



UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI



FACULTE DES LETTRES, ARTS ET SCIENCES HUMAINES



ECOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE « ESPACES, CULTURES ET DEVELOPPEMENT »



**Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies
(DEA)**



Option: Géographie et Gestion de l'Environnement

Spécialité: Géosciences de l'Environnement et Aménagement du Territoire

**ANALYSE DE LA QUALITE DES SAISONS
AGRICOLES DANS LA COMMUNE DE
KETOU**

Présenté par :

Adéogou Pierre Magloire SALAKO

Sous la direction de :

Prof. Fulgence AFOUDA

Professeur Titulaire des universités de CAMES

Soutenu le..... 2016

Sommaire

Sommaire	2
Dédicace	3
Sigles et acronymes	4
Rémerciements	4
Résumé	6
Abstract	6
Introduction	8
CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE.....	11
1.1. Cadre théorique	11
1.2. Justification du sujet de recherche et son intérêt	16
1.3. Démarche méthodologique.....	19
1.3. Données utilisées.....	20
1.4. Bilans hydriques	29
1.5. Indice <i>I</i> de satisfaction des besoins en eau des cultures	30
CHAPITRE II : FONDEMENTS GEOGRAPHIQUES DES ACTIVITES AGRICOLES DANS LA COMMUNE DE KETOU.....	32
2.1. Facteurs physiques	32
2.2. Facteurs humains.....	41
Conclusion partielle.....	44
CHAPITRE III : EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES SAISONNIERS DANS LA COMMUNE DE KETOU	45
3.1. Variabilité pluviométrique dans la commune de Kétou	45
3.2. Démarrage, fin et durée de la grande et de la petite saisons agricoles dans la commune de Kétou	47
Conclusion partielle.....	66
CHAPITRE IV : INCIDENCES DES PREDICTEURS SAISONNIERS DES PLUIES SUR LA PLUVIOSITE SAISONNIERE	67
4.1. Détermination de l'impact des paramètres clés de la grande saison agricole sur le régime pluviométrique saisonnier	67
4.2. Détermination de l'impact des paramètres clés de la petite saison agricole sur le régime pluviométrique saisonnier	74
CHAPITRE V : IMPACTS DE L'INSTABILITE INTRA-SAISONNIERE DES PLUIES SUR LES BESOINS EN EAU DES PRINCIPALES CULTURES AGRICOLES DANS LA COMMUNE DE KETOU	80
5.1. Bilans hydriques	80
5.2. Besoins en eau des plantes cultivées (maïs, niébé, arachide, tomate)	83
Conclusion partielle.....	88
Conclusion générale	89
Bibliographie	92
Liste des tableaux	106
Liste des figures.....	106
Table des matières	108

Dédicace

A :

🌸 ma très aimée mère, Mathilde OGOU-AYENI, pour m'avoir donné la
vie ;

🌸 mon valeureux et cher père, Blaise SALAKO pour le soutien et les
sacrifices, consentis pour moi.

Sigles et acronymes

ACPN	Analyse en Composantes Principales Normées
ASECNA	Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
CARDER	Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural
CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CENATEL	Centre National de Télédétection et de la surveillance du couvert végétal
CENAP	Centre National Agro-Pédologique
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
DGSP	Début de la Grande Saison Pluvieuse
DPSP	Début de la Petite Saison Pluvieuse
ETP	Evapotranspiration Potentielle
ETR	Evapotranspiration Réelle
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FGSP	Fin de la Grande Saison Pluvieuse
FLASH	Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines
FSA	Faculté des Sciences Agronomiques
FPSP	Fin de la Petite Saison Pluvieuse
GIEC	Groupe Inter-gouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat
IGN	Institut Géographique National
INRAB	Institut National de Recherches Agricoles du Bénin
INSAE	Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
LACEEDE	Laboratoire "Pierre Pagny" Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement
LGSP	Longueur de la Grande Saison Pluvieuse
LPSP	Longueur de la Petite Saison Pluvieuse
LSSEE	Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement
MAEP	Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
MEHU	Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme
MEPN	Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature
OMM	Organisation Mondiale de la Météorologie
ONASA	Office National d'Appui à la Sécurité Alimentaire
PANA	Programme d'Action National d'Adaptation
PNUD	Programme des Nations-Unies pour le Développement
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
RMDH	Rapport Mondial sur le Développement Humain
SONAPRA	Société Nationale pour la Promotion Agricole
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture
ZCIT	Zone de Convergence Inter Tropicale

Remerciements

Nous exprimons ici notre profonde gratitude à tous nos formateurs qui n'ont ménagé aucun effort pour nous encadrer au sein de l'école doctorale pluridisciplinaire de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines de l'Université d'Abomey-Calavi.

Nous remercions très distinctement le Professeur Fulgence AFOUDA, notre Directeur de mémoire pour avoir accepté de diriger ce travail. Nous ne pourrions pas oublier le Docteur Ibouaïma YABI de qui nous n'avons pas manqué de précieux conseils en climatologie, informatique et statistique. Ils nous ont tous offert de meilleures conditions de travail.

Notre témoignage de reconnaissance va aussi à l'endroit des membres du jury qui ont tous volontiers accepté d'évaluer ce travail malgré leurs nombreuses occupations.

Nos vives marques de reconnaissance, vont à nos sœurs, frères et amis qui ont contribué par leurs conseils et leurs soutiens de tout genre à la réalisation de ce mémoire.

Mes pieuses pensées vont à l'endroit de mon feu oncle Docteur David OGOU-AYENI qui n'avait cessé de me soutenir. Que son âme repose en paix.

Résumé

L'Afrique de l'Ouest sub-saharienne est une des régions du monde qui a son agriculture essentiellement pluviale et étroitement liée à l'évolution des caractéristiques de la saison des pluies. Le but de cette recherche est d'analyser l'instabilité intra-saisonnière des pluies et ses effets sur les besoins en eau des principales cultures agricoles dans la commune de Kétou.

A partir des données météorologiques journalières obtenues à la Direction Nationale de la Météorologie (ASECNA-Cotonou), une analyse agroclimatique a été réalisée sur la période 1951-2010. A l'aide du logiciel Instat+v 3.036, la variabilité des précipitations et des paramètres clés des saisons agricoles dont les dates de démarrage, de fin, la longueur de la saison, les occurrences de séquences sèches et la satisfaction des besoins en eau ont été analysés en termes de risques d'apparition dans la commune de Kétou. Le test de Pettitt est appliqué à la variabilité interannuelle des précipitations et aux paramètres clés des saisons agricoles. La connaissance de l'impact des caractéristiques des saisons agricoles sur les régimes pluviométriques saisonniers a été possible grâce à l'analyse en composantes principales normées basées sur quinze (15) variables.

Les résultats des analyses montrent en moyenne, une baisse de la pluviométrie de l'ordre de 162,03 mm durant la période après rupture (1964-2010). Aussi, des ruptures ont été détectées en 1955 et en 1964 respectivement sur les séries de dates de début de la grande et de la petite saison des pluies. Il est noté également, un retard de plus en plus criard du démarrage de la grande saison des pluies allant jusqu'à 2 décades (20 jours) et de 3 décades (30 jours) pour la petite saison agricole, tous deux à la fréquence de 8 années sur 10. De même, il est remarqué une augmentation du nombre des séquences sèches au cœur des saisons agricoles. Il est déterminé qu'à 8 années sur 10, il y a un rétrécissement de la longueur de la grande saison des pluies de 7 pentades (35 jours) et de 2 décades (20 jours) pour la petite saison agricole. L'analyse en composantes principales normées a révélé que la grande saison agricole est fortement liée à la quantité total des pluies de la grande saison agricole, au nombre total de jours de pluie de la grande saison agricole, au nombre de jours sans pluie, à la moyenne journalière des précipitations de la grande saison agricole et la classe définie en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur comprise entre 10 et 30 mm. La pluviométrie de la petite saison agricole, est nettement corrélée au total des pluies de la petite saison agricole, au nombre total de jours de pluie de la petite saison agricole et à la classe définie en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur définies pendant la petite saison agricole (10 à 30 mm). En générale, la pluviométrie saisonnière est perturbée par le raccourcissement de la longueur des saisons et l'apparition des séquences sèches. L'analyse des résultats a montré que la satisfaction des différentes cultures agricoles retenues par rapport à leurs besoins en eau sont confrontées à d'important risque agroclimatique à savoir, les déficits hydriques liés aux séquences sèches qui surviennent au cours des phases de développement des cultures agricoles. Les démarrages tardifs des saisons pluvieuses constitueraient aussi des contraintes agroclimatiques non négligeables pour le maïs, le niébé, l'arachide et la tomate.

Mots clés: Commune de Kétou, Variabilité climatique, Instabilité saisonnière, Bilan hydrique.

Abstract

The Western Sub-Saharan Africa is a region of the world that it's essentially rainfed agriculture and closely related to the changing characteristics of the rainy season. The purpose of this research is to analyze the intra-seasonal rainfall instability and its impact on water requirements of major crops in the district of Kétou.

From daily weather data to the National Directorate of Meteorology (ASECNA-Cotonou), an agro-climatic analysis was conducted over the period 1951-2010. Using the INSTAT + v 3036 software, rainfall variability and key parameters of agricultural seasons whose start dates, end, the length of the season, the occurrence of dry spells and meeting water needs have analyzed in terms of risk of

occurrence in the town of Ketu. Pettitt's test is applied to the interannual variability of rainfall and key parameters of agricultural seasons. Knowledge of the impact of the characteristics of agricultural seasons on seasonal rainfall patterns has been possible thanks to the standardized principal component analysis based on fifteen (15) variables.

The analysis results show on average, a drop in rainfall of about 162.03 mm in the period after fracture (1964-2010). Also, ruptures were detected in 1955 and 1964 respectively on the sets of dates of beginning of the great and the small rainy season. It is also noted, delayed more garish the start of the long rains of up to 2 decades (20 days) and 3 decades (30 days) for the small farming season, both the frequency 8 years out of 10. Similarly, it is noticed an increase of dry spells in the heart of the agricultural seasons. It is determined that eight years out of 10, there is a narrowing of the length of the long rainy season 7 pentads (35 days) and 2 decades (20 days) for the small farming season. The principal component analysis revealed that the standardized large agricultural season is strongly related to the total amount of rainfall in the major agricultural season, the total number of rainy days in the great agricultural season, the number of days without rain, the average rainfall of the great agricultural season and the class defined by the number of days of rain height between 10 and 30 mm. Rainfall in the small farming season is significantly correlated with total rainfall of the small farming season, the total number of rainy days in the small farming season and the class defined by the number of days of high rain set during small agricultural season (10 to 30 mm). In general, the seasonal rainfall is disturbed by shortening the length of the seasons and the appearance of dry spells. Analysis of the results showed that the satisfaction of various agricultural crops selected in relation to their water needs are faced with significant risk agroclimatique namely, water deficits associated with dry spells that occur during the crop development phases farm. The late start of the rainy season also constitutes significant agro-climatic constraints to maize, cowpea, groundnut and tomato.

Keywords: City Kétou, climate variability, seasonal instability, water balance.

Introduction

En Afrique, l'activité agricole occupe près de 80 % de la population qui se retrouve dans les milieux ruraux (GIEC, 2014). L'Afrique de l'Ouest, région la plus pauvre du continent subira surtout d'ici 2080, des pertes agricoles comprises entre 2 et 7 % du PIB, entraînant comme conséquence une baisse du rendement céréalier autour de 5 % ou moins (UNESCO, 2014). En effet, au Bénin les productions agricoles demeurent les principales sources de subsistance des populations, leur limitation conduira à une très forte baisse du revenu des agriculteurs (MEPN/PANA-Bénin, 2008). L'agriculture au Bénin est essentiellement pluviale et le déroulement des activités agricoles suivent la répartition spatio-temporelle des pluies (Boko, 1988; Afouda, 1990; Houndénou, 1999; Ogouwalé, 2006). En Afrique, une décroissance a été observée dans les précipitations annuelles depuis la fin des années 60, avec une diminution de 20 à 40 % entre les périodes 1931-1960 et 1968-1990 (Nicholson *et al.*, 2000). La variabilité des précipitations en Afrique de l'Ouest est très importante puisqu'elle atteint parfois 40-80 % (Sultan, 2011). Les totaux de précipitations annuelles diminuent. Ainsi, l'aridification du climat qui a conduit aux grandes sécheresses des années 1970 et 1980 a été la conséquence de la réduction importante des précipitations, des démarrages tardifs, des fins précoces et du raccourcissement des saisons agricoles au Bénin (Afouda, 1990). En effet, la réduction de l'insécurité alimentaire serait un enjeu majeur pour l'ensemble du continent africain. En dépit d'une hausse de la production alimentaire, le très fort accroissement de la population a contribué à une augmentation rapide du taux de pauvreté et de malnutrition surtout en Afrique (Sultan *et al.*, 2013). Aux contraintes agro-climatiques s'ajoute le contexte socio-économique et politique souvent défavorable qui expliquent pourquoi les productions restent encore faibles (Traoré *et al.*, 2010).

Déjà en République du Bénin, les travaux menés par (Bokonon-Ganta, 1987; Boko, 1988; Afouda, 1990; Houndénou, 1999; Ogouwalé, 2006 ; Yabi *et al.*, 2012

et Afouda *et al.*, 2014) ont montré que les modifications de plus en plus observées dans la répartition spatio-temporelle des pluies bouleversent les systèmes de cultures. De plus, ces auteurs ont mis un accent particulier sur la forte variabilité de la pluviométrie et les différents contrastes saisonniers qui caractérisent le climat et qui influencent du coup l'évolution des productions et des rendements agricoles dans les différentes zones agro-climatiques du Bénin. Même si le Bénin ne connaît pas une crise alimentaire majeure de nos jours, les variabilités pluviométriques ont créé par le passé une situation alimentaire difficile par moment. Plusieurs travaux ont été consacrés à la variabilité pluviométrique et à ses conséquences agricoles mais souvent aux échelles annuelles et saisonnières. Mais, fort est de constater que, les mutations intra-saisonnières et leurs conséquences sont très peu documentées. C'est donc pour palier à de telle insuffisance que cette étude de DEA intitulée « *Analyse de la qualité des saisons agricole dans la commune de Kétou* », est initiée. Ainsi, la préoccupation première est de mieux appréhender les causes des différents mouvements du calendrier des saisons agricoles et leurs influences sur la production agricole dans la commune de Kétou. La plupart des études climatiques antérieurement réalisées se sont limitées à l'analyse des données pluviométriques annuelles ou mensuelles. Ainsi, au cours de cette étude, seront analysés les paramètres afférents aux saisons agricoles telles que les fréquences de jours de pluies, des séquences sèches et les durées des saisons pluvieuses. Aussi, les paramètres clés des saisons agricoles et leurs impacts sur les pluviométries intra-saisonnières dans la commune de Kétou, seront étudiés.

La commune de Kétou appartient à la zone agro-écologique 05 (zone cotonnière du centre). Les traits climatiques généraux de la Zone agro-écologique 05 sont de type Soudano-guinéen à 2 saisons pluvieuses et 2 saisons sèches. La pluviométrie est de 600 à 1400 mm répartie sur 80 à 110 jours. Mais depuis près de 5 décennies ce climat a une tendance vers le type Soudano-sahélien à une seule saison sèche et une saison pluvieuse dans la zone (PNUD, 1997; MAEP,

2000; INSAE, 2003; Zinsou, 2006). Au regard des perturbations climatiques annoncées, il faut s'attendre à ce que les cultures agricoles soient soumises à un nombre croissant d'aléas climatiques qui les affectent et les affaiblissent (Lindner *et al.*, 2008). La question est alors de savoir comment renforcer leur résilience pour qu'ils puissent faire face à ces bouleversements hydriques (Ridremont *et al.*, 2011). L'évaluation du bilan hydrique constitue donc une préoccupation grandissante suite à la prise de conscience de l'impact potentiel des variabilités pluviométriques par rapport aux besoins en eau des cultures agricoles. Dans ce contexte, de nombreuses études se sont focalisées sur l'estimation de la disponibilité en eau pour les végétaux (Legay *et al.*, 2005) et de la complexité de l'évaluation des bilans hydriques dépendant de nombreux paramètres comme le climat, la géomorphologie, le sol et la végétation (Granier *et al.*, 1999). Ainsi, loin de prétendre faire une étude plus large sur les bilans hydriques dans la commune de Kétou, cette recherche se limitera à une étude brève des bilans hydriques et à une évaluation de l'indice de satisfaction hydrique des cultures agricoles prédominantes (maïs, arachide, niébé et tomate) dans la zone d'étude. Le point clé de ce travail se situe autour de l'analyse de l'instabilité intra-saisonnière et de ses influences sur les besoins en eau des principales cultures agricoles dans la commune de Kétou. Pour cela, ce travail est articulé autour de cinq chapitres. Le premier chapitre est consacré à l'état des connaissances, la problématique et la démarche méthodologique. Quant au deuxième chapitre il présente le cadre géographique du secteur d'étude. S'agissant du troisième chapitre, il analyse l'évolution des caractéristiques des régimes pluviométriques saisonniers dans la commune de Kétou. Le quatrième chapitre quant à lui étudie les incidences des prédictors saisonniers des pluies sur la pluviosité saisonnière dans la commune de Kétou. Enfin, le cinquième chapitre évalue les impacts de l'instabilité des régimes pluviométriques saisonniers sur les besoins en eau des principales cultures agricoles dans la commune de Kétou.

CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE

Ce chapitre est essentiellement consacré à l'état des connaissances se rapportant au sujet d'étude, à la problématique qui sous-tend le choix du thème d'étude et à la méthodologie adoptée.

1.1. Cadre théorique

1.1.1. Revue thématique

Loin de se consacrer ici à une étude, même sommaire, des publications des chercheurs climatologues sur les thèmes agro-climatiques, il sera question de faire un bref aperçu sur quelques travaux antérieurs relatifs aux variabilités pluviométriques. Ainsi, le Bénin se place dans un contexte plus global des perturbations pluviométriques qui ont des conséquences sur les activités agricoles. La thématique des dynamiques pluviométriques et leurs impacts sur l'agriculture ont constitué l'objet de plusieurs études antérieures.

Le choix des études et de leurs auteurs s'est basé essentiellement sur les thématiques qu'ils ont abordés et qui se rapprochent considérablement de cette étude ce qui a permis d'aborder le sujet dans ces différents aspects. A cet effet, Boko (1988), après avoir analysé la variabilité des rythmes climatiques et étudié la dynamique des productions agricoles sur l'ensemble du territoire béninois, a remarqué une modification du calendrier et des techniques agricoles ainsi que la baisse de la production et des rendements agricoles. Egalement, il montre que le climat qui évolue est un déterminant de la baisse de la pluviométrie en Afrique de l'ouest et qu'à cela est associé un réchauffement thermique dont les impacts sont négatifs sur la production agricole. Par conséquent, les populations développent des stratégies de reconversion professionnelle.

Dans un contexte de variabilité pluviométrique, Afouda (1990) identifie les impacts de la dynamique des termes de l'évolution du bilan hydrique sur la production agricole dans les différentes régions béninoises. Il montre également que la récession pluviométrique et la modification du calendrier agricole

occasionnent une baisse des rendements agricoles et des changements des techniques culturales. Dans cet même ordre d'idée, Afouda *et al.*,(2014) dans une étude sur la variabilité intra-saisonnière des pluies de la grande saison agricole dans la commune de Kétou au Bénin ont pu déterminer que la grande saison agricole est très incertaine car elle connaît des débuts tardifs et des fins précoces. A cela s'ajoute la survenance des séquences sèches plus fréquentes en début de saison pluvieuse. Face aux difficultés liées à ces épisodes perçus de diverses manières par les producteurs, différentes mesures d'adaptation fondées sur les croyances et savoirs locaux de même que des conseils des agents d'encadrement, sont mis en œuvre pour limiter les dégâts.

Aïfan, (1993) remarque une forte fluctuation des rendements agricoles et la désorganisation des activités agricoles et pour corollaire la modification des techniques agricoles.

A la suite des travaux précédemment cités, dans la région de l'Atakora, Houndénou et Hernandez (1998) ont montré qu'il existe une diminution généralisée du nombre de jours de pluie sur la période 1961 à 1990. Cette diminution débutée entre 1963 et 1964 est devenue persistante après 1968. Pour ces auteurs, la baisse de la pluviométrie après 1970 n'est due en partie qu'à une diminution du nombre d'évènements pluvieux pendant la saison des pluies. Houndénou (1999) aboutit aussi à un résultat de la baisse de la production de maïs, du risque d'insécurité alimentaire et de l'exode rural. Ainsi, les paysans adoptent l'utilisation d'intrants agricoles avec l'insertion des cultures améliorées et l'adoption de nouveaux cultivars.

Ouédraogo (2001) quant à lui, en étudiant l'évolution des séries chronologiques de 33 stations pluviométriques d'Afrique de l'Ouest en zone sahélienne réparties sur le Sénégal, le Mali, le Burkina Faso et le Niger, a mis en évidence d'importantes ruptures situées la plupart du temps entre 1968 et 1969 sur les séries de nombre annuel de jours de pluie.

Yabi, (2002) a identifié une tendance à la baisse de la pluviométrie. Il souligne également que les pluies commencent tard et s'arrêtent tôt. Il constate aussi que l'inflexion du mois d'août se comble progressivement et s'effectue le passage du régime bimodal au régime uni modal entre les 7° et 8° de la latitude Nord du Bénin.

Louvet et Janicot, (2003) ont travaillé sur le prédémarrage et le démarrage de la première saison des pluies guinéennes. Ils ont peu déterminé que le prédémarrage est caractérisé par une oscillation bihebdomadaire sensible dans les précipitations et le vent zonal. Ils montrent aussi qu'une détermination de la date de démarrage de la première saison des pluies guinéennes est possible en utilisant des données de précipitations. Egalement, ils révèlent qu'autour du moment d'occurrence du démarrage, des fluctuations périodiques fortes dans la gamme 25-70 jours ont été mises en évidence. Ils ont de plus montré que le démarrage provient d'une interaction entre le signal saisonnier, relatif au déplacement méridien de la ZCIT, et une impulsion intra-saisonnière représentée par la propagation vers l'Est des ondulations du jet subtropical de l'hémisphère Nord.

Pour Ogouwalé (2006) le nombre de jours pluvieux dans le Bénin méridional et central a connu une régression annuelle de -10 % et un réchauffement de +1°C entre les périodes 1941-1970 et 1971-2000. Dans de telles situations climatiques, les rendements des principales cultures connaîtront des baisses allant de -12 à -20 % dans le scénario SRESB2/HadCM2.

Tidjani *et al.*, (2009) ont mis en évidence au terme de leurs analyses sur les changements climatiques et l'évolution des variables météorologiques au Bénin : cas de la commune de Bohicon, une tendance à la hausse de la température de l'air à Bohicon et que les années prochaines risquent d'être plus chaudes. Par ailleurs, ils ont mis en évidence que la pluviométrie est devenue très volatile. Les pluies sont irrégulières, violentes et parfois rares. Aussi, ont-ils remarqué que les périodes climatiques traditionnelles sont bouleversées au cours de cette

dernière décennie. Les repères saisonniers que les agriculteurs suivaient ne sont plus justes. Les décades de sécheresse sont de plus en plus nombreuses que les décades de pluie. Les cycles de sécheresse sont plus longs. Les changements climatiques ont modifié la donne aussi bien à Bohicon que partout ailleurs. Les périodes climatiques ont glissé et ne s'enchaînent plus comme par le passé. Seuls quelques moments de l'année semblent garder une stabilité dans cette dernière décennie, tels que la période d'harmattan ou encore les mois extrêmement pluvieux de juin et de juillet. Des décades qui autrefois étaient sèches ne le sont plus.

Kouassi *et al.*,(2010) dans une étude sur l'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 ont mis en évidence la variabilité climatique qui se manifeste par une baisse de l'humidité relative et une hausse des températures de l'air, ce qui a pour conséquence une affection du cycle hydrologique en général et la formation de nuages pluviogènes en particulier, d'où la faiblesse des hauteurs pluviométriques annuelles. De même, ils ont constaté une modification sur les cumuls de hauteurs pluviométriques, accompagné d'une modification de la durée des saisons pluvieuses.

Il ressort en général de ces travaux que la dynamique du climat est un des facteurs majeurs du développement agricole. Ainsi donc il est important dans le cadre de la climatologie de s'ouvrir à une réflexion sur les paramètres climatiques qui influencent le bon déroulement des saisons agricoles au Bénin en général et dans la commune de Kétou en particulier.

1.1.2. Définition des concepts

Les définitions sont utilisées ici pour garder le caractère des usages en vigueur et de ne pas s'écarter des règles ou références habituelles et des conventions du vocabulaire employé généralement par le GIEC ou la CCNUCC dans le cadre

des variabilités pluviométriques à des fins de mise en parallèle destinée à déterminer les ressemblances, les dissemblances et des analogies.

La variabilité pluviométrique est un des éléments intégrateurs de la variabilité climatique, l'expression « variabilité pluviométrique » a été définie par plusieurs auteurs dont Boko (1988), cité par Beltrando (1995) et Brou (2005). Elle fait pressentir la mobilité ou la variation du schéma pluviométrique moyen et l'accentuation des valeurs extrêmes à toutes les échelles temporelles et spatiales. Autant que possible, elle est analysée par rapport aux valeurs centrales ou médianes des séries plutôt que par rapport aux valeurs moyennes ou normales, qui sous-entendent l'idée de fixité du climat. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique ou à des variations du forçage externe anthropique. Dans ce travail, il s'agit de caractériser les dynamiques des saisons agricoles dans le secteur d'études.

La variabilité intra-saisonnière des pluies est le caractère changeant des précipitations prévisible mais difficile à évaluer statistiquement qui survient au cours des périodes qui divisent l'année en fonction de certaines constantes du climat. C'est aussi l'écart d'amplitude ou d'intensité des précipitations rapportés à un état de référence que sont les saisons pluviométriques (Pohl, 2007). Elle peut être aussi l'ensemble des variations de l'état moyen décrites par des paramètres statistiques (écarts-types, apparition d'extrêmes, etc) de la précipitation à l'échelle saisonnière et spatiale (GIEC, 2014).

La qualité de la saison agricole se définit comme l'ensemble des conditions qui rendent l'époque de l'année correspondant à la récolte de certains produits ou à des travaux agricoles plus ou moins bon ou agréable. C'est également toutes les conditions climatiques qui contribuent à créer des dispositions climatiques plus harmonieuses ou à peu près constantes durant les différentes saisons agricoles (la grande ou la petite saison des pluies).

Le bilan hydrique se définit comme un outil précieux qui permet de suivre la sécheresse et à prévoir les risques associés, mais également il constitue une aide

à la décision, en particulier pour la définition d'une stratégie d'irrigation en agrométéorologie. L'examen des différents éléments du calcul du bilan hydrique montre que deux fonctions différentes doivent être distinguées dans toute modélisation : d'une part la gestion du réservoir d'eau, d'autre part la régulation de l'évapotranspiration réelle (Choisnel, 1992). C'est dans cette seconde fonction qu'apparaît le couplage entre bilan hydrique du sol et bilan d'énergie de surface. A priori, une modélisation détaillée des flux énergétiques imposerait, pour la partie «bilan d'énergie», un pas de temps horaire. Une telle modélisation permet de calculer des variables intervenant dans ces deux bilans couplés, en particulier les quatre flux du bilan d'énergie et la température de surface de la végétation (Jacquart et Choisnel, 1995).

1.2. Justification du sujet de recherche et son intérêt

La variabilité du climat et les phénomènes climatiques extrêmes jouent depuis longtemps un rôle important dans de nombreux contextes de prise de décisions. Les risques liés aux changements climatiques évoluent désormais dans le temps sous l'effet du changement climatique et du développement (GIEC, 2014). Le rapport mondial du PNUD sur le Développement Humain (RMDH, 2007/2008) dont le thème est « *lutte contre le changement climatique: un impératif de solidarité humaine dans un monde divisé* », met en exergue les nombreuses perturbations liées aux changements climatiques. A cause de pluies irrégulières, de l'épuisement des sols et de plusieurs décennies de sous-investissements et de désintérêt de la part des gouvernements et donateurs internationaux, la pauvreté des cultivateurs s'est souvent aggravée au fur et à mesure que l'agriculture africaine, principal pilier économique de la région, passait à l'arrière-plan (Fleshman, 2006). Ainsi, plusieurs recherches scientifiques ont été réalisées sur l'évolution des climats, leurs corrélations avec la variabilité pluviométrique et la production agricole du Bénin. En effet, au Bénin les potentialités naturelles ajoutées à la forte proportion de la population active font de l'agriculture la base

du développement économique (Houndénou, 1999). Cela a amené l'administration coloniale à décréter que le Dahomey (actuel Bénin) est un pays essentiellement agricole (Boko, 1988). Malheureusement, cette agriculture subit le contre coup de la variabilité pluviométrique ce qui est préjudiciable aux activités rurales en général et à la production agricole en particulier (Vissoh *et al.*, 2012 et Yabi *et al.*, 2013).

L'agriculture béninoise est pluviale (les calendriers agricoles sont collés sur les rythmes des événements pluvieux) donc tributaire des incertitudes climatiques (Afouda, 1990). Les dernières décennies (1970 ; 1980 ; 1990) ont été marquées par la dégradation de la production vivrière dans de nombreuses régions des pays en voie de développement (FAO, 1995; PNUD, 2000). La gamme de variabilité climatique, allant de l'échelle intra-saisonnière (supérieure à 10 jours) aux échelles décennale et pluri-décennale, impacte les écosystèmes et les activités humaines, particulièrement sur le continent africain où la dépendance des sociétés aux aléas naturels, en premier lieu pluviométriques, est la plus forte (Fontaine *et al.*, 2012). Dans les régions à deux saisons de culture, la seconde saison devient de plus en plus incertaine du fait de l'arrêt précoce des pluies ou des forts abat pluviométriques engendrent des inondations dévastatrices des cultures (Zakari *et al.*, 2012 ; Yabi *et al.*, 2014). Dans ce même ordre, les années 1970 à la faveur des sécheresses qui ont marqué la sous-région, la saison pluvieuse présente une variabilité accentuée qui compromet la mise en œuvre des activités agricoles dont les calendriers sont calqués sur les conditions pluviométriques moyennes (Diop, 1996 ; Sané *et al.*, 2008 ; Sarr *et al.*, 2011 ; Mahaman, 2013).

