte intervention de l'homme qui agit sur le niveau de celle-ci. Le défrichement s'effectue principalement par le feu dans la commune de N'Dali.

Or pour Tenté (2005), près de 100 000 ha de végétation naturelle sont détruits chaque année au Bénin du fait des seuls défrichements. La forêt classée de l'Ouémé supérieur n'échappe pas à cette pression. Bio Mayé (2013), dans une étude sur la forêt classée de N'Dali a montré que la répercussion sur le paysage des activités anthropiques se manifeste par un recul de la forêt et une avancée des jachères et des agglomérations. De même, Oumarou (1998) cité par Bani (2004), a montré que la végétation dans le domaine soudanien du Bénin dont fait partie la forêt de l'Ouémé supérieur présente une évolution essentiellement régressive sous l'effet conjugué des feux de végétation, de l'agriculture et de l'élevage. Les formes dominantes de perturbation qui contribuent à façonner la structure et la physionomie de la végétation sont les feux de végétation et l'irrégularité de la pluviométrie (Djoufack, 2011). Ces pressions auxquelles n'échappe le bassin versant de l'Ouémé supérieur en général et sa forêt classée en particulier, se perpétuent avec l'augmentation de la densité démographique, les populations dont le mode de vie a toujours largement reposé sur le libre accès aux ressources naturelles et à leur exploitation. Or, la perte de couverture végétale signifie moins d'absorption de chaleur ; ce qui se traduit par moins d'humidité montante dans l'atmosphère, par

conséquent une diminution de pluies et des ressources en eau dont ont besoin les populations et même des végétaux pour leur développement (Souley Yero, 2012).

Cette recherche sur «**Variabilité climatique et pression anthropique sur la dynamique du couvert végétal du bassin versant de l’Ouémé supérieur à N’Dali au Bénin**» permet donc de comprendre les impacts de chaque facteur intervenant dans la dynamique de la végétation du bassin versant de l’Ouémé supérieur. Ainsi, des interrogations suivantes sont nécessaires :

- comment évolue la végétation du bassin de l’Ouémé supérieur dans le secteur de N’Dali ?
- Comment les indicateurs climatiques ont évolué dans le bassin de l’Ouémé supérieur à N’Dali ?
- quels sont les impacts de la variabilité climatique et la pression anthropique sur la dynamique de la végétation du bassin versant de l’Ouémé supérieur ?

Ces interrogations ont suscité les hypothèses suivantes

➤ **Hypothèses**

- il y a une variabilité des paramètres climatiques dans le bassin de l’Ouémé supérieur ;
- le couvert végétal du bassin de l’Ouémé supérieur dans le secteur de N’Dali est dans une perpétuelle dynamique ;
- la variabilité climatique et l’évolution démographique n’ont pas d’impacts sur la dynamique végétale du bassin versant de l’Ouémé supérieur.

Les hypothèses ainsi énoncées sont testées à travers plusieurs objectifs.

➤ **Objectif global**

Cette recherche vise à contribuer à une meilleure connaissance des déterminants de la dynamique de la végétation du bassin de l’Ouémé supérieur à N’Dali.

➤ **Objectifs spécifiques**

Il s’agit de :

- caractériser l'évolution du climat en termes de pluviométrie, température et le vent dans le bassin ;
- analyser la dynamique d'occupation sol du bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali ;
- étudier l'impact de la variabilité climatique et de la pression anthropique sur la dynamique de la végétation du bassin de l'Ouémé supérieur.

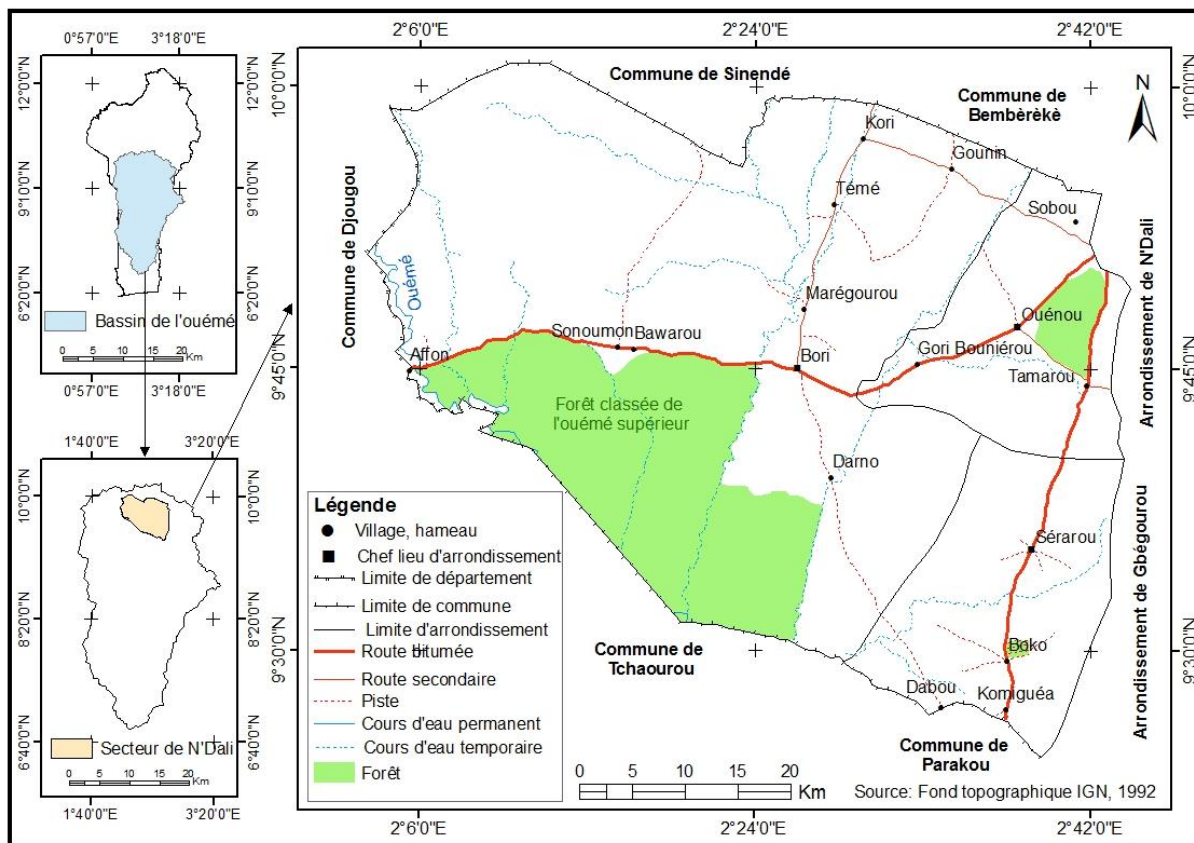
Pour mener à bien cette recherche, la connaissance géographique du milieu s'avère nécessaire.

## **1.2. Contexte géographique**

Le contexte géographique est relatif à la situation géographique, aux données physiques et humaines du cadre de recherche.

### **1.2.1. Situation géographique du secteur d'étude**

Le bassin versant de l'Ouémé supérieur (HVO: Haute Vallée de l'Ouémé) est situé au centre du Bénin ( $9^{\circ}$  -  $10^{\circ}$  N et  $1^{\circ}30'$  -  $2^{\circ}45'$  E) dans les départements de la Donga et du Borgou et couvre une superficie de 14 366 km<sup>2</sup> (IMPETUS, 2004). Cette étude concerne le secteur de N'Dali du bassin versant de l'Ouémé supérieur qui regroupe deux unités d'aménagement forestier (Affon-Bori et Sirarou). La figure 1 présente la situation géographique et administrative du secteur d'étude.



**Figure 1** : Situations géographique et administrative du bassin de l’Ouémé à N’Dali.

### 1.2.2. Caractéristiques physiques

L’analyse des données physiques du cadre de recherche se rapporte à l’étude de ses caractéristiques climatiques et de la végétation.

- **Climat**

Les caractéristiques climatiques développées concernent la pluviométrie, l’évapotranspiration, et la température.

- ❖ **Pluviométrie**

Le climat, de type soudano-guinéen se caractérise par l’alternance d’une saison pluvieuse et d’une saison sèche de durée sensiblement égale. Ce sont les précipitations qui permettent de déterminer les saisons. La répartition annuelle des saisons est irrégulière avec cinq mois secs (novembre à début mai) et sept mois (mai à octobre) humides (Boko *et al.*, 1993). Les précipitations annuelles sont en moyenne d’environ 1159,84 mm.

### ❖ **Evapotranspiration potentielle (ETP)**

Elle est très importante dans les mois de novembre à avril et baisse de juin à septembre : L'ETP atteint un minimum d'environ 264 mm en mars et un maximum d'environ 320 mm en juillet (Boko, 1993) cité par Dossou-koï (2012).

### ❖ **Température**

Les températures sont variables sur l'ensemble du secteur. Elles subissent de grandes variations au cours de l'année. Les températures moyennes annuelles varient entre 26 °C et 28 °C. Les températures maximales sont enregistrées entre février, mars et avril et tournent autour de 32 °C, tandis que les températures minimales oscillent autour de 21 °C entre décembre et janvier, période pendant laquelle l'harmattan couvre le secteur (ASECNA, 2009).

Pendant la saison sèche notamment de décembre à janvier, le régime des alizés et surtout l'harmattan prédomine. C'est un vent sec et frais qui souffle du Nord-Est vers le Sud-Ouest avec une vitesse moyenne de 2 m/s et des maxima de 12 à 14 m/s de décembre à février. Pendant cette période, l'humidité relative diminue pendant la journée. L'alizé maritime ou la mousson coïncide avec la saison des pluies. Ce vent dominant souffle de mai à novembre en direction du Sud-Ouest avec une vitesse moyenne de 2 m/s (ASECNA, 2009).

### ▪ **Formations végétales**

La végétation du cadre de recherche est caractéristique de la zone soudanaise avec une mosaïque de formations savaniques (savane arborée, savane boisée et savane arbustive) entrecoupée de celles forestières (forêt claire et galerie forestière). Les formations végétales dépendent non seulement du climat, de la nature du sol, mais aussi des actions anthropiques. Ainsi, selon le CENATEL (2004) le paysage phytogéographique comprend :

- la savane arborée et arbustive : composée des espèces telles que *Azelia africana*, *Lamnea acida*, *Pericopsis laxiflora*, *Burkea africana*, *Sterculia setigera*, *Terminalia spp* ; *Cochlospermum planchonii*, *Combretum hypopilimum*, *Gardenia spp*, *Pteleopsis suberosa* ;

- la forêt claire et la savane boisée : les espèces observées sont *Isoberlinia doka*, *Isoberlinia tomentosa*, *Anogeissus leiocarpus*, *Pterocarpus erinaceus*, *Azelia africana*, *Pseudocedrela kotschyii* ;
- les galeries forestières : les espèces dominantes sont les *Khaya senegalensis*, *Diospyros mespiliformis*, *Pseudocedrela kotschy*, *Azelia africana* etc.
- des cultures vivrières comme le maïs (*Zea mays*), l'igname (*Discorea spp*), le sorgho (*Sorghum bicolor*) et les cultures de rente telles que le coton (*Gossypum arboreum*) et l'arachide (*Arachis hypogea*) sont observées dans les champs.

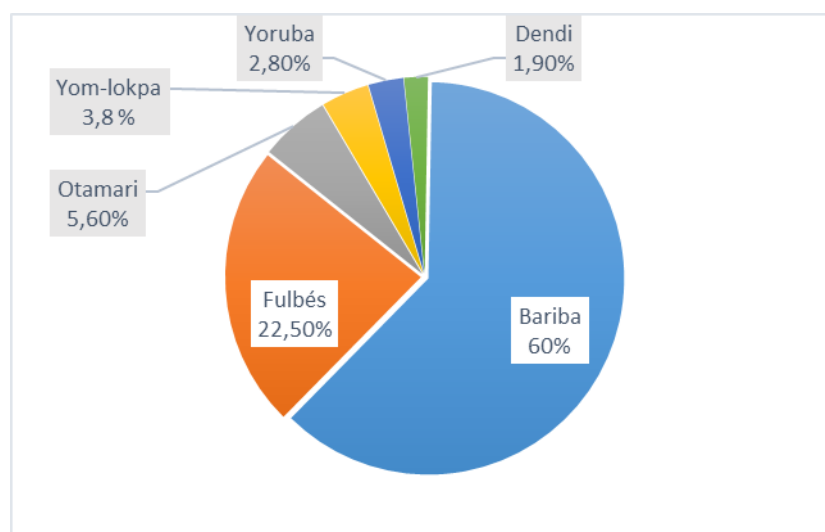
Au-delà de l'aspect physique du milieu, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des données humaines du milieu d'étude.

### 1.2.3. Données humaines

#### ▪ Groupes socioculturels

D'après les données des recensements généraux de la population et de l'habitation de l'INSAE, la population de la Commune était de 45 334 habitants en 1992. Elle est passée à 67 379 habitants en 2002 avec une densité moyenne de 18 habitants/km<sup>2</sup>. La commune de N'Dali compte 113 604 habitants en 2013 (INSAE, 2013) ; ce qui traduit pratiquement un doublement de la population en 11 ans.

Cette population est formée par une mosaïque de groupes socioculturels. La figure 2 présente la répartition des groupes socioculturels de N'Dali.



**Figure 2:** Répartition des différents groupes socioculturels dans la commune de N'Dali

Source : INSAE, 2013

Les Bariba dominant dans la commune (60 %) suivis des Fulbés (22,5 %), des Otamari (5,6 %), des Yom-lokpa (3,8 %), des Yoruba (2,8 %) des Dendi (1,9 %) et d'autres groupes tels que les Fon, les Adja, les Nago, etc. dans une proportion de 2,8 %. Ces diverses ethnies vivent en lien très étroit avec le milieu naturel dont elles tirent traditionnellement toutes les ressources nécessaires à leur subsistance grâce à l'agriculture, à l'élevage et à l'exploitation forestière. La population agricole est estimée à 56 518 habitants et représente 83,88 % de la population totale de la commune en 2002 ; ce qui accentue la pression de celle-ci sur les formations végétales du bassin de l'Ouémé supérieur.

#### ▪ **Activités économiques**

Les activités économiques de la population sont essentiellement l'agriculture, l'élevage et l'exploitation forestière (bois d'œuvre, bois de chauffe et charbon de bois).

#### ❖ **Agriculture**

Principale activité des populations, l'agriculture se pratique sur brûlis avec une faible utilisation de la culture attelée. Les quelques producteurs qui utilisent la culture attelée emblavent une grande superficie du bassin de l'Ouémé supérieur. Cependant, le mode de culture extensive constitue un risque pour les forêts naturelles.

#### ❖ **Elevage**

L'élevage constitue la seconde activité des populations. Elle est peu tournée vers un élevage économique. Les espèces de bovins les plus répandues sont un mélange de la race Borkou et zébu résistant bien à la trypanosomiase. Cette zone fait aussi l'objet de pâturages extensifs, de parcours du fait de sa position géographique et de la présence d'un grand nombre des retenues d'eau. Le surpâturage observé est l'une des conséquences directes de l'augmentation du cheptel dans toute la région. Le surpâturage et la transhumance constituent une grande menace pour les formations forestières.

### ❖ **Exploitation forestière et production de combustible végétal**

L'exploitation forestière et la production de combustible végétal sont essentiellement dues à la quête du bien être quotidien. En effet, la population riveraine de cette forêt classée pratique la vente des bois de chauffage, charbon et d'œuvre. Certains sont prélevés sur des arbres morts, d'autres sont abattus. Le ramassage du bois et la production du charbon constituent les principales activités des femmes dans la localité. Avec la croissance démographique, ces différentes activités s'accroissent entraînant ainsi une dégradation du couvert végétal.

Pour atteindre les objectifs assignés à la présente étude, la démarche méthodologique adoptée est basée sur une analyse des données climatiques, l'analyse diachronique et cartographique fondée sur l'utilisation de la télédétection et des images satellitaires complétée par les enquêtes sur le terrain. Elle comporte trois phases qui sont : la collecte des données, le traitement des données et l'analyse des résultats. Le chapitre 2 présente les données et les différentes méthodes utilisées dans cette recherche.

## CHAPITRE II : DONNEES ET METHODES

Dans ce chapitre, sont décrites très succinctement, les principales données climatiques (pluviométrie et température), d'états de surface (occupation du sol) et les données d'enquête de terrain ainsi que les outils, les techniques, les méthodes et modèles d'analyses utilisés pour atteindre les objectifs de ce mémoire.

### 2.1. Outils et techniques de collecte des données

Les données climatologiques utilisées sont les précipitations le vent et la température. Elles sont issues de la base de données de l'ASECNA de la station synoptique de Parakou. Deux images satellitaires Landsat de la forêt classée de l'Ouémé supérieur à savoir l'image satellitaire LANDSAT 8 OLI TIRS, du 03 mai 2015, Path 192 Row 53 et l'image LANDSAT 5 TM, Path 192 Row 53 datant du 20 mars 1987 sont utilisées. Des guides entretiens et des questionnaires sont aussi administrés aux populations riveraines afin de recueillir leurs perceptions sur la variabilité climatique et les modifications observées au niveau du couvert végétal.

L'approche MARP (Méthode Accélérée de Recherche Participative (Lavigne-Delville *et al.* 2005 cité par Amoussou, 2010) a été utilisée. Elle comporte des entretiens semi directs, des interviews et des entretiens de groupe. La MARP est utilisée pour permettre aux populations de présenter leurs connaissances de leur situation et de leurs conditions par rapport à la variabilité climatique et à la dynamique de la végétation. Avant l'enquête, la taille de l'échantillon a été déterminée par la formule de Schwartz (1995). Elle s'écrit :

$$n = \frac{t^2 \times p(1-p)}{e^2} \quad \text{Où :}$$

n = taille de l'échantillon ;

t<sup>2</sup> = niveau de confiance déduit du taux de confiance (traditionnellement 1,96 pour un taux de confiance de 95 %) - loi normale centrée réduite ;

p = proportion estimative de la population agricoles qui est de 76 % (Doukpolo, 2014) ;

e = marge d'erreur (traditionnellement fixée à 5 %).