A l'instar de l'Afrique de l'Ouest, le Bénin sur son ensemble subit une augmentation générale de la probabilité d'occurrence de deux décades sèches consécutives entre 1951-1970 et 1971-1990 (Agbossou *et al.*, 2012). Par ailleurs, selon Sultant *et al.*, (2008), les impacts du climat sur l'agriculture varient d'une région du globe à une autre avec des conséquences socioéconomiques

particulièrement importantes dans les pays en développement des latitudes tropicales. De même, Sultant et Janicot (2004) ont montré que l'agriculture en Afrique de l'Ouest, vitale pour la population locale, est extrêmement dépendante de la saison des pluies estivales et nécessite une bonne compréhension du cycle saisonnier de la pluviométrie. La variabilité se caractérise par de phases successives ou alternatives d'excédents et de déficits hydriques. Ses conséquences peuvent être durables sur le cycle hydrologique surtout lorsqu'elle se traduit par de longues périodes de sécheresse ou d'excès d'eau (Afouda *et al.*, 2001). En dépit d'expériences d'adaptation aux aléas naturels (Agossou *et al.*, 2012 ; Tambo et Abdoulaye, 2012 ; Ouédraogo *et al.*, 2010 ; Mertz *et al.*, 2009 ; Tschakert, 2007), la vulnérabilité des pays d'Afrique subsaharienne et de leurs populations à la variabilité et aux changements climatiques demeure une grande préoccupation et a suscité un intérêt scientifique considérable au cours des dernières décennies, avec des appels à une augmentation du financement pour l'adaptation (Patt *et al.*, 2010). Ces différentes situations des rythmes des événements pluvieux qui influencent les calendriers agricoles occasionnent une baisse des rendements et productions agricoles au Bénin en général et dans la commune de Kétou en particulier. En générale, la situation alimentaire est satisfaisante au niveau national, mais il est constaté de fortes disparités selon les départements, les communes et aussi selon les périodes de l'année (ONASA, 2004). Face à cela, il est important d'étudier les influences de la variabilité climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers et ses effets sur les besoins hydriques des principales cultures agricoles dans la commune de Kétou. Ainsi, un certain nombre de questions sous-tendent le choix de ce sujet de recherche à savoir :

quelles sont les perturbations pluviométriques qui affectent les saisons agricoles dans la commune de Kétou ?

quelles sont les prédicteurs saisonniers de pluies qui influencent la pluviosité saisonnière dans la commune de Kétou ?

quels sont les impacts de l'instabilité intra-saisonnière des pluies sur les besoins hydriques des principales cultures agricoles dans la commune de Kétou ?

Pour répondre à ces interrogations les hypothèses suivantes ont été formulées.

1.2.2. Hypothèses de travail

Les hypothèses formulées se présentent comme suit :

les saisons agricoles sont dynamiques dans la commune de Kétou ;

les prédicteurs saisonniers de pluies influencent différemment la pluviosité saisonnière dans la commune de Kétou ;

l'instabilité intra-saisonnière des pluies affecte négativement les besoins en eau des principales cultures agricoles dans la commune de Kétou.

Les objectifs qui sous-tendent cette recherche sont les suivants :

1.2.2.1. Objectifs de recherche

Objectif général

Cette recherche vise de façon générale à étudier l'instabilité intra-saisonnière des pluies et ses effets sur les besoins en eau des principales cultures agricoles dans la commune de Kétou.

Objectifs spécifiques

Ce travail vise à :

analyser l'évolution des caractéristiques intra-saisonnières des pluies dans la commune de Kétou ;

détecter les prédicteurs saisonniers les plus déterminants de la pluviosité saisonnière dans la commune de Kétou ;

évaluer les impacts de l'instabilité intra-saisonnière des pluies sur les besoins en eau des principales cultures agricoles dans la commune de Kétou.

1.3. Démarche méthodologique

Cette partie expose la démarche méthodologique utilisée pour obtenir les résultats escomptés et pour bâtir l'ossature de ce travail. Les données utilisées

ont été fixées autour du thème choisi ce qui a permis de concevoir un plan harmonieux d'étude.

1.3. Données utilisées

Les données agroclimatiques utilisées dans cette étude sont la pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle. Ces données basiques en agroclimatologie ont été recueillies auprès de l'ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar) de Cotonou. L'obtention des données a été aussi facilitée par la recherche documentaire.

1.3.1. Données climatologiques

➤ Précipitation

La pluie désigne généralement une précipitation d'eau à l'état liquide tombant des nuages vers le sol. Il s'agit d'un hydrométéore météorologique qui fait partie du cycle de l'eau. La pluie se forme à partir de la condensation de la vapeur d'eau qui a été évaporée par le soleil, s'est condensée dans le nuage par le refroidissement dû au mouvement ascendant de l'air (Tidjani *et al.*, 2009). Au Bénin, ces données pluviométriques sont recueillies quotidiennement par les stations synoptiques et pluviométriques de l'ASECNA. Les données pluviométriques utilisées ici, concernent les pluies journalières de la station de relevés pluviométriques de Kétou courant la période 1951-2010. Ces données sont assez homogènes, de bonne qualité et représentative de la zone d'étude (Kouassi *et al.*, 2008). Pour l'analyse des données pluviométriques, les pas de temps décennaux et journaliers ont principalement été utilisés.

1.3.2. Recherche documentaire

Elle est la première phase de la collecte des données ainsi que les recherches effectuées sur internet qui ont permis de recenser les travaux similaires et de repérer quelques méthodes de recherches adaptées au cadre de la présente étude. Dans les centres de documentation consignés dans le tableau 1 plusieurs natures de documents ont été consultées à savoir les ouvrages, les mémoires, les thèses,

les rapports et les monographies traitant du thème au moyen d'une grille de lecture. Les types d'informations recueillies sont d'ordre général, spécifique, méthodologique.

Tableau I: Synthèse de la recherche documentaire

Centre de documentation	Nature des documents	Types d'informations à recueillir
Bibliothèque de l'UAC	Ouvrages traitant du thème	Informations d'ordre général
Centre de documentation de la FLASH, FSA	Mémoires et thèses	Informations d'ordre général, spécifique et méthodologique
IGN	Cartes	Données planimétriques
Mairie de Kétou	Rapport de synthèse des travaux d'ateliers et de communication	Informations d'ordre général et spécifique
MAEP, CARDER Kétou et Ouémé-Plateau	Livres, rapports annuels d'activités	Rapports des travaux antérieurs
INSAE, LACEEDE, ASECNA,	Monographies, Cahier de village (Ouémé-Plateau), Répertoires	Données climatologique, Statistiques démographiques
INRAB, CNAP	Rapport d'évaluation agricole	Résultats des recherches agricoles et pédologiques

Source : Enquête de terrain, janvier 2015-2016

Les données recueillies ont subi des traitements de plusieurs ordres.

1.3.3. Traitement des données : méthodes, tests statistiques et logiciels utilisés

1.3.3.1. Données pluviométriques

- **Analyse de la typologie des précipitations**

La typologie des précipitations journalières qui est proposée est liée aux normes internationales au seuil définie dans le guide des pratiques climatologiques par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, 1990). Les différentes classes seront définies en fonction du nombre de jours de hauteur de pluie pour la grande et la petite saison pluvieuse ainsi :

PP1 ou GP1= somme des précipitations journalières de la grande saison des pluies (GP1) comprise entre 0,1 et 10 mm; et la somme des précipitations journalières de la petite saison des pluies (PP1) comprise entre 0,1 et 10 mm;

PP2 ou GP2= somme des précipitations journalières de la grande saison des pluies (GP2) comprise entre 10,1 et 30 mm; et somme des précipitations journalières de la petite saison des pluies (PP2) comprise entre 10,1 et 30 mm;
PP3 ou GP3= somme des précipitations journalières de la grande saison des pluies (GP3) comprise entre 30,1 et 50 mm; et somme des précipitations journalières de la petite saison des pluies (PP3) comprise entre 30,1 et 50 mm;
PP4 ou GP4= somme des précipitations journalières de la grande saison des pluies (GP4) supérieures à > 50 mm ; et somme des précipitations journalières de la petite saison des pluies (PP4) supérieures à > 50 mm.

- **Analyse de la typologie des séquences sèches**

La typologie des séquences sèches sera inspirée des travaux de (Sané *et al.*, 2008). Ici l'état journalier sera considéré comme sec si la quantité d'eau tombée est inférieure à 0,1 mm. Les séquences sèches seront classées selon leur durée pour la grande et la petite saison pluvieuse en quatre classes comme suit :

S1 ou S1'= classe des séquences sèches de durée comprise entre 1 et 3 jours ;

S2 ou S2'= classe des séquences sèches de durée comprise entre 4 et 7 jours ;

S3 ou S3' = classe des séquences sèches de durée comprise entre 8 et 14 jours ;

S4 ou S4'= classe des séquences sèches de durée supérieure à 14 jours.

- **Analyse fréquentielle des dates de débuts et de fins des saisons agricoles**

Les dates de début et de fin de la grande et petite saison agricole sont déterminées automatiquement par le logiciel Instat+ v3.36. La détermination de ces dates prend en compte la hauteur de pluie, la valeur de l'évaporation potentielle (*ETP*) et la réserve utile du sol. De ces deux (2) dates se déduit la longueur des saisons agricoles (*LSA*).

- **Analyse fréquentielle des dates de débuts et de fins des saisons agricoles**

Les analyses fréquentielles des débuts tardifs et fins précoces des saisons sont

déterminées de la manière suivante : Pour les données pluviométriques de la grande saison de Kétou, il est disposé de 60 valeurs de dates de début et de fin de la grande saison des pluies. Pour chaque jour x de mi-mars à mi-juillet de la grande saison des pluies, il sera compté le nombre de fois que le début, ou la fin de la grande saison des pluies aura précédé ces différentes dates. En divisant par 60, il sera obtenu les fréquences cumulées qui permettront d'estimer les probabilités $F(x)$ que la date de début ou de la fin de la grande saison des pluies soit antérieure à x seront obtenues. Les trois valeurs de x (dates) pour la grande saison de pluies correspondant à $F(x) = 80\%$ (8 années sur 10), 50% (5 années sur 10), 20% (2 années sur 10). Les valeurs (affectées d'un rang i) seront rangées par ordre croissant pour le début de la grande saison des pluies et exprimeront les dates observées au plus tôt. En revanche, elles seront rangées par ordre décroissant pour leurs fins, et exprimeront les dates observées au plus tard (Zakari *et al.*, 2012). Le même procédé utilisé pour les analyses fréquentielles des débuts et fins précoces de la grande saison pluvieuse de 1951 à 2010 sera utilisé pour la petite saison pluvieuse. Les jours x sont fixés du 1^{er} septembre à mi-octobre.

C'est ainsi que la fréquence au dépassement (non-dépassement) sera obtenue pour le début et la fin en appliquant la formule suivante :

$$f(x) = \frac{i - 0.5}{N}$$

avec i = rang de l'observation et N = nombre d'observations.

1.3.3.2. Tests statistiques

- **Analyse interannuelle des précipitations à partir de l'indice pluviométrique**

Pour apprécier l'évolution de la pluviométrie au cours des différentes années, la méthode de l'indice pluviométrique a été appliquée. Cette méthode a l'avantage de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires. Ainsi, pour analyser la pluviométrie dans la commune de Kétou, un indice de la pluie

interannuelle a été déterminé. Il se définit comme une variable centrée réduite (Servat *et al.*, 1998) :

$$I.A = X_i - \bar{X} / \sigma(x)$$

I.A est l'indice pluviométrique;

$\sigma(x)$ est l'écart type du paramètre pluviométrique annuel.

L'analyse est faite sur les cumuls pluviométriques annuels (1951-2010) par rapport à la moyenne de la série choisie.

Pour calculer l'indice pluviométrique il faut :

- la moyenne (\bar{X}) : $\bar{X} = \sum X_i / n$ avec X_i la valeur du paramètre pluviométrique d'une année donnée et n allant de 1 à n (la série 1951-2010).

\sum = Somme ; n = nombre d'années ;

- l'écart type : $\sigma = \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 / n}$ est la racine carrée de la variance. Elle permet de décrire la dispersion autour de la moyenne.

La méthode du simple cumul (totaux) a été utilisé pour étudier la quantité de pluie et son rythme : $n_1 + n_2 + \dots + n_{12}$ avec n_i = valeurs mensuelles

1.3.3.3. Méthode d'analyse des ruptures de stationnarité et de comparaison des moyennes à partir du test de Pettitt

Le test de détection de rupture de Pettitt (1979) (Snijders, 1983 ; Demarée, 1990 ; Vanitsem et Démarée, 1991 ; Coops, 1992) dont l'hypothèse nulle consiste en l'instabilité dans l'égalité des moyennes de deux sous séries issues de la série initiale (Lawson-Body, 2002) cité par Issaou (2014), permet d'indiquer les grandes périodes d'évolution de la pluviométrie. La rupture peut se définir comme le point à partir duquel un changement brusque ou saut intervient dans une série chronologique (Pettitt, 1979). Le principe du test de Pettitt est le suivant :

$X_t, t=1,2,\dots,n$ un élément de la série d'effectif n . Pour la présente étude $n=60$ pour la pluviométrie ; R_t étant le rang que l'élément X_t occupe dans la série rangée par ordre croissant ;

$W_t = \sum R_t$ ($t=1,2,\dots,n$) avec W_t la somme cumulée des valeurs consécutives de R_t ;

$U_t = 2W_t - t(n+1)$ avec U_t la formule réduite pour la détermination de rupture et la plus petite valeur de U_t correspond à l'année de rupture de la série chronologique considérée.

Le test paramétrique t est utilisé pour comparer deux moyennes \bar{X}_1 et \bar{X}_2 des deux sous séries d'effectifs respectifs n_1 et n_2 obtenues de part et d'autre du point de rupture. C'est un test paramétrique de Student qui permet d'évaluer la significativité du coefficient de régression. Cette méthode permet de déterminer la hausse ou la baisse en pourcentage des précipitations. La statistique utilisée dans ce test est :

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\left(S^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right)}}$$

avec \bar{X}_1 = Moyenne avant l'année de rupture ;

\bar{X}_2 = Moyenne après la rupture ;

n_1 = Nombre d'éléments de la première série ;

n_2 = Nombre d'éléments de la deuxième série.

S^2 désigne la variance pondérée du groupe entier des deux échantillons soit :

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (X_{1.i} - \bar{X}_1)^2 + \sum_{i=1}^{n_2} (X_{2.i} - \bar{X}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Pour cerner l'évolution interannuelle actuelle de la pluviométrie, des variations intra-saisonnières des pluies, des fortes pluies par rapport à la moyenne de la période considérée, la méthode de détection de rupture de la stationnarité des séries chronologiques a été utilisée dans cette étude : le test de Pettitt. Il consiste à découper la série principale de N éléments en deux sous séries. A chaque instant, t est compris entre 1 et $N-1$. La série principale présente une rupture à l'instant t si et seulement si les deux sous séries ont des distributions différentes.

Le test de Pettitt a été choisi pour son utilisation dans de nombreuses études de détection de changement de la stationnarité en Afrique de l'Ouest (Hubert *et al.*, 1987 ; Vissin, 2007 ; Kouassi *et al.*, 2013 ; Kouamé *et al.*, 2014), pour sa puissance surtout en ce qui concerne le test de rupture (Lubès-Niel *et al.*, 1998), et pour sa robustesse (Lubès-Niel *et al.*, 1994 ; Sultan, 2011). Il est alors appliqué aux données climatiques afférentes à la commune de Kétou.

Le « t » calculé est comparé à une valeur lue sur la table de Student, pour un nombre de degrés de liberté ν , tel que : $\nu = n_1 + n_2 - k$ soit $k = 2$

1.3.3.4. Analyse en composantes principales normées

L'impact de quelques caractéristiques de la grande et petite saisons des pluies sur les régimes pluviométriques saisonniers a aussi été analysé à partir d'une analyse multidimensionnelle en particulier l'analyse en composantes principales normées (ACPN) (Laberge *et al.*, 1994 ; Descroix *et al.*, 2001 ; Richard *et al.*, 2002 ; Assani et Tardif, 2005 ; Touaïbia *et al.*, 2006 ; Kouassi *et al.*, 2010). Cette méthodologie poursuit comme objectif la détermination des caractéristiques de la grande et petite saison des pluies qui influencent les régimes pluviométriques saisonniers dans la commune de Kétou. La méthode d'ACPN utilisée pour cette étude est basée sur l'interprétation de la matrice de corrélation de même que les différents facteurs obtenus à la suite du traitement des données. Le choix des axes principaux tient compte de la réduction du nombre de facteurs. Ce nombre est tel que la somme cumulée des contributions est importante (75 % qui représente les trois quarts de l'inertie totale). En effet, deux variables sont corrélées lorsque leur coefficient de corrélation est supérieur ou égal à 0,7. De plus au niveau des plans factoriels, des variables ne sont représentatives que lorsqu'elles sont proches de l'extrémité de ces facteurs. Lorsque deux variables sont corrélées, la variation de l'une entraîne celle de l'autre. L'analyse factorielle des correspondances a permis une description des relations entre les caractéristiques de la grande et de la petite saison des pluies et les régimes

pluviométriques saisonniers. Les analyses de variances ont permis de juger de la signification des relations mises en évidence par l'analyse factorielle.

L'analyse multivariée a été réalisée au niveau de la station pluviométrique de Kétou sur la période de 1951 à 2010. Les différentes variables utilisées peuvent être regroupées en deux classes. Primo, il y a les variables relatives aux précipitations. Il s'agit du total des pluies de la grande saison agricole (TPG), de la moyenne journalière des précipitations de la grande saison agricole (MJPG), du nombre total de jours de pluie de la grande saison agricole (NJPTG), et les différentes classes définies en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur définies, P1 (1 à 10 mm), P2 (10 à 30 mm), P3 (30 à 50 mm) et P4(>50 mm). Secundo, il y a les variables qui caractérisent le comportement des saisons de pluies. Il s'agit des classes des séquences sèches définies en fonction du nombre de jours consécutifs sans pluie (S1) c'est-à-dire la classe des séquences sèches de durée comprise entre 1 et 3 jours, (S2) classe des séquences sèches de durée comprise entre 4 et 7 jours, (S3) classe des séquences sèches de durée comprise entre 8 et 14 jours, (S4) classe des séquences sèches de durée supérieure à 14 jours, des dates de début de la grande et de la petite saison agricole (Dd), le nombre de jours sans pluie de la grande et de la petite saison agricole (NJSP), des dates de fin de la grande et de la petite saison agricole (Df) et les longueurs de la grande et de la petite saison agricole (Lg,Lp). Les différents traitements ont été réalisés pour la grande et la petite saison agricole, à partir du logiciel IBM SPSS Statistics 19.

Les statistiques descriptives (moyennes, écart-types, coefficient de variation) des variables utilisées dans l'ACPN pour la grande saison des pluies sont représentées dans le tableau 2 et pour la petite saison des pluies sont au niveau du tableau 3. Les différents coefficients de variation restent en général inférieurs à 45 % et sont près de 74 % pour le compte de la grande saison des pluies ce qui signifie que les séries constituées sont généralement homogènes dans l'ensemble. Les séries non homogènes concernent P3, P4, S3 et S4 (tableau 2).

Tableau II : Statistiques descriptives des variables de la grande saison des pluies retenues à la station pluviométrique de Kétou

Variabes	Moyennes	Ecart-types	Coefficients de variation (%)
TPG	609,6450	237,88325	39
MJPG	16,5331	3,19383	19
NJPTG	36,7167	11,44344	31
P1	85,6967	35,79923	42
P2	251,8317	103,77273	41
P3	153,7550	90,74034	59
P4	118,3617	106,42114	90
S1	18,3833	6,56930	36
S2	5,8833	2,26313	38
S3	2,1833	1,34658	62
S4	,2167	,41545	192
NJSP	26,6667	7,21972	27
Dd	91,7333	13,99015	15
Df	213,8833	24,75856	12
LG	122,1500	29,92693	25

Source des données: ASECNA (1951-2010)

En ce qui concerne la petite saison agricole, la majorité des différents coefficients de variation restent supérieurs à 45 % et sont près de 73 % (tableau 3).

Tableau III : Statistiques descriptives des variables de la petite saison des pluies retenues à la station pluviométrique de Kétou

Variabes	Moyennes	Ecart-types	Coefficients de variation (%)
TPP	262,0683	122,56112	47
MJPP	18,7064	12,26819	66
NJPTP	13,8333	6,89919	50
P1	35,6567	19,56654	55
P2	115,9133	61,69308	53
P3	58,3100	44,53354	76
P4	52,1883	63,15915	121
S1	7,3167	3,92511	54
S2	2,4667	1,33362	54
S3	,5000	,59660	119
S4	,0500	,21978	440
NJSP	10,3333	4,10732	40
Dd	254,3000	9,37234	4
Df	299,7667	9,86410	3
LP	45,4667	12,57852	28

Source des données: ASECNA (1951-2010)

Alors, les séries constituées ont une faible homogénéité dans la majorité des cas. Ceux qui sont homogènes, sont relatifs aux Df, Dj, Lg et NJSP (tableau 3).

1.4. Bilans hydriques

En vue d'évaluer les impacts de l'instabilité des régimes pluviométriques saisonniers sur les besoins en eau des principales cultures agricoles dans la commune de Kétou, une étude sur les bilans hydriques a été menée sur la période de 1965 à 2010. Dans le cadre de cette étude trois cultures agricoles sont retenues. Il s'agit du maïs, de l'arachide, du niébé et de la tomate. Les données qui sont utilisées ici sont afférentes à l'évapotranspiration potentielle (*ETP en mm*), la hauteur des précipitations pendant la période considérée (*P en mm*). L'évapotranspiration réelle (*ETR en mm*) et l'indice *I* de satisfaction des besoins en eau du maïs, du niébé, de l'arachide et de la tomate ont été déterminés. Le pas de temps choisit dans le cadre de cette étude sur le bilan hydrique est la décade. La présence de la station synoptique de Bohicon dans la région a permis de disposer des données en séries complètes et de longue durée.

L'évapotranspiration potentielle au couvert végétal dépend à la fois des données physiques (*ETP*), et des données physiologiques (coefficient cultural). Elle peut être estimée de différentes façons : par des bilans énergétiques (calcul du flux de chaleur latente et de l'évaporation de surface), estimation de la demande climatique, ou mesure directe par un évapotranspiromètre pesable ou lysimètre mais le plus souvent, elle est directement récupérable sur les sites de Météorologie (Peigne, 2014). Les données relatives aux valeurs moyennes décadaires de l'évapotranspiration potentielle (*ETP*) Penman, ici sont récupérées à la station synoptique de Bohicon.

L'*ETR* correspond à la quantité d'eau (en mm) qu'évapore le sol et transpire la plante par jour en conditions culturelles normales. Il est difficile de calculer cette valeur car elle dépend du stock d'eau à un instant *t*. Elle s'évalue selon un pas de temps décadaire et est l'action qui a lieu dans les conditions naturelles, tenant compte de ce que la plante peut subir en certaines périodes d'approvisionnement en eau optimal (Afouda, 1990 ; Doorenbos *et al.*, 1978 cité par Mankessi, 2013). Ainsi, on utilise l'évapotranspiration réelle (*ETR*) qui se calcule donc en fonction

d'une évaporation dite potentielle (ETP) et d'un coefficient cultural (Kc) qui ramène le 'potentiel' aux conditions réelles. Le coefficient cultural (Kc) permet de corriger l' ETP suivant une culture donnée et son stade de développement. Ainsi, plus la culture est développée d'un point de vue végétatif, plus le Kc approche de 1. Pour évaluer l' ETR il a été adopté les hypothèses utilisées par Thornthwait, (1957) ; Simon, (1998) et Vissin, (2007) qui stipulent que :

Si $P_i > ETP_i$ alors $Kc = 1$

Si $P_i < ETP_i$ alors $Kc = \frac{P_i}{ETP_i}$

En effet, $ETR_i = Kc \cdot ETP_i$; P_i (pluie) et ETP_i (évapotranspiration potentielle) ont été considérées aux pas de temps décadaire. Cette méthode donne des résultats insuffisants lorsqu'elle s'applique à l'échelle mensuelle. Elle ne s'applique vraiment que pour les mois extrêmes très pluvieux ou secs. Toutefois, à l'échelle annuelle, une compensation s'opère entre les erreurs de début et de fin de saisons de pluie, erreurs résultant respectivement d'une surestimation (car il faut reconstituer les réserves en eau du sol et régénérer la végétation) ou d'une sous-estimation (à cause des réserves d'eau dans le sol) de l' ETR (Vissin, 2007).

1.5. Indice I de satisfaction des besoins en eau des cultures

L'indice I de satisfaction des besoins en eau est une méthode mise au point par Frère et Popov (1987) pour le compte de la FAO. Cette méthode d'estimation de l'indice I de satisfaction des besoins en eau des cultures a été mise en place pour les pays où l'eau constitue un facteur limitant de l'agriculture pluviale. L'indice exprime le degré auquel ont été satisfaits les besoins en eau cumulés de la plante à un moment donné ou pour la totalité du cycle végétatif. Il permet également de suivre les déficits hydriques tout au long de la période de croissance, en tenant compte des stades phénologiques et des périodes dans lesquelles la disponibilité d'eau est la plus critique pour le développement de la culture. Le bilan hydrique est basé sur un principe relativement simple. Au début de la saison des pluies, on attribue la valeur 100 à I tout en présumant qu'au

moment du semis, la réserve d'eau dans le sol est supérieure aux besoins en eau des plantes. Les valeurs de I diminuent dès que survient un stress hydrique. En cas de déficit (Di), l'indice est réduit du pourcentage de ce déficit par rapport aux besoins totaux en eau de la culture pour la saison (ETR).

Si $(Ei/Di) < 0$ alors $Ii = I_{i-1} - (Ei/Di * 100) / ETR$, sinon $Ii = I_{i-1}$.

$$ETR = \sum_{i=1}^n Kci \times ETPi$$

$Di = ETP - ETR$ est le déficit hydrique. C'est la quantité d'eau qu'il faut apporter pour arroser la plante.

Kci : coefficient cultural de la plante à un stade phénologique et une décade i donnés (Dancette, 1983) ; $ETPi$: évapotranspiration potentielle de la décade i ;

Ei : excédent d'eau dans le sol.

En cas de surplus d'eau dans le sol supérieur à 100 mm, considéré comme excédent d'eau nuisible à la plante, l'indice sera réduit de 3 unités.

Si $(Ei / Di) > 100$, $Ii = I_{i-1} - 3$.

A maturité de la plante, l'indice I de satisfaction des besoins en eau reflétera l'ensemble cumulé des déficits d'eau subis décade après décade, par la plante durant le cycle. Une valeur élevée de I (99 à 100) traduit des conditions d'alimentation hydrique bonnes à très bonnes et des valeurs faibles à ceux-ci, montrent des conditions médiocres voire mauvaises de la culture (Sarr *et al.*, 2011). Les valeurs décadales saisonnières de l'indice de satisfaction des besoins en eau des cultures (maïs, niébé, arachide et tomate) ont été calculées. Les causes de variations de l'indice I sont à savoir : le déficit et l'excès d'eau.

CHAPITRE II : FONDEMENTS GEOGRAPHIQUES DES ACTIVITES AGRICOLES DANS LA COMMUNE DE KETOU

La production agricole est liée aux facteurs physiques et humains dans le secteur d'étude. Quelques caractéristiques essentielles de ces facteurs sont analysées dans ce chapitre.

2.1. Facteurs physiques

Quelques facteurs physiques de la commune de Kétou sont présentés ici par :

2.1.1. Situation géographique

La commune de Kétou (figure1) est située à l'extrémité Nord du département du Plateau entre $7^{\circ}10'$ et $7^{\circ}41'17''$ de latitude Nord d'une part et $2^{\circ}24'24''$ et $2^{\circ}47'40''$ de longitude Est d'autre part (IGN, 1963 et CENATEL). Elle couvre une superficie de 1.775 Km², soit 1,55 % du territoire national et 54,38 % du département du Plateau (RGPH, 2002). Elle est limitée au Nord par la commune de Savè, au Sud par la commune de Pobè, à l'Ouest par les communes de Ouinhi et de Zangnanado et à l'Est par la République fédérale du Nigéria. Ce positionnement de la commune fait d'elle une zone stratégique qui constitue une potentialité pour les échanges commerciaux des produits agricoles avec les communes limitrophes et le Nigéria en l'occurrence. Dans la commune de Kétou le secteur agricole bénéficie d'atouts physiques importants.

2.1.2. Facteurs géomorphologiques

Le relief de la commune de Kétou est constitué de plateaux de faible altitude (entre 100 et 200 m) caractérisé à certains endroits par des dépressions plus ou moins prononcées. Ce plateau correspond à la partie septentrionale du bassin sédimentaire côtier béninois (continental terminal) qui entre en contact avec le socle cristallin (surtout migmatite) par un front de côte de 250 m d'altitude. Ce plateau est encadré par des séries de hauteurs au nord (le front sur-cité), au Nord-Est les collines d'Illikimou et d'Okéakambi (200 m) et au Sud-Ouest l'escarpement de faille de direction sud-ouest et nord-est et les sommets d'Adakplamè (286 m). Ce plateau relativement peu élevé est incliné vers le sud passant de 100 m à Kétou à 60 m à Odomèta (Enonzan, 2010).

2.1.3. Composantes pédologiques

La commune de Kétou est constituée de sols ferralitiques faiblement dénaturés et de sols ferrugineux tropicaux. De façon plus détaillée les composantes pédologiques de la commune de Kétou sont illustrées par la figure 2.

- **Les sols ferralitiques faiblement dénaturés** : ils se sont formés sur les sédiments meubles argilo-sableux du Continental Terminal ("terres de barre") de la commune de Kétou. Ils sont assez sableux en surface avec 5 à 15 % d'argile. Ce taux passe rapidement à 35 % entre 30 et 60 cm de profondeur puis à 45 et même 50 % au-delà de cette profondeur. Ils présentent une structure particulière à grumeleuse en surface, une structure polyédrique moyenne peu apparente dans l'horizon d'accumulation. L'indice d'érodibilité (K) de l'équation de prévision de l'érosion déterminé avec le nomographe de Wischmeier (1962) citer par (Azontonde *et al.*, 1989) est assez bon (0.05) en surface, moyen (0.1) en profondeur. Le drainage interne est toujours parfaitement assuré. La perméabilité (K') (conductivité hydraulique) est bonne et varie entre 5-8 cm h⁻¹ en surface et devient moyenne (3-6 cm h⁻¹ en profondeur).

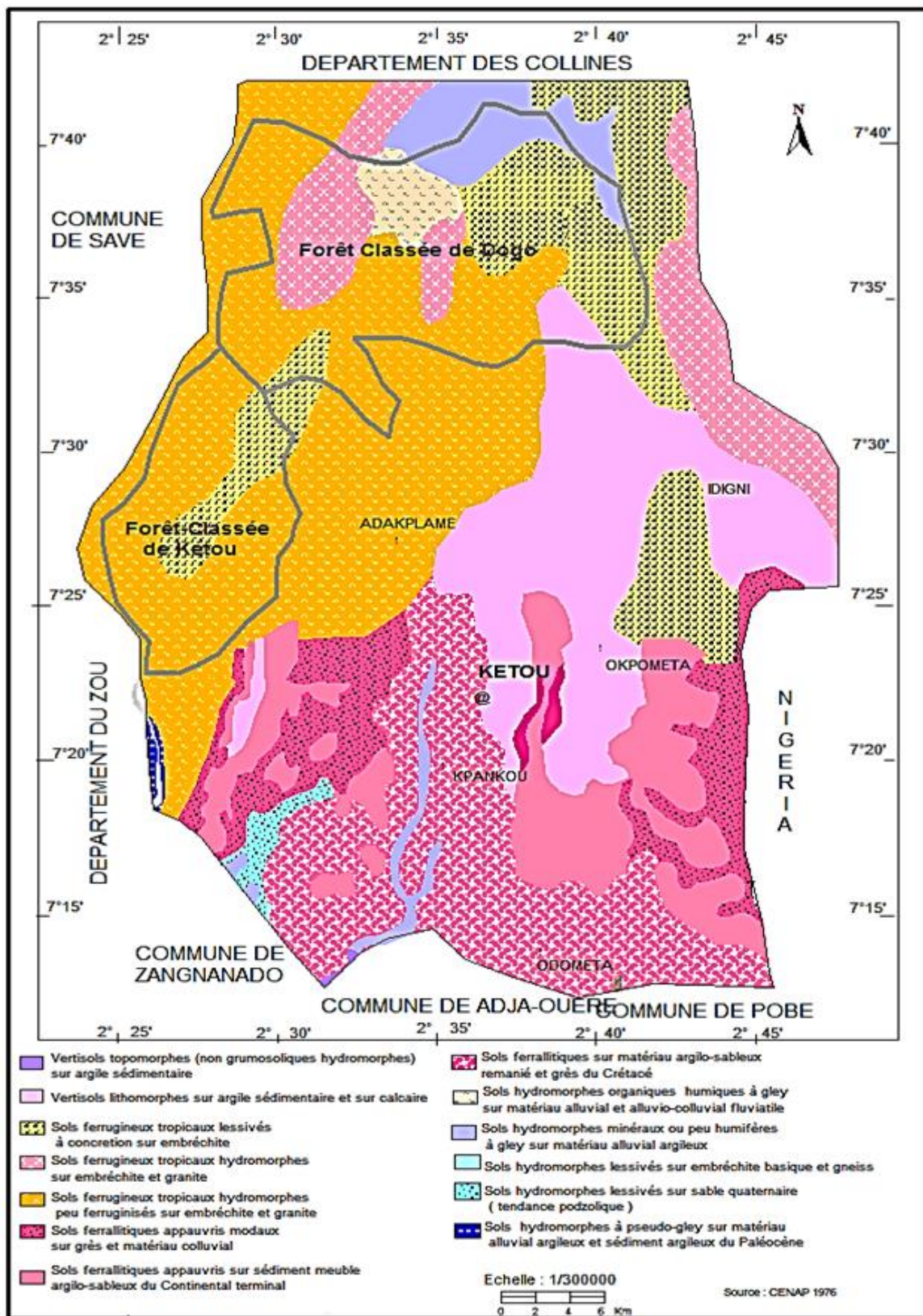


Figure 2: Pédologie de la commune de Kétou

La réserve d'eau dans ces sols est sensiblement constante et varie entre 40 et 50 mm à 30 cm du sol puis entre 60 et 70 mm à 60 cm du sol (Azontonde *et al.*, 1989). Ces sols pour leur utilisation en agriculture sont d'excellents supports culturaux. La meilleure façon de les exploiter est l'implantation de cultures pérennes à enracinement profond (Fafeh, 2009) comme les cultures d'anacardiers (*Anarcadium occidentale*), de palmier à huile (*Elaeis guineensis*), de teck (*Tecktona grandis*) et d'oranger (*Citrus*) adoptées par les populations agricoles de la commune de Kétou;

- **Les sols ferrugineux tropicaux** : selon le CENAP, 1992, ils occupent une petite portion du plateau de Kétou. Ils possèdent à partir de 100-150 cm, un horizon bariolé; les taches d'abord diffuses deviennent de plus en plus nettes. Ces sols évoluent sous un manteau d'altération d'épaisseur moyenne; ce manteau correspond à une zone d'hydromorphie temporaire où se poursuivent les actions de propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin, ségrégation des hydroxydes de fer. Ces sols sont caractérisés par une texture limono-sableuse en surface et argilo-sableuse en profondeur. Le taux d'argile passe de 6 ou 10 % à 35 ou 40 % de la surface en profondeur; les teneurs en sable au contraire passent de 75 % à 40 %. Leur structure d'ensemble est polyédrique subangulaire moyennement développée. L'indice d'instabilité structurale varie de 0.8 en surface à 2 en profondeur. Leur indice d'érodibilité varie autour de 0 et 2. Ils sont assez perméables en surface avec une conductivité hydraulique de 4-6 cm h⁻¹, mais en profondeur elle baisse sensiblement pour atteindre 2 ou 3 cm h⁻¹. Leur réserve hydrique est faible, elle est de 40 mm dans les 30 premiers centimètres et 120 mm en profondeur. Ils sont très pauvres ou le deviennent très rapidement, suite à la culture. Ils sont pour la plupart fortement dégradés. Leur fertilité dépend, en outre des déficiences chimiques (azote, phosphore) de la présence d'une nappe phréatique en profondeur. Les cultures vivrières traditionnelles comme le manioc (*Manihot esculenta*), le maïs (*Zea mays*), le niébé (*Vigna*

anguiculata) et l'igname (*Dioscorea alata*) s'y adaptent mieux que les cultures pérennes arbustives.

2.1.4. Contexte climatique

Le climat de la commune de Kétou est de type tropical à régime pluviométrique bimodal à deux nuances (du Zou moyen et des plateaux du sud - est) avec deux saisons de pluies et deux saisons sèches : la grande saison des pluies de mars à juillet ; la petite saison sèche intervient en août ; la petite saison des pluies survient de septembre à octobre et la grande saison sèche de novembre à février (Enonzan, 2010). La moyenne pluviométrique annuelle est de l'ordre de 1.073 mm et le nombre moyen annuel de pluie est de 65 jours (Fafeh, 2009). Les deux maxima de ce régime sont centrés sur juin et septembre (INSAE, 2008). Mais depuis quelques années, il est observé de plus en plus un décalage des saisons à tel point que le régime n'est plus bimodal, mais uni modal; c'est-à-dire que la deuxième saison des pluies tend à être une prolongation de la première (MEPN, 2006). La température moyenne annuelle est de l'ordre de 25°C et le maximum de 34°,5C. Les moyennes mensuelles de minima et des maxima sont situées autour de 24°C (le mois le plus frais) et de 37°C en Février (le mois le plus chaud). L'atmosphère connaît en général une humidité permanente élevée, diminuée en décembre et en janvier à cause de l'harmattan. L'humidité relative mensuelle moyenne s'établit en un minimum de 78 % de janvier à février et un maximum de 95 % en septembre (Fafeh, 2009).

2.1.5. Composantes végétales

Dans la commune de Kétou la végétation rencontrée est celle de la savane arborée et de la forêt. Ainsi, on y distingue les forêts classées de Kétou, Dogo ou Guézou et la forêt sacrée d'Adakplamè. Des lambeaux de forêts par endroit (forêts-sacrées, forêts galeries et d'autres îlots forestiers) viennent compléter ce tableau sur la végétation. Toutes ces forêts, bien qu'elles ne soient pas classées

sont des aires entièrement protégées par les populations. On les retrouve un peu partout dans toute la commune (Enonzan, 2010).

- La forêt classée de Kétou

Constituée en forêt domaniale classée par arrêté n°1855 S.e. du 6 mai 1946, la forêt classée de Kétou avait une superficie approximative de 43 200 hectares selon le Haut-Commissariat de la République Française à l'époque. Aujourd'hui, cette superficie est évaluée à 11 000 hectares seulement soit un taux de déforestation d'environ 75 %. Ceci s'explique par des coupes abusives des différentes essences qui la constituaient pour divers usages : construction, bois d'oeuvre, vente, chauffage domestique, etc. Ces essences en constante régression sont constituées pour la plupart de *Ceiba pentandra*, *Antiaris africana*, *Pentaclethra macrophylla*, *Hymenea courbaril*. Ces espèces sont prélevées de manière anarchique sans avis préalable des agents des eaux et forêts (Fafeh, 2009).

- La forêt classée de Dogo ou Guézou

Elle a été classée par arrêté n°675 S.e. du 27 janvier 1955. La superficie était évaluée à l'époque par le Haut-Commissariat de la République Française à 31850 hectares environ. Cette superficie n'a pas beaucoup varié jusqu'à nos jours. Elle est constituée pour la plupart d'espèces telles que *Milicia excelsa* et *regia* appelée communément Iroko, *Azelia africana* (lingué) *Mansonia altissima* (bété), *Ceiba pentandra* (fromager), *Khaya grandifolia* (acajou à grandes feuilles) etc (Fafeh, 2009). Si cette forêt est presque intacte jusqu'aujourd'hui, ce n'est pas dû à un hasard. En effet, l'historiographie orale raconte que les premiers occupants sont venus dans cette forêt guidés par l'oracle (Ifa) qui leur aurait exigé de la préserver pour des rites ancestraux et des cérémonies fétichistes. Ainsi, elle abrite plusieurs couvents de fétiches.

- La forêt sacrée d'Adakplamè

Elle a été conservée par les ancêtres fondateurs du village venus du plateau Mahi dans le Zou nord afin de chercher des lianes, des bois de construction ; pour le chauffage et la confection des greniers. Elle n'est plus exubérante aujourd'hui à cause des coupes abusives clandestines. Elle a une superficie de 522 hectares environ et n'est que le prolongement de la forêt de Dogo ou Guézou. Elle a pu depuis plusieurs décennies résister aux assauts des paysans à cause de l'importance d'un fait culturel évident qui ne cesse de prendre de l'ampleur : les cérémonies fétichistes (Oro, Sakpata, Vodoun). Dans la préservation de cette forêt aussi, l'oracle a joué un grand rôle puisqu'il aurait recommandé aux ancêtres fondateurs du village de ne jamais la défricher. (Enonzan, 2010).

En général d'après ce dernier, les activités agricoles contribuent à la déforestation accélérée du couvert végétal naturel dans la commune de Kétou.

2.1.6. Hydrographie

La commune de Kétou est longée par le fleuve Ouémé sur sa frontière avec le Zou. Il existe aussi quelques cours d'eau d'importance variable qui sont les rivières aux régimes temporaires. Il peut être ajouté quelques bas-fonds qui fournissent de l'eau en permanence à la population. Enfin, il est noté la présence de nappes d'eau superficielles, stagnantes, peu profondes qui sont souvent sources de disputes entre les populations riveraines d'une part, et, entre les éleveurs transhumants d'autre part. Ceux-ci n'hésitent pas à violer les interdits coutumiers pour abreuver leur bétail. Ce sont les marigots, les sources et les étangs dont les plus importants se trouvent à l'est de la commune de Kétou. Ces sources donnent de l'eau qui sort du pied des collines.

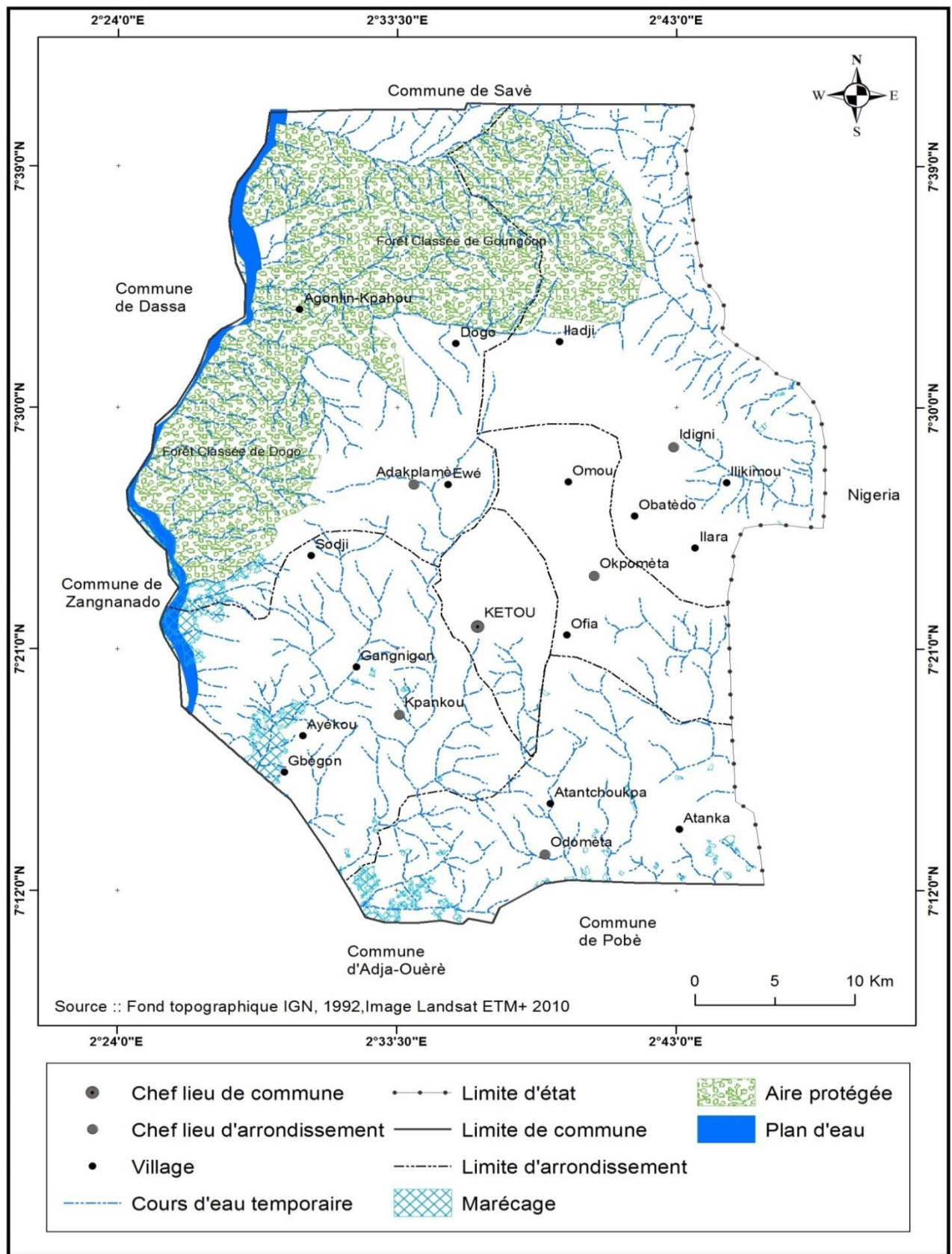


Figure 3: Réseau hydrographique de la commune de Kétou

2.2. Facteurs humains

La commune de Kétou compte une population estimée à 148779 habitants dont une fraction active de 45871 habitants (RGPH4). Elle couvre une superficie de 1775 km² et il est dégagé une densité de 83,81 habitants au kilomètre carré. Environ 60 % de cette population vivent en milieu rural avec l'agriculture comme principale activité (INSAE, 2013). L'analyse faite par rapport à l'indice de l'accroissement démographique (32,45 %), révèle que la commune de Kétou est la plus peuplée du département du plateau (INSAE-RGPH4, 2013). Aussi, il est trouvé des groupes socio-culturels variés dans la commune. La figure 4 illustre la répartition démographique dans les différents arrondissements de la commune de Kétou. En effet, les arrondissements d'Idigny et de Kétou sont les plus peuplés avec une proportion respective de 27,74 % et 26,54 %. L'arrondissement d'Okpomèta est celui qui compte le moins d'habitants (5,89 %) dans la commune de Kétou.

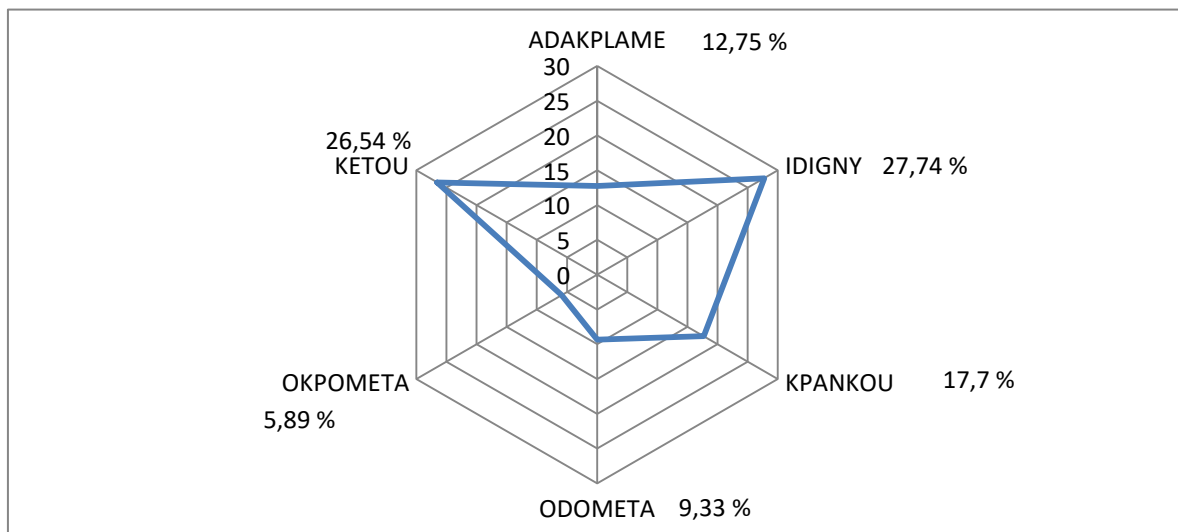


Figure 4 : Répartition par arrondissement de la population dans la commune de Kétou

Source : INSAE 2013

La population de la commune de Kétou se répartit dans de gros villages agglomérés dans la savane ou alignés sur le plateau ou dans des fermes isolées ou des hameaux familiaux au cœur des forêts et dans certains flots forestiers.

Cette population se retrouve également dans des villages importants mais plus aérés avec des fermes intercalaires en bordure immédiate des forêts. Des recensements démographiques de 1992 à 2013 la population de la commune Kétou a connu un taux d'accroissement de l'ordre de 57,60 % (figure 5).

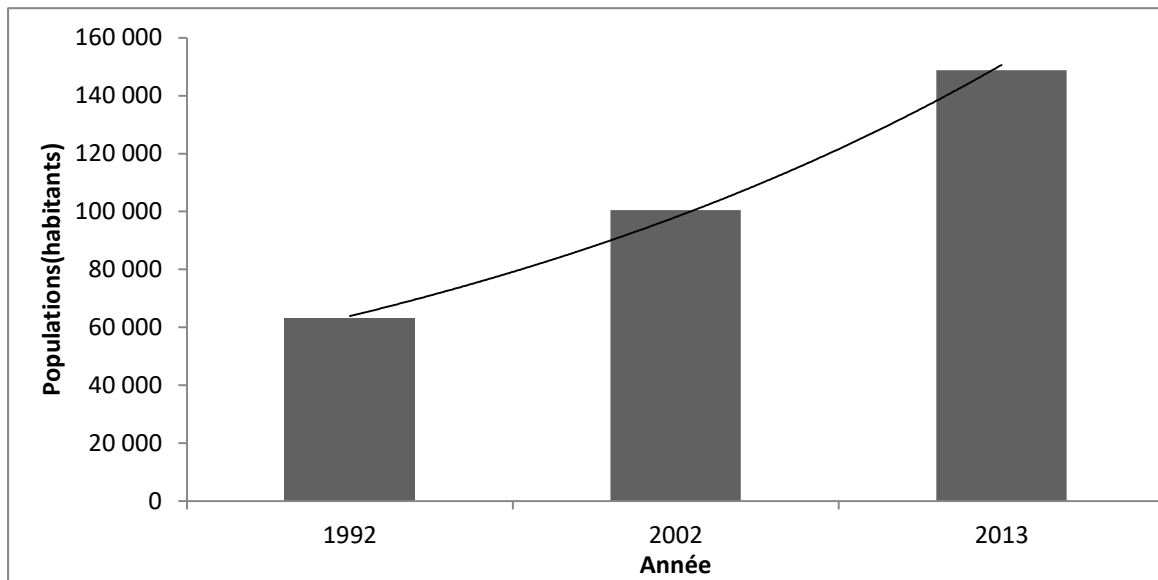


Figure 5 : Evolution de la population dans la commune de Kétou

Source : INSAE 2013

Pour ce qui concerne l'occupation du sol par culture, annuellement 44 990 hectares de maïs local, 7 001 hectares de maïs amélioré, 14 084 hectares de manioc, 2 754 hectares d'igname, 427 hectares de tomate, 401 hectares de piment, 3 115 hectares de niébé, 2 008 hectares d'arachide, 1 243 hectares de goussi (moyenne sur quatre (04) ans), 5 234 hectares de coton sont cultivés. Le maïs constitue la culture agricole la plus pratiquée dans la commune de Kétou avec 63 % des terres culturales emblavées. La population adopte plus le maïs local (55 %) en défaveur des variétés améliorées (9 %). Ce choix peut être justifié par des raisons inhérentes aux difficultés d'organisation du monde agricole. Le manioc qui est une culture pérenne a une proportion d'occupation de 17 % des emblavures. Le coton est moins cultivé dans la commune de Kétou ; les superficies culturales qui lui sont consacrées n'est que de 6 %. Ce faible taux peut être due aux difficultés majeures que connaît la filière coton ces dernières décennies au Bénin. Les autres productions agricoles à savoir : la

tomate l'igname, le niébé, le piment, l'arachide et le goussi ne représente que 13 % des espaces cultivés. En effet, ces spéculations sont généralement produites pour la consommation locale de la population dans la commune de Kétou.

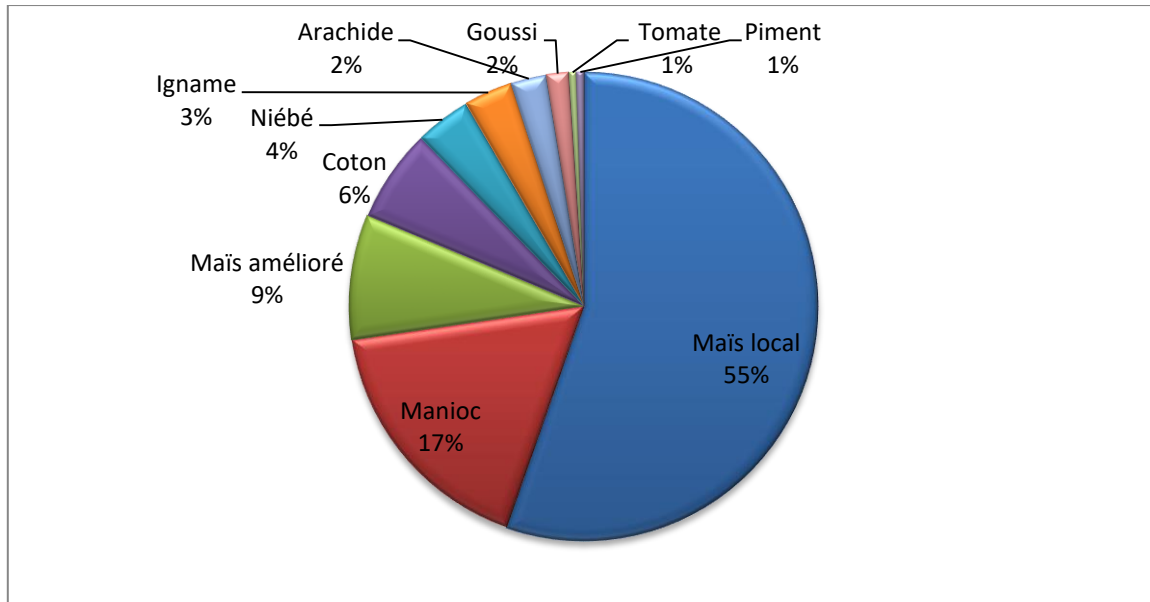


Figure 6 : Occupation du sol par culture dans la commune de Kétou

Source : CARDER Ouémé-Plateau, 2014

Dans le domaine du foncier, les terres appartiennent à plusieurs collectivités. Elles sont régies par une utilisation foncière très souple qui se traduit parfois par des transferts des membres d'une famille à une autre. La population a accès à la terre et aux ressources. Le mode de les faire valoir est direct et la notion de propriété individuelle est poussée. Tous les villages ont une structure et une organisation libre dans l'occupation de l'espace caractérisé par un habitat plus ou moins dispersé sauf à Kétou : sans délimitation physique de la concession mais de grands greniers et des champs de cases participent à l'organisation de l'espace. Au total, l'implantation des concessions dans les villages et leur mode d'occupation s'appuient fortement sur des considérations socio-culturelles. En définitive, seule la bande centrale (est-ouest) de la commune est bien occupée.

Conclusion partielle

La commune de Kétou sur le plan géographique est un milieu dont les différents éléments forment un tout harmonieux, cohérent et bien distingué par des caractères qui lui sont propres. Malgré les nombreux défis environnementaux dont est confrontée la population, il est important de les étudier pour une meilleure compréhension.

CHAPITRE III : EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES SAISONNIERS DANS LA COMMUNE DE KÉTOU

Ce chapitre porte essentiellement sur l'analyse de la variabilité pluviométrique et de l'évolution de quelques caractéristiques intra-saisonnières des saisons pluviométriques et établit les rapports existant entre elles dans la commune de Kétou.

3.1. Variabilité pluviométrique dans la commune de Kétou

Cette partie est consacrée à la variabilité pluviométrique dans le secteur d'étude.

3.1.1. Régime pluviométrique

Les moyennes mensuelles de la série de 1951 à 2010 montrent qu'il règne au niveau du secteur d'étude un régime pluviométrie bimodale (figure 7).

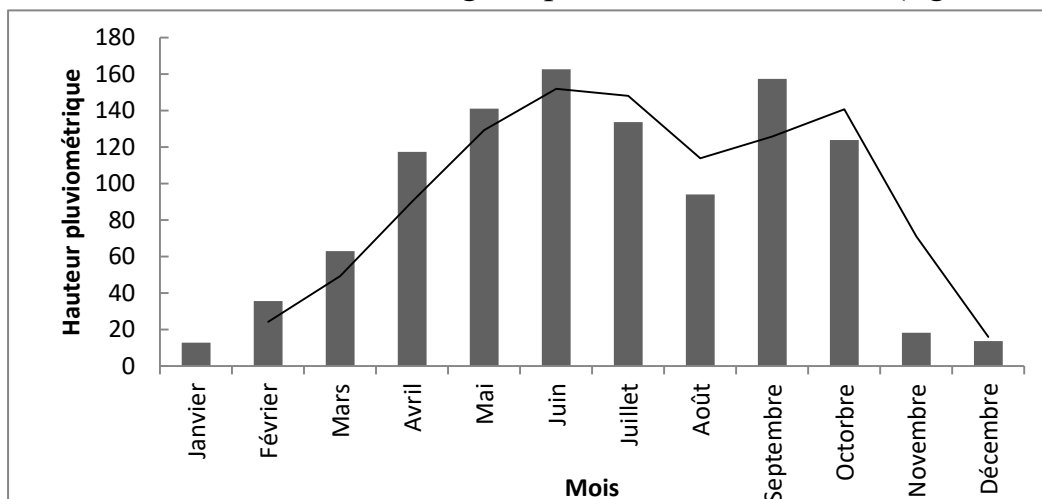


Figure 7: Régime pluviométrique moyenne (1951-2010) de Kétou

Source des données: ASECNA (1951-2010)

L'analyse de cette figure montre que les mois les plus humides sont ceux de juin et de septembre sur la série d'étude. Les mois humides correspondent aux mois où le total mensuel est supérieur ou égal à 8,5 % du total annuel (Boko, 1988) cité par Ouorou (2007).