L'application numérique de cette formule est :

$$n = \frac{(1.96)^2 \times 0.76(1-0.76)}{(0.05)^2} = 280,17 \text{ d'où } 281 \text{ personnes sont interrogées.}$$

Le tableau I présente la répartition de l'échantillon par localité sélectionnée.

**Tableau I:** Répartition de l'échantillon par villages

Arrondissements	Villages	Populations	Nombres D'enquêtes
BORI	Maregourou	3596	34
	Bori	3608	34
	Sonnoumon	4689	44
OUENOU	Banhoun	2304	22
	Tamarou	3240	30
SIRAROU	Sirarou	8205	77
	Boko	4264	40
TOTAL	07	29906	281

*Source : INSAE, 2004*

De l'analyse du tableau I, il ressort que 281 personnes ont été enquêtées dans les trois Arrondissements dont 112 personnes à Bori réparties dans trois villages (Maregourou, Bori et Sonnoumon) ; 52 personnes à Ouénou réparties dans deux villages (Banhoun et Tamarou) et 117 personnes à Sirarou réparties dans les villages de Sirarou et Boko. Les critères de répartition sont la démographie et la proximité des villages de la forêt classée du bassin.

## 2.2. Outils et techniques de traitement des données

Le logiciel Khronostat 1.01 est utilisé pour la détection des ruptures et de saisonnalités de la série chronologique. Les données sont enregistrées sous le type séparateur tabulation dans une page Excel. Après avoir remplacé les virgules par les points et les espaces par les points virgule, l'entête est remplie verticalement du lieu (Parakou) jusqu'à la période (1950 ; 2015) puis enregistrée en mettant (.ksi) à la fin du nom du fichier. Le logiciel Khronostat 1.01 exécute les opérations dès que vous le lancez.

### ✓ **Test de Pettitt (1979)**

Ce test non paramétrique consiste à découper la série principale de N éléments en deux sous séries à chaque instant t compris entre 1 et N-1. La série principale présente une rupture à l'instant t si les deux sous séries ont des distributions différentes (Kingumbi *et al.*, 2000). Son hypothèse nulle étant l'hypothèse de non-rupture (Paturel *et al.*, 1998).

### ✓ **Méthode de segmentation de Hubert**

La méthode de segmentation de Hubert, très utilisée dans l'étude de la variabilité climatique pour sa performance a été appliquée pour l'identification des ruptures au sein des séries chronologiques (Kouassi *et al.*, 2010) en complément au test de Pettitt.

Cette méthode présente l'avantage de pouvoir rechercher des changements multiples de moyenne dans une série hydrométéorologique. L'hypothèse nulle  $H_0$  dans ce test est : « la série étudiée est stationnaire » et l'hypothèse  $H_1$  du test est « la série étudiée n'est pas stationnaire ». Cependant, il est difficile d'attribuer un niveau de signification à ce test (Hubert *et al.*, 1998).

L'exécution du logiciel Khronostat 1.01 présente automatiquement les résultats de ces deux tests.

### ✓ **Corrélation**

L'utilisation du coefficient de corrélation de Spearman a permis de détecter tour à tour la présence d'une relation entre les précipitations, les températures, le vent et le NDVI. Ce coefficient a été déterminé automatiquement par le logiciel d'analyse statistique SPSS.

### ✓ **Analyse de la température**

La température a été analysée à partir de la statistique descriptive (valeurs moyennes et écartype) et de représentations graphiques. Cette analyse a été effectuée à partir de la station synoptique de Parakou située à 60 km de N'Dali et a permis de comprendre la variation intermensuelle et interannuelle de la température dans le bassin-versant de l'Ouémé supérieur.

### ✓ **Indice standardisé de précipitation**

L'évolution climatique, en termes de variation des anomalies, est faite par le calcul de l'indice standardisé des précipitations ou Standardized Precipitation Index (SPI). Cet indice, bien adapté au suivi des variations de la croissance de la végétation est utilisé pour quantifier les déficits de précipitations à différentes échelles temporelles (Bergaoui et *al.*, 2001 ; Ouoba, 2013). Sa formule est la suivante :

$$SPI = \frac{P_i - P_m}{\sigma}$$

$P_i$  : Précipitation de l'année  $i$  ;  $P_m$  : Précipitation moyenne ;

$\sigma$  : Déviation standard ou écart type.

Le calcul de cet indice permet de déterminer le degré d'humidité ou de sécheresse du milieu (Bergaoui & Alouini, 2001). Lorsque  $SPI > 2$ , l'humidité est extrême ; pour  $1 < SPI < 2$ , l'humidité est forte ; pour  $0 < SPI < 1$ , l'humidité est modérée ; pour  $-1 < SPI < 0$ , la sécheresse est modérée ; si  $-2 < SPI < -1$ , la sécheresse est forte ; si  $SPI < -2$ , la sécheresse est qualifiée d'extrême.

### ✓ **Déficit hydrique ou variation hydrique**

Il a été calculé pour déterminer un indice caractérisant le déficit hydrique subi par la plante. Sa formule (Djèntonin, 2013) est :

$$DH = ETP - P$$

Avec :

DH : variation hydrique ; ETP : évapotranspiration et P : pluviométrie.

Pour ce faire, l'évapotranspiration réelle a été estimée afin de faire la part entre la quantité annuelle précipitée et la réserve en eau du sol. Le coefficient  $\alpha$  qui traduit la disponibilité en eau dans les premiers horizons du sol a été déterminé.

Pour l'exprimer, il faut connaître à la fois le stock d'eau présent dans le sol et les résistances opposées par le système sol/végétation à l'évaporation. Ainsi, il a été

adopté pour cette étude, la même hypothèse que (Sutcliffe et Piper, 1986 cité par Assaba, 2014) à savoir :

- si  $P_i > E T P_i$  alors,  $\alpha = 1$  où  $P_i$  = pluie mensuelle en mm ;
- si  $P_i < E T P_i$  alors

$$\alpha = \frac{P_i}{ETP_i}$$

où  $ETP_i$  = évapotranspiration potentielle mensuelle en mm

Dans la présente recherche, cette méthode a été adaptée à l'échelle annuelle bien qu'il y a compensation entre les erreurs de début et de fin de saisons des pluies, qui résultent respectivement d'une surestimation (quand se reconstituent les réserves en eau du sol et que la végétation reprend) et d'une sous-estimation (à cause du prélèvement opéré dans les réserves d'eau dans le sol) de l'ETR.

Quant aux traitements numériques des images satellitaires et la réalisation des cartes d'occupation du sol, les logiciels Envi 5.1 et Arc GIS 10.3 ont été utilisés.

Le traitement de chacune des images Landsat retenues a été un ensemble de processus d'application qui ont permis de transformer les images en vue de l'extraction des informations. Ce traitement a connu plusieurs étapes essentielles à savoir :

#### ❖ **Prétraitements des images satellites**

##### ✓ **Extraction du secteur d'étude**

L'extraction du secteur d'étude a été possible grâce à la commande *subset data via ROIS* du logiciel Envi 5.1, après avoir projeté la limite de celle-ci sur l'image concernée.

##### ✓ **Composition colorée**

C'est la combinaison de trois bandes spectrales et leur affectation respective à l'une des trois couleurs fondamentales ou primaires disponibles : le bleu, le vert et le rouge.

La composition colorée qui a été privilégiée pour la détermination des unités d'occupation du sol dans le bassin supérieur de l'Ouémé à N'Dali est celle en fausses couleurs standard. Elle combine les bandes du proche infrarouge, du rouge et du vert

du capteur respectivement au plan d'affichage rouge, vert et bleu de l'écran. Cette composition, très efficace pour l'analyse de la végétation, présente l'avantage pour l'interprète d'avoir pratiquement les mêmes propriétés que les photographies infrarouges en couleur, utilisées depuis longtemps par les photo-interprètes (Kerle et Van Wyk de Vries, 2001 cité par Toko Inoussa, 2014).

Dans Envi 5.1, la composition colorée a été réalisée après regroupement des différentes bandes ou création d'une image en format «.img » par la fonction *Layer Stacking*. Elle a été la combinaison 432 pour l'image landsat 5 TM et la combinaison 543 a été appliquée pour l'image landsat 8 OLI-TIRS où les bandes 5 (Proche-infrarouge), bande 4 (Rouge) et bande 3 (Vert) correspondent respectivement aux bandes 4 (Proche-infrarouge), bande 3 (Rouge) et bande 2 (Vert) de l'image Landsat 5 TM (Pontius, 2000).

#### ✓ Extraits des compositions colorées des images Landsat (1987 et 2015)

Les figures 3 et 4 présentent des extraits de la composition colorée d'un même secteur des images LANDSAT 5 TM de 1987 et LANDSAT 8 OLI TIRS de 2015 ([www.usgs/earthexplorer](http://www.usgs/earthexplorer)).



**Figure 3 :** Extrait de la composition colorée de l'image LANDSAT TM5 de 1987

Source : [www.usgs/earthexplorer](http://www.usgs/earthexplorer), 2016



**Figure 4 :** Extrait de la composition colorée de l'image LANDSAT 8 OLI-TIRS de 2015

Source : [www.usgs/earthexplorer](http://www.usgs/earthexplorer), 2016

Les compositions colorées fausses couleurs 432 et 543 permettent de montrer les formations végétales abondantes en rouge foncé et les autres formations en vert foncé,

vert bleuté. Les champs et jachères apparaissent sur ces extraits en blanc et les agglomérations en cyan.

Ces différentes compositions colorées ont permis l'interprétation visuelle aisée des deux images pour une cartographie saine des catégories ou unités d'occupation du sol de 1987 et 2015.

#### ❖ **Traitements numériques proprement dits**

##### ✓ **Classification multi spectrale par pixel**

La classification par pixel est un procédé qui consiste à regrouper les pixels d'une image en un nombre limité de classes. Si le pixel satisfait à une série de critères, il est affecté à la classe qui correspond à ces critères (Oloukoi, 2012). Il existe deux types de classifications : la classification supervisée et la classification non supervisée (Orékan *et al.* 2015). Pour cette recherche, le choix est porté sur la classification supervisée qui consiste à superviser le processus de catégorisation des pixels à cause de la forte similarité de réponses spectrales observée entre les plantations, forêts denses et galeries forestières d'une part, et entre galerie forestière et forêt claire et savane boisée, savane arborée et arbustive d'autre part. Dans ce cas, il faut choisir avant tout, des parcelles d'entraînement (AOI) qui sont des regroupements homogènes de pixels caractéristiques (échantillons) d'une occupation du sol donnée. Sur les parcelles d'entraînement, le logiciel a classifié chaque image selon l'algorithme paramétrique qu'est le *Maximum likelihood* (Collet, 1992 ; Souley Yero, 2012 ; Oloukoi, 2012). C'est un algorithme très couramment utilisé car, généralement le plus performant. Son utilisation suppose que les distributions des valeurs de réflectance des parcelles d'entraînement soient normales. Cet algorithme de classification calcule une fonction de probabilité multidimensionnelle qui permet de déterminer la probabilité de chaque pixel d'appartenir à l'une des catégories correspondant aux signatures spectrales (Collet, 1992). Il a pour avantage la fourniture d'un indice de certitude lié à ce choix pour chaque pixel, en plus de la classe à laquelle il a été affecté. Pour obtenir une classification avec moins de confusion, il est recommandé de prendre un maximum d'aires d'entraînement par classe (Touré, 2010). Globalement, les classes qui ont été

définies s'élèvent à sept (forêt galerie, forêt dense, forêt claire et savane boisée, savane arborée et arbustive, champs-jachères, agglomération et masse d'eau).

### ✓ Evaluation de la classification

Une classification n'est pas complète sans l'évaluation de son exactitude (Lillesand et Kiefer, 1994 ; Toko Inoussa, 2015). En effet, des données obtenues par télédétection ne sont utilisables que si le niveau de l'erreur est statistiquement connu avec certitude. Il ne suffit pas de présenter un pourcentage de pixels classés correctement, comme c'est souvent le cas dans de nombreuses études, parce que cette statistique ignore la précision locale, seule la quantité totale d'une classe est considérée sans tenir compte de sa localisation (Jensen, 1996). L'évaluation des résultats d'une classification se fait grâce à la comparaison de l'image classée avec des données de référence (photographies aériennes, cartes). Ces zones d'évaluation seront relevées avec le même soin que les zones d'entraînement. Les valeurs de l'image classée sont confrontées à celles du terrain dans un tableau à double entrée appelé couramment matrice de contingence ou matrice de confusion. Dans les cellules de ce tableau, le nombre de zones (en lignes) selon leur appartenance aux différentes classes dans l'image classée et sur le terrain (en colonnes). Les zones bien classées se localisent sur la diagonale de la matrice et les erreurs en dehors comme l'indique ce modèle.

**Tableau II :** Modèle d'une matrice de confusion

CLASSIFICATION	DONNEES DE REFERENCE TERRAIN						
	Thème A	Thème B	Thème C	Thème D	TOTAL	Precision cartographique des usagers (IPC)	Erreurs de commission (EC)
CLASSE A							
CLASSE B							
CLASSE C							
CLASSE D							
TOTAL							
Exactitude du producteur (ICV)							
Erreur d'omission (EO)							

Deux types d'erreurs se distinguent : les erreurs d'omission et de confusion. Une erreur d'omission est une observation qui aurait dû être classée en B, mais qui a été oubliée. Une erreur de confusion est une observation qui est classée en B alors qu'elle aurait dû être classée dans une autre classe, il y a confusion (Wolff, 2006).

Dans cette étude, ce sont des relevés de terrain (les coordonnées GPS) qui ont permis cette validation. Ainsi, les matrices de confusion de la classification de 1987 et 2015 ont été calculées à partir des signatures spectrales dans Envi 5.1 suivant les fonctions : classification / post classification / confusion matrice.

✓ **Calcul des erreurs de commission et d'omission, et des indices de pureté des classes, de validité cartographique, d'exactitude de la classification.**

Ces matrices de confusion ont permis de calculer les erreurs d'omission (EO), les erreurs de commission (EC), les indices de pureté des classes (IPC) et les indices de validité cartographique (IVC). Ces indices ont été obtenus de façon automatique par le logiciel Envi 5.1.

✓ **Détection des changements des unités d'occupation du sol**

Grâce au logiciel Envi 5.1, la détection des changements des unités d'occupation du sol a été faite. Celle-ci concerne le croisement des deux images classifiées (1987 et 2015) avec la fonction change detection / change detection map.

✓ **Génération des matrices de transition**

Les matrices de transition ont permis de mettre en évidence les différentes formes de conversion qu'ont subies les unités paysagères entre les deux dates instantanées retenues. Elles sont constituées 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  $t_1$  (1987) tandis que le nombre  $y$  de colonnes de la matrice indique le nombre d'unités paysagères converties à la date  $t_2$  (2015). Quant à la diagonale, elle contient les superficies des unités paysagères restées inchangées. Dans ces matrices, 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 images classifiées de 1987 et 2015.

✓ **Taux moyen annuel d'exploitation spatiale (Tx)**

Le taux moyen annuel d'exploitation spatiale exprime la proportion de chaque unité paysagère qui change annuellement. Il est calculé à partir de la formule tirée de Bernier (1992) et adoptée par Oloukoï et *al.* (2006), Bio Mayé (2013).

$$Tx = \frac{\ln S_2 - \ln S_1}{(t_2 - t_1) \times \ln e} \times 100$$

$S_1$  et  $S_2$  : Superficie d'une unité paysagère à la date  $t_1$  (1987) et  $t_2$  (2015) respectivement ;  $t_2 - t_1$  : Nombre d'année d'évolution (28 ans) ;  $\ln$  : Logarithme népérien ;  $e$  : Base des logarithmes népériens ( $e = 2,71828$ ).

✓ **Indice de végétation normalisé (NDVI) :**

Le NDVI est l'indice de végétation le plus communément utilisé pour estimer la quantité de végétation présente sur la surface et suivre son évolution temporelle. Il est calculé comme le rapport normalisé de la différence entre la réflectance proche-infrarouge et la réflectance acquise dans la bande spectrale rouge du capteur. La haute variabilité interannuelle de la productivité de la végétation est liée aux variations spatiotemporelles des précipitations (Quense, 2011 ; Souley Yero, 2013). Il a été utilisé par TSCH et *al.* (2003) pour observer la relation entre les variations des formations végétales et des précipitations du milieu et leur influence sur les écosystèmes désertiques et semi-désertiques. Sa formule est :

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

L'évolution des valeurs de NDVI est comparée à l'évolution des valeurs de DHR pour apprécier la relation entre la dynamique de la végétation et les précipitations.

## **2.3. Méthodes et modèles d'analyse des résultats**

### **❖ Modèle PEIR (Pression-Etat-Impact-Réponse)**

Le modèle PEIR (Pression - Etat - Impact - Réponse) a servi de base d'analyse. Il s'agit d'une approche utilisée dans le domaine de l'évaluation intégrée des composantes socio-économiques et environnementales. Il permet une analyse appropriée et approfondie de l'état et des tendances. Dans ce cas, l'attention est focalisée d'abord sur la connaissance des déterminants et des causes de la pression, puis après sur leurs impacts (Dossou *et al.*, 2011). Le modèle PEIR est utilisé dans cette étude pour connaître l'ensemble des facteurs responsables de la dégradation du couvert végétal du bassin et les impacts des différents changements observés au sein du bassin.

Cette démarche méthodologique a permis d'obtenir un certain nombre de résultats sur la variabilité climatique et la dynamique végétale du secteur d'étude. Dans le chapitre 3, il est question des résultats issus de traitement et de l'analyse des différentes données climatiques collectées afin de mieux caractériser le climat du bassin à N'Dali.

# CHAPITRE III :

## CARACTERISATION DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE ET DE LA PRESSION ANTHROPIQUE DANS LE BASSIN DE L'OUEME SUPERIEUR A N'DALI

La variabilité climatique est l'un des principaux facteurs de la dynamique du couvert végétal. A cet effet, il s'est avéré nécessaire dans cette recherche de caractériser la variabilité climatique en tenant compte de la variabilité pluviométrique et thermométrique du bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali, d'analyser les impacts environnementaux de cette variabilité et des activités anthropiques sur la dynamique du couvert végétal.