3.1.2. Détection de rupture dans les séries interannuelles des pluies

L'analyse des composantes principales des cumules annuels des précipitations de 1951 à 2010 à travers la figure 8 montre la fluctuation interannuelle de la

pluviométrie. Le calcul des indices pluviométriques (l'indice centré réduit) révèle une prédominance des années sèches soit 57 % des années de la période d'étude (34 années sur 60).

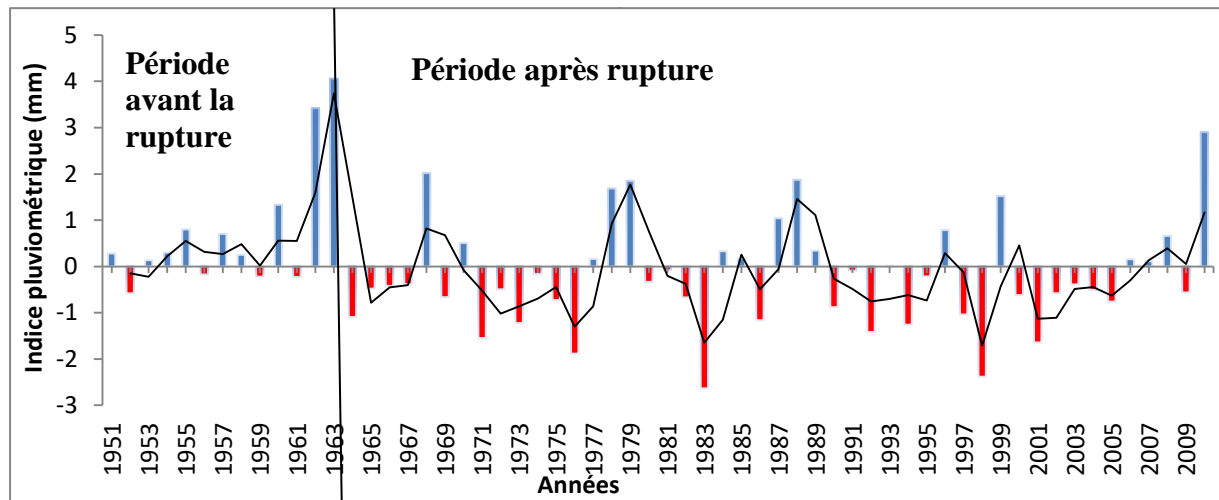


Figure 8: Indices pluviométriques sur la période 1951-2010 à Kétou

Source des données: ASECNA (1951-2010)

Néanmoins, l'apparition du phénomène d'années sèches se manifestent sur une période assez longue (des années 1960 à 1980 environ), c'est malgré tout, autour de l'année 1970 qu'elle est la plus fréquente et avec l'exceptionnel sècheresse de 1983 qui a marqué les événements pluviométriques dans la commune de Kétou. A cet effet, l'application du test de Pettitt a permis d'identifier une rupture dans les séries pluviométriques annuelles de la commune de Kétou (figure 8). Le test de Student d'absence de rupture a été rejeté. Alors, l'hypothèse nulle au seuil de confiance de 95 % est rejetée. Ainsi, la rupture a été identifiée en 1963. La rupture observée en 1963, traduit un changement plus net à l'échelle de l'événement pluvieux dans la commune de Kétou. L'apparition de rupture précédemment soulignée dans la commune de Kétou est en concordance avec des travaux réalisés par (Boko, 1988 ; Ardoin *et al.*, 2003 et Yao *et al.*, 2012) en Afrique de l'Ouest. Ces périodes de ruptures détectées par ces derniers tournent au tour des années 1960 et 1970 sur le plan Ouest Africain. En effet, il est constaté que dans la commune de Kétou, la rupture de l'année 1963 a occasionné une restriction pluviométrique allant dans l'ordre de 162,03 mm en

moyenne durant la période après rupture (1964 à 2010) par rapport à celle avant rupture (1951 à 1963), (figure 9).

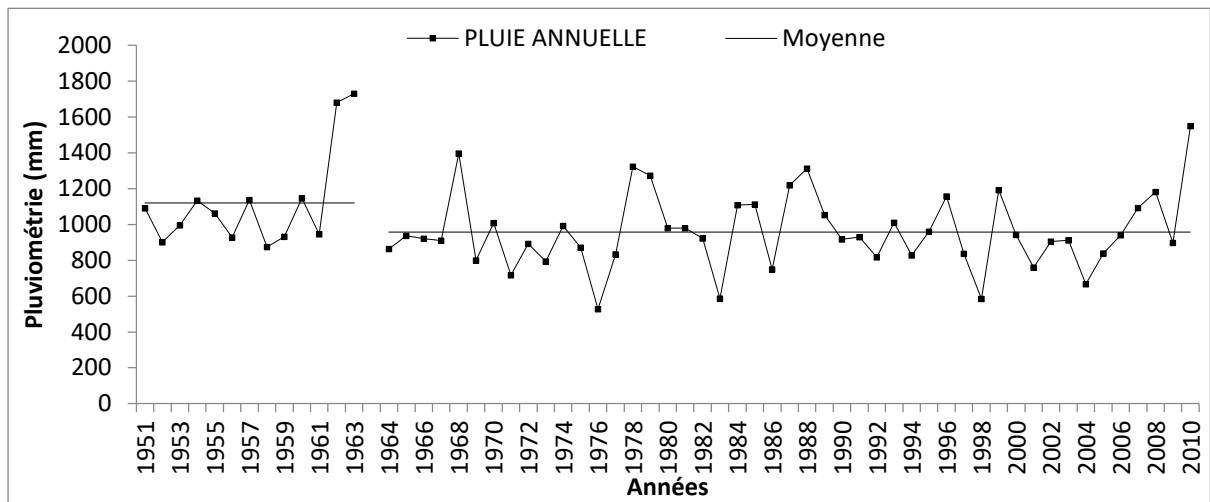


Figure 9: Evolutions des cumules pluviométriques annuels analysés par le test de Pettitt

Source des données : ASECNA (1951-2010)

Il est à retenir que cette rupture dans les séries interannuelles de la pluie est traduite par un déficit de 14,47 % de la pluviométrie. Ce phénomène de baisse pluviométrique apparue après la période de rupture de 1963 dans la commune de Kétou aurait d'inconvénients sur le cycle d'évolution de quelques cultures agricoles de la zone d'étude qui ont besoins de quantité importante de pluviométrie comme le maïs "*Zea mays*" (500 à 1000 mm), l'arachide "*Arachis hypogea*" (400 à 1200 mm) et le niébé "*Vigna unguiculata*" (400 à 800 mm) (CENAP, 2005).

3.2. Démarrage, fin et durée de la grande et de la petite saison agricole dans la commune de Kétou

3.2.1. Démarrage et fin de la grande saison agricole

Les dates du début et de la fin de la grande saison des pluies sont dynamiques dans la commune de Kétou.

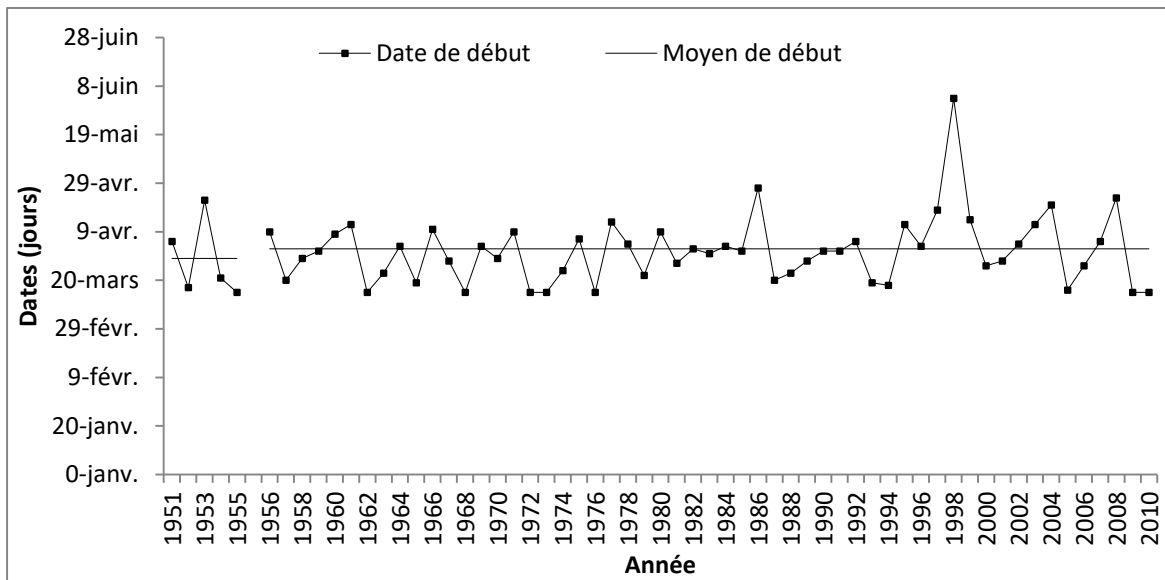


Figure 10: Détection de rupture dans la variabilité interannuelle des dates de début de la grande saison agricole par le test de Pettitt

Source des données: ASECNA (1951-2010)

L'analyse des dates du début et de la fin de la grande saison agricole dans la commune de Kétou révèle une profonde discontinuité au niveau de la périodicité de leurs apparitions. L'utilisation du texte de Pettitt aux séries chronologiques des dates de démarrage de la grande saison agricole a permis de détecter une rupture. Les moyennes saisonnières auxquelles a été appliqué le test de Student montrent qu'elles sont différentes au seuil de significativité de 95 %. Cette rupture a été détectée en 1955. A cet effet, avant la rupture de 1955 la date moyenne de démarrage de la grande saison agricole est fixée au 29 mars et celle d'après la date de rupture (1955) est au 2 avril. Il est à remarquer que la survenue de la rupture a occasionné une repousse de la date de début de la grande saison agricole de 3 jours. Ces 3 jours paraissant insignifiant peut être négatif sur le plan agroclimatique.

L'utilisation du test de Pettitt aux séries des dates de fins de la grande saison agricole n'a pas révélé de période de rupture (figure 11). En effet, l'hypothèse nulle d'absence de rupture est acceptée pour le seuil de confiance

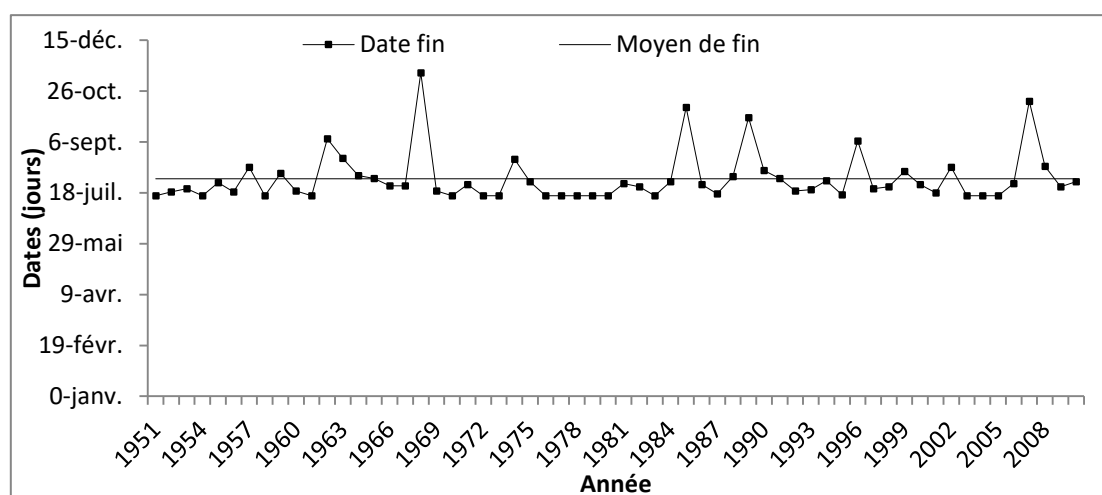


Figure 11: Variabilité interannuelle des dates de fin de la grande saison agricole

Source des données: ASECNA (1951-2010)

Néanmoins, les dates de fins de la grande saison pluvieuse s’alternent d’une manière inégale et irrégulière. Ainsi, de telle instabilité rend rationnelle l’utilisation des moyennes des dates de fins de la grande saison des pluies et aussi d’élaborer des solutions adéquates et de résoudre avec des décisions plus efficaces les problèmes du calendrier agricole.

Les détails sur l’analyse des fréquences d’occurrences des dates de débuts et de fins de la grande saison agricole sont répertoriés dans les tableaux ci dessous.

Tableau IV : Synthèse des statistiques du début et de la fin de la grande saison agricole

	Début de saison	Fin de saison
Dates/durée moyenne	31mars	1août
Ecart-type	14	25
Valeur maximale	3 juin(1998)	13 nov (1968)
Valeur minimale	15 mars (1955 ; 2010)	15 juillet (1977 ; 2005)
2 années sur 10	20 mars	8 aout
5 années sur 10	2 avril	22 juillet
8 années sur 10	20 avril	16 juillet
Nombre précoce	20 années	31années
Nombre tardif	22 années	12 années
Normal	18 années	17 années
12 années de début tardif doublé de fin précoce		

Source des données: ASECNA (1951-2010)

De l'analyse des statistiques relatives au début et à la fin de la grande saison agricole dans la commune de Kétou, il en ressort qu'en moyenne la première saison agricole débute le 31 mars et s'achève le 1^{er} août (de 1951 à 2010) ce qui correspond respectivement à la 3^{ème} décennie du mois de mars pour le début de la grande saison des pluies et à la 1^{ère} décennie du mois d'août pour la fin de la grande saison pluvieuse. La valeur élevée du coefficient de variation (14) du début de la grande saison des pluies montre une instabilité des dates de début de la grande saison agricole dans la commune de Kétou et celle de la fin de la grande saison agricole étant relativement plus élevée (25) révèle aussi d'une instabilité perceptible. Mais ces réalités des moyennes des dates de début et de fin montrent des complexités réelles pour les producteurs qui en font des repères pour leurs activités agricoles. Ainsi, cette complexité se manifeste à travers les fréquences d'occurrence déterminées soit 8 années sur 10 (80 %) où la grande saison agricole démarre le 20 avril et prend fin le 16 juillet. Selon Sané *et al.*, (2008), c'est durant cette période que les risques liés aux aléas climatiques pour les activités agricoles sont les moindres. Pour cela, le bon déroulement de la campagne agricole dont le calendrier est fixé suivant les valeurs moyennes sera compromis. De même, il est remarqué une prédominance des années dont les débuts de la grande saison agricole sont tardifs à raison de 22 années et de 20 années dont les démarrages sont hâtifs, alors que 18 années ont des débuts normaux. Ainsi, est-il nécessaire de faire remarquer que dans la commune de Kétou, il apparaît des années où la grande saison agricole subit une double anomalie à savoir un démarrage tardif et une fin précoce. Au total, douze (12) années sont concernées dont la pluviométrie à l'échelle annuelle est réputée déficitaire (1972, 1973, 1979, 1987, 1990, 1993, 1994, 2000, 2005, 2009, etc.) En effet, ces tares du calendrier de la grande saison agricole réputés non profitables pour les cultures agricoles leur occasionnent des stress hydriques. Ces anomalies agroclimatiques sont apparues après l'année de rupture (1955) des dates de démarrage de la grande saison agricole.

3.2.1.1. Durées de la grande saison agricole dans la commune de Kétou

Pour pouvoir bien cerner la variabilité intra-saisonnière des longueurs de la grande saison agricole, les caractéristiques de la durée de la saison agricole sont analysées.

Tableau V : Synthèse des statistiques relatives à la durée de la grande saison agricole dans la Commune de Kétou

	Longueur de saison (jours)
Date/durée moyenne	122
Ecart-type	30
Valeur maximale	243(1968)
Valeur minimale	51(1998)
2 années sur 10	41
5 années sur 10	111
8 années sur 10	87

Source des données: ASECNA (1951-2010)

La longueur de la grande saison agricole dans la commune de Kétou est en moyenne de 122 jours (12 décades). Cette réalité de la moyenne de la longueur des grandes saisons agricoles bien qu'elle permet de satisfaire les exigences des cycles végétatifs des espèces agricoles est un camouflé des réelles contrastes qui subsistent au cours de la durée des grandes saisons agricoles dans la commune de Kétou. Ainsi, 8 années sur 10, la longueur des grandes saisons pluvieuses est de 87 jours. De même, il est enregistré des durées extrêmes (valeur minimale) de la grande saison agricole allant jusqu'à 51 jours soit moins de 7 décades que la moyenne. De plus, la valeur maximum des longueurs des grandes saisons agricoles dans la zone d'étude qui est de 243 jours (plus de 12 décades) vient mettre en exergue la dynamique de la durée des grandes saisons agricoles ce qui constituera sans doute des difficultés pour des agriculteurs qui n'ont plus le choix que d'adopter des espèces culturales à cycle court.

Le lien statistique entre les débuts et la longueur de la grande saison agricole dans la commune de Kétou a été recherché (figure 12).

3.2.1.2. Relation entre la date de début de la grande saison pluvieuse et la longueur de la grande saison

La figure 12 présente la corrélation entre la longueur et les dates de début de la grande saison pluvieuse dans le secteur d'étude.

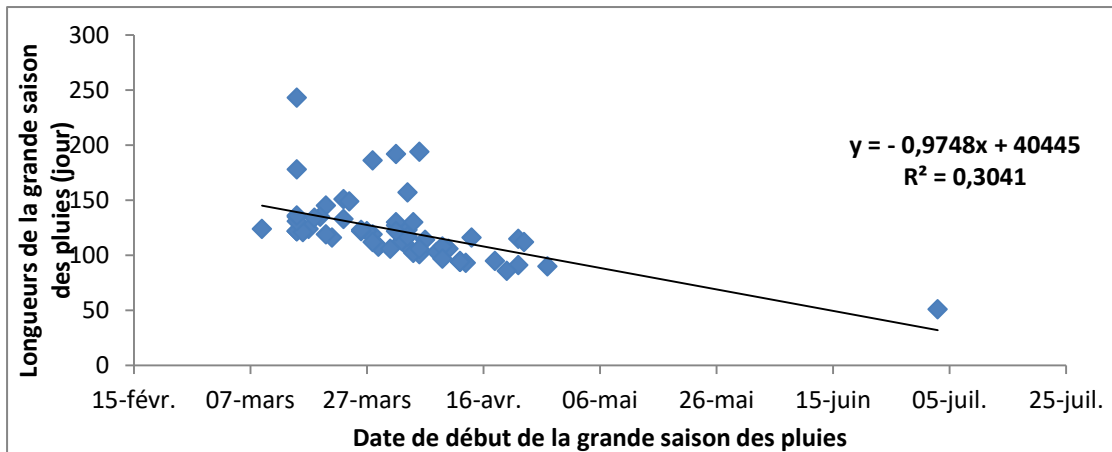


Figure 12: Relation entre la longueur et la date de début de la grande saison pluvieuse

Source des données: ASECNA (1951-2010)

La valeur négative du coefficient de régression linéaire qui est de -0,97 indique que les deux variables (longueur et date) évoluent en sens inverse et le faible coefficient de détermination égale à 30 % de la figure 12 montre qu'il n'y a pas de relation entre les longueurs et les dates de début de la grande saison des pluies. Ainsi, une grande saison des pluies venues à la hâte ou tardive n'est pas une condition pour que la grande saison des pluies soit longue ou non. Diop (1996) est parvenu au même résultat dans une étude similaire au Sénégal.

3.2.1.3. Typologie des précipitations journalières de la grande saison des pluies

La figure 13 montre la variation des typologies des précipitations journalières dans la commune de Kétou de 1951 à 2010. Elle révèle des évolutions diverses dans les séries pluviométriques de la grande saison agricole dans le secteur d'étude.

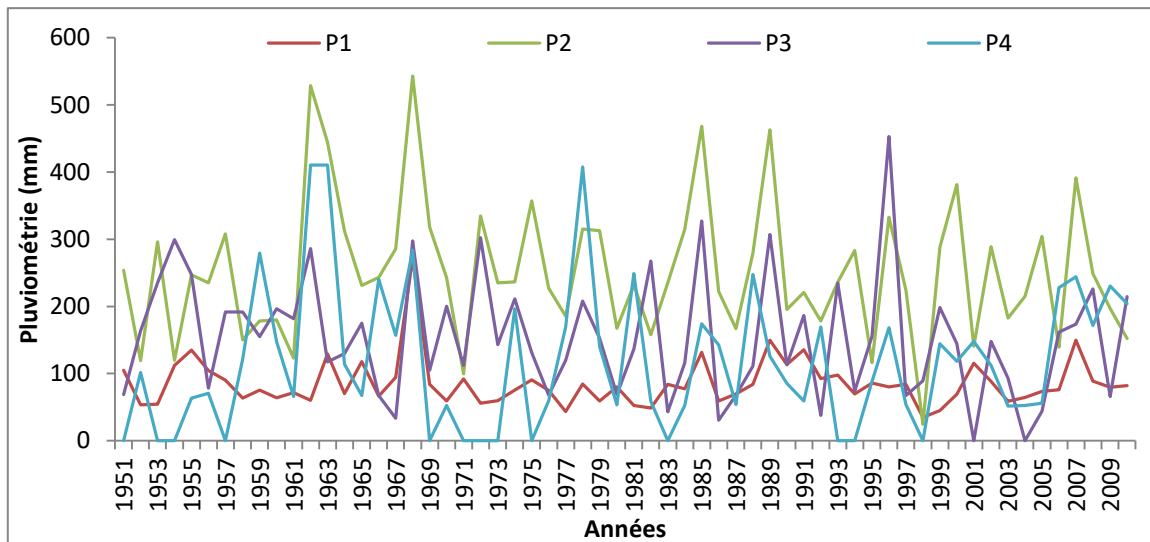


Figure 13: Evolution du nombre de jours de pluies de la grande saison pluvieuse dans la Commune de Kétou

Source des données: ASECNA (1951-2010)

Dans les séries de précipitation de l'année 1963 (année de la rupture) considérée comme l'année la plus pluvieuse, les précipitations comprises entre 0,1 et 10 mm (GP1) dominent la pluviométrie du secteur d'étude soit 50 % des trois autres typologies (GP2, GP3, GP4) et celles supérieures à 50 mm (GP4) avec 6 % des autres typologies de précipitation (GP1, GP2, GP3). Aussi, pour l'année 1983 (année dans la période après rupture de 1963) considérée comme la plus sèche, les précipitations comprises entre 0,1 et 10 mm (GP1) dominent la pluviométrie du secteur d'étude soit 44 % et celle supérieure à 50 mm (GP4) est de 0 %. Alors, dans le secteur d'étude, pour qu'une année soit très humide, elle nécessite la présence des précipitations supérieures à 50 mm contrairement à une année sèche. L'absence de pluie supérieure à 50 mm et la diminution des fréquences de pluie comprise entre 0,1 et 10 mm lors de la grande saison des pluies occasionnent des années sèches, ce qui expliquerait l'utilisation des semences améliorées de la part des paysans dans la commune de Kétou (Afouda *et al.*, 2014).

3.2.1.4. Typologie des séquences sèches de la grande saison des pluies

Les typologies des séquences sèches de la grande saison des pluies de 1951 à 2010 sont illustrées par la figure 14. Les séquences sèches de type S1 (1 à 3 jours) et S2 (4 à 7 jours) sont les plus fréquentes pendant la grande saison des pluies soit une moyenne respective de 67 % et 19 % des autres fréquences sur les 60 ans.

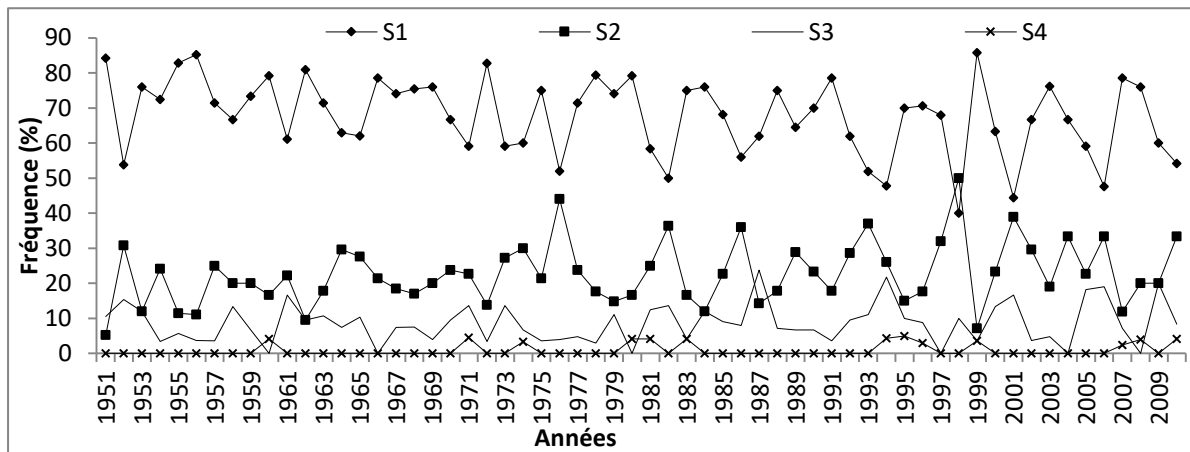


Figure 14: Fréquence des séquences sèches de la grande saison pluvieuse dans la commune de Kétou

Source des données: ASECNA (1951-2010)

Cependant, la classe des séquences sèches S1 (1 à 3 jours) apporte des épisodes secs supérieurs à la classe des séquences sèches S2 (4 à 7 jours). Il est aussi remarqué la présence de la classe de la séquence sèche S3 (8 à 14) à un taux de 10 % par rapport aux autres séquences sèches (S1, S2, S4) et est qualifié d'épisodes secs les plus sévères (Zakari *et al.*, 2012). Ceci intervient en plein milieu des saisons agricoles. Les années les plus touchées par la séquence S1 (1 à 3 jours) lors de la grande saison agricole sont ceux de 1956 à 85 % et 1998 à 86 % qui sont les années sèches. La résurgence de la séquence sèche S1 est constatée de part et d'autre de l'année de la rupture de 1963. Quant aux épisodes de la classe S4 (> 15 jours) leurs fréquences sont très faibles soit un taux de 4 % des séquences sèches de la période d'étude. Les années les plus touchées par cette dernière sont : 1971 ; 1980 et 1994 qui sont aussi les années sèches et retrouve dans la période d'après rupture de l'année 1963. La présence de ces

séquences sèches qui interviennent au début des grandes saisons agricoles expliquerait les nombreux échecs remarqués dans les semis et amène les paysans à pratiquer des semis multiples et répétés comme mesures d'adaptation pour faire face aux épisodes secs qui persistent au début et au cœur de la grande saison pluvieuse dans la commune de Kétou (Afouda *et al.* , 2014).

3.2.1.5. Evolution des fréquences des séquences sèches et humides de la grande saison agricole

Au regard de l'analyse de la figure (15) qui montre l'évolution des pourcentages des jours pluvieux et secs au cours de la grande saison agricole, un certain nombre de hiatus sont constatés au niveau des précipitations.

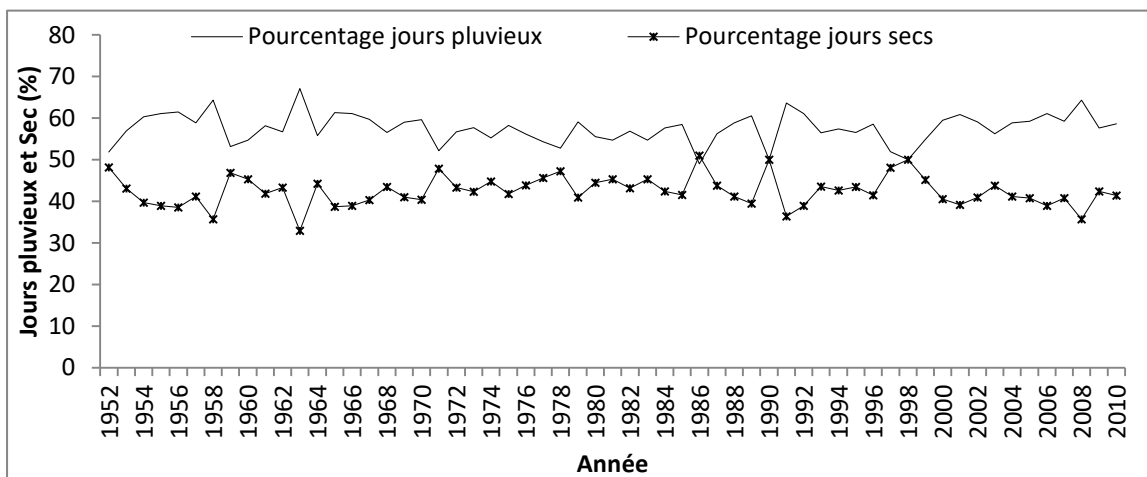


Figure 15: Fréquences des séquences sèches et humides de la grande saison agricole

Source des données: ASECNA (1951-2010)

Alors, pour la grande saison pluvieuse, le nombre de jours pluvieux est passé de 154 pentades (770 jours) entre 1951 et 1970 à 140 pentades (700 jours) entre 1990 et 2010, soit une réduction en 60 (1951 à 2010) de 14 pentades (70 jours).

3.2.1.6. Variabilité des totaux pluviométriques et des durées de la grande saison agricole des sous périodes (1951-1970 ; 1971-1990 et 1991-2010)

Les figures (16 ; 17) montrent la variabilité interannuelle des longueurs de la grande saison pluvieuse et de ses totaux saisonniers de pluies basés sur les sous-périodes étudiées P1 (1951-1970), P2 (1971-1990) et P3 (1991-2010). Ces sous-

périodes ont été choisies pour affiner l'analyse de la variabilité interannuelle des saisons agricoles.

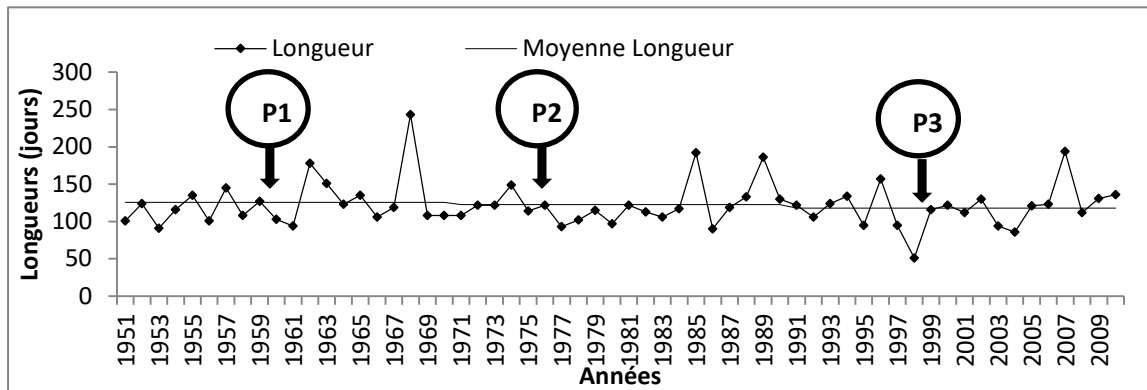


Figure 16 : Variabilité interannuelle de la durée de la grande saison agricole
Source des données: ASECNA (1951-2010)

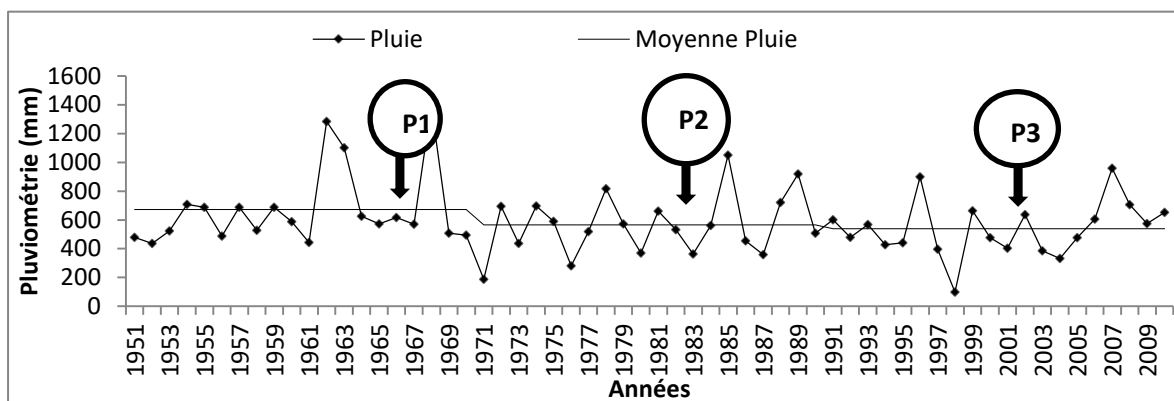


Figure 17 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie de la grande saison agricole
Source des données: ASECNA (1951-2010)

En ce qui concerne la grande saison agricole, le constat général est que les différentes moyennes pluvieuses des grandes saisons agricoles des sous-périodes P1, P2, P3 baissent de manière consécutive ($P1 < P2 < P3$) (figure 17). Ainsi, la hauteur moyenne saisonnière des pluies de la sous-période P1 (1951 à 1970) est la plus élevée (672 mm) que les autres sous-périodes, c'est-à-dire, 565 mm pour la sous-période P2 (1971 à 1990) et 539 mm pour la sous-période P3 (1991 à 2010). Dans une même lancée que la pluviométrie, la durée des saisons agricoles des sous-périodes considérées ne cesse d'entamer une allure descendante. A cet effet, la grande saison pluvieuse a une durée moyenne de 126 jours pendant la sous-période P1 (1951 à 1970). Cette dernière est plus longue que les deux

autres sous-périodes P2 (1971 à 1990) et P3 (1991 à 2010). Alors, la longueur moyenne de la grande saison pluvieuse de la sous-période P2 (1970 à 1990) est de 122 jours et celle de la sous-période P3 (1991 à 2010), n'est que de 118 jours. Ainsi donc, la grande saison agricole lors des sous-périodes P2 (1971 à 1990) et P3 (1991 à 2010) ont connu en moyenne des baisses respectives de 4 jours et de 8 jours par rapport à la sous-période P1 (1951 à 1970).

3.2.2. Démarrage et fin de la petite saison agricole

De même que la grande saison agricole, la détection de rupture dans les séries des dates de début et des fins de la petite saison pluvieuse a été recherchée. L'application du test de Pettitt aux dates de début de la petite saison agricole a été concluante. L'hypothèse nulle d'absence de rupture a été rejetée au seuil de confiance de 95 %. De ce fait, la rupture a été repérée en 1964 pour les dates de démarrage de la petite saison pluvieuse dans la commune de Kétou.

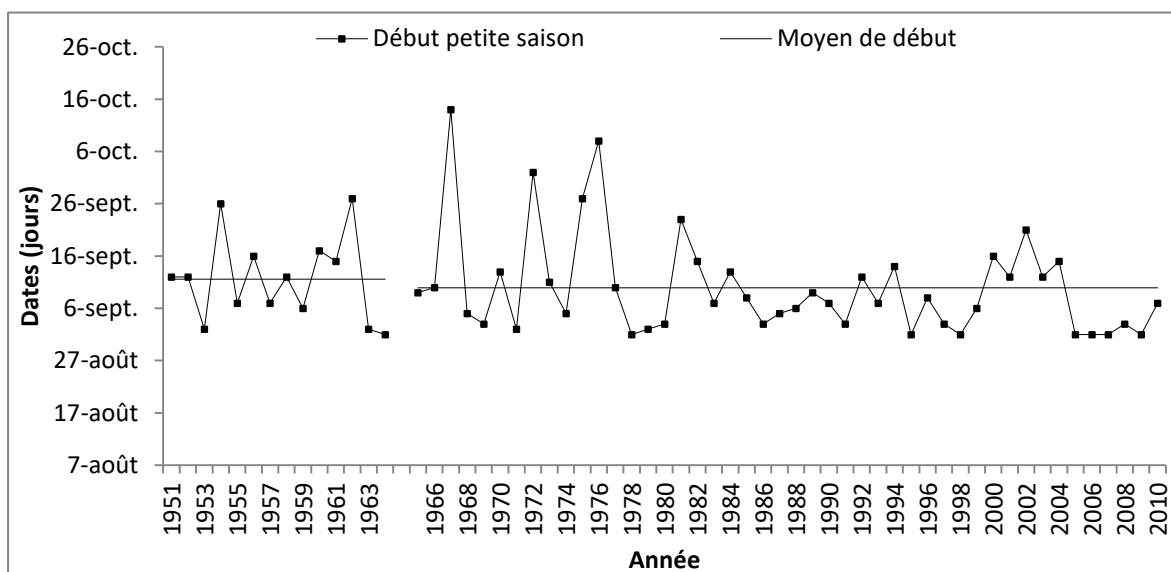


Figure 18: Courbe des dates de début de la petite saison pluvieuse issue du test de Pettitt

Source des données: ASECNA (1951-2010)

En effet, la petite saison agricole commence avant la date de rupture (1951 à 1964), en moyenne le 12 septembre. Pour la période après la rupture (1965 à 2010), elle démarre le 10 septembre. Il y a ainsi, une légère hétérogénéité dans

le démarrage de la petite saison pluvieuse de part et d'autre de l'année de rupture (1964). Pour la petite saison agricole, avant l'année de rupture (1964), la petite saison commence en moyenne tardivement par rapport à la période après rupture.

La recherche d'éventuelle rupture a été menée également sur les dates de fin de la petite saison pluvieuse (figure 19).

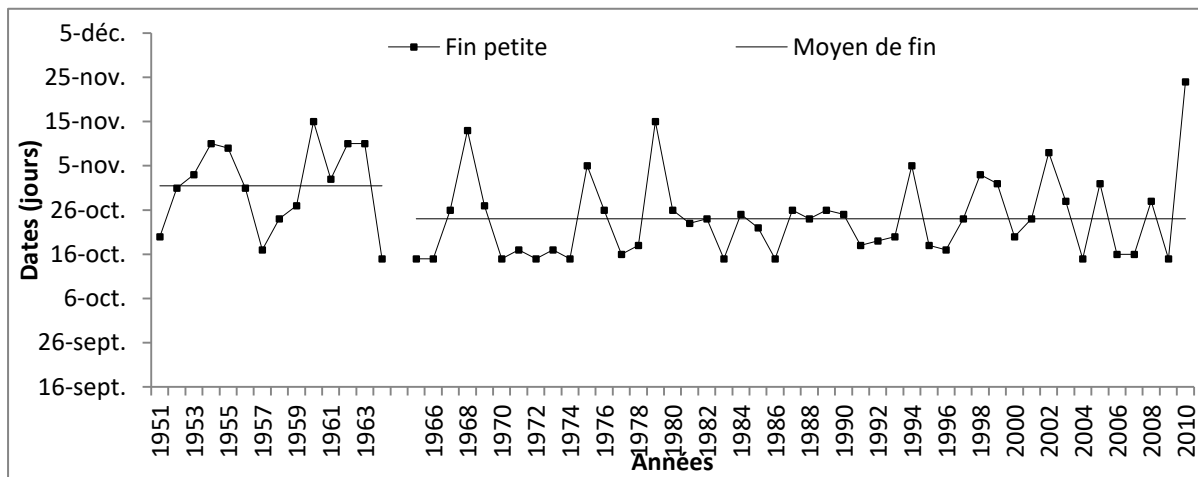


Figure 19: Courbe des dates de fin de la petite saison pluvieuse issue du test de Pettitt

Source des données: ASECNA (1951-2010)

Le test statistique de Pettitt appliqué aux séries de dates de la fin de la petite saison pluvieuse (Figure 1) révèle l'existence d'une rupture en année 1964. L'application du test de Pettitt a donc permis de situer le début de l'accident climatique et de valider la pertinence de l'instabilité de la fin de la petite saison agricole. Celle-ci est décroissante et significative au seuil de 95 %. Deux changements majeurs ont été observés au niveau des dates de fin de la petite saison agricole de part et d'autre de l'année de rupture (1964). En moyenne pour la période avant la date de rupture (1951 à 1964), la fin de la petite saison pluvieuse est au 31 octobre et la moyenne pour la période après la date de rupture (1965 à 2010) est pour le 24 octobre. Ainsi, l'écart entre les deux sous périodes est plus qu'une pentade (7 jours). Pour la sous période 1951 à 1964 (période avant la rupture), la date moyenne de la fin de la petite saison agricole (31 octobre), est tardive par rapport à la date moyenne de la fin de la sous

période 1965 à 2010 (période après la rupture). En générale, la longueur moyenne de la petite saison pluvieuse pendant la sous période 1951 à 1964 (12 septembre au 31 octobre) est de 49 jours et la longueur moyenne de la petite saison pluvieuse pendant la sous période 1965 à 2010 (10 septembre à 24 octobre) est de 44 jours. L'identification de l'année de ruptures pendant la petite saison agricole (1964) permet d'observer un rétrécissement d'une pentade (5jours) de la deuxième période (1965 à 2010).

A l'instar des débuts et des fins de la grande saison agricole, la petite saison agricole a aussi été étudiée, les statistiques sont consignées dans le tableau (6). Ces résultats montrent qu'en moyenne, pour la petite saison agricole dans la commune de Kétou la date de la saison se situe au 10 septembre et sa fin est pour le 26 octobre. Les dates extrêmes révèlent qu'au plus tôt, la petite saison démarre le 1 septembre (1978 ; 2009) avec 34 années de 1951 à 2010 (60 ans) qui sont tardives. Au plus tard, la petite saison agricole prend fin le 24 novembre (2010) avec 33 années qualifiées de tardives par rapport à la moyenne. Aussi, sur une fréquence de 8 années sur 10 (80 %) les dates de début et de la fin de la petite saison pluvieuse sont tardives respectivement le 10 octobre et le 2 novembre par rapport aux dates moyennes. En effet, l'impression que peut donner la dynamique des différentes dates de début et de fin de la petite saison agricole dans la commune de Kétou peut être relativisé eu égard aux faibles valeurs de l'écart type soit la valeur 9 pour les dates de débuts et 10 pour ceux de la fin. En définitif, dans la commune de Kétou, la première et la seconde saison agricoles sont confrontées à des retards considérables ce qui met les principaux acteurs agricoles à de véritables problèmes de prises de décisions dans la planification des activités agricoles au cours du calendrier agricole dans la zone d'étude.

Tableau VI: Synthèse des statistiques du début et de la fin de la petite saison agricole

	Début de saison	Fin de saison
Dates/durée moyenne	10 sept	26 oct
Ecart-type	9	10
Valeur maximale	26 oct (1967)	24 nov (2010)
Valeur minimale	1 sept (1978 ; 2009)	15 oct (1970 ; 2009)
2 années sur 10	2 sept	15 oct
5 années sur 10	3 sept	5 oct
8 années sur 10	10 oct	2 nov
Nombre précoce	24 années	25 années
Nombre tardif	34 années	33 années
Normal	2 années	2 années
0 année de début tardif doublé de fin précoce		

Source des données: ASECNA (1951-2010)

Après s'être intéressé aux débuts et aux fins des deux saisons agricoles dans la commune de Kétou, il sera aussi question des longueurs des saisons agricoles.

3.2.2.1. Durées de la petite saison agricole dans la commune de Kétou

Les caractéristiques de la longueur de la petite saison agricole seront aussi analysées. Ces réalités des chiffres permettent de dégager la longueur moyenne de la petite saison agricole qui est 46 jours dans la commune de Kétou.

Tableau VII: Synthèse des statistiques relatives à la durée de la petite saison agricole dans la Commune de Kétou

	Longueur de saison (jours)
Date/durée moyenne	46
Ecart-type	13
Valeur maximale	78 (2010)
Valeur minimale	12 (1967)
2 années sur 10	43
5 années sur 10	32
8 années sur 10	23

Source des données: ASECNA (1951-2010)

La petite saison agricole la plus longue est de 78 jours et est survenue en 2010. Alors que la petite saison la plus courte est enregistrée en 1967 et compte 12 jours. Il est important de noter que sur une proportion de 8 années sur 10 (80 %) la durée de la seconde saison est 23 jours. Avec une telle proportion, il est quasi

impossible de voir réussir cette seconde saison pluvieuse. Les paysans sont obligés de se tourner vers des solutions empiriques à savoir : des cérémonies aux divinités, semis multiples, semis échelonnés, sollicitation des faiseurs de pluie, associations culturelles (Afouda et *al.*, 2014). De plus, cette dynamique de la longueur de la petite saison agricole qui met à mal les activités agricoles se révèle à travers la valeur élevée de l'écart-type qui est de 13.

La figure 20 montre la relation entre la date de début de la petite saison des pluies et la longueur de la petite saison.

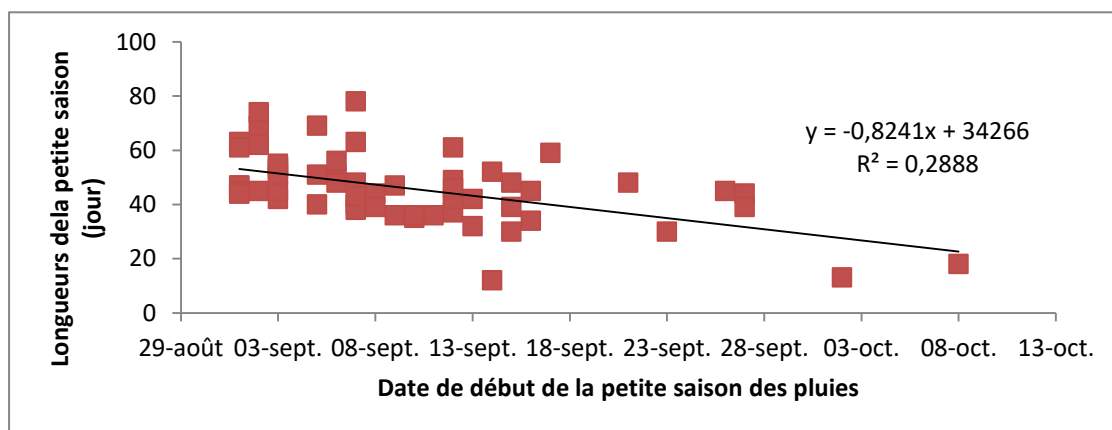


Figure 20: Relation entre la longueur et la date de début de la petite saison pluvieuse

Source des données: ASECNA (1951-2010)

La valeur négative du coefficient de régression linéaire qui est de -0,82 indique que les deux variables (longueur et date) évoluent en sens inverse. Mais, la faible valeur du coefficient de détermination estimée à 29 % montre qu'il n'y a pas de relation entre les longueurs et les dates de début de la petite saison agricole dans le secteur d'étude. Ainsi une petite saison des pluies démarrée à la hâte ou tardif ne conditionne pas sa longueur.

3.2.2.2. Typologie des précipitations journalières de la petite saison des pluies

La figure 21 montre l'évolution des typologies des précipitations journalières de la petite saison des pluies.

Elle révèle une variation des différentes classes du nombre de jours de pluie. Elles sont définies lors de la petite saison des pluies durant la période d'étude dans la commune de Kétou.

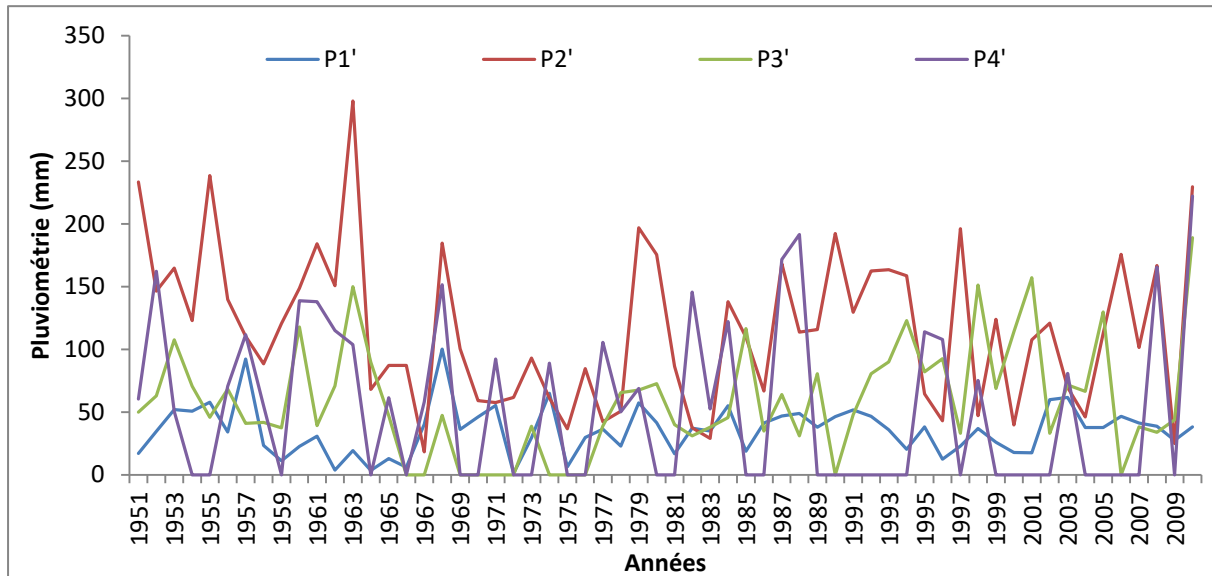


Figure 21: Evolution du nombre de jours de pluies de la petite saison pluvieuse dans la commune de Kétou

Source des données: ASECNA (1951-2010)

Ainsi, il est constaté une prédominance des précipitations comprises entre 10,1 et 30 mm (PP2) soit 47 % des précipitations de la petite saison agricole des 60 dernières années et des précipitations comprises entre 30,1 et 50 mm (PP3) à un pourcentage de 9 %. La précipitation supérieure à 50 mm est la plus faible avec 2 % des 60 ans de la période d'étude. Concernant l'année 1983 qui est la plus sèche, la précipitation dominante est celle comprise entre 0,1 et 10 mm (PP1) dont 56 % des 4 typologies et celle comprise entre 30,1 mm et 50 mm (PP3) avec 0 %. Pour l'année 1963 qui est la plus humide, 64 % des précipitations sont celles comprises entre 10,1 et 30 mm (PP2) et celles comprises entre 30,1 et 50 mm (PP3) est de 18 %. Alors l'absence des pluies comprises entre 30,1 mm et 50 mm (PP3) lors de la petite saison des pluies occasionne des années sèches, ce qui expliquerait l'utilisation des semences améliorées de la part des paysans dans la commune de Kétou.

3.2.2.3. Typologie des séquences sèches de la petite saison des pluies

La typologie des séquences sèches de la petite saison agricole est présentée par la figure 22.

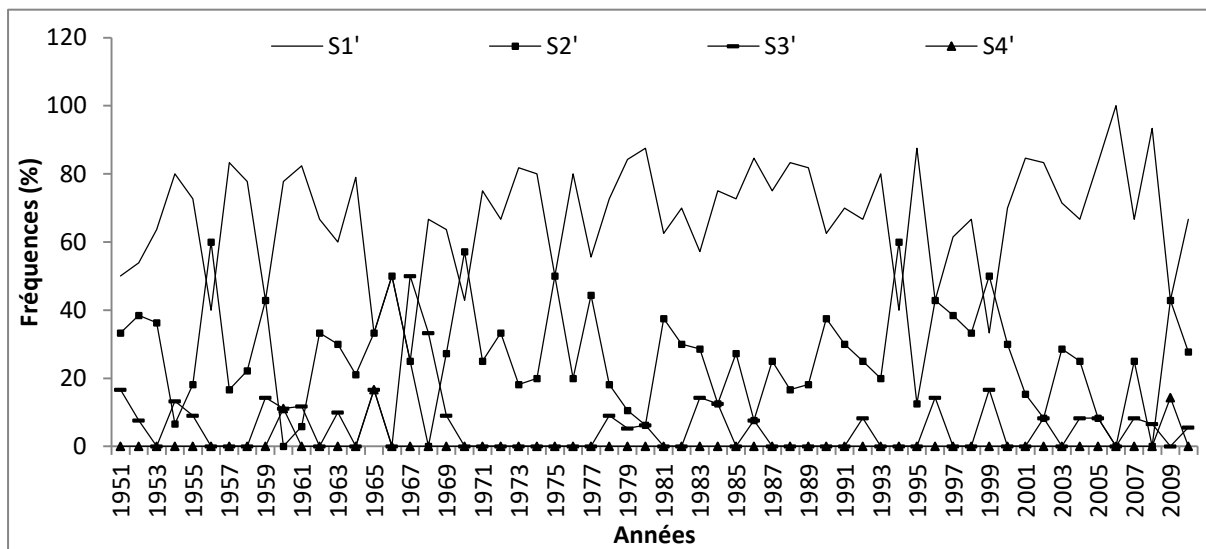


Figure 22: Fréquence des séquences sèches de la petite saison pluvieuse dans la commune de Kétou

Source des données: ASECNA (1951-2010)

Les séquences sèches de type S1 (1 à 3 jours) et S2 (4 à 7 jours) sont les plus importantes lors de la petite saison des pluies soit une moyenne respective de 62 % et 30 % des 60 années de la période d'étude. Il est aussi remarqué la présence de la classe de la séquence sèche S3 à un taux de 6 %, ce qui est qualifié d'épisodes secs les plus sévères par Zakari *et al.*, (2012) et intervient en générale en plein milieu de la saison agricole. Les années 1980,1997 et 2007 sont les plus touchées par la séquence S1 de la petite saison agricole (1 à 3 jours) respectivement à des taux de 80 % pour les deux premières années et à 100 % pour la dernière année. Quant aux épisodes de classe S4 leurs fréquences sont très faibles soit un taux de 2 % sur les 60 années. Les années les plus touchées par cette dernière sont : 1959 à 11 % ; 1961 à 10 % et 1964 avec 14 %. La présence de ces séquences sèches expliquerait les nombreux échecs remarqués dans les semis et amène les paysans à adopter des semis multiples et répétés comme mesures d'adaptation pour faire face aux épisodes secs qui persistent au cœur de la petite saison agricole dans la commune de Kétou.

3.2.2.4. Evolution des fréquences des séquences sèches et humides de la petite saison agricole

De même que la grande saison agricole, la petite saison pluvieuse est aussi touchée par la diminution des jours de pluie. De 1951 à 1970 et de 1971 à 1990, il est constaté une augmentation de cinq (5) pentades des jours de pluies (25 jours), alors que pour les périodes 1971 à 1990 et 1991 à 2010, il est constaté une diminution de 15 pentades (75 jours).

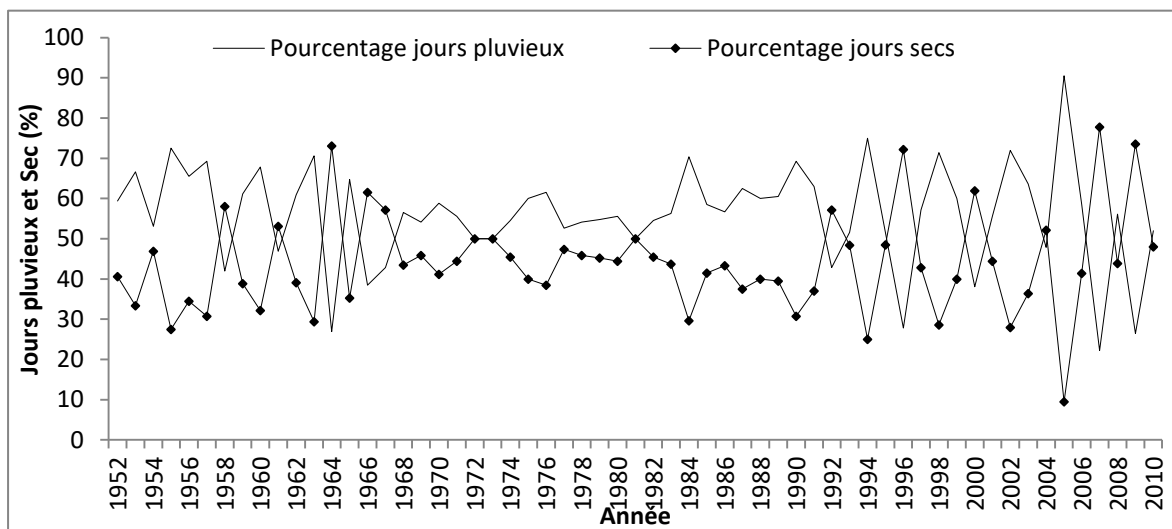


Figure 23: Fréquences des séquences sèches et humides de la petite saison agricole

Source des données: ASECNA (1951-2010)

Ces diminutions des fréquences des jours pluvieux peuvent s'expliquer par une prolifération des séquences sèches ce qui est préjudiciable pour le bon déroulement des saisons agricoles. De plus, elles provoquent l'insuffisance hydrique pour les cultures agricoles. La pleine saison des pluies est donc réduite et s'arrête de façon brutale.

3.2.2.5. Variabilité des totaux pluviométriques et des durées de la petite saison agricole des sous périodes (1951-1970 ; 1971-1990 et 1991-2010)

La variabilité interannuelle des longueurs de la grande saison pluvieuse et des totaux saisonniers de pluies basés sur les sous-périodes étudiées P1 (1951-1970), P2 (1971-1990) et P3 (1991-2010) sont illustrés dans les figures 24 et 25.