### 3.1. Variabilité climatique dans le bassin supérieur de l'Ouémé à N'Dali

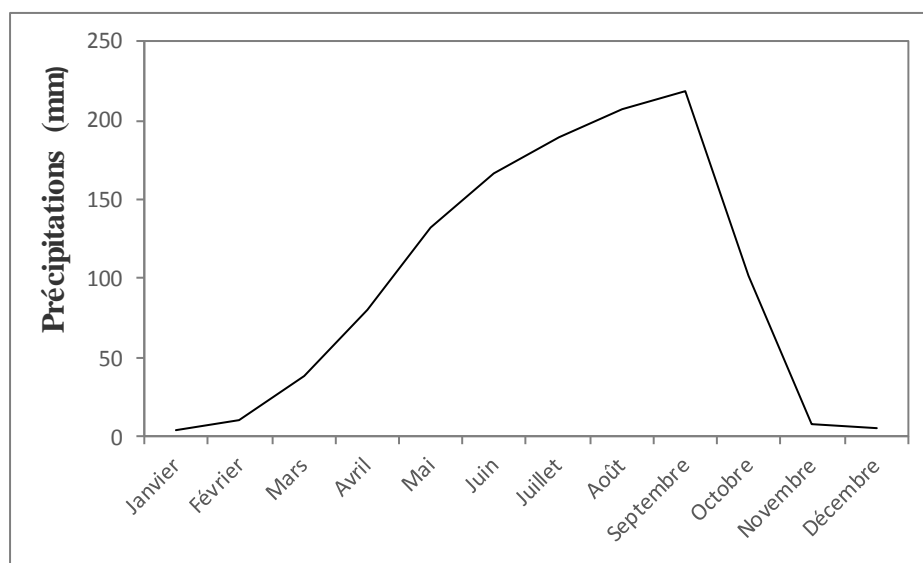
Les paramètres climatiques pris en compte sont la pluviométrie, la température et le vent.

#### 3.1.1. Variabilité pluviométrique du bassin supérieur de l'Ouémé à N'Dali

Elle regroupe le régime pluviométrique, la variabilité interannuelle, les précipitations standardisées et la rupture de stationnarité.

- **Régime pluviométrique du bassin de l'Ouémé à N'Dali (1950-2015)**

La figure 5 représente le régime pluviométrique du bassin.



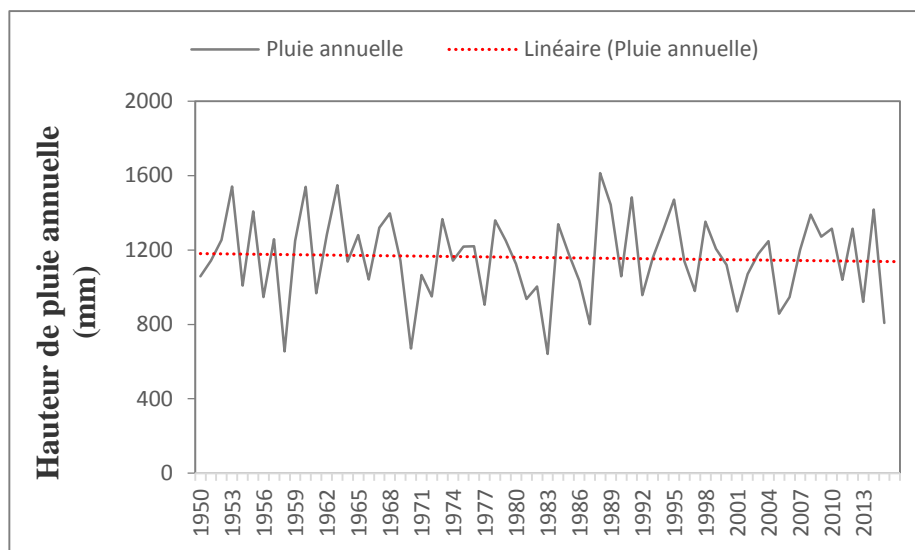
**Figure 5 :** Régime pluviométrique du bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali

*Source : Résultats de traitement des données collectées*

La figure 5 montre un régime unimodal avec deux saisons à savoir une saison sèche de Novembre à Avril et une saison des pluies de Mai à Octobre. Ce type de régime est caractéristique du climat soudanien (Boko, 1993) auquel appartient le bassin de l’Ouémé à N’Dali. La pluie maximale est enregistrée au mois de Septembre avec 218,87 mm.

▪ **Variabilité interannuelle et tendance pluviométrique du bassin**

La figure 6 présente la variabilité interannuelle et la tendance pluviométrique du bassin de l’Ouémé supérieur à N’Dali.

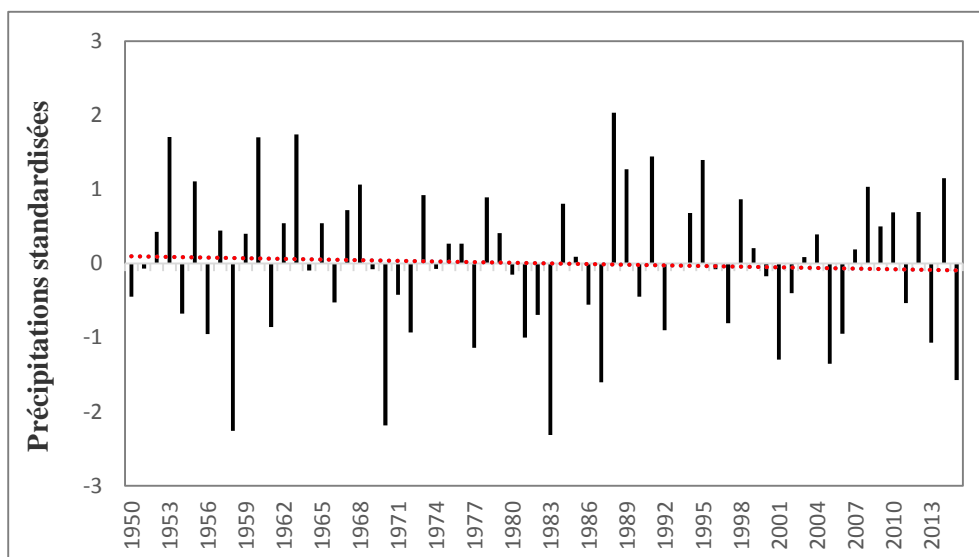


**Figure 6 :** Variabilité interannuelle et tendance pluviométrique du bassin à N’Dali

*Source : Résultats de traitement des données collectées*

L’analyse de la figure 6 montre une alternance de la pluviométrie au cours de la période d’étude avec un écart de 973 mm de pluie soit un taux de variation de 83,89 %. La tendance de la pluviométrie est à la baisse pendant toute la période. Les années 1958 ; 1970 et 1983 sont marquées par un déficit de pluie.

La figure 7 représente les précipitations standardisées et montre une grande variabilité des écarts autour de la moyenne.



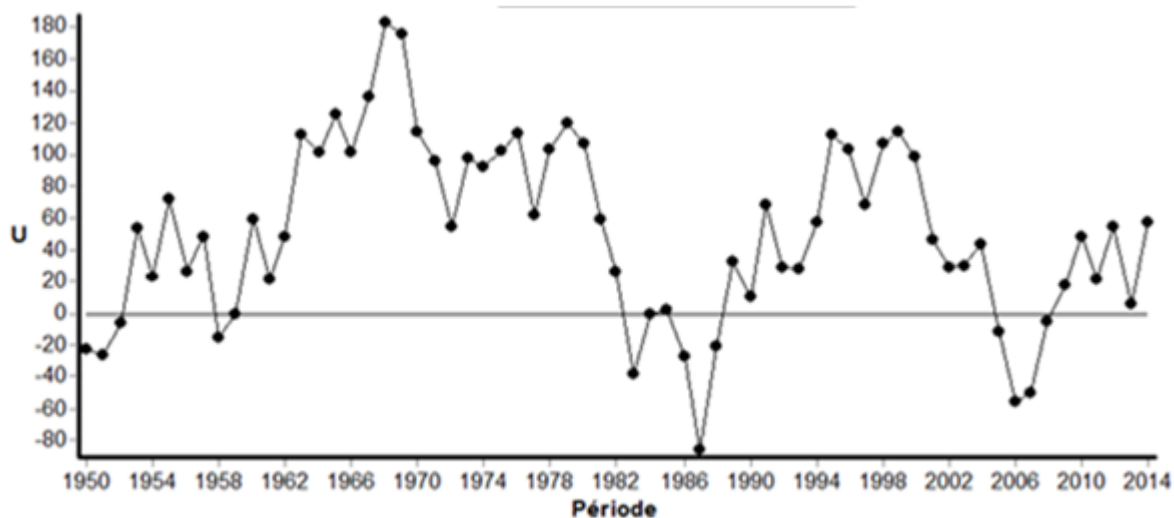
**Figure 7 :** Précipitations standardisées de la série de 1950 à 2015

*Source : Résultats de traitement des données collectées*

L'analyse de la figure 7 montre que les années 1958, 1970 et 1983 sont des années d'extrême sécheresse car leurs SPI  $< -2$ . Les années 1977, 1981, 1987, 2001 et 2005 sont qualifiées de fortes sécheresses du fait que leur indice standardisé des précipitations est compris entre 1 et 2 ( $1 < \text{SPI} < 2$ ). Cette sécheresse a provoqué un déficit d'eau dont ont besoin des végétaux pour se développer (Hountondji, 2008 ; Djenontin, 2010 ; Noufé, 2011). Ces baisses des pluies des décennies 1970 et 1980 sont sans doute dues, entre autres à une irrégularité, doublée d'une mauvaise répartition spatio-temporelle et une diminution du nombre de jours de pluies (ZiE, 2013). Par contre, l'année 1988 est extrêmement humide (1614,6 mm) car son SPI (2,03)  $> 2$ . La variabilité de la pluviométrie a des répercussions sur l'évolution des espèces végétales du milieu.

- **Mise en évidence de non stationnarité des séries de précipitations**

La figure 8 à travers le test de Pettitt appliqué à la série pluviométrique de 1950 à 2015 met en évidence la rupture de stationnarité.



**Figure 8 :** Rupture de stationnarité dans l'évolution de la pluviométrie annuelle moyenne dans le bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali

*Source : Résultats de traitement des données sur le logiciel Khronostat*

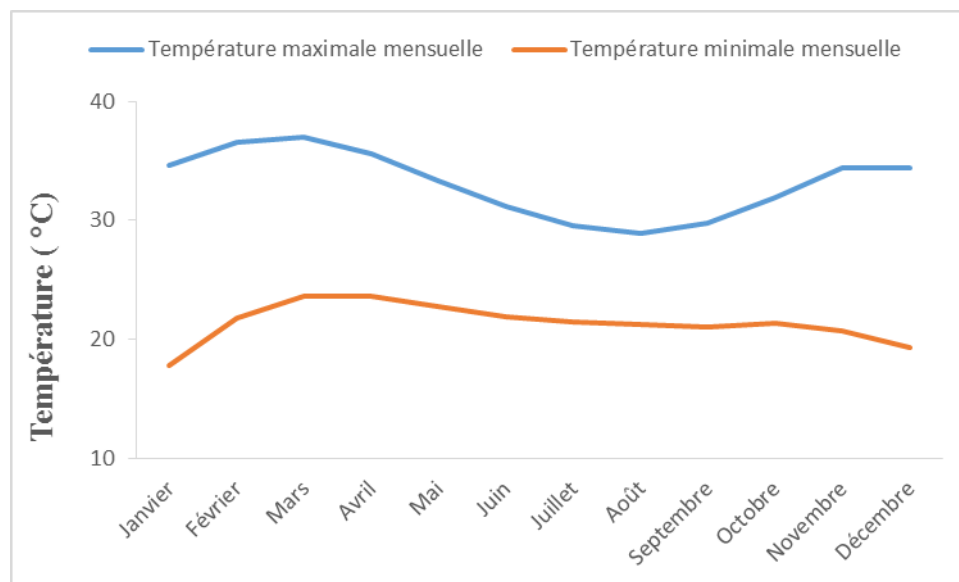
Sur l'ensemble des tests de détection de rupture, des ruptures primaires et secondaires sont identifiées respectueusement à gauche (primaire) et à droite (secondaire) des années 1956, 1969, 1973, 1980, 1983, 1987, 1995, 2006 et 2010. Ces ruptures coïncident avec les années de grandes sécheresses déterminées dans la variabilité interannuelle des précipitations standardisées des figures 6 et 7. Pour bien analyser ces résultats, la série a été subdivisée en trois sous périodes à savoir : de 1950 à 1969 ; 1970 à 1986 et de 1987 à 2015 suivant la variation de la variable U du test de Pettitt. Ces sous-périodes ont pour moyenne respectivement  $1209,19 \pm 223,69$  mm ;  $1083,1 \pm 223,69$  mm et  $1170,81 \pm 223,69$  mm soit une diminution de 126,09 mm de pluie de 1950 à 1986 avec une légère augmentation de 87,73 mm de pluie de 1987 à 2015. La moyenne pluviométrique est de 1159,84 mm durant toute la période de 1950 à 2015 avec un écart type de 223,69.

### 3.1.2. Variabilité thermométrique du bassin de l'Ouémé à N'Dali de 1971-2015

Les températures et la vitesse du vent ont été calculées afin d'apprécier leur évolution et leur écart dans le milieu d'étude.

- **Rythme annuel des températures minimales et maximales de 1971 à 2015**

La figure 9 présente le rythme annuel des températures maximales et minimales dans le secteur au cours de la période de 1971 à 2015.



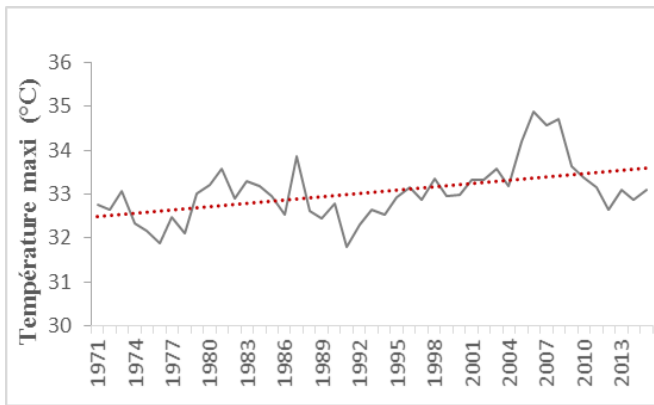
**Figure 9** : Régime thermométrique de N'Dali de 1971 à 2015

*Source : Résultats de traitement des données collectées*

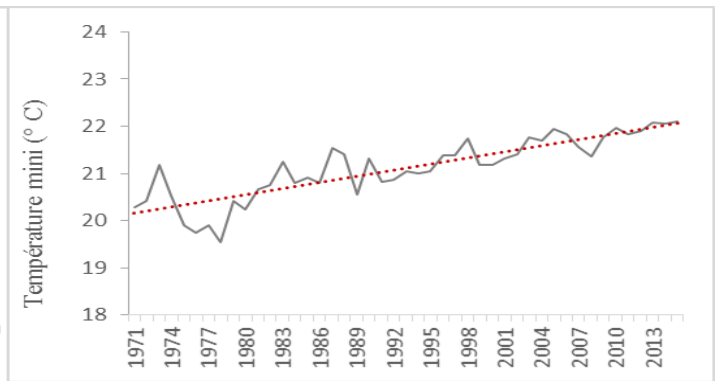
L'analyse de la figure 9 montre une variation des températures (maximales et minimales) au cours de l'année. Le mois de mars est le plus chaud de l'année avec  $36,96 \pm 2,80$  °C pour les maximales et  $23,54 \pm 1,34$  °C pour les minimales tandis que le mois d'août est le plus froid pour les maximales avec  $28,88 \pm 2,80$  °C et le mois de septembre pour les minimales avec  $20,44 \pm 1,34$  °C.

- **Variabilité inter-annuelle des températures (minimales, maximales et moyennes) de 1971-2015**

La variabilité inter-annuelle des températures minimales et maximales est représentée respectivement par les figures 10 et 11.



**Figure 10 :** Variabilité interannuelle des températures maximales



**Figure 11:** Variabilité interannuelle des températures minimales

Source : Résultats de traitement des données collectées

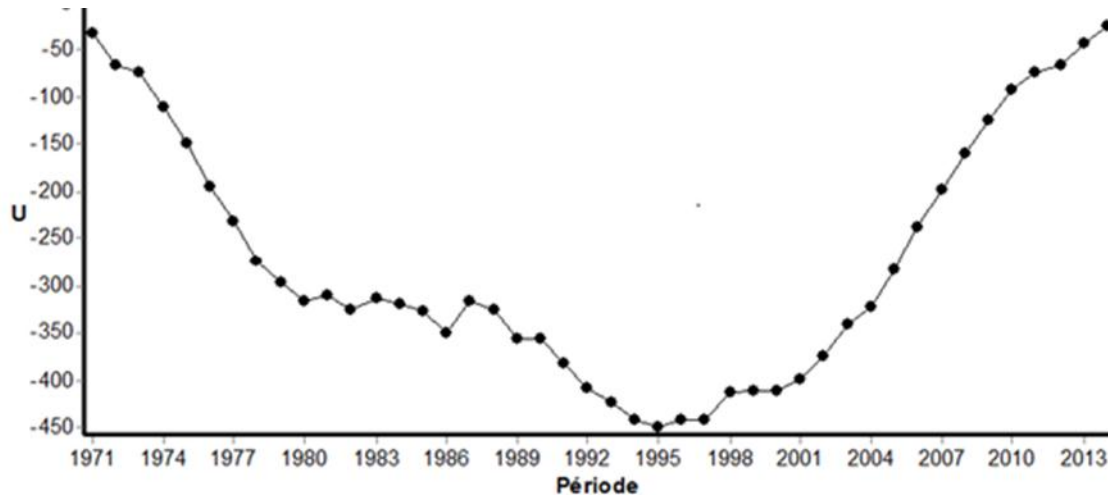
Source : Résultats de traitement des données collectées

D'après la figure 10, les années 1976, 1991 et 2012 ont connu les minima les plus faibles tandis que les années 1973, 1981, 1987 et 2006 ont des valeurs élevées des minima. Le taux de variation des températures minimales est de 0,1 2 sur la période 1970 à 2015 avec un écart de 2,54 °C. Quant aux maxima représentées par la figure 11, les années 1973, 1981, 1987 et 2006 ont enregistré les températures les plus élevées et les années 1976, 1991 et 2012 ont connu des faibles maxima avec un taux de variation de 0,09 et un écart de 3, 08 °C sur la même période de 1970 à 2015. La tendance des températures est à la hausse. Ces années de forte température (minima et maxima) correspondent aux années de forte sécheresse (figure 6 et 7).