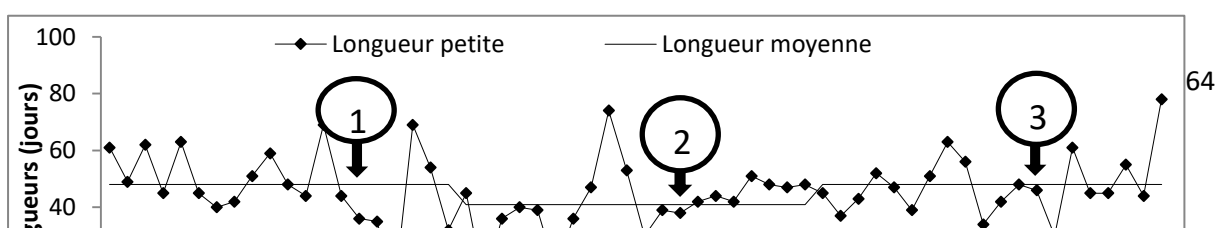


Figure 24 : Variabilité interannuelle de la durée de la petite saison agricole
Source des données: ASECNA (1951-2010)

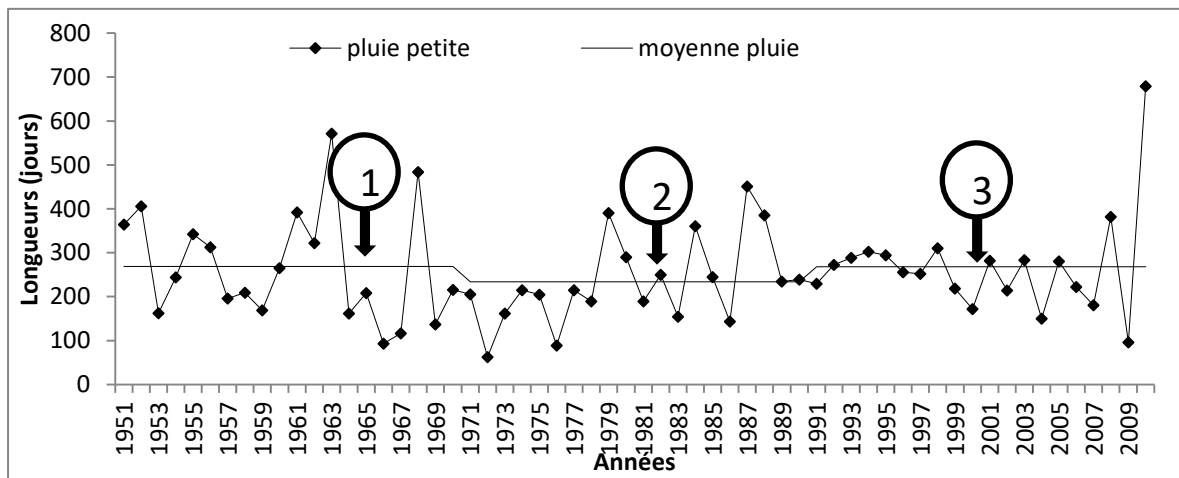


Figure 25: Variabilité interannuelle de la pluviométrie de la petite saison agricole

Source des données: ASECNA (1951-2010)

En effet, la sous période 1951 à 1970 (P1) de la petite saison agricole d'une part est caractérisée par une durée moyenne de 48 jours avec une pluviométrie moyenne de 268,385 mm. D'autre part, les moyennes de la pluviométrie et de la longueur sont respectivement de 233,72 mm et 41 jours pour la sous période 1971 à 1990 (P2) dans la commune de Kétou. Par contre, la sous période 1991 à 2010 (P3) a enregistré une durée moyenne de 48 jours et une pluviométrie moyenne de 268,285 autour desquelles fluctuent respectivement les différentes durées et pluviométries annuelles. Alors, il est constaté une baisse drastique de la pluviométrie au cours de la sous période 1971-1990 (P2) par rapport à celle précédente (1951-1990). Cette baisse est de l'ordre de 34,66 mm soit une moyenne de 1,73 mm/an. Le même constat est fait pour la durée moyenne de la

même période. Au cours de la dernière période P3 (1991-2010), il est constaté une reprise significative de la durée moyenne de la petite saison agricole et de la pluviométrie par rapport à la sous période P2 (1971 à 1990). En définitive, les longueurs de la petite saison agricole et leurs hauteurs saisonnières de pluie sont restées généralement très variable lors des différentes sous périodes. La sous période de 1971 à 1990 a été la plus touchée par les restrictions pluviométriques et le raccourcissement de la durée de la petite saison. Ces constats ont déjà été relevés en Afrique de l'ouest par Boko, 1988 ; Afouda, 1990 ; Diop, 1996 ; Houndénou, 1999 Sultan *et al.*,2001; Goula *et al.*,2006 ; Kouassi *et al.*,2008 ; Sané *et al.*, 2008 ; Yabi *et al.*,2013; Issa, 2012. .

Conclusion partielle

Ce chapitre a permis de mieux appréhender les dynamiques des caractéristiques des régimes pluviométriques saisonniers dans la commune de Kétou ce qui se manifestent par les fluctuations du régime pluviométrique, l'irrégularité dans les dates de démarrage et de fin des saisons agricoles et le raccourcissement des durées de la petite et de la grande saison pluvieuses. Ces résultats obtenus, sont corroborés par l'apparition de manière récurrente des séquences sèches au cœur des épisodes pluvieuses.

CHAPITRE IV : INCIDENCES DES PREDICTEURS SAISONNIERS DES PLUIES SUR LA PLUVIOSITE SAISONNIERE

Ce chapitre a pour but spécifique d’appréhender les influences des caractéristiques saisonnières des pluies sur la pluviosité saisonnières dans la commune de Kétou.

4.1. Détermination de l’impact des paramètres clés de la grande saison agricole sur le régime pluviométrique saisonnier

L’application de la méthode de l’analyse en composantes principales normées (ACPN) à 15 variables qui sont le total des pluies de la grande saison agricole (TPG), la moyenne journalière des précipitations de la grande saison agricole (MJPJG), le nombre total de jours de pluie de la grande saison agricole (NJPTG), les différentes classes définies en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur définie pendant la grande saison agricole, P1 (1 à 10 mm), P2 (10 à 30 mm), P3 (30 à 50 mm) et P4 (>50 mm), les classes des séquences sèches définies en fonction du nombre de jours consécutifs sans pluie au cours de la grande saison agricole c’est-à-dire (S1) la classe des séquences sèches de durée comprise entre 1 et 3 jours, (S2) classe des séquences sèches de durée comprise entre 4 et 7 jours, (S3) classe des séquences sèches de durée comprise entre 8 et 14 jours, (S4) classe des séquences sèches de durée supérieure à 14 jours, le nombre de jours sans pluie (NJSP), la date de début de la grande saison agricole (Dd), la date de fin de la grande saison agricole (Df) et la longueur de la grande saison agricole (Lg), ont donné les résultats relatifs aux éléments qui constituent la base des interprétations. Les résultats matriciels présentés sont la matrice de corrélations, la matrice des composantes et la matrice de valeurs propres.

Dans le tableau 10, les qualités de représentations permettent de répondre à la question de savoir dans quelle mesure les variables de départ sont prises en compte par les variables extraites. Ainsi, 98 % du total des pluies de la grande saison agricole (TPG) est prise en compte par l’une des variables extraites, 90 %

de la moyenne journalière des précipitations de la grande saison agricole (MJPG) est prise en compte par l'une des variables extraites, 90 % du nombre total de jours de pluie de la grande saison agricole (NJPTG) est prise en compte par l'une des variables extraites, respectivement 72 %, 73 %, 50 %, 73 % des différentes classes définies en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur définies pour la grande saison pluvieuse, P1 (1 à 10 mm), P2 (10 à 30 mm), P3 (30 à 50 mm) et P4(>50 mm) sont prises en compte par l'une des variables extraites.

Tableau VII: Quantités de représentations pour la grande saison agricole

	Initial	Extraction
TPG	1,000	,983
MJPG	1,000	,907
NJPTG	1,000	,907
P1	1,000	,724
P2	1,000	,732
P3	1,000	,501
P4	1,000	,729
S1	1,000	,877
S2	1,000	,286
S3	1,000	,761
S4	1,000	,892
NJSP	1,000	,934
Dd	1,000	,665
Df	1,000	,821
LG	1,000	,958

Les classes des séquences sèches définies en fonction du nombre de jours consécutifs sans pluie au cours de la grande saison agricole (S1) c'est-à-dire la classe des séquences sèches de durée comprise entre 1 et 3 jours, (S2) classe des séquences sèches de durée comprise entre 4 et 7 jours, (S3) classe des séquences sèches de durée comprise entre 8 et 14 jours, (S4) classe des séquences sèches de durée supérieure à 14 jours sont pris en compte par l'une des variables extraites à des proportions respectives de 88 %, 29 %, 76 % et 89 %, 93 % du nombre de jours sans pluie (NJSP) est pris en compte par l'une des variables extraites, 66 % de la date de début de la grande saison agricole (Dd) est pris en

compte par l'une des variables extraites, 82 % de date de fin de la grande saison agricole (Df) est pris en compte par l'une des variables extraites et 96 % de la longueur de la grande saison agricole (Lg) est prise en compte par l'une des variables extraites.

4.1.1. Matrices de corrélation de la grande saison agricole exprimant les différentes corrélations entre les variables analysées à la station pluviométrique de Kétou

Le tableau 9, présente les matrices de corrélation exprimant les différentes corrélations entre les variables de la grande saison pluviométrique analysées à la station pluviométrique de Kétou. Cette analyse a pour but de vérifier le caractère redondant des variables retenues.

Du tableau 9, il en ressort que la majeure partie des valeurs de corrélation sont relativement faibles. En effet, plus de 80 % des coefficients de corrélation sont inférieurs à 0,70. Alors, les variables analysées ne sont pas fortement corrélées entre elles. Ce qui réduit significativement la redondance de l'information et justifie du même coup la pertinence dans le choix de ces variables pour mener l'étude. Les fortes corrélations constatées lient des variables de classe différente et aussi les variables de même classe c'est-à-dire d'une part, les variables qui caractérisent le comportement de la grande saison des pluies et les variables relatives aux précipitations et d'autre part les variables liées à la fois aux précipitations et les variables qui caractérisent le comportement de la grande saison des pluies.

Tableau IX: Matrice de corrélations calculées entre les variables analysées de la grande saison agricole à la station pluviométrique de Kétou

	TPG	MJPG	NJPTG	P1	P2	P3	P4	S1	S2	S3	S4	NJSP	Dd	Df	LG
TPG	1,000														
MJPG	,572	1,000													
NJPTG	,847	,072	1,000												
P1	,532	-,132	,718	1,000											
P2	,817	,280	,791	,464	1,000										
P3	,651	,440	,536	,237	,371	1,000									
P4	,704	,675	,424	,198	,380	,161	1,000								
S1	,808	,224	,842	,607	,771	,512	,413	1,000							
S2	,238	,015	,291	,301	,185	,193	,086	,059	1,000						
S3	,264	,156	,189	,162	,237	,149	,179	-,008	,113	1,000					
S4	,003	,115	-,072	-,073	-,122	,119	,049	,000	-,171	-,103	1,000				
NJSP	,859	,244	,889	,673	,797	,561	,439	,927	,378	,209	-,015	1,000			
Dd	-,340	-,037	-,397	-,283	-,324	-,220	-,160	-,242	-,203	-,479	,098	-,367	1,000		
Df	,798	,257	,780	,688	,695	,510	,439	,720	,376	,297	,123	,835	-,125	1,000	
LG	,819	,230	,830	,702	,727	,525	,438	,708	,406	,469	,056	,863	-,571	,886	1,000

4.1.2. Valeurs propres des composantes principales de la grande saison agricole à la station pluviométrique de Kétou

Le tableau 10 présente les résultats des calculs sous le logiciel SPSS pour l'analyse en composantes principales. Les valeurs propres indiquent la part de variation expliquée par chaque axe factoriel autrement dit, les valeurs propres et les vecteurs propres quantifient la part de l'information expliquée par les différents axes. C'est à partir des valeurs propres que l'on peut décider du nombre d'axes que l'on va conserver et sur lesquels on va projeter le nuage de lignes et le nuage de colonnes.

Tableau X : Valeurs propres de la grande saison agricole sur les quatre (4) premières composantes principales à la station pluviométrique de Kétou

	F1	F2	F3	F4
Valeurs propres	7,45	1,76	1,43	1,03
% Total valeur propre	49,66	11,72	9,52	8,86
% de la variance	49,68	11,76	9,52	6,89
% cumulé	49,68	61,43	70,96	77,85

Dans le cadre de cette étude sur l'analyse des caractéristiques clés de la grande saison agricole et de leurs impacts sur la pluviométrie saisonnière, les composantes principales qui ont des valeurs propres supérieures ou égales à 1 sont considérées comme significatives. Pour la grande saison agricole, uniquement les quatre premières composantes remplissent cette condition. Les résultats indiquent que les pourcentages des variances exprimées cumulées par les quatre premiers facteurs est de 77,85 %. En effet, dans le cadre d'une ACPN, 75 % représente la valeur de référence acceptable. Donc, les informations relatives aux matrices des données sont contenues dans les quatre premiers facteurs.

4.1.3. Facteurs d'influences de la pluviométrie de la grande saison agricole dans la commune de Kétou

Ici, le tableau de la matrice des composantes présente les coefficients de

saturation (tableau 11). L'analyse des composantes F1, F2, F3 et F4 permet de rendre compte de manière satisfaisante de la structure des données relatives à la grande saison agricole.

Tableau XI: Matrice des composantes de la grande saison agricole

	Composante			
	F1	F2	F3	F4
NJSP	-,952	-,086	,145	-,021
TPG	,949	,269	-,015	-,099
LG	,936	-,154	-,155	,187
NJPTG	,918	-,191	,161	-,041
Df	,884	-,022	,152	,128
S1	-,857	,024	,366	-,086
P2	,831	-,017	,059	-,192
P1	,692	-,448	,203	,050
P3	,614	,242	,029	,255
S2	,353	-,342	-,187	-,094
MJPG	,362	,829	-,265	-,135
P4	,555	,561	-,182	-,268
S3	,329	-,118	-,771	,212
Dd	-,437	,291	,599	-,173
S4	-,010	,380	,251	-,827

Les composantes principales F1, F2, F3 et F4 déterminent les facteurs qui définissent à la fois les caractéristiques clés de la grande saison des pluies ((S1) la classe des séquences sèches de durée comprise entre 1 et 3 jours, (S4) classe des séquences sèches de durée supérieure à 14 jours, le nombre de jours sans pluie (NJSP), la date de fin de la grande saison agricole (Df) et la longueur de la grande saison agricole (Lg)) et les facteurs liés aux régimes pluviométriques saisonniers de cette même saison (le total des pluies de la grande saison agricole (TPG), le nombre total de jours de pluie de la grande saison agricole (NJPTG), la moyenne journalière des précipitations de la grande saison agricole (MJPG) et la classe définie en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur définies pendant la grande saison agricole, P2 (10 à 30 mm)). Les facteurs qui définissent les caractéristiques clés de la grande saison des pluies sont majoritairement caractérisés par des valeurs négatives. Ainsi donc, (S1) la classe des séquences sèches de durée comprise entre 1 et 3 jours, (S4) classe des séquences sèches de

durée supérieure à 14 jours, le nombre de jours sans pluie (NJSP) (valeur négative) sont opposés à la date de fin de la grande saison agricole (Df) et la longueur de la grande saison agricole (Lg) (valeur positive). Le regroupement des facteurs en communauté est représenté sur le diagramme des composantes (figure 26) et montre que le groupe de ces facteurs évoluent de manière divergente. Ceci montre que les effets des facteurs qui sont caractérisés par des valeurs positives (Df ; Lg) sont antagonistes avec les classes des séquences sèches S1, S3, S4 et NJSP qui ont des valeurs négatives.

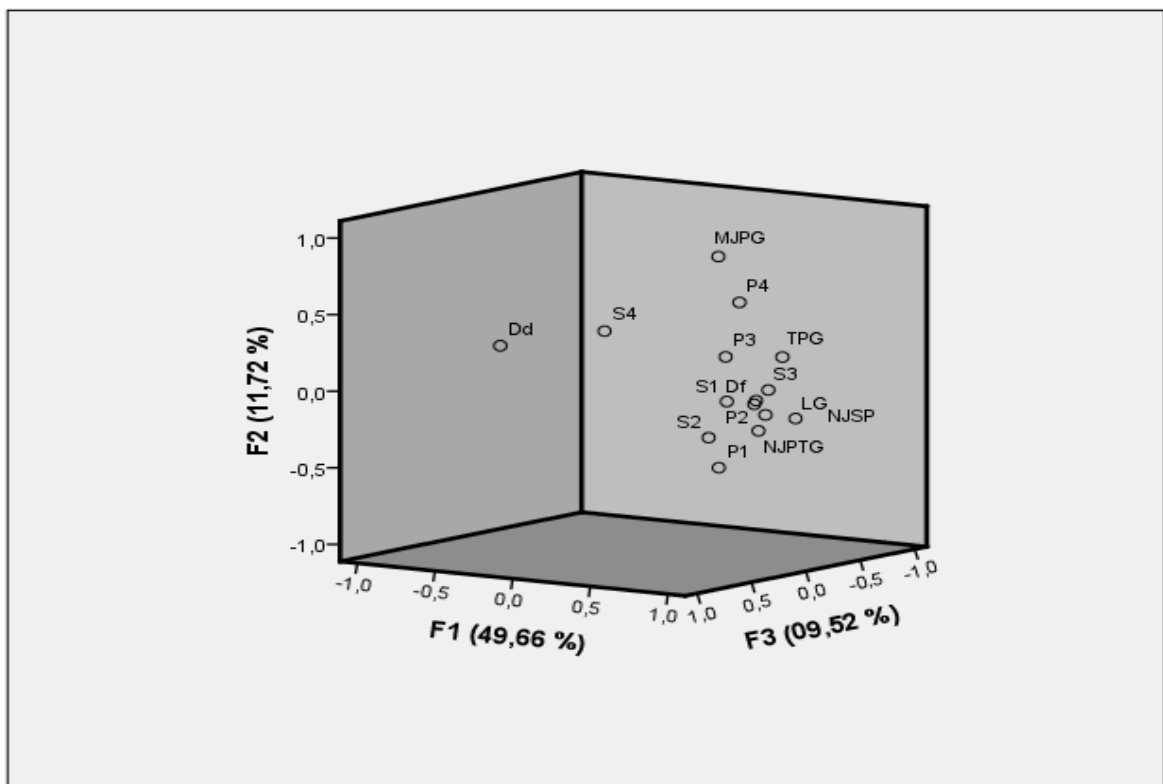


Figure 26: Diagramme des composantes de la grande saison agricole dans l'espace après rotation

Les résultats obtenus révèlent d'une part, que les pluies durant la grande saison des pluies sont fortement liées à la quantité total des pluies de la grande saison agricole (TPG), au nombre total de jours de pluie de la grande saison agricole (NJPTG), à la moyenne journalière des précipitations de la grande saison agricole (MJPG) et la classe définie en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur comprise de 10 à 30 mm (P2). D'autre part, les résultats montrent les

facteurs qui influencent le régime pluviométrique de la grande saison des pluies. Ces facteurs concernent la classe des séquences sèches de durée comprise entre 1 et 3 jours (S1), le nombre de jours sans pluie (NJSP) du fait de leurs corrélations très négatives avec le facteur F1 et la longueur de la grande saison agricole (Lg) corrélée très positivement avec le facteur F1. Il y a aussi la date de fin de la grande saison agricole (Df) qui est corrélée de façon positive à F2. La classe des séquences sèches de durée supérieure à 14 jours (S4) est corrélée de façon négative à F4 et en fin la classe des séquences sèches de durée comprise entre 8 et 14 jours (S3) est également corrélée négativement avec le facteur 3.

4.2. Détermination de l'impact des paramètres clés de la petite saison agricole sur le régime pluviométrique saisonnier

Au même titre que la grande saison agricole, l'application de la méthode de l'analyse en composantes principales normées (ACPN) à 15 variables a été effectuée sur la petite saison agricole. Ces variables concernent le total des pluies de la petite saison agricole (TPP), la moyenne journalière des précipitations de la petite saison agricole (MJPP), le nombre total de jours de pluie de la petite saison agricole (NJPTP), les différentes classes définies en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur définies pendant la petite saison agricole, P1 (1 à 10 mm), P2 (10 à 30 mm), P3 (30 à 50 mm) et P4 (>50 mm), les classes des séquences sèches définies en fonction du nombre de jours consécutifs sans pluie au cours de la petite saison agricole à savoir : (S1) la classe des séquences sèches de durée comprise entre 1 et 3 jours, (S2) la classe des séquences sèches de durée comprise entre 4 et 7 jours, (S3) la classe des séquences sèches de durée comprise entre 8 et 14 jours, (S4) la classe des séquences sèches de durée supérieure à 14 jours, le nombre de jours sans pluie (NJSP) et la date de début de la petite saison agricole (Dd), la date de fin de la petite saison agricole (Df) et la longueur de la petite saison agricole (Lg), ont donné les résultats relatifs aux éléments qui constituent la base des interprétations. Les résultats matriciels présentés dans cette partie concernent la

matrice de corrélations, la matrice des composantes et la matrice de valeurs propres.

La qualité de la représentation a permis ici de répondre à la question de savoir à quelle proportion les variables de départ sont prises en compte par les variables extraites.

Tableau XII: Quantités de représentations pour la petite saison agricole

	Initial	Extraction
TPP	1,000	,942
MJPP	1,000	,759
NJPTP	1,000	,597
P1	1,000	,773
P2	1,000	,674
P3	1,000	,710
P4	1,000	,754
S1	1,000	,930
S2	1,000	,782
S3	1,000	,724
S4	1,000	,857
NJSP	1,000	,944
Dd	1,000	,772
Df	1,000	,844
LP	1,000	,843

Ainsi, chaque variable extraite est prise en compte par l'une des dimensions extraites.

4.2.1. Matrice de corrélation de la petite saison agricole exprimant les différentes corrélations entre les variables analysées à la station pluviométrique de Kétou

L'analyse de la matrice de corrélation a pour but de vérifier le caractère diffus des variables relatives à la petite saison agricole. Cependant, les corrélations inférieures à 0,70 ont une proportion de 96,44 %. Alors, les variables analysées ne sont donc pas fortement corrélées entre elles. Les corrélations qui ont des valeurs les plus élevées concernent les variables de même classe et de classes différentes.

Tableau XIII: Matrice de corrélations calculées entre les variables analysées de la petite saison agricole à la station pluviométrique de Kétou

	TPP	MJPP	NJPTP	P1	P2	P3	P4	S1	S2	S3	S4	NJSP	Dd	Df	LP
TPP	1,000														
MJPP	,033	1,000													
NJPTP	,614	-,153	1,000												
P1	,328	-,177	,339	1,000											
P2	,735	-,062	,570	,170	1,000										
P3	,573	,067	,266	-,148	,287	1,000									
P4	,717	,133	,342	,265	,194	,171	1,000								
S1	,326	-,020	,396	,189	,196	,298	,173	1,000							
S2	,049	,137	,033	-,239	-,003	,229	,011	-,019	1,000						
S3	,221	,241	,119	,112	,228	,054	,132	,098	-,362	1,000					
S4	-,034	-,025	-,028	-,173	-,108	,058	,053	-,195	-,139	,065	1,000				
NJSP	,358	,059	,405	,110	,214	,371	,191	,953	,247	,125	-,169	1,000			
Dd	-,293	,060	-,313	-,238	-,235	-,246	-,092	-,341	-,209	,112	-,032	-,379	1,000		
Df	,637	-,100	,395	,150	,563	,435	,334	,133	-,080	,334	-,010	,149	,146	1,000	
LP	,718	-,123	,544	,294	,617	,524	,331	,358	,093	,178	,016	,399	-,631	,676	1,000

4.2.2. Valeurs propres des composantes principales de la petite saison agricole à la station pluviométrique de Kétou

Dans le cadre de l'ACPN, uniquement les composantes principales dont leurs valeurs propres sont supérieures ou égale à 1 ont été maintenues, car leur variance exprimée est de 79,37 % valeurs nettement supérieures au taux de référence pour un ACPN (75 %).

Tableau XIV : Valeurs propre de la petite saison agricole sur les six (6) premières composantes principales à la station pluviométrique de Kétou

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valeurs propres	4,84	1,95	1,52	1,39	1,10	1,08
% Total valeur propre	32,26	13	10,13	9,26	7,33	7,20
% de la variance	32,28	13,04	10,17	9,30	7,35	7,22
% cumulé	32,28	45,32	55,49	64,79	72,15	79,37

Ainsi, les six premiers facteurs renferment la majeure partie des informations liées aux matrices des données et vont être représentés (tableau 15).

4.2.3. Facteurs d'influences de la pluviométrie de la petite saison agricole dans la commune de Kétou

Les coefficients de saturation sont présentés dans le tableau de la matrice des composantes (tableau 15). Pour montrer de manière satisfaisante la structure des données de la petite saison agricole, l'analyse des composantes F1 et F5 a été réalisée. A cet effet, deux regroupements de facteurs ont été identifiés. Dans la composante principale F1 il a été identifié les facteurs aux valeurs positives et regroupant à la foi les caractéristiques de la petite saison des pluies (la longueur de la petite saison agricole (Lp)) et les facteurs du régime pluviométriques saisonniers de cette même saison (le total des pluies de la petite saison agricole (TPP), le nombre total de jours de pluie de la petite saison agricole (NJPTP) et la classe définie en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur définies pendant la petite saison agricole, P2 (10 à 30 mm)).

Tableau XV: Matrice des composantes de la petite saison agricole

	Composante					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
TPP	,903	,220	,150	-,051	,175	,152
LP	,868	,020	,056	-,251	-,148	-,007
NJPTP	,736	,025	-,191	-,132	,025	,001
P2	,716	,253	,053	-,161	,103	-,241
Df	,658	,490	,216	-,023	,047	-,347
NJSP	,619	-,595	-,110	,411	-,126	-,098
S1	,586	-,513	-,294	,433	-,179	-,133
P3	,583	-,154	,536	-,030	-,182	-,161
S2	,077	-,582	,494	-,246	,364	,039
Dd	-,473	,490	,152	,313	,248	-,355
P1	,364	,176	-,696	-,081	,212	,270
S3	,261	,487	-,025	,601	-,235	-,039
MJPP	-,048	-,040	,448	,600	,214	,386
S4	-,083	,242	,264	-,174	-,725	,408
P4	,528	,235	,077	,104	,302	,559

La composante principale F5 est déterminée par un facteur qui définit une caractéristique de la petite saison des pluies ((S4) classe des séquences sèches de durée supérieure à 14 jours) et se retrouve dans la valeur négative. Ainsi, ces deux regroupements ont des valeurs opposées du coup sont dans une situation antagoniste.

Les résultats issus de la première composante principale F1 montrent les différents paramètres liés aux précipitations de la petite saison agricole. Il s'agit du total des pluies de la petite saison agricole (TPP), du nombre total de jours de pluie de la petite saison agricole (NJPTP) et de la classe définie en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur définie pendant la petite saison agricole, P2 (10 à 30 mm) (figure 27).

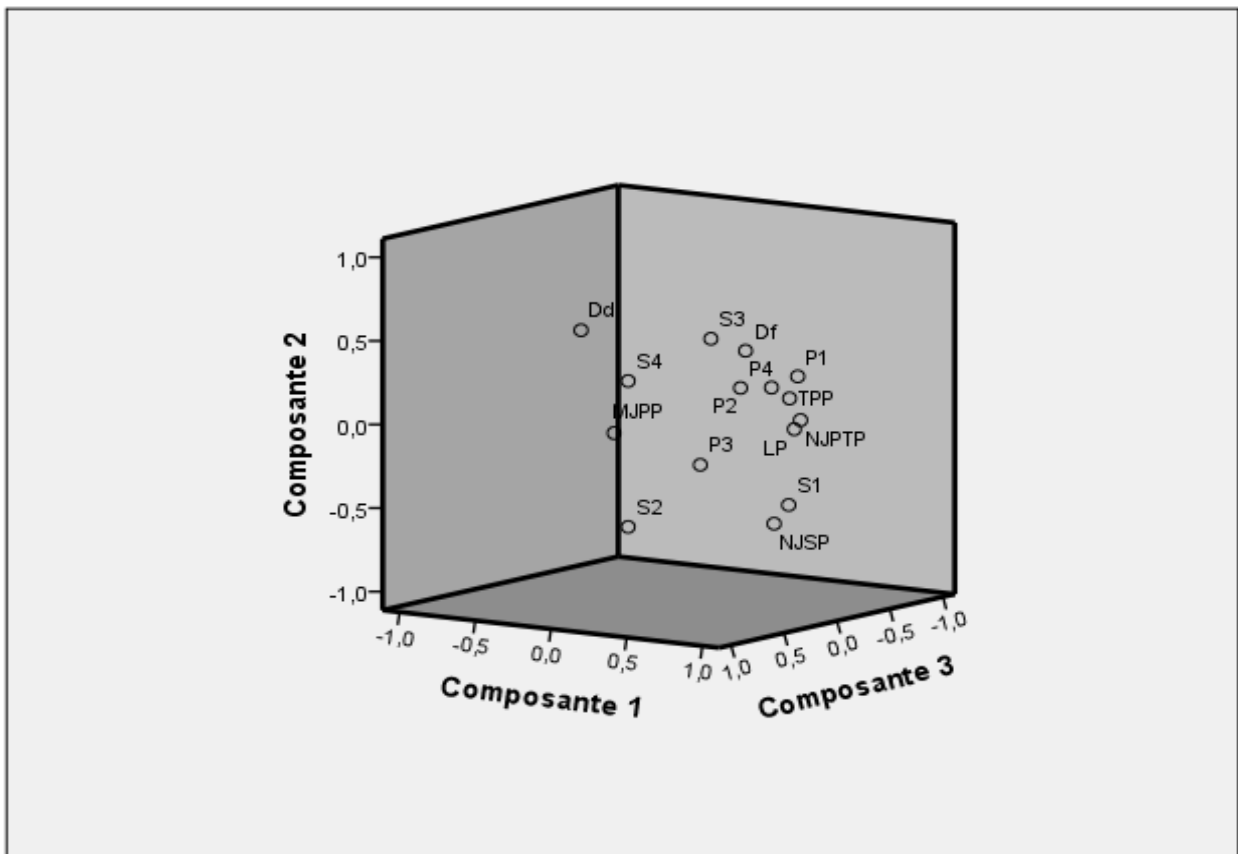


Figure 27: Diagramme des composantes de la petite saison agricole dans l'espace après rotation

Les divers résultats montrent aussi que la longueur de la petite saison agricole (Lp) et la classe des séquences sèches de durée supérieure à 14 jours (S4) sont des facteurs qui influencent la pluie pendant la petite saison agricole de même que les variables pluviométriques. En conséquence, l'influence de la longueur de la petite saison agricole (Lp) est plus remarquable sur la variabilité pluviométrique de la petite saison agricole du fait de sa corrélation très positive avec le facteur F1. Ensuite, vient la classe des séquences sèches de durée supérieure à 14 jours (S4) qui est corrélée de manière négative avec le facteur 5.