En considérant les figures 6, 7, 8 et 9, il ressort en général que de faibles valeurs de température sont observées pendant les années de fortes pluviométries et de fortes valeurs pendant les années de faibles pluviométries.

#### ▪ Rupture de stationnarité de la série des températures

Le test de Pettitt a été appliqué à la série de température moyenne annuelle pour mettre en évidence la rupture de stationnarité. La figure 12 présente les résultats du test de Pettitt appliqué à la série de température moyenne annuelle de Parakou de 1970 à 2015 et le tableau III ceux de la méthode de segmentation de Hubert.



**Figure 12 :** Rupture de stationnarité dans l'évolution de la température moyenne annuelle dans le bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali

*Source : Résultats de traitement des données sur le logiciel Khronostat*

**Tableau III :** Segmentation de Hubert pour la température moyenne annuelle

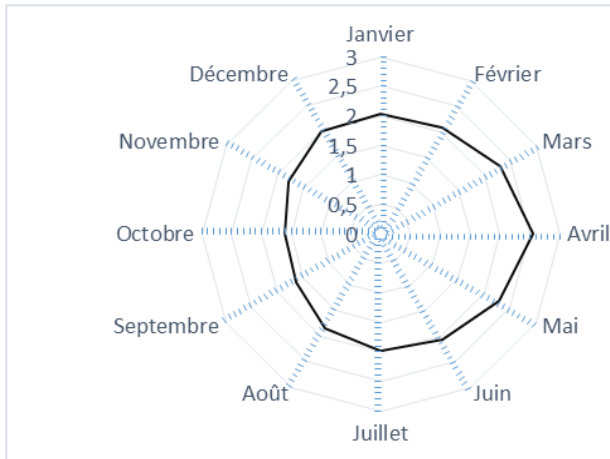
Début	Fin	Moyenne	Ecart type
1971	1978	26,36	0,37
1979	2001	27,10	0,30
2002	2015	27,80	0,36

*Source : Résultats de traitement de données sur le logiciel Khronostat*

De l'analyse de la figure 12 et du tableau III, il ressort que la série chronologique de température a connu trois années de rupture à savoir 1978, 1987 et 2002. Ainsi, les trois sous-périodes déterminées 1971-1978 ; 1979-2001 et 2002-2015 ont respectivement comme moyenne  $26,36 \pm 0,37$  °C ;  $27,10 \pm 0,30$  °C et  $27,80 \pm 0,36$  °C avec un taux de variation thermique de 0,096 °C. L'année 1995 est l'année à laquelle la probabilité de dépassement de la valeur critique du test de Pettitt ( $4,33E-06$ ) est atteinte.

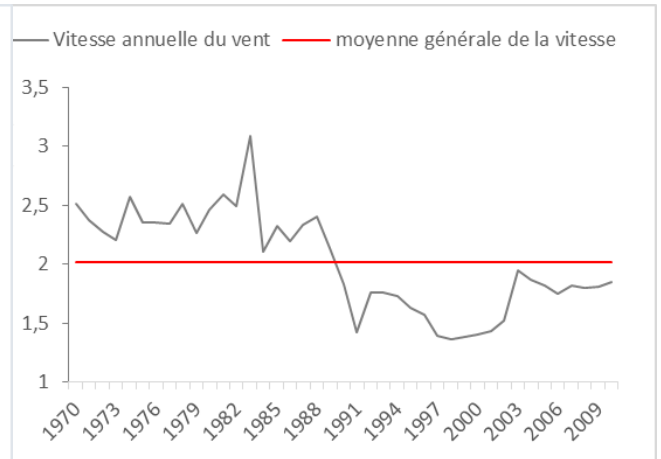
L'analyse des résultats de ces deux tests montre un réchauffement climatique avec l'augmentation de la température de 0,74 °C de 1971 à 2001 et 0,70 °C de 2001 à 2015 soit une augmentation de 1,44 °C au cours de toute la période de 1971 à 2015. Ce réchauffement est l'une des conséquences de la déforestation du bassin.

Les figures 13 et 14 montrent l'évolution des vents dans le secteur de N'Dali.



**Figure 13 : Variabilité mensuelle des vents**

Source : Résultats de traitement des données collectées



**Figure 14 : Variabilité interannuelle des vents**

Source : Résultats de traitement des données collectées

Les figures 13 et 14 montrent l'évolution des vents dans le bassin de l'Ouémé à N'Dali.

En analysant ces deux figures, il ressort que les mois de mars, avril et mai ont les plus grandes vitesses (2,30 m/s ; 2,54 m/s et 2,29 m/s) de vent de l'année avec l'avril le plus violent (2,54 m/s). Ces mois sont des mois de sécheresse avec des températures très élevées ; ce qui permet de conclure que les mois les plus chauds sont secs avec des vents violents (2,54 m/s).

De 1971 à 1990, la vitesse du vent est supérieure à la moyenne (2,01 m/s). Le taux de variation est de 85,57 % pour un écart de 1,72 m/s. L'année 1983 connaît un vent plus violent (3,08 m/s) de la période avec une température supérieure à la moyenne interannuelle (27,42) et correspondant à l'année la plus sèche (641,6 mm). Ce constat amène à conclure que les années sèches sont des années à vent fort et à température élevée dans ce bassin.

Le tableau IV présente la matrice de corrélation du test de Spearman des paramètres climatiques ci-dessus utilisés

**Tableau IV:** Matrice de corrélation (test de Spearman)

	Pluviométrie	Température	Vent
Pluviométrie		0,58	0,90
Température	0,58		0,77
Vent	0,90	0,77	

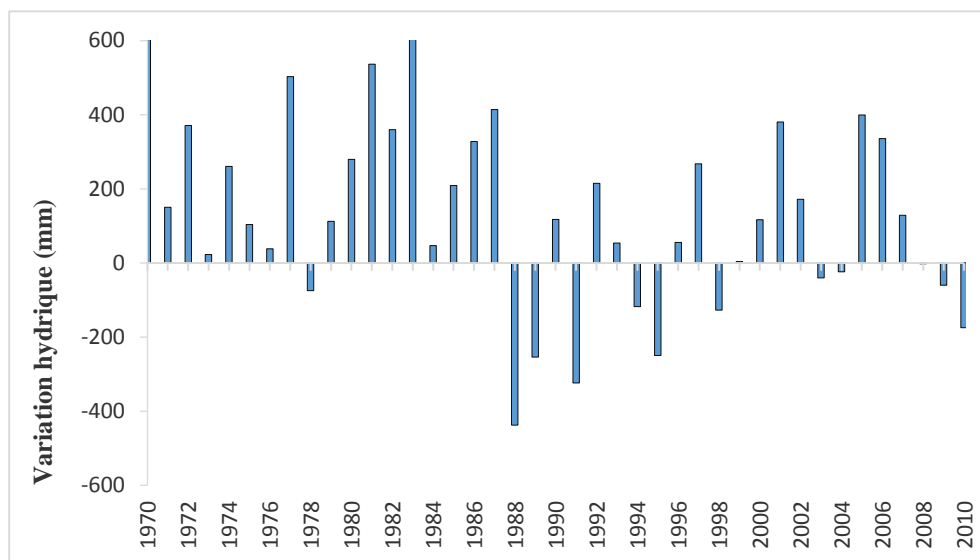
Sources : Résultats de l'analyse de corrélation par le logiciel SPSS, 2017

L'analyse du tableau IV montre qu'entre la pluviométrie et les autres paramètres, il existe une corrélation positive ( $r > 0,5$ ). La corrélation entre la pluviométrie et le vent est plus élevée ( $r = 0,90$ ) qu'avec la température ; ce qui montre la forte relation entre la précipitation et le vent. En outre, la corrélation entre la pluie et la température est 0,58 et celle de température/vent est de 0,77. Ceci montre également que ces paramètres climatiques s'influencent dans le milieu d'étude.

#### ▪ Détermination de la variation hydrique du milieu

Comme il a été constaté précédemment, le climat a évolué et montre un réchauffement pour toute la période d'étude. Dans ce contexte de réchauffement du climat, l'étude des conséquences de cette évolution climatique sur la végétation passe par le choix d'un indicateur pertinent qui est la variation hydrique.

La figure 15 présente les résultats de la variation hydrique du secteur d'étude de 1970 à 2010.



**Figure 15:** Variation hydrique du bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali

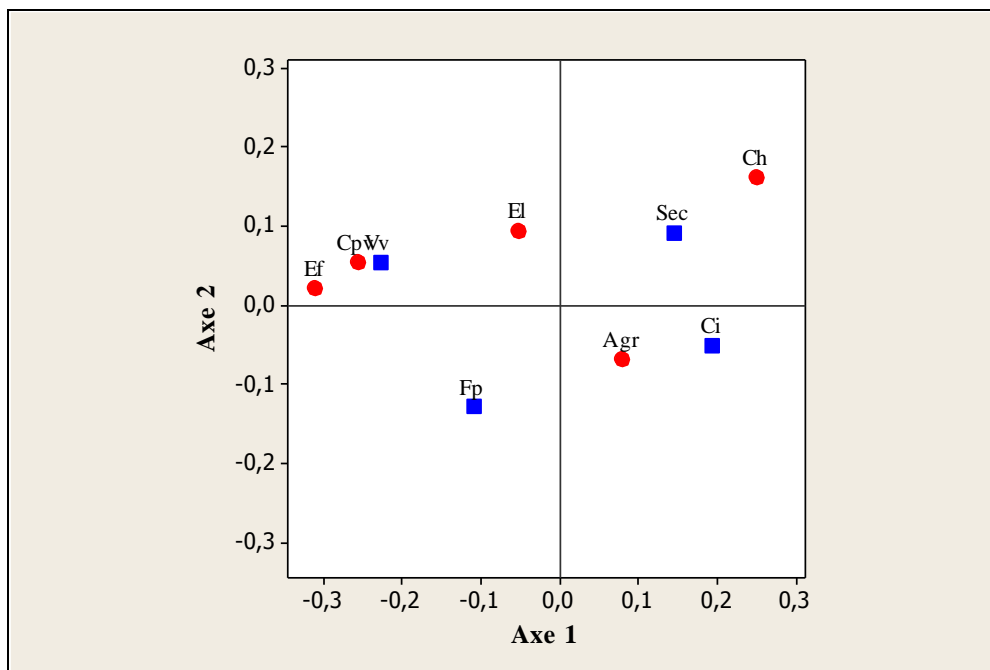
*Source : Résultats de traitement des données collectées*

En 40 ans, il y a eu 28 années déficitaires contre 12 années excédentaires avec un déficit hydrique qui varie de 0,28 % à 67,36 %. En effet, les décennies 1970 et 1980 sont marquées par un fort déficit variant de 1,77 % à 67,36 % avec les plus élevés aux années 1970 et 1983. Il y a donc une forte corrélation entre la variation hydrique et les précipitations. Il se révèle donc un indicateur de période de sécheresse et de

disponibilité en eau pour les plantes. Le principal facteur limitant pour les arbres est la sécheresse (Baudran *et al.*, 2008). Le stress hydrique, dont peuvent souffrir alors les arbres dans ces conditions est le résultat d'un déséquilibre entre les besoins en eau qui augmentent avec la température et la vitesse du vent et l'eau disponible qui dépend des précipitations durant la saison de végétation et du stock d'eau accumulé dans les horizons supérieurs du sol. L'augmentation du stress hydrique reste donc un des principaux effets à attendre et à craindre dans ce contexte d'une variabilité climatique où les températures et la vitesse du vent ne cessent de s'accroître et les précipitations en baisse constante.

### 3.2. Perceptions de la variabilité climatique et de ses causes

L'analyse factorielle de correspondances a été effectuée sur les données d'occurrence des différents paramètres qui commandent la variabilité climatique selon les différents acteurs. La figure 16 illustre la perception des manifestations de la variabilité climatique et les différents acteurs dans le système d'axes factoriels.



**Figure 16 :** Perceptions des populations sur les paramètres de la variabilité climatique du bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali

*agr* : Agriculteurs ; *cpv* : conseillers en production végétale ; *ef* : exploitants forestiers ; *el* : éleveurs ; Chasseurs, *sec* : sécheresse ; *fp* : forte pluie ; *vv* : vent violent ; *ci* : chaleur intense.

Source : enquête de terrain (Novembre 2015)

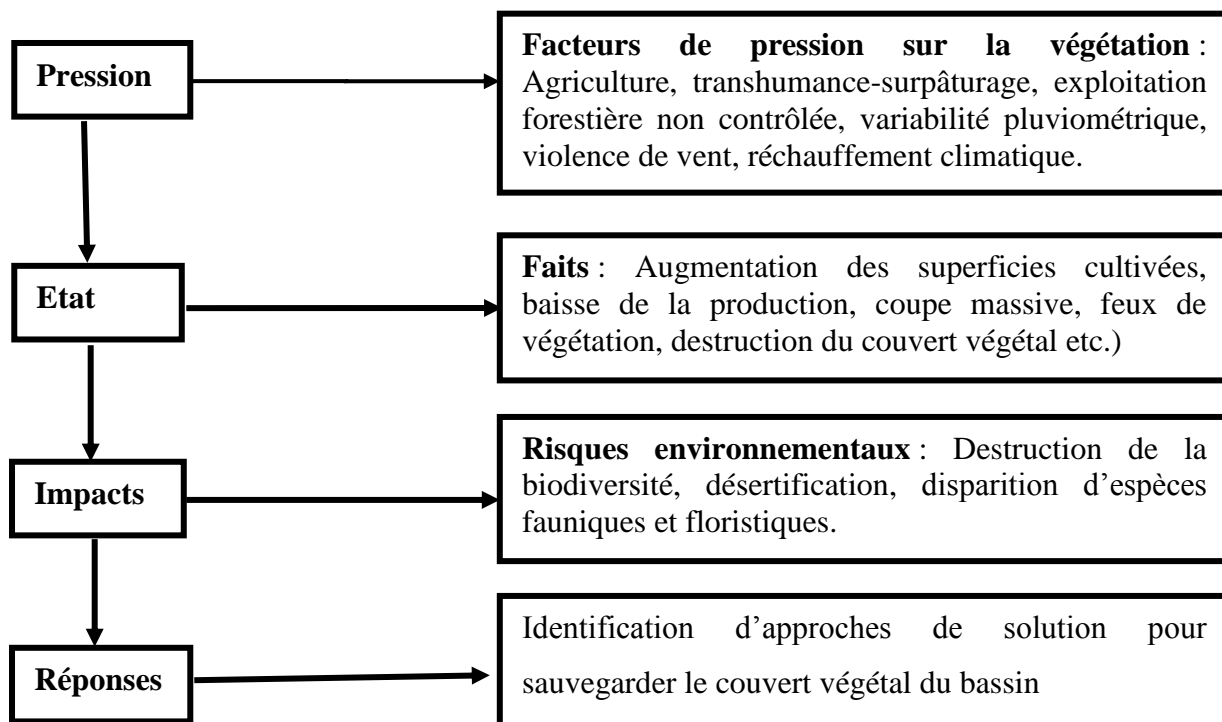
La figure 16 montre la perception des populations sur les paramètres de la variabilité climatique suivant un système d'axe. Les résultats de cette figure révèlent que les deux premiers axes expliquent 98,96 % des informations obtenues, ce qui est largement suffisant pour faire une bonne synthèse des informations. L'axe 1 retient à 81,49 % les acteurs tels que des conseillers en production végétale et des exploitants forestiers, et de l'autre les paramètres comme la chaleur intense et les vents violents. Par suite l'axe 2 positionne à 17,47 % les perceptions des agriculteurs, des éleveurs et les chasseurs et les paramètres comme la sécheresse et la forte pluie.

L'axe 1 oppose la perception des conseillers en production végétale à celle des exploitants forestiers. En effet, les conseillers en production végétale pensent que la variabilité climatique se manifeste par l'intensité de la chaleur tandis que les exploitants forestiers pensent plutôt que c'est la violence des vents qui détermine la variabilité climatique dans le bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali.

Sur l'axe 2, les agriculteurs, les éleveurs et les chasseurs estiment que, la variabilité climatique se manifeste par la sécheresse. Pour ces acteurs, l'influence des fortes pluies est moindre dans la variabilité du climat du bassin. Cette analyse montre que la perception de la variabilité climatique dans le bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali varie selon les activités que mènent les populations.

### **3.3. Analyse des impacts environnementaux de la variabilité climatique et des activités anthropiques**

La figure 17 présente l'analyse des impacts de la variabilité pluviométrique et des activités anthropiques sur le couvert végétal du bassin de l'Ouémé supérieur.



**Figure 17 :** Analyse des impacts environnementaux liés à la variabilité pluviométrique et aux activités anthropiques dans le bassin de l’Ouémé supérieur

*Source : Adapté de Bio Mayé, 2013*

Les principaux facteurs de pression sur la végétation (agriculture, transhumance-surpâturage, exploitation forestière non contrôlée, variabilité pluviométrique, violence des vents et réchauffement climatique) entraînent l’augmentation des superficies cultivées et leur progression dans la forêt classée de l’Ouémé supérieur. L’impact de ces activités est la destruction du couvert végétal. L’analyse des différents résultats montre une tendance générale à la dégradation. Le chapitre 4 aborde les manifestations de la pression anthropique dans le bassin supérieur de l’Ouémé à N’Dali.

## CHAPITRE IV :

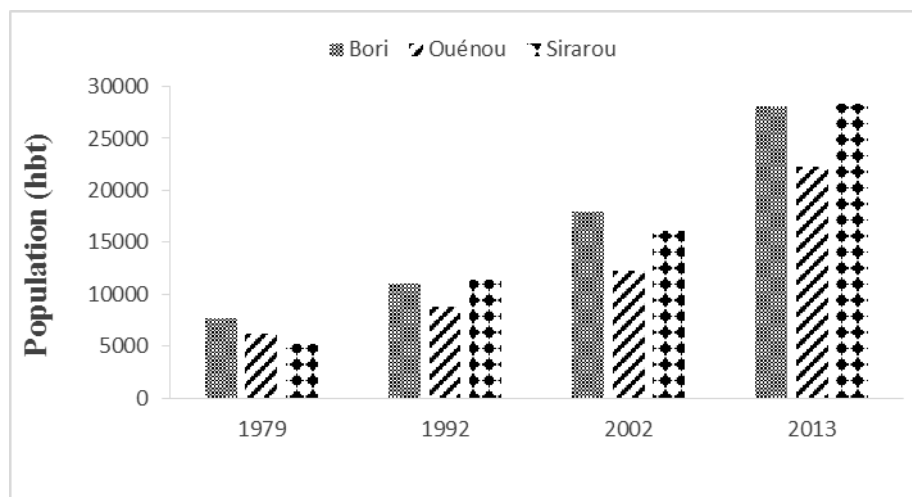
### MANIFESTATION DE LA PRESSION ANTHROPIQUE DANS LE BASSIN DE L'OUEME SUPERIEUR A N'DALI

L'étude de la manifestation de la pression anthropique a nécessité l'utilisation de données démographiques, socioéconomiques et des images satellitaires. Elles ont permis, grâce aux différentes méthodes d'analyser la dynamique de la population, les activités économiques et l'évolution du couvert végétal. Dans ce chapitre, il est question d'analyser le lien entre la pression anthropique et la dynamique des états de surface d'une part et entre la variabilité climatique et la dynamique des états de surface d'autre part.

#### 4.1. Dynamique de la population et activités économiques

##### 4.1.1. Dynamique de la population

Selon les résultats des recensements de la population de 1979, 1992, 2002 et 2013, effectués par l'INSAE, la population de N'Dali est passée de 26490 à 113604 habitants en 34 ans avec des taux d'accroissement de 4,1 % de 1979 à 1992 ; 3,9 % de 1992 à 2002 et de 4,8 % de 2002 à 2013 soit un taux d'accroissement de 4,3 % pour les 34 ans. Les statistiques démographiques des trois arrondissements qui font partir du secteur d'étude sont représentées par la figure 15.



**Figure 18 :** Evolution de la population des trois Arrondissements (Bori, Ouénou et Sirarou) du secteur d'étude entre 1979 et 2013.

*Source : Données de l'INSAE (1979, 1992, 2002 et 2013)*

En 34 ans (1979-2013), la population a évolué de façon exponentielle dans la commune de N'Dali. Cette situation pourrait s'expliquer par sa proximité avec Parakou. En effet, les agriculteurs dont les domaines ont été lotis par l'urbanisation de la ville de Parakou se dirigent vers Sirarou à la quête de nouvelles terres cultivables. En plus de la population en croissance rapide de la commune, ces colons agricoles augmentent la population agricole avec pour conséquences le défrichage et la destruction de plusieurs hectares du couvert végétal pour installer les champs.

#### **4.1.2. Activités socioéconomiques**

Cette partie décrit les activités menées par les populations du bassin de l'Ouémé supérieur dans le secteur de N'Dali.

- **Exploitation forestière**

Elle se traduit par la destruction critique des arbres à des fins de bois d'œuvre. Cette activité est plus remarquable à travers les exploitants forestiers qui s'adonnent à la coupe des arbres pour vendre sous forme de madriers. Elle est pratiquée aussi bien par les locaux tout comme les étrangers et ce parfois en complicité avec les autorités locales. Ce qui complique le suivi de cette activité par les agents des eaux et forêts occasionnant ainsi des pertes considérables du couvert végétal dans le bassin versant. La planche 1 montre les produits issus de la forêt classée de l'Ouémé supérieur à Bori.



**Planche 1:** Exploitation de bois à Bori  
**Prise de vues:** Bio Mayé, Novembre 2015

De la planche 1, il est observé des madriers provenant du bassin de l'Ouémé supérieur à Bori. Elle témoigne l'intensité de la pression qu'exercent les populations riveraines du bassin.

Outre l'exploitation forestière, l'agriculture contribue à la dégradation de la végétation.

## ▪ Agriculture

A l'instar de la plupart des communes des zones rurales du Bénin, l'économie de la commune de N'Dali est dominée par l'agriculture. C'est la principale activité pratiquée par 91,9 % (Gibigaye, 2008) des populations riveraines. L'agriculture traditionnelle itinérante sur brûlis dominante dans tous les systèmes d'exploitation agricole en usage et qui utilise peu d'engrais et de pesticides et des outils rudimentaires nécessite la pratique des systèmes de rotation qui conduisent les producteurs dont l'effectif s'accroît vue la croissance démographique, à rechercher de façon continue de nouvelles terres riches, surtout avec la production des cultures exigeantes telles que l'igname. Ces cultures dévastatrices de l'espace ont occupé 35,96 % de la superficie de la production de ces dix dernières années (CeCPA N'Dali, 2016) et participent à 47,48 % de la dégradation du couvert végétal selon les avis des enquêtés.

La forêt est constamment défrichée pour les cultures comme le présente la planche 2.



**Planche 2:** Champs d'igname dans la forêt classée de l'Ouémé supérieur  
**Prise de vue:** Bio Mayé, janvier 2016

La planche 2 montre deux champs d'igname. Dans ces champs, les arbres sont brûlés entraînant ainsi la destruction de la végétation. L'élevage a également sa part dans la dégradation du couvert végétal du bassin.

## ▪ Elevage

En période de sécheresse, le déficit fourrager est régulier car les feux courants éliminent toute la paille de graminées. L'élevage traditionnel et l'arrivée des transhumants qui consistent souvent à conduire dans la forêt pour compléter l'alimentation de leurs animaux conduisent à l'émondage des espèces comme Afzelia

africana, *Khaya senegalensis* et *Pterocarpus erinaceus* etc. L'émondage répété empêche la régénération de l'espèce provoquant ainsi sa disparition. De plus, les branchages laissés par les fulbés brûlent les espèces au pied desquelles ils se trouvent au passage des feux de végétation. Ces pratiques participent à environ 9,20 % (résultat des enquêtes) de la destruction du couvert végétal. La planche 3 montre les troupeaux de bœufs en pâture dans la forêt classée l'Ouémé supérieur.



**Planche 3:** Troupeaux en pâture dans le bassin de l'Ouémé supérieur  
Prise de vue : Bio Mayé, avril 2016

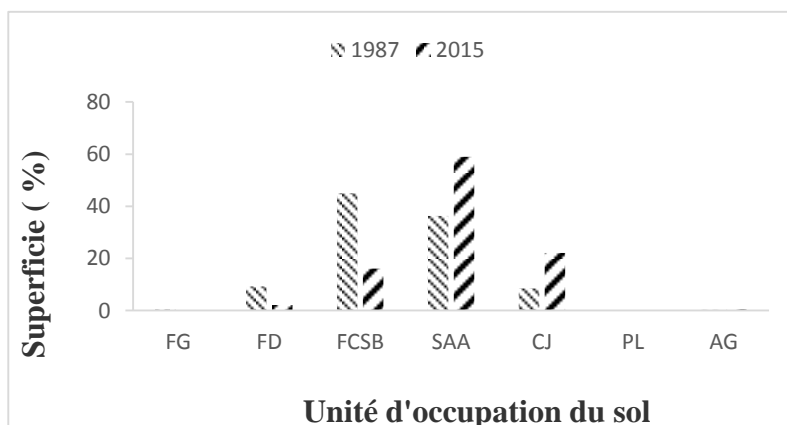
L'observation de la planche 3, montre que les éleveurs complètent l'alimentation de leur troupeau dans le bassin; ce qui a des répercussions sur les espèces fourragères du bassin. Toutes ces activités participent à la dynamique des états de surface.

#### **4.2. Pression anthropique et dynamique des états de surface**

Cette partie présente les états des formations végétales et autres composantes d'occupation des terres du secteur d'étude entre 1987 et 2015 obtenus à partir de la classification des images satellitaires Landsat.

##### **4.2.1 Etat des formations végétales entre 1987 et 2015**

L'état des formations végétales entre 1987 et 2015 est représenté par les figures 18 et 19.

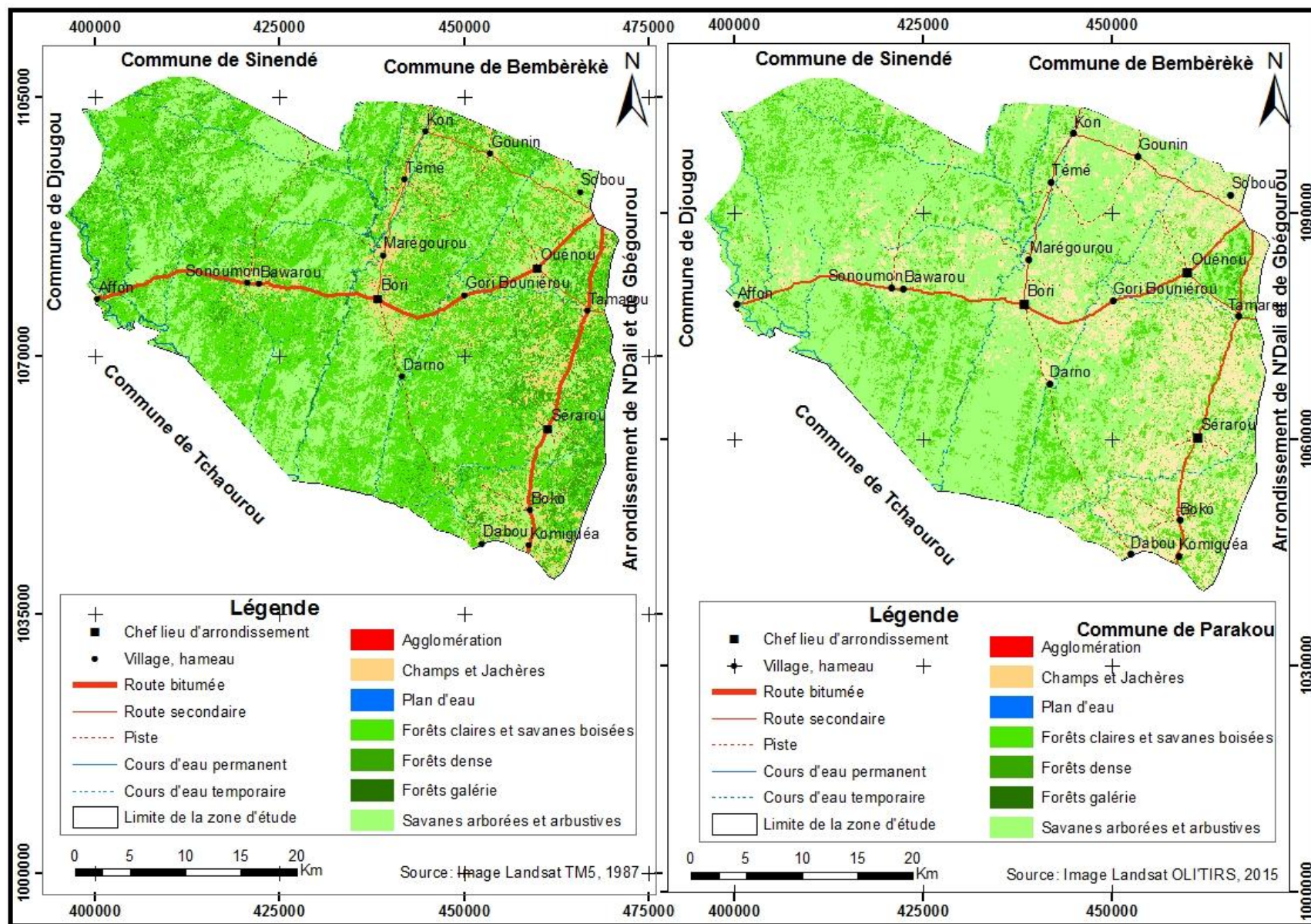


**Figure 19 :** Répartition des superficies des unités d’occupation du sol entre 1987 et 2015

Source : Interprétation des images Landsat TM5 de 1987 et Landsat8 OLI-TIRS de 2015

AG : Agglomération ; FG : Forêt Galerie ; FD : Forêt Dense ; CJ : Champs et Jachère ; FCSB: Forêt Claire et Savane Boisée ; SAA : Savane arborée et arbustive; PE : Plan d’eau

L’analyse de la figure 18 montre qu’au cours de la période allant de 1987 à 2015 les forêts claires et savanes boisées ; les forêts denses, les galeries forestières et les plans d’eau ont subi une grande régression. Ainsi, les taux de régression de l’ordre de 64,33 % de la forêt claire et savane boisée, 76,49 % de la forêt dense, 70,58 % de la galerie forestière et 81,66 % de plan d’eau ont été observés. Par contre les agglomérations, les cultures et jachères et la savane arborée et arbustive ont connu une progression de l’ordre de 62,32 % pour les savanes arborées et arbustives, 68,37 % pour les agglomérations et 161,2 % pour les champs et jachères. La plus grande progression s’observe au niveau des champs et jachères dont la superficie passe de 27875 ha en 1987 à 72832 en 2015. Ces modifications sont les résultats des différentes activités socioéconomiques menées par les populations riveraines du bassin de l’Ouémé supérieur à N’Dali.



**Figure 20 :** Occupation du sol de 1987 et de 2015 du bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali

## 4.2.2 Dynamique des unités d'occupations du sol entre 1987 et 2015

La dynamique des unités d'occupation du sol de 1987 à 2015 est résumée par la matrice de transition (Tableau VII) qui résulte des deux matrices de confusion (tableaux V et VI).

- **Matrices de confusion des images Landsat5 TM de 1987 et Landsat 8 OLI-TIRS de 2015.**

Les tableaux V et VI présentent les matrices de confusion de l'image Landsat 5 TM de 1987 et Matrice de confusion de l'image Landsat 8 OLI-TIRS de 2015

**Tableau V:** Matrice de confusion de l'image Landsat TM 5 de 1987 (en Pixel)

Données classifiées (1987)	FG	FD	FCSB	SAA	CJ	AG	PE	Total	EC	IPC
FG	61	3	4	0	0	0	0	68	10,29	89,71
FD	0	78	13	0	0	0	0	91	14,29	85,71
FCSB	1	3	220	0	0	0	0	224	1,79	98,21
SAA	0	0	0	160	0	0	0	160	0,00	100,00
CJ	0	0	0	0	189	0	0	189	0,00	100,00
AG	0	0	0	0	0	14	0	14	0,00	100,00
PE	0	0	0	0	0	0	12	12	0,00	100,00
Total	62	84	237	160	189	14	12	746		
EO	1,61	7,14	7,17	0,00	0,00	0,00	0,00			

*PG (précision globale de la classification) = 96,7828%*

*Source : Résultats de traitement de l'image Landsat TM 5 de 1987 par le logiciel Envi, 2016*

**Tableau VI:** Matrice de confusion de l'image Landsat 8 OLI-TIRS de 2015 (en Pixel)

Données classifiées (2015)	FG	FD	FCSB	SAA	CJ	AG	PE	Total	EC	IPC
FG	31	0	0	0	0	0	0	31	0,00	100,00
FD	0	60	0	0	0	0	0	60	0,00	100,00
FCSB	0	1	170	0	0	0	0	171	0,58	99,42
SAA	0	0	0	174	0	0	0	174	0,00	100,00
CJ	0	0	0	0	189	0	0	189	0,00	100,00
AG	0	0	0	0	0	22	0	22	0,00	100,00
PE	0	0	0	0	0	0	18	18	0,00	100,00
Total	31	61	170	174	189	22	18	665		
EO	0,00	1,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			

*PG (précision globale de la classification) = 99,8496%*

*Source : Résultats de traitement de l'image Landsat TM 5 de 1987 par le logiciel Envi, 2016*

*AG : Agglomération ; FG : Forêt Galerie ; FD : Forêt Dense ; CJ : Champs et Jachère ; FCSB: Forêt Claire et Savane Boisée ; SAA : Savane arborée et arbustive; PE : Plan d'eau ; EO : Erreur d'Omission ; EC : Erreur de Commission; IPC : Indice de Pureté des Classes.*

Les tableaux V et VI présentent respectivement les matrices de confusion de l'image Landsat 5 TM de 1987 et de l'image Landsat 8 OLI-TIRS de 2015. Les valeurs élevées des Indices de Pureté des Classes (IPC) au niveau des différentes classes d'occupation du sol à savoir : FG (89,71 %), FD (85,71 %), FCSB (98,21 %), AG, CJ, PE et SAA (100 %) en 1987 contre (100 %) de toutes les classes d'occupation du sol à l'exception de la classe FCSB (99,42 %) en 2015 montrent qu'une bonne partie des classes d'occupation du sol a été bien identifiée. Cette classification a été plus meilleure en 2015 ce qui s'explique par les valeurs très élevées de (IPC).

De ces deux matrices de confusion, la matrice de transition suivante a été générée afin de quantifier la dynamique de chaque unité d'occupation du sol.

○ **Matrice de transition des unités d'occupation du sol entre 1987 et 2015**

Le tableau VII présente à travers la matrice de transition les changements intervenus dans les unités d'occupation du sol dans le secteur de N'Dali de l'Ouémé Supérieur entre 1987 et 2015.

**Tableau VII** : Matrice de transition des unités d'occupation entre 1987 et 2015

Occupation du sol en 1987	Occupation du sol en 2015							Total 1987
	FG	FD	FCSB	SAA	CJ	AG	PE	
FG	325	0	201	481	319	0	0	1326
FD	0	1254	15460	11232	2450	210	0	30606
FC SB	0	3342	34200	74160	36546	42	0	148290
SAA	0	2045	1960	107500	8092	75	0	119672
CJ	65	542	1052	840	25096	265	15	27875
AG	0	12	20	43	294	488	0	857
PE	0	0	0	0	35	363	71	469
Total 2015	390	7195	52893	194256	72832	1443	86	329095

AG : Agglomération FG : Forêt galerie, FD : Forêt dense, FCSB : Forêt claire et Savane boisée, SAA : Savane arborée et arbustive, CJ : Champs et jachères.