Conclusion partielle

Ce chapitre a permis de faire la synthèse des différentes perturbations auxquelles est confronté la pluviométrie durant la grande et la petite saison des pluies. La variation des pluies saisonnières est donc liée à la fréquence des précipitations mais aussi à la quantité des événements pluvieux dans la commune de Kétou.

CHAPITRE V : IMPACTS DE L'INSTABILITE INTRA-SAISONNIERE DES PLUIES SUR LES BESOINS EN EAU DES PRINCIPALES CULTURES AGRICOLES DANS LA COMMUNE DE KETOU

Ce chapitre est consacré à l'évaluation des répercussions de l'irrégularité de quelques prédictors saisonniers sur les cultures agricoles à faible infiltration racinaire. Pour cela, les cultures du maïs, de l'arachide, du niébé et de la tomate sont choisies en raison de la forte pratique de ces cultures par les paysans dans la zone d'étude. Les bilans potentiels sont calculés à partir de l'évapotranspiration potentielle (*ETP*) et les précipitations (*P en mm*). L'indice *I* de satisfaction des besoins en eau de ces principales cultures est évalué au pas de temps décadaire.

5.1. Bilans hydriques

L'évaluation du bilan hydrique fait remarquer des variations assez considérables à l'échelle temporelle dans la commune de Kétou au cours des périodes humides. Ces variations constituent des handicaps hydriques pour les plantes et pour leurs différentes phases phénologiques surtout que ce sont des plantes à faible implantation racinaire et à durée végétative courte.

5.1.1. Variation du bilan hydrique en année moyenne

Les résultats du bilan hydrique obtenus en moyenne entre les années 1965 à 2010 (cumul annuel) montrent une évolution simultanée de l'évapotranspiration potentielle (*ETP*), de l'évapotranspiration réelle (*ETR*) et de la pluviométrie. L'analyse de la figure 28 met en exergue une restriction de la pluviométrie dès la première décade du mois de novembre (2^{ème} décade de la grande saison sèche). Ainsi, la pluviométrie passe en moyenne de 64,19 mm en septembre (2^{ème} décade de la petite saison pluvieuse) à 11,23 mm au cours de la 2^{ème} décade de la grande saison sèche (1^{ère} décade de novembre) jusqu'à atteindre 1,99 mm lors de la 6^è décade de la grande saison sèche (2^{ème} décade de décembre). Cette diminution des précipitations dure jusqu'au mois de mars.

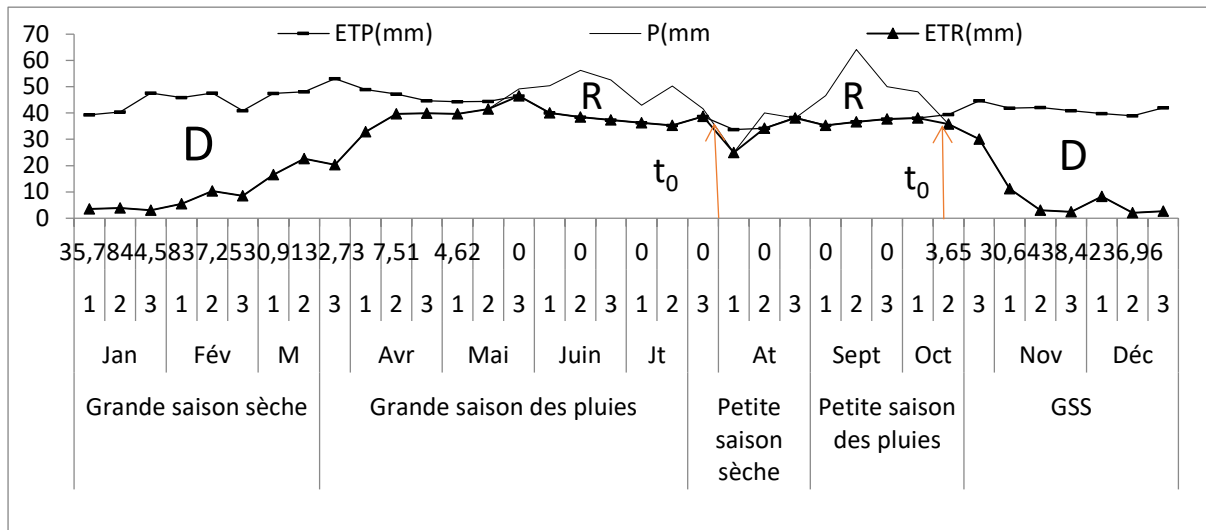


Figure 28: Bilan hydrique au pas décadaire en moyenne des années 1965-2010) à Kétou

Légende : D = déficit hydrique ou déficit agricole

R = reconstitution du bilan hydrique

Du coup, le déficit hydrique (déficit agricole) qui s'est annulé (00 mm) depuis la deuxième décennie du mois de mai est interrompu pendant la 1^{ère} décennie d'août qui coïncide avec la 2^{ème} décennie de la petite saison sèche. Les périodes de l'annulation du déficit hydrique ($ETP-ETR=00\text{ mm}$ ou $P>ETR/ETP$) constituent des périodes où s'effectuent la recharge de la réserve utile du sol. Au début de la grande saison pluvieuse, quand $P>ETP$ l'excédent sert à faire la reconstitution (R) du déficit hydrique jusqu'à atteindre la reconstitution maximale à la fin de la saison humide. Dans le cadre de ce mémoire la recharge maximale de la réserve utile du sol est considérée atteinte à la fin de la petite saison pluvieuse (2^{ème} décennie d'octobre). Rappelons que le cycle du bilan hydrique débute à un temps t_0 quand $ETP>P$ et en supposant que le réservoir sol est rempli avant cette date (1^{ère} décennie d'août) pour le premier cycle et de mi-octobre pour le second cycle, le déficit est en parti comblé par l'eau du sol obtenu lors de la période de recharge. L'incursion des déficits hydriques (déficits agricoles) au cœur de la grande saison des pluies en année moyenne jusqu'à 50 % des décades, peut être une situation préjudiciable pour les besoins en eau des différentes cultures causant du coup des stress hydriques pour les cultures à courte période végétative et à enracinement faible. Mais seule la petite saison agricole a

enregistré 20 % de déficit hydrique ce qui peut permettre un tant soit peu à sauver l'année agricole.

5.1.2. Analyse du bilan hydrique en année déficitaire

En dépit du bilan hydrique plus global en année moyenne analysé précédemment, il est important de suivre en continu le bilan hydrique en année agricole déficitaire. A cet effet, les années 1982-1983 dans la commune de Kétou (octobre 1982 à octobre 1983) ont été choisies et leurs bilans hydriques sont présentés dans la figure 29.

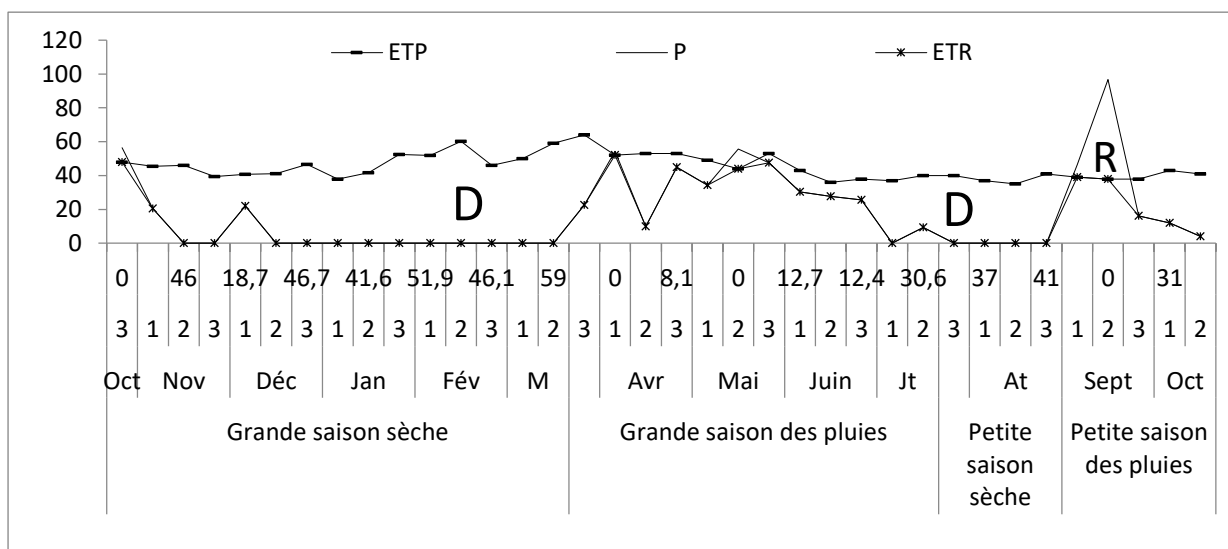


Figure 29: Bilan hydrique en année déficitaire au pas décadaire à Kétou (1982-1983)

Légende : D = déficit hydrique ou déficit agricole

R = reconstitution du bilan hydrique

Le suivi du bilan hydrique en cette année agroclimatique sèche (1982-1983) a permis de savoir que toute la période d'octobre à septembre a reçu une *ETP* équivalente à 1620,5 mm, une *ETR* égale à 548 mm et une précipitation de l'ordre de 636,6 mm. En conséquence, le surplus hydrologique ($S=P-ETR$) est de 88,6 mm. La spécificité de cette année décelée sèche est caractérisée par 83,33 % des décades de la grande saison des pluies qui ont des déficits hydriques. Durant cette grande période pluvieuse en pointe pour l'agriculture, il n'est enregistré que 362,2 mm de précipitation alors qu'en année moyenne elle

est de 579,91 mm causant ainsi un gap de 217,71 mm. En ce qui concerne la petite saison pluvieuse, seuls 40 % des décades ont leur déficit nul. Ainsi, cette recrudescence des déficits hydriques (déficit agricole) est une des spécificités en année agroclimatique sèche dans la commune de Kétou. Dans ces conditions, une bonne campagne agricole est compromise pour la grande et la petite saison des pluies. Ce constat corrobore les remarques faites par les paysans dans les travaux antérieurs menés par Afouda *et al.*, (2014) sur l'instabilité intra-saisonnière des pluies de la grande saison agricole dans la commune de Kétou. En dehors des années sèches, l'intérêt est aussi porté sur le comportement hydrique en année fortement arrosée.

5.1.3. Analyse du bilan hydrique en année excédentaire

La démarche dans cette partie consiste à déceler le comportement hydrique pendant une année fortement arrosée (1987-1988) dans la commune.

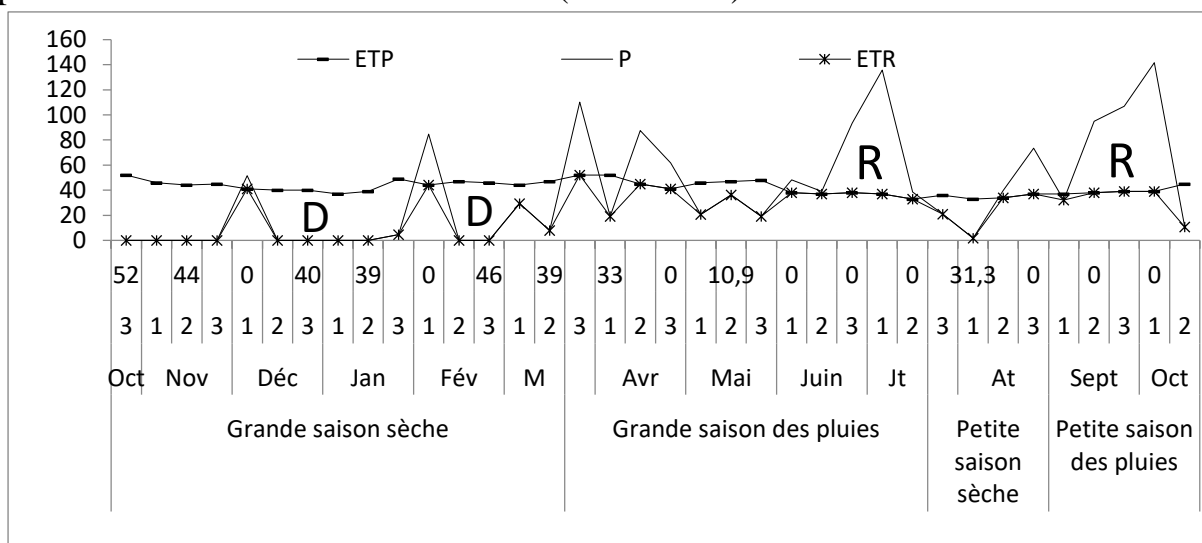


Figure 30: Bilan hydrique en année fortement arrosée au pas décadaire à Kétou (1987-1988)

Légende : D = déficit hydrique ou déficit agricole
R = reconstitution du bilan hydrique

En année agroclimatique fortement humide, les périodes de recharge hydrique sont présentes au cours de toute l'année agroclimatique même au cœur des saisons sèches. A l'intérieur de la grande saison sèche, 13,33 % des décades ont eu des recharges de la réserve utile du sol. De même, la petite saison sèche aussi

enregistre 50 % des décades en recharge de la réserve utile du sol. Il a été enregistré une persistance des recharges de la réserve utile du sol lors de la 2^{ème} décade du mois de décembre, de la 1^{ère} décade du mois de février alors considéré comme les mois les plus restrictifs du point de vue hydrique. De plus, l'analyse des données montre que la pluviosité en cette année agroclimatique (1987-1988) est excédante par rapport à la moyenne des années 1965 à 2010 soit 1038,56 mm en année moyenne (1965-2010) contre 1408,8 mm en année fortement arrosée (1987-1988) soit un excédent de 370,24 mm. Le surplus hydrologique (S) enregistré en année agroclimatique fortement humide de 1987 à 1988 est envisagé à 613,9 mm soit une ETR qui est 794,9 mm. Le surplus hydrologique (S) en année fortement arrosée qui est de 613,9 mm est largement au-dessus du surplus hydrologique en année moyenne couvrant de 1965 à 2010. Cette situation hydrique en année pluviométrique exceptionnelle dans la commune de Kétou peut causer des contraintes non négligeables pour les plantes à faibles enracinement et surtout contribuer à désorganiser le calendrier traditionnel des paysans. Les deux saisons agricoles ont été globalement touchées. Mais plus la petite saison des pluies. Ce qui peut alors occasionner des risques de profusions hydriques et d'inondations. Il reste alors à déterminer l'indice I de satisfaction des besoins en eau des cultures agricoles retenues pour cette étude à savoir le maïs, le niébé, l'arachide et la tomate en ces différentes années agroclimatologiques.

5.2. Besoins en eau des plantes cultivées (maïs, niébé, arachide, tomate)

Pour évaluer les besoins en eau des différentes plantes cultivées dans la commune de Kétou, l'approche de l'évaluation de l'indice de satisfaction des besoins en eau des plantes a été utilisée dans cette étude. Le principe repose sur les valeurs de I (indice de satisfaction des besoins en eau des plantes). Quand elles sont élevées (comprises entre 99 et 100), elles traduisent des conditions d'alimentation hydrique bonnes à très bonnes et des valeurs faibles à ceux-ci,

montrent des conditions d'alimentation hydrique médiocres voire mauvaises de la culture.

5.2.1. Indice I de satisfaction des besoins en eau des plantes cultivées

L'évaluation de l'indice de satisfaction hydrique a permis de catégoriser les conditions d'alimentations hydriques des différentes cultures (maïs, niébé, arachide et tomate) tout au long des saisons agroclimatiques. En effet, en année moyenne (1965 à 2010) les valeurs élevées de I comprises entre 99 et 100 pour le maïs traduisent des conditions d'alimentations hydriques bonnes voire très bonne. Ces valeurs élevées de l'indice I pour le maïs représentent 77 % des décades de la grande saison agricole (année moyenne). Elles sont réparties entre la 2^{ème} décade d'avril à la 2^{ème} décade de juillet. Durant la petite saison agricole, toute la période est favorable aux conditions d'alimentations hydriques bonnes voire très bonne (1^{ère} décade de septembre à la 2^{ème} décade d'octobre).

Tableau XVI: Indices I de satisfaction des besoins en eau de la tomate, maïs, arachide et niébé en année moyenne, sèche et très humide

Légende : PSA = Petite Saison Agricole

Mois	Décade	I en année moyenne (1965-2010) des cultures				I en année sèche (1982-1983) des cultures				I en année très humide (1987-1988) des cultures			
		Maïs	Niébé	Arachide	Tomate	Maïs	Niébé	Arachide	Tomate	Maïs	Niébé	arachide	Tomate
Mars	1	96,13	93,81	95,58	94,84	93,75	90	92,85	91,66	98,15	97,04	97,88	97,53
	2	96,82	94,92	96,37	95,77	92,62	88,2	91,57	90,16	95,12	92,2	94,42	93,5
	3	95,9	93,45	95,32	94,54	94,81	91,7	94,04	93,08	100	100	100	100
Avril	1	97,98	96,76	97,69	97,3	100	100	100	100	95,87	93,4	95,28	94,5
	2	99,06	98,49	98,92	98,74	94,62	91,4	93,85	92,83	100	100	100	100
	3	99,39	99,03	99,3	99,19	98,98	98,38	98,84	98,65	100	100	100	100
Mai	1	99,42	99,07	99,33	99,22	98,16	97,06	97,9	97,55	96,82	95,76	96,37	95,76
	2	99,63	99,41	99,57	99,5	100	100	100	100	98,63	98,18	98,44	98,18
	3	100	100	100	100	99,31	98,9	99,21	99,08	96,37	95,16	95,85	95,16
Juin	1	100	100	100	100	98,41	97,46	98,18	97,88	100	100	100	100
	2	100	100	100	100	98,96	98,34	98,81	98,61	100	100	100	100
	3	100	100	100	100	98,45	97,52	98,22	97,93	100	100	100	100
Juillet	1	100	100	100	100	95,37	92,6	94,71	93,83	100	100	100	100
	2	100	100	100	100	96,17	93,88	95,62	94,9	100	100	100	100
	3	100	100	100	100	95	92	94,28	93,33	98,11	97,48	97,84	97,48
Août	1	98,9	98,25	98,75	98,54	95,37	92,6	94,71	93,83	96,08	93,74	95,52	94,78
	2	100	100	100	100	95,62	93	95	94,16	100	100	100	100
	3	99,98	99,96	99,97	99,97	94,87	91,8	94,14	93,16	100	100	100	100
Septembre	1	100	100	100	100	100	100	100	100	99,4	99,4	99,31	99,2
	2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	3	100	100	100	100	97,26	95,62	96,87	96,35	100	100	100	100
Octobre	1	100	100	100	100	96,12	93,8	95,57	94,83	100	100	100	100
	2	99,54	99,27	99,47	100	95,38	92,62	94,72	93,85	95,71	93,94	95,1	94,28
	3	98,16	97,06	97,9	99,39	100	100	100	100	93,5	89,6	92,57	91,33

Aussi, les valeurs élevées de l'indice *I* qui conditionnent les alimentations hydriques bonnes ou très bonnes des cultures du niébé, d'arachide et de la tomate ont tous des proportions respectives en année moyenne (1965 à 2010) de l'ordre de 69 % des décades de la grande saison agricole. Toutes les décades de la petite saison agricole offrent des conditions d'alimentations hydriques bonnes voire très bonnes aux cultures du niébé, de l'arachide et de la tomate. Ainsi, seule la grande saison agricole n'offre pas des conditions d'alimentations hydriques optimales pour les cultures en année moyenne (1965 à 2010). Les cultures comme le niébé, l'arachide et de la tomate sont les plus touchées. Les valeurs élevées de l'indice *I* comprises entre 99 et 100 de satisfaction des besoins en eau des plantes cultivées dans la commune de Kétou et retenues pour cette étude en année moyenne sont toutes repérées au sein de la grande et petite saison agricole. En ce qui concerne l'année agroclimatique considérée comme sèche (1982-1983), l'indice *I* qui conditionne les alimentations hydriques bonnes ou très bonnes des cultures du maïs, de l'arachide et de la tomate représente respectivement 23 % des décades de la grande saison agricole (1^{ère} décade d'avril ; 2^{ème} et 3^{ème} décades de mai). Pour le niébé, 15 % des décades de la grande saison agricole lui permettent d'avoir des conditions d'alimentations hydriques bonnes voire très bonnes en année déficitaire (1982-1983). Durant cette même année sèche, 40 % des décades de la petite saison pluvieuse donnent des conditions d'alimentations hydriques bonnes voire très bonnes à toutes les différentes cultures retenues. Ces décades concernent la 1^{ère} et la 2^{ème} décade de septembre. Les résultats obtenus traduisent des conditions hydriques drastiques pour les cultures au cours des années sèches et va conduire aux échecs phénologiques des différentes cultures agricoles. Pour la saison agroclimatique excessivement pluvieuse (1987-1988), il est enregistré 44,44 % des décades où les conditions hydriques sont bonnes ou très bonnes pour le maïs, le niébé, l'arachide et la tomate tout au long de l'année. A l'intérieur de la grande saison pluvieuse pour cette année à forte pluviométrie, il est décompté 69,23 % de

décades qui sont caractérisées par des périodes bonnes en condition hydrique pour les plantes retenues dans la commune de Kétou. Le taux de décades favorable aux conditions hydriques durant la petite saison agricole est de 80 %. Ce taux est partagé par les cultures agricoles du maïs, du niébé, de l'arachide et de la tomate. Les décades où les conditions hydriques sont mauvaises pendant l'année agroclimatique très humide concernent les 1^{ères} décades de mars et d'avril et les trois décades de mai (la grande saison agricole). La petite saison agricole est moins touchée seule la 2^{ème} décade d'octobre est concernée.

Conclusion partielle

Il est nécessaire de retenir d'une part, qu'au terme de l'étude sur le bilan hydrique dans la commune de Kétou qu'il y a des anomalies qui entravent le bon déroulement des saisons agricoles. D'autre part, l'analyse des résultats sur l'indice de satisfaction des besoins en eau des différentes cultures agricoles retenues ont mis en évidence leurs contraintes hydriques majeures.

Conclusion générale

L'approche utilisée au cours de l'analyse de la qualité des saisons agricoles a permis d'identifier l'évolution des caractéristiques saisonnières des pluies dans la commune de Kétou. Ainsi, au cours de l'analyse de la pluviométrie, il se révèle une variabilité temporelle réelle des abats de précipitation à l'échelle annuelle. En effet, le test de Pettitt a permis de détecter une rupture au niveau de la pluviométrie. Celle-ci se situe autour de l'année 1963. La recherche de rupture a été aussi menée sur les séries de dates de début et de fin de la grande et de la petite saison agricole. Ce test de Pettitt a fait révéler une rupture en 1955 sur les dates de débuts de la grande saison agricole, en 1964 pour les dates de début et fin de la petite saison agricole. Aussi, la durée de la grande saison agricole est instable et fluctue entre 51 et 243 jours. La petite saison également subit des perturbations liées à sa longueur. Ce dernier varie entre 78 et 12 jours. Pour toucher du doigt les caractéristiques de différentes saisons agricoles perturbatrices de la pluviométrie saisonnière dans la commune de Kétou, l'analyse en composantes principales normées a été initiée. Alors, quinze variables ont été retenues. Ces variables sont afférentes aux caractéristiques de la grande et de la petite saison agricole et à la pluviométrie saisonnière. Quatre composantes sont extraites à la suite de l'analyse en composantes principales normées par rapport à la grande saison et six sont extraites pour la petite saison des pluies. L'analyse en composantes principales normées s'est déroulée sur la période 1951 à 2010. Pour la grande saison agricole, les quatre composantes ont été utilisées et deux composantes pour la petite saison agricole (F1, F5) afin d'obtenir les résultats. Il ressort en définitif de l'analyse en composantes principales normées que les pluies durant la grande saison sont fortement liées à la quantité total des pluies de la grande saison agricole, au nombre total de jours de pluie de la grande saison agricole, au nombre de jours sans pluie, à la moyenne journalière des précipitations de la grande saison agricole et la classe définie en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur comprise entre 10 et

30 mm. La pluviométrie de la grande saison agricole dans la commune de Kétou est influencée par les facteurs qui concernent la classe des séquences sèches de durée comprise entre 1 et 3 jours, la longueur de la grande saison agricole, la date de fin de la grande saison agricole, la classe des séquences sèches de durée supérieure à 14 jours, la classe des séquences sèches de durée comprise entre 8 et 14 jours. Concernant la petite saison agricole, la pluviométrie est nettement corrélée au total des pluies de la petite saison agricole, au nombre total de jours de pluie de la petite saison agricole et la classe définie en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur définies pendant la petite saison agricole (10 à 30 mm). En ce qui concerne les facteurs qui perturbent la pluviométrie de la petite saison agricole, ils sont relatifs à la longueur de la petite saison agricole et à la classe des séquences sèches de durée supérieure à 14 jours.

Au-delà de l'analyse des dynamiques relevées sur les caractéristiques des saisons agricoles et de ses influences sur le régime pluviométrique dans la commune de Kétou, il a été étudié les impacts de l'instabilité des régimes pluviométriques saisonniers sur les besoins en eau des principales cultures agricoles dans la commune de Kétou. A cet effet, une évaluation du bilan hydrique a été menée ce qui a montré qu'en situation moyenne, il est enregistré des incursions des déficits hydriques (déficits agricoles) au cœur de la grande saison des pluies. La petite saison agricole quant à elle a enregistré 20 % des décades qui ont de déficit hydrique. En année très humide, il est noté une diminution des déficits hydriques ce qui favorise la résurgence des périodes décadaire favorables aux recharges même si ces derniers sont dissimulés de manière éparsé durant toute l'année agricole. L'année agricole faiblement arrosée quant à elle subit une restriction hydrique drastique durant la grande et la petite saison pluvieuse. En générale, en dépit des situations hydriques difficiles, en moyenne la situation est relativement reluisante. En revanche, l'apparition des séquences sèches au cours des différents cycles végétatifs du maïs, du niébé, de l'arachide et de la tomate d'une part, et l'analyse de l'indice *I* de satisfaction

des besoins en eau d'autre part, ont permis d'identifier des contraintes majeures pour ces cultures agricoles. Dans la zone d'étude (commune de Kétou) ce sont les débuts tardifs, les fins précoces (réduction de la longueur des saisons agricoles) conjugués à des déficits hydriques qui peuvent contribuer à réduire fortement le rendement du maïs, du niébé, de l'arachide et de la tomate. Face à ces situations globalement élucidées il urge que les décideurs s'engagent pour des mesures d'adaptations plus efficaces auprès des acteurs agricole pour faire face aux défis des dynamiques climatiques au Bénin.

Bibliographie

ADAM S. et BOKO M. (1993) : *Le Bénin, Paris, Edition Flamboyant, EDICEF* Nouvelle édition, 95 p.

ADJANOHOOUN E. (1976) : *Conservation de la végétation et de ses espèces dans l'Afrique au sud du Sahara.* pp. 5-11.

AFOUDA F. (1989) : *Enquête sur la Sécurité Alimentaire des zones à risque en période de soudure, Commune de Boukoubé (Atakora), ONG, 44 p.*

AFOUDA F. (1990) : *L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional : étude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu rural de la savane africaine.* Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Paris IV Sorbonne. 312 p.

AFOUDA F., SALAKO A.P.M et YABI I. (2014) : *Instabilité intra-saisonnière des pluies de la grande saison agricole dans la commune de Kétou au Bénin.* Revue de géographie du laboratoire Leïdi n° 12, Saint Louis, Sénégal, pp. 26-47.

AGBO A. V. (1977) : *Paysannat traditionnel et Développement rural de l'Atacora (Bénin).* Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris. 406 p.

AGBOSSOU E.K. *et al.*, (2012) : *Climate variability and implications for maize production in benin : a stochastic rainfall analysis.* African Crop Science Journal 20, Issue Supplement s2, pp. 493-503.

ANGLADETTE A. et DESCHAMPS C. (1994) : *Problèmes et perspectives de l'agriculture dans les pays tropicaux,* Limoge, Maisonneuve, 770 p.

AIFAN H. (1993) : *Climats, ressources en eau et développement agricole dans le moyen Bénin.* Mémoire de DEA, URA 909 CNRS, Université de Bourgogne, Dijon. 50 p.

ARDOIN B.S. *et al.*, (2003) : « *Analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'Ouest : caractérisation de la situation de la décennie 1990* », IAHS Publication, vol. 278, pp. 223-228.

ASSAN A. (1997) : *Variabilité et production agricole sur le plateau de Porto-Novo*, 104 p.

ASSANI A. et TARDIF S. (2005) : « *Classification, caractérisation et facteurs de variabilité spatiale des régimes hydrologiques naturels au Québec (Canada). Approche éco-géographique* », *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 18, N°2, pp. 247-266. DOI : 10.7202/705559ar

Atlas Monographique des communes du Bénin, Juin 2001

BAUDOIN M.A. (2010) : *L'adaptation aux changements climatiques au sud du Bénin: Une analyse de la politique internationale et des besoins locaux*, r69 p.

BELTRANDO G. et CHEMERY L. (1995) : *Dictionnaire du climat*. Edit. Larousse, collection Références, pp.309- 312.

BOKO M. (1988) : *Climats et communautés rurales du Bénin : Rythmes de développement*, Thèse d'Etat, 2 vol, 607 p.

BOKO M. *et al.*, (2005) : *Impacts potentiels d'un changement climatique sur la sécurité alimentaire dans le Sud et le Centre du Bénin*, 81 p.

BOKO M. et ADJOVI L.C. (1994) : *Recherche de tendance dans les séries pluviométriques du Bénin : implication agro-climatique*. Publications de l'AIC, vol 7, pp. 294-304.

BOKO M., KOSMOWSKI F. et VISSIN E.W. (2012) : *Les Enjeux du Changement Climatique au Bénin*. 72 p.

BOKONON-GANTA E.B. (1987) : *Les climats de la région du Golfe du Bénin. (Afrique Occidentale)*.Thèse de doctorat du 3^{ème} cycle. Paris IV, Sorbonne. 248p + Annexes.

BOKONON-GANTA B.E. (1990) : *La sécheresse dans le bas et le moyen Bénin : Impacts et Stratégies paysannes*. In Bulletin de la recherche agronomique N°3 Juin 94, Cotonou.

BOKONON-GANTA E.B. (1999) : *Changements climatiques, vulnérabilité et Stratégies d'adaptation au Bénin*. Rapport de travail, UAC, 45 p.

BOUCHET R.J. (1963) : *Evaporation réelle, Evaporation potentielle et production végétale*.INRAB.245 p.

BROU T Y. (2005) : *Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire*. Mémoire de synthèse des activités pédagogiques pour une HDR, Abidjan, 226 p.

BURTON, HUQ et al., (2002): *From Impacts Assessment to Adaptation Priorities the Shaping of Adaptation Policy*. Climate Policy, Vol. 2, pp. 145-159.

CeRPA KETOU (2001-2002) : *Rapport plan de campagne agricole*, 64 p.

CeRPA (2010) : *Rapport plan de campagne agricole Ouémé-Plateau*. pp. 25-42.

DANCETTE C. (1983) : *Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahélienne*. In l'Agronomie Tropicale, 31 (4). pp. 281-293.

CHOISNEL E. (1992) : *Le calcul du bilan hydrique du sol : options de modélisation et niveaux de complexité*. Science du sol, 30. pp.1-15-31.

DANSOU J. (1999) : *Climat et sécurité alimentaire dans le Sud-ouest du Bénin (Afrique Occidentale, Mémoire de DEA « Interface Nature Société », Université de Bourgogne, Dijon, 51 p.*

DERESSA T. T. *et al.*, (2009): *Determinants of farmer's choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia*. *Global Environmental Change*, 19 (2), pp. 248-255.

DESCROIX L. *et al.*, (2001) : « *Complémentarités et convergences de méthodes de régionalisation des précipitations : application à une région endoréique du Nord-Mexique* », *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 14, N°3, pp. 281-305. DOI : 10.7202/705421ar

DIOP M. (1996) : *A propos de la durée de la saison des pluies au Sénégal*. *Sécheresse*, 7, pp. 7-15.

DOUKPOLO B. (2007) : *Variabilités et tendances pluviométriques dans le nord-ouest de la Centrafrique: enjeux environnementaux*. Université d'Abomey-Calavi, DEA 72 p.

ENONZAN F. B. (2010) : *Utilisation de la télédétection et des SIG dans la gestion durable des aires protégées : cas des forêts classées de Dogo-Kétou au Bénin*. RECTAS Obafemi Awolowo University Campus, Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées (DESS). 81p+ Annexes

ESCOURROU G. (1981) : *Climat et Environnement : les facteurs locaux du climat*. Collection géographie, Masson, Paris, 182 p.

JACQUART C. et CHOISNEL E. (1995) : *Un modèle de bilan hydrique simplifié à deux réservoirs utilisables en agrométéorologie*. Direction interrégionale Île-de-France, Centre 2 avenue Rapp, 75340 Paris Cedex 07. 16 p.

FAO (1987) : *Mission de sécurité alimentaire et de commercialisation au Bénin*, vol1, 79 p et vol2, 123 p.

FAO (1995) : *La mise en valeur des eaux au profit de la sécurité alimentaire*. Rome, 43 p.

FAFEH K. E. A. (2009) : *Contrat agricole et ses effets sur la performance de production vivrière dans la commune de Kétou : cas du maïs (Zea mays)*. Faculté des Sciences Agronomiques (FSA/UAC), Diplôme d'Ingénieur Agroéconomiste. 77 p+ Annexes

FLESHMAN M. (2006) : *Augmenter les rendements agricoles de l'Afrique*. Afrique Renouveau, 10 p.

FONTAINE B *et al.*, (2012) : *Variabilité pluviométrique, changement climatique et régionalisation en région de mousson africaine*, La Météorologie, Spécial AMMA, pp. 41-48.

FRANQUIN P. (1973) : *Analyse agro-climatologique en régions tropicales : méthodes des intersections et période fréquentielle de la végétation*. pp. 17-36.

FRERE M. et POPOV G.F. (1987) : *Suivi agrométéorologique des cultures et prévision des rendements*. Etude FAO Production végétale et protection des plantes 73, Rome.

GEORGE P. (1984) : *Dictionnaire, de géographie*. Paris, PUF, 485 p

GIEC (2014) : *Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité – Résumé à l'intention des décideurs*. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Édité. OMM-PNUE, Genève, 34 p.

GIEC (2007) : *Changements climatiques 2007 – Rapport de synthèse*. Rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur le climat, Édit. OMM-PNUE, Genève, 108 p. (5 + 103).

GOULA B.T.A., SAVAN I., KONAN B., FADIKA V. et KOUADIO G.B (2006) : *Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'zo et N'zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide)*. Vertigo, Vol. 1, pp. 1-12.

GRANIER *et al.*, (1999): *A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands*. *Ecol. Model.*, 116(2-3), 269-283.

GUEYE M. et SIVAKUMARE M.V.K. (1992) : *Analyse de la longueur de la saison culturale en fonction de la date de début des pluies au Sénégal*. Compte rendu des travaux n°2, Niamey (Niger) : centre sahélien de l'ICRISAT, 17 p.

HOUNDENOU C. (1992) : *Variabilité pluviométrique et conséquences dans les plateaux du bas-bénin (Afrique de l'Ouest)*, Mémoire de DEA, URA 909 CNRS, Université de Bourgogne Dijon, 87 p.

HOUNDENOU C. (1999) : *Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : L'exemple du Bénin, diagnostique et modélisation*, Thèse de doctorat de l'Université de Bourgogne, UMR 5080 CNRS, Dijon, 390 p.

HOUNDENOU C. (2005) : *Recueil des informations existantes sur les effets néfastes des Changements Climatiques en République du Bénin*. 75 p.

HOUNKPONOU K.S *et al.*, (2008) : *Changements climatiques au Bénin : Vulnérabilité et stratégies d'adaptation*. 3 p.

IGUE O.J. et Collaborateurs. (1990) : *Cartes de sécurité alimentaire, 28 planches en couleurs*, LARES Sarl, Cotonou.

IPCC (2007): *Impacts, climate change and vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 976 pp.

INRAB (1995) : *Fiches technique sur les cultures vivrières*, Cotonou, 28 p.

INSAE et UNFPA (2008) : *Monographie de la commune de Kétou*, 109 p.

INSAE (2003) : *Troisième Recensement général de la population et de l'habitat 2002 (RGPH3)*. INSAE. Cotonou.

ISSA M.S. (2012) : *Changements Climatiques et agrosystèmes dans le Moyen Bénin : impacts et stratégies d'adaptation*. Thèse Unique de doctorat, EDP/FLASH/UAC, Abomey-Calavi, Bénin, 273 p.

ISSA M.S. (2005) : *Impacts d'un Changement du climatique sur l'agriculture en République du Bénin*. Communication, MEHU, ABE. 6 p.

ISSAOU L. (2014) : *Risques climatiques dans le Sud-Togo : manifestations, impacts et stratégies d'adaptation*. Doctorat Unique de l'Université de Lomé, Togo, 264 p.

KOSMOSWSKI F. *et al.*, (2012) : *Les Enjeux du Changement Climatique au Bénin*. 72 p.

KOUAME K.F *et al.*, (2014) : *Analyse de phénomènes hydrologiques dans un bassin versant urbanisé : cas de la ville Yamoussoucro (centre de la Côte d'Ivoire)*. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°17, Mars 2014, pp. 135-154.

KOUASSI A.M. *et al.*, (2008) : « *Influence de la variabilité climatique et de la modification de l'occupation du sol sur la relation pluie-débit à partir d'une modélisation globale du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire* », Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie, vol. 11, pp. 207-229.

KOUASSI A.M. *et al.*, (2013) : *Application du modèle de maillet à l'étude des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi-Bandama (Cote d'Ivoire)*. Journal of Asian Scientific Research, 2013, 3(2): pp. 214-228

KOUASSI A.M., KOUAME K.F., KOFFI Y.B., DJE K.B., PATUREL J.E. et SEKOUBA OULARE S. (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*. Cybergeog : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage, document 513, mis en ligne le 07 décembre 2010. URL : <http://cybergeog.revues.org/index23388.html>

LABERGE C. *et al.*, (1994) : « *Analyses directionnelles multivariées de la qualité des précipitations sur la région de Québec* », Revue des Sciences de l'Eau, vol. 7, 269-284.DOI : 10.7202/705201ar

LE BARBE L. *et al.*, (1993) : *Les ressources en eau superficielle de la république du Bénin*. Edition ORSTOM. pp. 4-7.

LECREDE (1995) : *Récessions pluviométriques et mutations socio-économiques dans le département du Zou*. Article N°2 UAC, 122 p.

LEGAY *et al.*, (2005) : *La forêt face au changement climatique : adapter la gestion forestière, prise en compte dans les documents d'orientation de la gestion forestière. Synthèse de l'atelier ONF/INRA du 20 octobre 2005*. Les Dossiers Forestiers, 16. Paris : ONF, INRA.

LINDNER *et al.*, (2008): *Impacts of climate change on European forests and options for adaptation*. AGRI-2007-G4-06. Brussels: General for Agriculture and Rural Development, European Commission Directorate.

LOUVET S. et JANICOT S. (2003): *Study of the first Guinean rainy season and role of the Subtropical Jet of the Northern Hemisphere*. Proceedings EGS-AGU Joint Assembly.

LUBÈS-NIEL H., MASSON J.M., PATUREL J.E., SERVAT E. (1998) : *Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques*. Revue des Sciences de l'Eau, Vol. 3, pp. 383-408.

LUBÈS-NIEL H., MASSON J-M., SERVAT E., PATUREL J-E., KOUAME B. (1994) : *Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par applications de tests statistiques, étude bibliographique*. Programme ICCARE, ORSTOM, rapport n°3, 21 pages.

MAEP (2000) : *Schéma directeur du développement agricole et rural. Volume II : stratégies sous sectorielles*. Projet SPPD/BEN/99/004/.PNUD/FAO. MAEP-Cotonou. 171p.

MAGNAN A. (2009) : *Proposition d'une trame de recherche pour appréhender la capacité d'adaptation au changement climatique*. Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement, n°3 (9). <http://vertigo.Revues.org/9189>

MAHAMAN K. *et al.*, (2013) : *Influence des fluctuations pluviométriques sur la saison agricole dans la zone géographique de Mayahi et Aguié au Niger*. Rev. CAMES - Série A, 12 (2): pp. 170-175.

MANKESSI J. (2013) : *Les contraintes climatiques et bioclimatiques et leurs incidences en agriculture pluviale sur le plateau Babembe*. Doctorat Unique de l'Université Marien Ngouabi, Congo-Brazzaville. 288 p.

MEHU (2001) : *Communication Nationale Initiale Bénin sur les changements climatiques*, 94 p.

MEPN (2008) : *Programme d'action nationale d'adaptation aux changements climatiques (PANA-BENIN)*. 81p.

MERTZ O. *et al.*, (2009): *Farmers' Perceptions of Climate Change and Agricultural Adaptation Strategies in Rural Sahel*. Environmental Management, 43, pp. 804-816.

NICHOLSON *et al.*, (2000). *The nature of rainfall variability over Africa on time scales of decades to millenia*. Global and Planetary Change 26: 137-158.

ODJO S. (1997) : *Rythmes climatiques et contraintes alimentaires dans l'Atacora*, Mémoire de maîtrise, UAC/FLASH/DGAT.112 p.

OGOUWALE E. (2001) : *Vulnérabilité, Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques dans le département des collines*. Mémoire de Maitrise de géographie, DGAT/UAC, 117 p.

OGOUWALE E. (2004) : *Changement climatique et Sécurité alimentaire dans le Bénin méridionale*. Mémoire de DEA, Ecole Doctorale Pluridisciplinaire UAC. 102 p

ONASA (2004) : *Rapports d'évaluation des campagnes agricoles 2004/2005 et perspectives alimentaires au Bénin : Situation par Département*. P.3-5.

OMM (2006). *Suivi de la sécheresse et alerte précoce, principes, progrès et enjeux futurs*. Omm-n°1006.

O.M.M (1990) : « *Guide des pratiques climatologiques* », vol. 100.

OUEDRAOGO M. *et al.*, (2010) : *Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso*, Sécheresse, 21, 2, pp. 87-96.

OZER P., BODART C. et TYCHON B. (2006) : *Analyse climatique de la région de Gouré, Niger oriental : récentes modifications et impacts environnementaux*. Cybergeog : EuropeanJournal of Geography, Environnement,

Nature, Paysage, document 308, mis en ligne le 02 mai 2005. URL: <http://cybergeog.revues.org/index3338.html>

PATT A.G. *et al.*, (2010) : *Estimating least-developed countries' vulnerability to climate-related extreme events over the next 50 years*, Proceeding of the National Academy of Sciences, 107, pp. 1333-1337.

PATUREL J.E. *et al.*, (1997): "*Climatic variability in humid Africa along the Gulfe of Guinea. Part two: an integrated regional approach*", Journal de l'Hydrologie, vol. 191, pp. 16-36.

PEIGNE J. (2014): *Définitions des termes de l'équation du bilan hydrique*. ISARA Lyon.

PETTITT A.N. (1979): *A non-parametric approach to the change-point problem*. Applied Statistics, 28 (2), pp.126-135.

PNUD et MEPN (2008): *Programme d'action national d'adaptation aux changements climatiques du Bénin*, 81 p.

PNUD (2000) : *Le développement humain durable au Bénin*. Cotonou. 140p.

PNUD (1997) : *Rapport sur le développement humain au Bénin 1997*. PNUD Cotonou, 132 p.

POHL B. (2007) : *L'oscillation de Madden-Julian et la variabilité pluviométrique régionale en Afrique Sub-saharienne*. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, 284 p.

RICHARD Y. *et al.*, (2002) : « *El Nino-la Nina : cohérence intrasaisonnière de la variabilité pluviométrique interannuelle en Afrique du Sud* », Espace géographique, vol. 1, pp. 63-72.

RIDREMONT *et al.*,(2011) : «*Méthode pragmatique d'évaluation de la réserve en eau des stations forestières et cartographie à l'échelle régionale (Wallonie,*

Belgique)», *Base* [En ligne], numéro spécial 2, Volume 15 (2011), pp. 727-741
URL : <http://popups.ulg.ac.be/1780-4507/index.php?id=8213>.

SANE T., DIOP M. et SAGNA P. (2008) : *Etude de la qualité de la saison des pluviouse en Haute-Casamance (Sud Sénégal)*. *Sécheresse*, 19 (1), pp. 8-23.

SARR B. (2011) : *Identification des risques climatiques de la culture du maïs au Burkina Faso*. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(4): 1659-1675, 2011. 17 p.

SERVAT E. *et al.*, (1997): “*Climatic variability in humid Africa along the Gulfe of Guinea*. Part I: detailed analysis of the phenomenon in Côte d’Ivoire”, *Journal de l’Hydrologie*, vol. 191, 1-15p.

SERVAT E., PATUREL J.E., KOUAME B., TRAVAGLIO M., OUEDRAOGO M., BOYER J. F., LUBES-NIEL H., FRITSCH J.M., MASSON J.M. et MARIEU B. (1998) : « *Identification, caractérisation et conséquences d’une variabilité hydrologique en Afrique de l’Ouest et centrale* », IAHS Publication, vol. 252, pp. 323-337.

SIMON L. (1998) : *Les Paysages végétaux*. Paris, Armand Colin. 95 p.

SULTAN B. (2011) : *L’étude des variations et du changement climatique en Afrique de l’Ouest et ses retombées sociétales*. 137 p.

SULTAN *et al.*, (2013) : *Les bénéfices de la prévision saisonnière pour l’agriculture en Afrique de l’Ouest*. *Sècheresse* 24 : 304-13. doi : 10.1684/sec.2013.0398.

SULTAN B. *et al.*, (2008) : *Les impacts agronomiques du climat en Afrique de l’Ouest: une illustration des problèmes majeurs*. *Sécheresse*, vol. 19, n°1, pp. 29-37.

TAMBO A.J. et ABDOULAYE T. (2012): *Smallholder farmers’ perceptions of and adaptations to climate change in the Nigerian savanna*, *Regional Environmental Change*, 13, 2, pp. 375-388. DOI : 10.1007/s10113-012-0351-0

THORNTHWAITE C.W. et MATHER J.R. (1957): *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Climatol, X (3), 311 p.

TIDJANI *et al.*, (2006) : *Changements climatiques et évolution des variables météorologiques au Bénin : cas de la commune de Bohicon*. Ecole Nationale d'Economie Appliquée et de Management /Université d'Abomey-Calavi/Bénin - DTS-ITS (Diplôme d'Ingénieur des Travaux Statistiques). 82 p+annexe.

TOUAÏBIA B., INEGLIZ S. et OULD A.A. (2006) : « *Couplage d'une analyse en composantes principales et d'une approche géostatistique pour l'élaboration de cartes pluviométriques du Centre de l'Algérie du Nord* », Revue des Sciences de l'Eau, vol. 19, No.3, pp. 213-219.

TRAORE *et al.*, (2010): *Characterizing and Modelling the Diversity of Cropping Situations under Climatic Constraints in West Africa*. Accepted by *Atmospheric Science Letters*.

TSCHAKERT P. (2007): *Views from the vulnerable: Understanding climatic and other stressors in the Sahel*. Global Environmental Change, 17, pp. 381-396. DOI : 10.1016/j.gloenvcha.2006.11.008

UNESCO (2014) : *Le changement climatique en Afrique : Guide à l'intention des journalistes*. 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France. 103 p.

VAN C.A. et AZONTONDE A. (1979) : *Détermination des dates de semis basée sur l'analyse fréquentielle de la pluviométrie décadaire au Bénin*. 208 p.

VIGNIGBE J. (1992) : *Contraintes climatiques et développement agricole sur le plateau d'Abomey*. Mémoire de maîtrise de Géographie. UAC/ FLASH/ DGAT. 90p+annexes.

VISSIN W.E (2007) : *Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger*. France: Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne. 258 p+annexes.

VISSOH P.V. *et al.*, (2012) : *Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements climatiques : le cas des communes d'Adjohoun et de Dangbo au Sud-Est Bénin*. Les Cahiers d'Outre-Mer, 260, pp. 479-492.

VOLKOFF B. & WILLAIME P. (1963) : *Notice explicative de la carte des sols du Dahomey au 1/1.000.000°*.

YABI I. (2002) : *Particularités de la variabilité pluviométrique entre 7° et 8° de latitude Nord au Bénin*. Mémoire de maitrise de géographie. UAC/FLASH/DGAT, 95 p.

YABI I. & AFOUDA F. (2011): *Extremes rainfall years in Benin (West Africa)*. Quaternary International, pp. 1-5.

YABI I. *et al.*, (2012) : *Excédents pluvio-hydrologiques et incidences sur la production agricole dans la commune d'Athiémé*. BenGéo, Revue semestrielle de Géographie du Bénin, 12, pp. 14-28.

YABI I. *et al.*, (2014) : *Quelques caractéristiques de la seconde saison agricole dans le département des Collines (Bénin)*. XXVI^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie. 6 p.

YAO A.B. *et al.*, (2012) : *analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide : Cas du bassin versant de la Lobo au Centre-Ouest de la Cote d'Ivoire*. Rev. Ivoir. Sci. Technol., 19 (2012). p p136 – 157.

ZAKARI S. *et al* (2012) : *Analyse de quelques caractéristiques de la saison des pluies dans le département du Borgou (Bénin, Afrique de l'Ouest)*. 6 p.

ZINSOU P. (2006) : *Agenda officiel du Bénin 2006*. Amis Editions Cotonou.

Liste des tableaux

Tableau I: Synthèse de la recherche documentaire.....	21
Tableau II : Statistiques descriptives des variables de la grande saison des pluies retenues à la station pluviométrique de Kétou.....	28
Tableau III : Statistiques descriptives des variables de la petite saison des pluies retenues à la station pluviométrique de Kétou.....	28
Tableau IV : Synthèse des statistiques du début et de la fin de la grande saison agricole dans la commune de Kétou	49
Tableau V : Synthèse des statistiques relatives à la durée de la grande saison agricole dans la commune de Kétou.....	51
Tableau VI: Synthèse des statistiques du début et de la fin de la petite saison agricole dans la commune de Kétou.....	60
Tableau VII: Synthèse des statistiques relatives à la durée de la petite saison agricole dans la commune de Kétou.....	60
Tableau VIII: Quantités de représentations pour la grande saison agricole.....	68
Tableau IX: Matrice de corrélations calculées entre les variables analysées de la grande saison agricole à la station pluviométrique de Kétou.....	70
Tableau X : Valeurs propres de la grande saison agricole sur les quatre (4) premières composantes principales à la station pluviométrique de Kétou.....	71
Tableau XI: Matrice des composantes de la grande saison agricole.....	72
Tableau XII: Quantités de représentations pour la petite saison agricole.....	75
Tableau XIII: Matrice de corrélations calculées entre les variables analysées de la petite saison agricole à la station pluviométrique de Kétou.....	76
Tableau XIV : Valeurs propre de la petite saison agricole sur les six (6) premières composantes principales à la station pluviométrique de Kétou.....	77
Tableau XV: Matrice des composantes de la petite saison agricole.....	78
Tableau XVI: Indices I de satisfaction des besoins en eau de la tomate, maïs, arachide et niébé en année moyenne, sèche et très.....	86

Liste des figures

Figure 1: Situation géographique de la commune de Kétou.....	33
Figure 2: Pédologie de la commune de Kétou.....	35
Figure 3: Réseau hydrographique de la commune de Kétou.....	40
Figure 4 : Répartition par arrondissement de la population dans la commune de Kétou.....	41

Figure 5 : Evolution de la population dans la commune de Kétou.....	42
Figure 6 : Occupation du sol par culture dans la commune de Kétou.....	43
Figure 7: Régime pluviométrique moyenne (1951-2010) de Kétou.....	45
Figure 8: Indices pluviométriques sur la période 1951-2010 à Kétou.....	46
Figure 9: Evolutions des cumules pluviométriques annuels analysés par le test de Pettitt.....	47
Figure 10: Détection de rupture dans la variabilité interannuelle des dates de.....	48
début de la grande saison agricole par le test de Pettitt.....	48
Figure 11: Variabilité interannuelle des dates de fin de la grande saison agricole.....	49
Figure 12: Relation entre la longueur et la date de début de la grande saison pluvieuse.....	52
Figure 13: Evolution du nombre de jours de pluies de la grande saison pluvieuse dans la commune de Kétou.....	53
Figure 14: Fréquence des séquences sèches de la grande saison pluvieuse dans la commune de Kétou.....	54
Figure 15: Fréquences des séquences sèches et humides de la grande saison agricole.....	55
Figure 16 : Variabilité interannuelle de la durée de la grande saison agricole.....	56
Figure 17 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie de la grande saison agricole.....	56
Figure 18: Courbe des dates de début de la petite saison pluvieuse issue du test de Pettitt.....	57
Figure 19: Courbe des dates de fin de la petite saison pluvieuse issue du test de Pettitt	58
Figure 20: Relation entre la longueur et la date de début de la petite saison pluvieuse.....	61
Figure 21: Evolution du nombre de jours de pluies de la petite saison pluvieuse dans la commune de Kétou.....	62
Figure 22: Fréquence des séquences sèches de la petite saison pluvieuse dans la commune de Kétou	63
Figure 23: Fréquences des séquences sèches et humides de la petite saison agricole.....	64
Figure 24 : Variabilité interannuelle de la durée de la petite saison agricole.....	65
Figure 25: Variabilité interannuelle de la pluviométrie de la petite saison agricole.....	65
Figure 26: Diagramme des composantes de la grande saison agricole dans l'espace après rotation...73	
Figure 27: Diagramme des composantes de la grande saison agricole dan l'espace après rotations....79	
Figure 28: Bilan hydrique au pas décadaire en moyenne des années 1965-2010) à Kétou.....	81
Figure 29: Bilan hydrique en année déficitaire au pas décadaire à Kétou (1982-1983).....	82
Figure 30: Bilan hydrique en année fortement arrosée au pas décadaire à Kétou (1987-1988).....	83

Table des matières

Sommaire	2
Dédicace	3
Sigles et acronymes	4
Remerciements	4
Résumé	6
Abstract	6
Introduction	8
CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE.....	11
1.1. Cadre théorique	11
1.1.1. Revue de thématique	11
1.1.2. Définition des concepts	14
1.2. Justification du sujet de recherche et son intérêt	16
1.2.2. Hypothèses de travail	19
1.2.2.1. Objectifs de recherche	19
1.3. Démarche méthodologique.....	19
1.3. Données utilisées.....	20
1.3.1. Données climatiques.....	20
1.3.2. Recherche documentaire	20
1.3.3. Traitement des données : méthodes, tests statistiques et logiciels utilisés	21
1.3.3.1. Données pluviométriques	21
1.3.3.2. Tests statistiques.....	23
1.3.3.3. Méthode d'analyse des ruptures de stationnarité et de comparaison des moyennes à partir du test de Pettitt	24
1.3.3.4. Analyse en composantes principales normées	26
1.4. Bilans hydriques	29
1.5. Indice <i>I</i> de satisfaction des besoins en eau des cultures	30
CHAPITRE II : FONDEMENTS GEOGRAPHIQUES DES ACTIVITES AGRICOLES DANS LA COMMUNE DE KETOU.....	32
2.1. Facteurs physiques	32
2.1.1. Situation géographique.....	32
2.1.2. Facteurs géomorphologiques.....	34
2.1.3. Composantes pédologiques	34
2.1.4. Contexte climatique.....	37
2.1.5. Composantes végétales.....	37
2.1.6. Hydrographie.....	39
2.2. Facteurs humains.....	41
Conclusion partielle.....	44
CHAPITRE III : EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES SAISONNIERS DANS LA COMMUNE DE KETOU	45
3.1. Variabilité pluviométrique dans la commune de Kétou	45
3.1.1. Régime pluviométrique	45
3.1.2. Détection de rupture dans les séries interannuelles des pluies	45
3.2. Démarrage, fin et durée de la grande et petite saison agricole dans la commune de Kétou ...	47
3.2.1. Démarrage et fin de la grande saison agricole.....	47
3.2.1.1. Durées de la grande saison agricole dans la commune de Kétou.....	51
3.2.1.2. Relation entre la date de début de la grande saison pluvieuse et la longueur de la grande saison.....	52

3.2.1.3. Typologie des précipitations journalières de la grande saison des pluies.....	52
3.2.1.4. Typologie des séquences sèches de la grande saison des pluies	54
3.2.1.5. Evolution des fréquences des séquences sèches et humides de la grande saison agricole	55
3.2.1.6. Variabilité des totaux pluviométriques et des durées de la grande	55
saison agricole des sous périodes (1951-1970 ; 1971-1990 et 1991-2010).....	55
3.2.2. Démarrage et fin de la petite saison agricole.....	57
3.2.2.1. Durées de la petite saison agricole dans la commune de Kétou.....	60
3.2.2.2. Typologie des précipitations journalières de la petite saison des.....	61
pluies	61
3.2.2.3. Typologie des séquences sèches de la petite saison des pluies	63
3.2.2.4. Evolution des fréquences des séquences sèches et humides de la petite saison agricole..	64
3.2.2.5. Variabilité des totaux pluviométriques et des durées de la petite saison agricole des sous	
périodes (1951-1970 ; 1971-1990 et 1991-2010).....	64
Conclusion partielle.....	66

CHAPITRE IV : INCIDENCES DES PREDICTEURS SAISONNIERS DES PLUIES SUR LA PLUVIOSITE SAISONNIERE

4.1. Détermination de l'impact des paramètres clés de la grande saison agricole sur le régime pluviométrique saisonnier	67
4.1.1. Matrices de corrélation de la grande saison agricole exprimant les différentes corrélations entre les variables analysées à la station pluviométrique de Kétou.....	69
4.1.2. Valeurs propres des composantes principales de la grande saison agricole à la station pluviométrique de Kétou	71
4.1.3. Facteurs d'influences de la pluviométrie de la grande saison agricole dans la commune de Kétou	71
4.2. Détermination de l'impact des paramètres clés de la petite saison agricole sur le régime pluviométrique saisonnier	74
4.2.1. Matrice de corrélation de la petite saison agricole exprimant les différentes corrélations entre les variables analysées à la station pluviométrique de Kétou.....	75
4.2.2. Valeurs propres des composantes principales de la petite saison agricole à la station pluviométrique de Kétou	77
4.2.3. Facteurs d'influences de la pluviométrie de la petite saison agricole dans la commune de Kétou	77

CHAPITRE V : IMPACTS DE L'INSTABILITE INTRA-SAISONNIERE DES PLUIES SUR LES BESOINS EN EAU DES PRINCIPALES CULTURES AGRICOLES DANS LA COMMUNE DE KETOU

5.1. Bilans hydriques	80
5.1.1. Variation du bilan hydrique en année moyenne	80
5.1.2. Analyse du bilan hydrique en année déficitaire	82
5.1.3. Analyse du bilan hydrique en année excédentaire	83
5.2. Besoin en eau des plantes cultivées (maïs, niébé, arachide, tomate)	84
5.2.1. Indice <i>I</i> de satisfaction des besoins en eau des plantes cultivées	85
Conclusion partielle.....	87
Conclusion générale	89
Bibliographie.....	92
Liste des tableaux	106
Liste des figures.....	106
Table des matières	108