Source : Résultats de traitement de l'image Landsat TM 5 de 1987 par le logiciel Envi, 2016

La forêt dense a régressé en donnant (50,51 %) de forêts claires et savanes boisées, 36,70 % de savanes arbustive et arborée, 8 % de champs et jachères et 0,69 % d'agglomération.

Par ailleurs, 4,09 % de la forêt dense sont restés inchangés (stabilité) entre 1987 et 2015. Les forêts claires et savanes boisées quant à elles, ont connu une transformation

régressive selon différentes proportions vers d'autres unités : 50,01 % en savanes arborées et arbustives ; 24,64 % en champs et jachères et 0,05 % en agglomération. Par contre, 2,25 % des forêts claires et savanes boisées ont progressé vers les forêts denses. Tandis que 23,06 % de forêts claires sont restés inchangés (stabilité). Ces données de la matrice de transition traduisent ainsi, la progression, la régression, et la stabilité au sein des unités d'occupation des terres.

De ce fait, cette matrice a permis de dégager trois changements majeurs:

- la dégradation de formations végétales, marquée par une réduction de superficies des forêts claires et savanes boisées et des forêts denses dans les localités de Sonoumon, Marégourou, Gounin Kori Sobou Sirarou et Boko ;
- la savanisation de la forêt, notée au travers de la savane arbustive et arborée observée à proximité de toutes les localités du secteur ;
- l'augmentation des champs et jachères de même que l'agglomération dans la partie comprise entre la route inter-état Parakou-N'Dali et celle N'Dali-Djougou.

Les taux moyens d'expansion spatiale permettent d'apprécier ces changements observés au niveau du couvert végétal dans le secteur de N'Dali du bassin de l'Ouémé supérieur.

#### ○ **Taux moyen d'expansion spatiale des unités d'occupation du sol entre 1987 et 2015**

Le tableau VIII présente les superficies et le taux moyen annuel d'expansion spatiale des unités d'occupation du sol du secteur d'étude entre 1987 et 2015.

Globalement, la savane arborée et arbustive (1,73 %), les champs et jachères (3,43 %) et l'agglomération (1,86 %) ont connu une augmentation de leurs superficies au détriment de la forêt dense (-5,17 %), de la forêt claire et savane boisée (-3,68 %), forêt galerie (-4,37 %) et l'eau (-6,05 %). Au-delà de la pression qu'exercent les activités socioéconomiques et qui contribue à la dynamique observée, il est donc nécessaire de connaître le lien qui existe entre cette dynamique et la variabilité pluviométrique.

**Tableau VIII:** Superficies et taux moyen annuel d'expansion spatiale des unités d'occupation du sol

Unités d'occupation des terres	Années		Taux moyen annuel d'expansion spatiale (T) en (%)
	1987 (t1)	2015 (t2)	
	Superficie (S1) (ha)	Superficie (S2) (ha)	
FG	1326	390	-4,37
FD	30606	7195	-5,17
FCSB	148290	52893	-3,68
SAA	119672	194256	1,73
CJ	27875	72832	3,43
AG	857	1443	1,86
E	469	86	-6,05
Total	329095	329095	

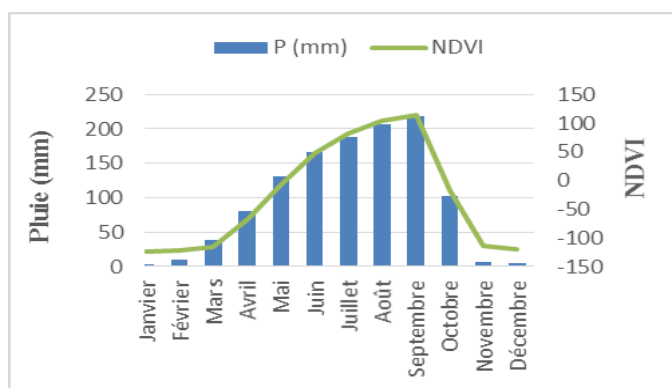
AG : Agglomération FG : Forêt galerie, FD : Forêt dense, FCSB : Forêt claire et Savane boisée, SAA : Savane arborée et arbustive, CJ : Champs et jachères, E : Eau

Source : Résultats de traitement des données de terrain, 2016

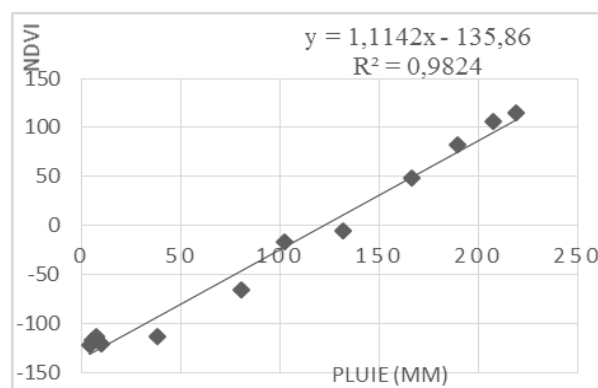
### 4.3. Variabilité climatique et dynamique des états de surface

Cette partie traite de la variabilité pluviométrique et de l'évolution du couvert végétal. Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) étant l'indice de végétation le plus communément utilisé pour estimer la quantité de végétation présente sur la surface et suivre son évolution-temporelle, sa valeur sera comparée à celles de la pluviométrie, de la température et du vent afin d'établir un lien.

La figure 21 représente l'évolution mensuelle de la pluviométrie et l'évolution mensuelle de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dans le bassin de l'Ouémé supérieur et la figure 22 la corrélation entre le NDVI et la pluie.



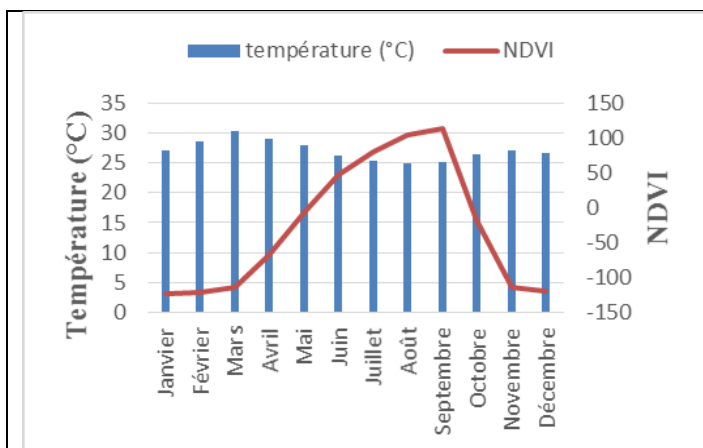
**Figure 21 :** Tendance de l'évolution du NDVI et de la pluie dans le bassin de l'Ouémé supérieur



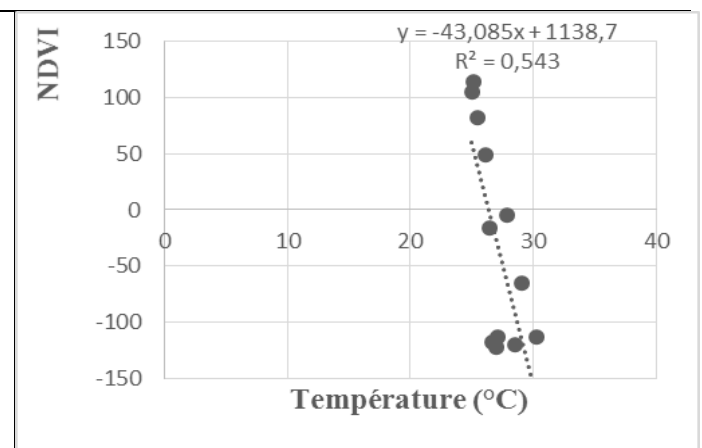
**Figure 22 :** Corrélation NDVI / pluie dans le bassin de l'Ouémé supérieur

L'analyse de la figure 21 montre que les valeurs élevées de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) sont enregistrées au cours des mois pluvieux tandis qu'en période sèche le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est faible. Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) amorce sa véritable progression en mai pour atteindre son maximum en septembre où les pluies sont à leur niveau maximal de l'année. En effet, quand une année est excédentaire, l'activité photosynthétique est abondante et inversement lorsqu'une année est déficitaire, l'activité photosynthétique est faible. En réalité, la demande évaporatoire est importante en période sèche or le sol dispose très peu d'eau en son sein. Cela ralentit donc l'activité photosynthétique et du coup la rend dépendante de la pluie. Cette dépendance du NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) vis-à-vis de la pluie justifie sa fluctuation au même titre que les précipitations dans le milieu d'étude.

Quant à la figure 22, elle présente la corrélation entre le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et la pluie. L'application d'une courbe de tendance au nuage de points de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et de la pluie donne une forte corrélation avec  $r = 0,98$ . En effet, l'évolution de l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) commence dans le bassin de l'Ouémé supérieur lorsque les précipitations atteignent la valeur de 132 mm (résultats de traitement de données de terrain). Ce qui signifie que le développement du couvert végétal est influencé par les précipitations du milieu. La figure 23 représente l'évolution mensuelle de la température et l'évolution mensuelle de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dans le bassin de l'Ouémé supérieur et la figure 24 la corrélation entre le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et la température.

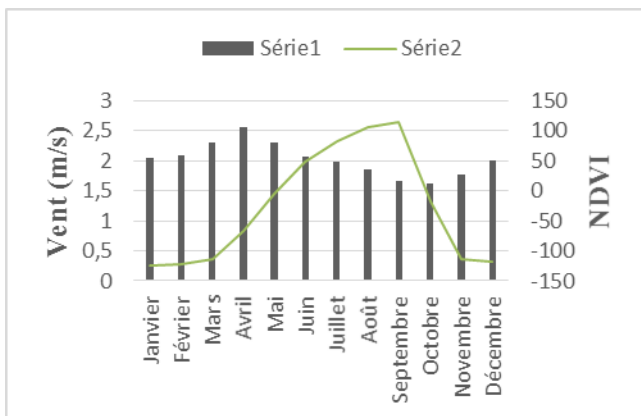


**Figure 23 :** Tendance de l'évolution du NDVI et de la température dans le bassin

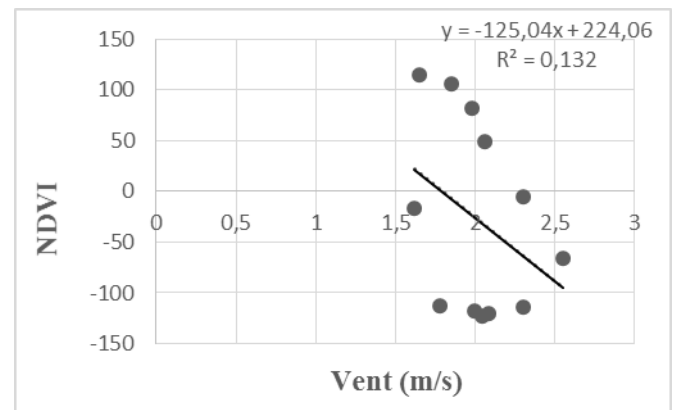


**Figure 24 :** Corrélation NDVI / température dans le bassin

L'analyse des figures 23 et 24, montre que les valeurs élevées de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) sont enregistrées au cours des mois à faible température tandis qu'en période chaude le NDVI est faible (figure 23). Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) atteint son pic pendant les mois à faible température (Juillet ; Août et septembre) et pour une température supérieure à 25 °C le NDVI chute. Le coefficient de corrélation  $r = 0,73$  confirme la forte liaison entre la température et la végétation. A partir de ces deux figures, il importe de conclure que la hausse de température provoque une dégradation du couvert végétal. Les figures 25 et 26 représentent respectivement la tendance de l'évolution du NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et le vent et la corrélation NDVI/vent dans le bassin de l'Ouémé supérieur.



**Figure 25 :** Tendance de l'évolution du NDVI et le vent dans le bassin de l'Ouémé supérieur

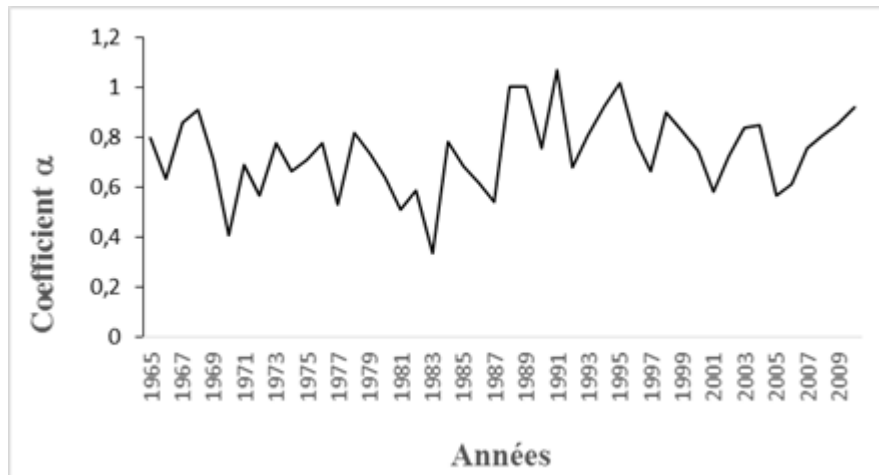


**Figure 26 :** Corrélation NDVI / vent dans le bassin de l'Ouémé supérieur

*Source : Résultats de traitement des données de terrain, 2016*

L'observation des figures 25 et 26 montre que les valeurs élevées de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) sont enregistrées pendant les mois à faible vitesse de vent et vice-versa avec une tendance à la baisse. Il ressort aussi de l'analyse de ces figures, que la dépendance du vent de NDVI est plus significative. La faible corrélation ( $r = 0,36$ ), exprime une relation lâche entre le vent et le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ; ce qui signifie que le vent n'a pas une forte influence sur la dynamique de la végétation du milieu. La quantité d'eau disponible dans les premiers horizons du sol permet une compensation de courte durée. C'est le cas du

mois d'octobre dans cette recherche. La figure 27 présente le coefficient de la disponibilité en eau du sol.



**Figure 27 :** Coefficient  $\alpha$  de la disponibilité en eau du sol

*Source : Résultats de traitement des données collectées*

La figure 27 montre que le coefficient est faible dans les années à faible valeur de précipitation et fort dans les années à forte valeur de précipitation. Il y a donc une corrélation entre les précipitations et ce coefficient. Ainsi, l'évolution de la végétation dépend de la variation des précipitations car le coefficient  $\alpha$  qui traduit la disponibilité en eau dans les premiers horizons du sol montre qu'aux années déficitaires correspondent de faibles disponibilités en eau du sol ; ce qui amplifie le déficit en eau des plantes qui a pour conséquence la dégradation du couvert végétal. Ces différents résultats méritent d'être discutés afin de ressortir leur caractère scientifique.

## Discussions

L'analyse des résultats de la dynamique de la végétation sur le bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali montre que les causes de la dégradation du couvert végétal sont liées aux facteurs climatiques aggravées par les facteurs anthropiques. En effet, les analyses de la dynamique de l'occupation du sol ont confirmé les résultats de Mama (2002) concernant la disparition des formations végétales denses au profit des espaces agricoles. Les taux annuels de régression des formations végétales (4,37 % FG ; 5,17 % FD et 3,68 % FCSB) soit en moyenne 4,41 % est supérieur à celui obtenu par Oloukoi (2012) qui est de 4,33 %. Il est supérieur à la moyenne nationale estimée par la FAO (2000) à 2,3 % de perte de la couverture forestière du pays entre 1990 et 2000. Par ailleurs, ce taux est en dessous du taux de déforestation de 6 % révélé par Orékan (2007a) entre 1991 et 2000 dans l'Ouémé supérieur ; ce qui signifie que la pression est moins forte du côté de N'Dali que dans tout le bassin de l'Ouémé supérieur. Abdoulaye (2015) a également montré la régression des espèces naturelles (formations végétales) dans le même bassin à l'exutoire de Bétérou. S'ils partagent tous l'opinion sur la régression des formations végétales ligneuses au profit des savanes arborées et arbustives, champs et jachères et les agglomérations, il importe de reconnaître que la régression est forte au niveau de la forêt dense. Les activités socioéconomiques (l'agriculture 47,48 % ; le surpâturage-transhumance 9,20 % et l'exploitation forestière non contrôlée 43,32 %) contribuent énormément à la dégradation des composantes de l'environnement selon les enquêtes sur le terrain. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Akognongbé et *al.* (2014) qui montrent que les pratiques agricoles, l'élevage transhumant, les feux de végétation, l'exploitation de bois non contrôlée sont les principaux facteurs de dégradation de l'environnement. Codjia et Gnagna (1993) ont abordé l'impact de la pression humaine sur la dynamique des paysages végétaux de la forêt classée de Touï-Kilibo, au centre du pays. Ils ont constaté que la superficie des formations denses diminue au profit de celle des formations claires, des jachères et des espaces cultivés. Ce qui est conforme aux résultats de la présente étude qui montre un taux de régression élevé au niveau des formations naturelles comme (forêt claire et savane boisée 3,68 %, forêt dense 5,17 % et forêt galerie, 4,37 %). Dipama (2011), a aussi étudié les risques de dégradation des

ressources naturelles des aires protégées due aux implantations humaines des Sambouali dans la province de la Kompienga (au Burkina Faso) en utilisant une approche qui intègre l'analyse diachronique. Il a ainsi montré que les écosystèmes de l'Est du Burkina Faso sont en proie à une dégradation accentuée due à la pratique d'une agriculture moderne renforcée par une forte pression des facteurs socio-économiques.

L'analyse des résultats des paramètres pluviométriques montre une diminution de la pluviométrie de 126,09 mm de pluie soit 11,64 % dans le secteur d'étude. Ces résultats sont conformes à ceux de Nicholson (1989) qui estime qu'entre 1960 et 1990 la baisse des hauteurs pluviométriques en Afrique de l'Ouest est comprise entre 10 et 25 % en comparaison à celle enregistrée au début du 20ème siècle. Selon lui cette baisse de la pluviométrie a entraîné depuis les années 1970, une modification de la végétation, accélérée par la pression anthropique. Houndénou et Hernandez (1998) ont mis en évidence également une diminution tendancielle du nombre de jours de pluie significative depuis les années 1970 dans le Nord-ouest du Bénin. Les températures minimales et maximales ont connues une variation avec l'augmentation de 3,08 °C pour les maximales et 2,2 °C pour les minimales et une augmentation de la violence des vents (3,08 km/s). Pour l'ensemble de la période, la température a connu une augmentation de 1,44 °C. Ces résultats sont en concordances avec ceux d'Ogouwalé (2013) qui montrent une hausse respective de 2,35 °C à 3,31 °C entre 1971 et 2010 des températures maximales et une augmentation de 2 °C des températures minimales. Nadia (2010) a constaté une augmentation des températures maximales et minimales pour la normale 1971-2000 par rapport à celles de la normale 1941-1970. Cette augmentation est plus élevée pour les températures maximales que pour les minimales au cours de la normale 1971-2000 et risque de dépasser les préférences thermiques des plantes. Les plantes bien qu'elles soient munies d'une «horloge interne» qui gouverne leurs phases de développement, chaque espèce ou variété se caractérise par ses besoins en température durant ses différentes phases de développement. Ces besoins sont traduits par le concept de quantité de chaleur utile ou degrés-jours. L'augmentation de la température se traduit par une réduction de la pluviométrie et une augmentation du déficit hydrique relatif. Les résultats de cette étude montrent une

variation hydrique de 0,28 % à 67,36 %. Or pour Baudran *et al.* (2008), le déficit hydrique apparaît comme un bon indicateur climatique pour la végétation forestière et son augmentation se traduit par la réduction de l'accroissement en volume des essences forestières et, dans certaines conditions, le dépérissement des peuplements. Ils estiment que les arbres et la flore forestière associée pourraient être affectés par un déficit d'alimentation en eau et, par la suite, en éléments nutritifs ; ce qui confirme l'influence de la variabilité climatique sur la dynamique de la végétation. En examinant l'évolution des facteurs climatiques entre 1960 et 2008 des trois zones climatiques du Bénin, Gnanglè *et al.* (2011) ont décelé une augmentation significative de la température moyenne de plus de 1 °C, une diminution perceptible de la pluviométrie de -5,5 mm/an en moyenne et du nombre moyen annuel de jours de pluie. Cette augmentation de la température et la diminution de la pluviométrie ont des répercussions sur le développement normal des végétaux car 1 °C de plus sur le besoin optimal en température d'une plante retarde son développement et sa régénération (Katé, 2014). La succession des années sèches, l'accroissement du nombre de jours secs peuvent entraîner la dégradation et la mortalité de certaines espèces ligneuses fourragères (Awa, 2013 ; Souley Yero, 2013 ; Doukpolo, 2014) ; ce qui confirme la régression de la végétation de ce bassin où la température a augmenté de 1,44 °C de 1971 à 2015 en tenant compte des résultats de segmentation de Hubert. Mieke *et al.* (2010), Huber *et al.* (2011) ont montré que l'évolution du couvert végétal est due aux plusieurs facteurs tels que les paramètres climatiques, les activités humaines, le surpâturage, etc. Les résultats de cette étude sont conformes à ceux de Katé *et al.* (2014) qui ont montré que la plupart des écosystèmes des différentes régions agro-écologiques notamment ceux de la partie septentrionale du Bénin sont marqués aujourd'hui par une dégradation du fait de la forte variabilité climatique associée à une plus grande fréquence des phénomènes extrêmes tels que la sécheresse, l'augmentation des températures sans occulter la pression anthropique. Si tous ces auteurs sont unanimes sur la baisse de la pluviométrie et l'augmentation de la température et la vitesse du vent, il importe de souligner que les résultats sont disparates dans le temps et dans l'espace. L'analyse du risque de dégradation du milieu physique du bassin, à partir de la dynamique observée des facteurs anthropiques et naturels, confirme que la

végétation du bassin versant de l’Ouémé supérieur demeure un espace fragile. Ainsi, la forte pression liée à l’agriculture, à l’exploitation forestière et à l’élevage dans ce milieu naturel fait peser des risques importants de dégradation du couvert végétal dans le secteur de N’Dali. Les résultats de comparaison et de corrélation NDVI / pluie montrent que les valeurs élevées de NDVI correspondent aux mois humides. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Vissin (2010) dans les sous bassins de la Mékrou, de l’Alibori et de la Sota à Gbassè dans la partie béninoise du fleuve Niger et d’Assaba (2014) dans le même bassin à l’exutoire de Savè. Plusieurs auteurs (Poccard, 2000 ; Djoufack, 2011 ; Souley Yero, 2013 et Abdoulaye, 2015) ont montré cette relation ; ce qui permet d’affirmer que c’est le climat qui gouverne le développement de la végétation. Beaucoup d’autres auteurs (Corillon *et al.* 1984; Nicholson *et al.* 1998; Laouina *et al.* 2010) ; Dunne *et al.* 2011) ont travaillé principalement sur les causes et les conséquences de la dégradation des écosystèmes et ont montré également que les paysages se modifient sous les effets combinés des changements d’utilisations des terres et du changement climatique.

Des études récentes (Toko, 2008 ; Toko Mouhamadou, 2015 ; Mama, 2012 ; Gibigayé, 2008) font également état d’une dégradation continue des écosystèmes au cours des dernières décennies, surtout due aux méthodes de production inappropriées (agriculture sur brûlis, utilisation intensive des produits chimiques etc) et à l’influence des aléas climatiques.

## Conclusion

Ce travail est un diagnostic qui donne une appréhension des effets du climat et des activités humaines dans la dégradation du couvert végétal du bassin versant de l'Ouémé supérieur à N'Dali. L'analyse des statistiques descriptives des paramètres climatiques et les états d'occupation du sol, des indices standardisés de précipitation et de végétation normalisée ont permis de connaître les différentes évolutions spatio-temporelles du climat et de la végétation.

Ainsi, l'évolution des paramètres climatiques dans le bassin versant sur la période 1950-2015 pour les précipitations et sur la période de 1971-2015 pour les températures, a montré une modification des rythmes pluviométriques et thermométriques. Dans ce bassin versant, il en ressort que les hauteurs des précipitations sont marquées par une forte variabilité avec un écart 973 mm de pluie durant toute la période de 1950 à 2015. Quant aux températures, les maximales ont varié de 31,78 °C à 34,86 °C ; soit une hausse 3,08 °C tandis que les températures minimales sont passées de 19,55 °C à 22,07 °C soit une augmentation de 2,52 °C. La vitesse du vent a également connue une augmentation de 1,72 km/s.

L'étude de la dynamique du paysage à travers l'analyse diachronique de l'occupation du sol révèle que toutes les unités ont connu un changement. Les formations naturelles (FCSB, FD, GF) ont connu une évolution régressive respective de (64,33 %, 76,49 %, 70,58 %) au profit des unités anthropiques à savoir (SAA, AG, CJ) qui ont progressé de (62,32 %, 68,37 %, 161,2 %). En somme, l'analyse de l'évolution de l'occupation des terres dans le secteur d'étude, montre une tendance générale à la dégradation des formations naturelles.

L'accroissement de la population de N'Dali au cours de ces dernières décennies a amplifié les activités anthropiques dans le bassin. L'identification des principaux facteurs de dégradation et leurs impacts à travers le modèle PEIR révèle que les activités humaines (agriculture, transhumance-surpâturage, exploitation forestière non contrôlée) participent pour une grande part à la dégradation du couvert végétal du bassin. En comparant l'évolution des paramètres climatiques et de NDVI, il ressort que

le climat à sa part dans cette dégradation du couvert végétal du bassin versant de l'Ouémé supérieur.

Dans ce contexte des changements climatiques et des pressions de plus en plus croissantes des populations, des solutions adaptées doivent être recherchées de concert avec les populations et les autorités locales, premières bénéficiaires du bassin.

## **Limites de l'étude**

Sur le plan méthodologique, il est important de soulever les limites sur la démarche ayant abouti aux résultats de ce mémoire. Elles sont relatives à la qualité de la classification des images antérieures aux années 1970 et la mise en évidence du lien climat-végétation. La classification en unités d'occupation du sol n'est jamais complètement précise (Shao *et al.* 2008). Cependant, l'analyse du niveau de fiabilité des résultats de la classification des images satellitaires indique une précision qui est dans les normes recommandées (Pontius, 2000). La non maîtrise des données annuelles d'évolution de la végétation et de l'évapotranspiration réelle a été une difficulté d'établir un lien direct entre la variabilité pluviométrique et la dynamique végétale.

## **Perspectives pour la thèse**

### **Problématique**

L'enjeu majeur des recherches sur la variabilité climatique est de quantifier l'impact de cette variabilité sur les activités que mènent des populations. Les variabilités climatiques actuelles signes des changements climatiques se caractérisent par de longues périodes de sécheresse avec pour conséquences des effets négatifs sur le cycle hydrologique, l'environnement et les activités socio-économiques (FAO, 2007 ; IPCC, 2007). D'où la nécessité de mener l'étude sur « **Variation climatique, dynamique de l'affectation des terres et désertification dans le bassin cotonnier du Nord-Est du Bénin** ».

## **Bibliographie**

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 Beterou (nord- bénin). Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 253 p.

Adam K. S. et Boko M. (1993) : Le Bénin. Ed, du flamboyant, Cotonou, 93p.

AGRHYMET, 2009. Actes de l'atelier de restitution des résultats du projet «Appui aux Capacités d'Adaptation du Sahel aux Changements Climatiques». Ouagadougou, 2-4 Février 2009.

Akoegninou A. (2004) : Recherches botaniques et écologiques sur les forêts actuelles du Bénin (Afrique de l'ouest). Thèse de doctorat d'Etat. UFR Biosciences, Côte d'Ivoire, 325 p.

Aldwaik S. & Pontius Jr. G. (2012): Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. *Landscape and Urban Planning*, 106 : 103-114.

Amani M., Koffi K., Yao B., Kouakou D., Jean E. et Sekouba O. (2010) : « Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire », 37 p.

Amoussou E. (2010) : Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Aheme-Couffo (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat Unique, Université de Bourgogne, Dijon, France, 315 p.

ASECNA (2013) : Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar. Station synoptique de Parakou, Bénin.

Assaba M. (2014) : Impacts des péjorations pluviométriques et de la dynamique de l'occupation du sol sur les ressources en eau dans le bassin versant du fleuve Ouémé à l'exutoire de Savè. Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 232 p

Awa P. O. (2013) : Changements climatiques, dynamique de la végétation et perception paysanne dans le Sahel burkinabè. Thèse de Doctorat Unique de l'Université d'Ouagadougou, Ouagadougou, Burkina Faso, 305 p.

Baudran C., Blanchard P. et Loyer S. (2008) : Caractérisation et évolution du climat. Quelles conséquences pour la végétation forestière ? Article, 13 p

Bio Mayé M. (2013) : Pression démographique et dynamique prospective de la forêt classée de N'Dali dans le contexte de la décentralisation. Mémoire de maîtrise, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 70 p.

Boak G. (2007) : Pollution des eaux et rivières et impact sur les populations riveraines: cas de la rivière Mgoua dans la zone industrielle de Douala-Bassa. Master en gestion de l'eau option environnement. Université de Dschang-FASA, 89 p.

Brunet R., Ferras R., They H. (1992) : Les mots de la géographie : Dictionnaire critique. Ed. RECLUS, Collection Dynamiques du Territoire, 470 p.

Collet, C. (1992) : Systèmes d'information géographique en mode image. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, *Col. Gérer l'environnement*, n°7, 186 p.

Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. (2004) : Decision 14/CP.10. Simplified modalities and procedures for small-scale afforestation and reforestation project activities under the clean development mechanism in the first commitment period of the Kyoto Protocol and measures to facilitate their implementation. Bonn, Allemagne. 26 p.

Cuccia C. (2008) : Changements climatiques observés en Bourgogne depuis 1961 : Etude des variations de températures et de précipitations. Mémoire de Master, Université de Bourgogne, Dijon, France, 52 p.

Dessay N. (2006) : Dynamique de la végétation et du climat : étude par télédétection de cinq biomes brésiliens, forêt ombrophile dense et ouverte, cerrados, caatinga et campanha gaúcha. Thèse de doctorat, Université Paris x Nanterre, France, 364 p.

Djèntonin N. (2010) : Vulnérabilité des ressources en eau face aux changements climatiques et stratégies endogènes de gestion développées dans le secteur agricole :

cas des communes de Banikoara et Malanville (Bénin).Thèse pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, université de Parakou, Parakou, Bénin, 119 p.

Djoufack-Manetsa V. (2011) : Étude multi-échelles des précipitations et du couvert végétal au Cameroun : Analyses spatiales, tendances temporelles, facteurs climatiques et anthropiques de variabilité du NDVI. Thèse de Doctorat Unique, Université de Bourgogne, Dijon, France, 321 p.

Dyson, F.J. (1977): Can we control the carbon dioxide in the air? *Energy*, 2: 287-291

FAO. (2005b) : Projets de boisement et de reboisement au titre du Protocole du Kyoto. Note d'informations. Rome. Forêts N° 147.

FAO. (2008): Plant a Forest, Save an Orangutan, Make Rain. Rapport d'activités. Rome 112 p.

Fischer G. Froberg 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.

GENY P., WAECHTER P., et YAITCHINOUSKY A. (1992) : Environnement et développement rural. Guide de la gestion des ressources naturelles. Paris, 418 p.

GIBIGAYE M. (2008) : Diffusion des innovations agricoles dans le Borgou et Alibori : cas des coopératives utilisations de matériels agricoles. Thèse de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 245 p.

Hountondji Y. (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 de l'Université de Liège, Liège, Belgique, 152 p.

HUBERT P. et CARBONNEL J.-P. (1989) : Dimensions fractales de l'occurrence de pluie en climat soudano-sahélien, *Hydrologie continentale*, vol. 4, n°1, pp. 3-10.

IBT. (2009) : Etude socio-économique dans les massifs forestiers de l'Ouémé supérieur. N'Dali, de la Sota, de Savalou et de Dassa-Zoumé. Rapport d'enquête, MEPN, Bénin, 136 p.

2iE (2013) : Science et Éco-innovation pour une valorisation durable des ressources naturelles. Collection actes de conférences 7ème édition des Journées Scientifiques 2iE Ougadougou, Burkina Faso, du 1er au 5 avril 2013. 572 p (207-212)

INSAE. (1979) : Cahier des villages et des villes, Département du Borgou, 21 p.

INSAE. (1992) : Cahiers des villages et des villes, Département du Borgou, 24 p.

INSAE. (2004) : Cahier des villages et des villes, Département du Borgou, 25 p.

IPCC. (2001) : Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Rapport spécial sur l'Évaluation de la vulnérabilité en Afrique. Island Presse, Washington, 53 p.

Kokou K. (1998) : Les mosaïques forestières au sud du Togo: biodiversité, dynamique et activités humaines. Thèse de doctorat de l'Université de Montpellier II, Montpellier, France, 140 p.

Loup J. (1974) : Les eaux terrestres. Masson, Paris, 171 p.

Mama V.J. (2002): An integrated approach for land-use/cover change analysis in a central region of Benin Republic. PhD Thesis, Geography, University of Lagos, Lagos, Nigeria, 221 p.

Maman I. (2012): Changements climatiques et agrosystèmes dans le moyen Bénin : impacts et stratégies d'adaptation. Thèse de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 495p

MFACED. (2004): Fortschrittsbericht zur deutschen bilateralen entwicklungszusammenarbeit im waldsetor, Allemagne, 147 p.

Mckee T., Doesken J. et Kleist J. (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, CA. American Meterological Society, 179-184.

N'Djafa O. H. (2005) : Rapport synthèse de l'enquête générale sur les itinéraires d'adaptation des populations locales à la variabilité et aux changements climatiques conduite par AGRHYMET et l'UQAM, Niamey 2005, Niger, 13 p.

Niasse, M., Afouda A., Amani A. (2004) : Réduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la

désertification. Eléments de stratégie régionale de préparation et d'adaptation. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume Uni. XVIII + 71 pp.

Nicholson S. E. (1989): Long-term changes in African rainfall, weather, (44): 47-56.

Noufé D. (2011) : Changements hydro climatiques et transformations de l'agriculture : l'exemple des paysanneries de l'Est de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat de l'Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, France, 375p.

Ogouwale R. (2013) : Changements climatiques, dynamique des états de surface et perspectives sur les ressources en eau dans le bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Kaboua. Thèse de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 205 p.

Oloukoi 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 l'Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 304 p.

Orékan A. (2013) : Dynamique prospective de l'occupation du sol et de l'utilisation des terres dans la commune de Zangnanado (Sud-Bénin). Mémoire de DESS, UNIPAR, Parakou, Bénin. 107 p.

Orékan V. (2007a) : Implementation of the local land-use and land-cover change model CLUEs for Central Benin by using socio-economic and remote sensing data. PhD Thesis, University of Bonn, Allemagne, 204 p.

Orékan V., Tente B., Houndagba C.J., Abdoulaye D. (2015): Occupation des terres et dynamique du couvert végétal au Bénin. Pp 152-162 ([www.google](http://www.google.com), le 28/ 01/ 2017 à 10 h 57 mn).

PAPF/OSN. (2012) : Plan d'Aménagement Participatif des Forêts classées de l'Ouémé Supérieur et de N'Dali. 117 p.

Pierre George. (1974) : Dictionnaire de la géographie ; presses universitaire, 2eme édition France. 451 p.

Poccard I. (2000) : Etude diagnostique de nouvelles données climatiques : les réanalyses. Exemples d'application aux précipitations en Afrique tropicale. Thèse de Doctorat Unique, Université de Bourgogne, Dijon, France 255 p.

Pontius, Jr.R.G. (2000): Quantification error versus location in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 66, No 8, pp. 1011–1016.

Quense J. (2011): Changement climatique et dynamique de la végétation dans les Andes du chili central, depuis le milieu du XXe siècle : l'exemple de la vallée de yerba loca. Thèse de Doctorat Unique, Université de Grenoble, Grenoble, France, 271 p.

Robledo, C. et Forner, C. (2005): Adaptation of forest ecosystems and the forest sector to climate change. Forest and Climate Change Working Paper No. 2. FAO, Rome.

Sandjong S. (2013): Essai d'analyses de la conception paysanne de l'évolution, de la gestion et de l'utilité du Parc National de Mozogo-Gokoro (Cameroun) en vue de son aménagement.

Sarr B., Traoré S., Salack S. (2007) : Évaluation de l'incidence des changements climatiques sur les rendements des cultures céréalières en Afrique soudano-sahélienne. Bulletin Mensuel numéro spécial. Centre Régional Agrhymet, CILSS, Niamey. 43 p

Sircoulon J. (1990) : Aspects hydrologiques des fluctuations climatiques en Afrique de l'Ouest et Centrale. Bull OMM, (380) : 1-8.

Sossou-agbo A. L. (2006) : La mobilité des populations dans le complexe fluviolagunaire de la basse vallée de l'Ouémé au Bénin, en Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat Unique de l'Université de Grenoble et de l'Université d'Abomey-calavi, Cotonou, Bénin, 349 p.

Sounon B. (2007) : Effets de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité floristique des forêts claires et savanes au Bénin. *Tropicultura* 221-227 p.

Souley Yero K. (2012) : Evolution de l'occupation des sols dans l'Ouest du Niger : Influence sur le cycle de l'eau. Thèse de Doctorat Unique de l'Université de Grenoble, Grenoble, France, 231 p.

Tenté B. (2011) : Impacts des activités humaines sur les ressources forestières dans les terroirs villageois des communes de Glazoué et de Dassa-Zoumè au centre-Bénin. *Revue scientifique*, 17 p.

Tenté, B. (2000) : Dynamique actuelle de l'affectation des terres dans le massif de l'Atacora : Secteur Perma-Toucountouna. Mémoire de DEA, EDP, UNB, Bénin, 83 p.

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 Kouffé et de sa périphérie au Bénin. Thèse de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi Cotonou, Bénin, 235 p.

Totin V. S. H. (2010) : Sensibilité des eaux souterraines du bassin versant sédimentaire côtier du Benin à l'évolution du climat et aux modes d'exploitation : Stratégies de gestion durable. Thèse de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 283 p.

Touré F. (2010) : Contribution de la Télédétection et des SIG dans l'étude de la dynamique des îlots de forêt dense dans la Forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie au Bénin entre (1986-2006). Mémoire de DESS en Production et gestion de l'information géographique. RECTAS. Campus Universitaire Obafemi Awolowo, Ilé-Ife, Nigéria. 69 p.

Vissin E. W. (2001) : Contribution à l'étude de la variabilité des précipitations et des écoulements dans le bassin versant du fleuve Niger. Mémoire de DEA, Université de Bourgogne. Dijon, France, 52 p.

Vissin E. W. (2007) : Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, France, 311 p.

Wolff E. (2006) : Télédétection. Notes de Cours, DESS en Gestion des Ressources Naturelles. AGE-FSA/UAC. Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 182p.

Woodward, F.I, And Mckee, I.F. (1991): *Vegetation and Climate*, *Environ. Int.*, 17, 535-546. ([www.google](http://www.google.com), le 23/ 10/ 2015 à 10 h 57 mn).

Yao N'guettia ; Oule ; N'goran Kouadio. (2009) : Etude de Vulnérabilité du Secteur Agricole face aux Changements Climatiques En Côte d'Ivoire. Rapport 105 p.

Zamblé A. T. (2014) : Etude de l'impact des activités anthropiques et de la variabilité climatique sur la végétation et les usages des sols, par utilisation de la télédétection et des statistiques agricoles, sur le bassin versant du Bouregreg (Maroc). Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, Abidjan, Côte d'Ivoire, 190 p.

## Liste des figures

Figure 1 : Situations géographique et administrative du bassin de l’Ouémé a N’Dali.	19
Figure 2 : Répartition des différents groupes socioculturels dans la commune de N’Dali .....	21
Figure 3 : Extrait de la composition colorée de l’image landsat TM5 de 1987 .....	29
Figure 4 : Extrait de la composition colorée de l’image landsat 8 OLI-TIRS de 2015 .....	29
Figure 5 : Régime pluviométrique du bassin de l’Ouémé supérieur à N’Dali .....	35
Figure 6 : Variabilité interannuelle et tendance pluviométrique du bassin a N’Dali ...	36
Figure 7 : Précipitations standardisées de la série de 1950 à 2015.....	37
Figure 8 : Rupture de stationnarité dans l’évolution de la pluviométrie annuelle moyenne dans le bassin de l’Ouémé supérieur a N’Dali.....	38
FIGURE 9 : Régime thermométrique de N’Dali de 1971 à 2015 .....	39
Figure 10 : Variabilité interannuelle des températures maximales .....	40
Figure 11: Variabilité interannuelle des températures minimales .....	40
Figure 12 : Rupture de stationnarité dans l’évolution de la température moyenne annuelle dans le bassin de l’Ouémé supérieur à N’Dali .....	41
Figure 13 : Variabilité mensuelle des vents.....	42
Figure 14 : Variabilité interannuelle des vents .....	42
Figure 15:Variation hydrique du bassin de l’oueme superieur à N’Dali.....	43
Figure 16 : Perceptions des populations sur les paramètres de la variabilité climatique du bassin de l’Ouémé supérieur a N’Dali .....	44
Figure 17 : Analyse des impacts environnementaux liés a la variabilité pluviométrique et aux activités anthropiques dans le bassin de l’Ouémé supérieur.....	46
Figure 18 : Evolution de la population des trois arrondissements (Bori, Ouenou et Sirarou) du secteur d’étude entre 1979 et 2013. ....	47
Figure 19 : Répartition des superficies des unités d’occupation du sol entre 1987 et 2015.....	51
Figure 20 : Occupation du sol de 1987 et de 2015 du bassin de l’Ouémé supérieur à N’Dali .....	52
Figure 21 : Tendance de l’évolution du NDVI et de la pluie dans le bassin de l’Ouémé supérieur.....	56

Figure 22 : Corrélation NDVI / pluie dans le bassin de l’Ouémé supérieur.....	56
Figure 23 : Tendence de l’évolution du NDVI et de la température dans le bassin .....	57
Figure 24 : Corrélation NDVI / température dans le bassin .....	57
Figure 25 : Tendence de l’évolution du NDVI et le vent dans le bassin de l’Ouémé supérieur.....	58
Figure 26 : Corrélation NDVI / vent dans le bassin de l’Ouémé supérieur.....	58
Figure 27 : Coefficient $\alpha$ de la disponibilité en eau du sol.....	59

### Liste des tableaux

Tableau I : Répartition de l’échantillon par villages .....	25
Tableau II : Modèle d’une matrice de confusion.....	31
Tableau III : Segmentation de Hubert pour la température moyenne annuelle.....	41
Tableau IV: Matrice de corrélation (test de Spearman).....	42
Tableau V: Matrice de confusion de l’image landsat TM 5 de 1987 (en pixel).....	53
Tableau VI: Matrice de confusion de l’image landsat 8 OLI-TIRS de 2015 (en pixel).....	53
Tableau VII : Matrice de transition des unités d’occupation entre 1987 et 2015.....	54
Tableau VIII: Superficies et taux moyen annuel d’expansion spatiale des unités d’occupation du sol.....	56

### Liste des planches

planche 1: Exploitation de bois a Bori.....	48
planche 2: Champs d’igname dans la forêt classée de l’ouémé superieur.....	49
planche 3: Troupeaux en pâture dans le bassin de l’ouémé superieur.....	50

## Annexes

**Propos liminaire** - Le présent questionnaire a pour but d'appréhender les indicateurs et les perceptions des populations à l'évolution de la végétation, et les relations entre celle-ci et le climat dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur. La présente recherche s'inscrit dans le cadre des travaux d'un mémoire de DEA à l'EDP/FLASH portant sur "Variabilité climatique et pression anthropique sur la dynamique du couvert végétal du bassin versant de l'Ouémé supérieur à N'Dali au Bénin"

### Analysis of Contingency Table

Axis	Inertia	Proportion	Cumulative	Histogram
1	0,0322	0,8149	0,8149	*****
2	0,0069	0,1747	0,9896	*****
3	0,0004	0,0104	1,0000	
Total	0,0396			

Row Contributions					Component 1			Component 2		
ID	Name	Qual	Mass	Inert	Coord	Corr	Contr	Coord	Corr	Contr
1	Agr	1,000	0,541	0,146	0,079	0,577	0,104	-0,067	0,423	0,355
2	Cpv	0,951	0,018	0,033	-0,257	0,908	0,037	0,056	0,043	0,008
3	Ef	0,999	0,203	0,498	-0,311	0,994	0,608	0,022	0,005	0,014
4	El	0,831	0,114	0,041	-0,053	0,198	0,010	0,095	0,633	0,148
5	Ch	0,995	0,125	0,281	0,250	0,700	0,242	0,162	0,295	0,475

Column Contributions					Component 1			Component 2		
ID	Name	Qual	Mass	Inert	Coord	Corr	Contr	Coord	Corr	Contr
1	Sec	0,984	0,253	0,188	0,144	0,703	0,162	0,091	0,282	0,304
2	Fp	0,982	0,199	0,146	-0,109	0,413	0,074	-0,128	0,569	0,476
3	Vv	0,997	0,285	0,400	-0,229	0,942	0,462	0,055	0,055	0,125
4	Ci	0,987	0,263	0,266	0,192	0,924	0,301	-0,050	0,062	0,095

### Questionnaire adressé aux autorités locales

#### I- Identification

1-	Arrondissement	
2-	Village/ Quartier	
3-	Nom et prénoms	
4-	Age	
5-	Sexe	
6-	Ethnie	
7-	Attribution	

#### II- Questionnaires

1-	Avez-vous entendu parler de changement climatique ?	1- Oui, 2- Non 3- NS
2-	Est-ce que vous sentez les effets du changement climatique dans votre localité ?	1- Oui, 2- Non, 3- NS

3-	Quels sont des indicateurs de ces changements dans votre localité ?	1- Inondation, 2- Sécheresse, 3- Forte pluviométrie, 4- vent violent, 5- Intensité de la chaleur, 6- Autres (à préciser)
4-	Quelles sont les activités qui sont à la base de ces changements ?	1- Activités anthropiques très poussées, 2- phénomène naturelle, 3- Autres (à préciser)
5-	Savez-vous qu'il y a un lien entre la végétation et le climat ?	1- Oui, 2- Non, 3- NS
6-	Les exploitants forestiers interviennent ils dans votre localité ?	1- Oui, 2- Non, 3- NS
7-	Pourquoi signez-vous les autorisations d'accès ?	
8-	Quelle est la superficie de la végétation détruite actuellement dans votre arrondissement/village ?	1- 25%, 2- 50%, 75%, 4- 100%
9-	Choisie par ordre croissant de destruction des formations végétales les activités suivantes.	1- Agriculture 2- élevage 3- exploitation forestière non contrôlée
10-	Que faire pour arrêter ce fléau ?	
11-	Selon vous, quelle est l'importance de la végétation pour la vie des êtres vivants ?	1- Très important, 2- Important, 3- Moyennement important, 4- Faiblement important, 5- Aucune importance

## Questionnaire adressé à la population

### I- Identification de l'enquêté

1-	Arrondissement	
2-	Village	
3-	Nom et prénoms	
4-	Age	1= 20 ans, 2= 25 ans, 3= 30 ans, 4= 35 ans, 5= 40 ans, 6= 45 ans, 7= 50 ans, 8= 55 ans, 9= 60 ans et plus.
5-	Sexe	1= Masculin          2= féminin
6-	Ethnie	1= Bariba          2= Peulh, 3= colon agricole, 4= autre (à préciser)
7-	Principale activité génératrice de revenu	1 = Agriculture 2 = élevage/pêche 3 = Exploitation forestière 4 = Fabrication de charbon 5 = Autres (à préciser)
8-	Situation Matrimoniale	1 = Marié (e)          2 = Célibataire
9-	Type de ménage	1 = Monogame          2 = Polygame
10-	Niveau d'instruction	1 = Primaire, 2 = Secondaire/Premier cycle 3 = Secondaire/Second cycle, 4 = Supérieur 5 = Aucun

### II. Fondements

1-	Savez-vous que le climat change ?	1- Oui, 2- Non, 3- NS
2-	Quels sont les indicateurs de ce changement du climat dans votre village ?	1- Inondation, 2- Sécheresse, 3- Forte pluviométrie, 4- vent violent, 5- Intensité de la chaleur, 6- Autres (à préciser)
3-	Savez-vous qu'il y a un lien entre votre activité et le changement climatique ?	1- Oui ; 2- Non, 3- NS
4-	Comment expliquez-vous ce fléau ?	
5-	Que faites vous pour arrêter ce fléau ?	
6-	Selon vous quel est le lien entre la végétation et le climat ?	
7-	Selon vous quel est état de la végétation la forêt ?	1- Diminue, 2- Augmente, 3- Stable, 4- NS
8-	Quels sont les acteurs de cette modification d'état ?	1- Agriculteurs, 2- Exploitants forestiers, 3- Eleveurs, 4- Autres (à préciser).
9-	Que faites vous pour arrêter cette modification ?	

10-	Selon vous, quelle est l'importance de la végétation pour la vie des êtres vivants ?	1- Très important, 2- Important, 3- Moyennement important, 4- Faiblement important, 5- Aucune importance
-----	--	--

## Questionnaire adressé aux agents des eaux et forêts et MAEP

### I- Identification

1-	Arrondissement	
2-	Village/ Quartier	
3-	Nom et prénoms	
4-	Age	
5-	Sexe	
6-	Ethnie	
7-	Attribution	

### II- Questionnaires

1-	Avez-vous entendu parler de changement climatique ?	1- Oui, 2- Non 3- NS
2-	Est-ce que vous sentez les effets du changement climatique dans votre secteur d'intervention ?	2- Oui, 2- Non, 3- NS
3-	Quels sont des indicateurs de ces changements dans votre secteur ?	1- Inondation, 2- Sécheresse, 3- Forte pluviométrie, 4- vent violent, 5- Intensité de la chaleur, 6- Autres (à préciser)
4-	Qu'est ce qui est à la base de ces changements ?	1- Activités anthropiques très poussées, 2- phénomène naturelle, 3- Autres (à préciser)
5-	Savez-vous qu'il y a un lien entre la végétation et le climat ?	2- Oui, 2- Non, 3- NS
6-	Les exploitants forestiers interviennent ils dans votre secteur?	2- Oui, 2- Non, 3- NS
7-	Quelles sont des activités qui sont à destruction de la végétation ici ?	1- Agriculture 2- exploitation forestière non contrôlée 3- élevage

8-	Quelle est la superficie de la végétation détruite actuellement dans votre secteur ?	1- 100%, 2- 75%, 3- 50%, 4- 25%,
9-	Existe-t-il des possibilités de contrôle sur l'accès à la forêt?	
10-	Que faire pour arrêter ce fléau ?	
11-	Savez- vous que l'agriculture contribue à la destruction de la végétation? (11, 12, 13 seulement pour les agents du MAEP)	1- Oui, 2- Non
12-	Pouvez-vous estimé la fréquence de destruction par l'agriculture dans ta zone d'intervention ?	1- 100%, 2- 75%, 3- 50%, 4-25%, 5- (aucun effet)
13-	Quels mécanismes avez- vous mis en place pour la sauvegarde de la végétation ?	
14-	Selon vous, quelle est l'importance de la végétation pour la vie des êtres vivants ?	2- Très important, 2- Important, 3- Moyennement important, 4- Faiblement important, 5- Aucune importance

**Tableau : Répartition des températures de 1978 à 2009 dans le bassin**

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T°C maximale	34.64	36.52	37.01	35.64	33.33	31.19	29.52	28.93	29.81	31.95	34.38	34.43
T°C minimale	17.85	21.78	23.58	23.66	22.73	21.89	21.47	21.24	21.045	21.41	20.71	19.37
T°C moyenne	26.25	29.15	30.30	29.65	28.03	26.54	25.49	25.08	25.42	26.68	27.55	26.9

## Table des matières

Sommaire .....	1
Dédicace.....	3
Remerciements.....	4
Sigles et acronymes.....	5
Résumé.....	6
Abstract .....	6
Introduction.....	7
CHAPITRE I : Cadre théorique et situation géographique de l'étude .....	9
1.1. Cadre théorique .....	9
1.1.1. Revue de littérature.....	9
1.1.2. Clarification des concepts.....	12
1.1.3. Problématique .....	14
1.2. Contexte géographique.....	18
1.2.1. Situation géographique du secteur d'étude.....	18
1.2.2. Caractéristiques physiques .....	19
1.2.3. Données humaines .....	21
CHAPITRE II : Données et méthodes .....	24
2.1. Outils et techniques de collecte des données .....	24
2.2. Outils et techniques de traitement des données.....	25
2.3. Méthodes et modèles d'analyse des résultats .....	34
CHAPITRE III : Caractérisation de la variabilité climatique et de la pression anthropique dans le bassin de l'Ouémé supérieur à N'Dali .....	35
3.1. Variabilité climatique dans le bassin supérieur de l'Ouémé à N'Dali .....	35
3.1.1. Variabilité pluviométrique du bassin supérieur de l'Ouémé à N'Dali .....	35
3.1.2. Variabilité thermométrique du bassin de l'Ouémé à N'Dali de 1971-2015.....	38
3.2. Perceptions de la variabilité climatique et de ses causes .....	44
3.3. Analyse des impacts environnementaux de la variabilité climatique et des activités anthropiques .....	45

CHAPITRE IV : Manifestation de la pression anthropique dans le bassin de l’Ouémé supérieur à N’Dali .....	47
4.1. Dynamique de la population et activités économiques .....	47
4.1.1. Dynamique de la population.....	47
4.1.2. Activités socioéconomiques .....	48
4.2. Pression anthropique et dynamique des états de surface.....	50
4.2.1 Etat des formations végétales entre 1987 et 2015 .....	50
4.2.2 Dynamique des unités d’occupations du sol entre 1987 et 2015.....	53
4.3. Variabilité climatique et dynamique des états de surface .....	56
Discussions .....	60
Conclusion .....	64
Limites de l’étude .....	66
Perspectives pour la thèse .....	66
Bibliographie.....	67
Liste des figures .....	75
Liste des tableaux.....	76
Liste des planches .....	76
Annexes.....	77
Table des matières.....	82